



ЭР-2022  
ER-2022

# СБОРНИК ТЕЗИСОВ

33<sup>rd</sup> Международной научно-технической конференции  
"ЭКСТРЕМАЛЬНАЯ РОБОТОТЕХНИКА"

## ABSTRACTS

of the 33<sup>rd</sup> International Scientific and Technological Conference  
"EXTREME ROBOTICS"



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**

33-й Международной научно-технической конференции

## **ЭКСТРЕМАЛЬНАЯ РОБОТОТЕХНИКА**

29-30 сентября 2022 года, Санкт-Петербург

## **ABSTRACTS**

of the 33<sup>rd</sup> International Scientific and Technological Conference

## **EXTREME ROBOTICS**

September 29-30, 2022, Saint Petersburg, Russia



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

УДК 004.896:007.5

ББК 32.813

Э41

Э41 «ЭКСТРЕМАЛЬНАЯ РОБОТОТЕХНИКА»,  
международная научно-техническая конференция. Сборник тезисов  
33<sup>-й</sup> Международной научно-технической конференции. –  
Санкт-Петербург: ООО «Типография Фурсова», 2022. – 358.

Сборник тезисов отражает круг актуальных проблем и задач в  
сфере робототехнических систем и средств безопасности,  
представленных на 33<sup>-й</sup> Международной научно-технической  
конференции «ЭКСТРЕМАЛЬНАЯ РОБОТОТЕХНИКА».

УДК 004.896:007.5

ББК 32.813

Тезисы опубликованы в авторской редакции

Дизайн Ирины Купцовой, kuptzova@rtc.ru

Abstracts of the 33<sup>rd</sup> International Scientific and Technological  
Conference «EXTREME ROBOTICS». – Saint Petersburg: Company  
«Tipografiya Fursova», 2022. – 358 p.

Collection of abstracts highlights an array of challenging issues and  
tasks in the sphere of robotic systems and safety facilities discussed at  
the 33<sup>rd</sup> International Scientific and Technological Conference  
«EXTREME ROBOTICS».

Abstracts are published with author's edition

Design by Irina Kuptzova, kuptzova@rtc.ru

ISBN 978-5-6048032-9-5

©ЦНИИ робототехники  
и технической кибернетики,  
2022

## **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»
- Союза промышленников и предпринимателей Санкт-Петербурга
- 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

## ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ КОНФЕРЕНЦИИ

---

Председатель:

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

Члены программного комитета:

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

**Битный-Шляхто Виктор Михайлович**, заместитель главного конструктора, ГНЦ РФ ЦНИИ РТК

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

**Даляев Игорь Юрьевич**, к.т.н., главный конструктор по экстремальной робототехнике и автоматизации, ГНЦ РФ ЦНИИ РТК

**Игнатиади Евгений Константинович**, главный конструктор по интеллектуальным системам управления и робототехнике, ГНЦ РФ ЦНИИ РТК

**Казанцев Виктор Борисович**, д.ф.-м.н., главный научный сотрудник НИЦ «Компоненты робототехники и сенсорики», ГНЦ РФ ЦНИИ РТК

**Матвеев Станислав Алексеевич**, к.т.н., проректор по научной работе и инновационному развитию, БГТУ «Военмех» им Д.Ф. Устинова

**Мещеряков Роман Валерьевич**, д.т.н., профессор РАН, зав. лабораторией киберфизических систем, ИПУ РАН

**Проценюк Алексей Сергеевич**, заместитель главного конструктора, ГНЦ РФ ЦНИИ РТК

**Пряничников Валентин Евгеньевич**, д.т.н., зав. кафедрой СиУС МГТУ «Станкин» при ИПМ им. Келдыша РАН

**Семенихин Петр Валерьевич**, заместитель главного конструктора по информационно-измерительным системам, ГНЦ РФ ЦНИИ РТК

**Смирнова Екатерина Юрьевна**, заместитель руководителя  
НИИЦ «Компоненты робототехники и сенсорика»,  
ГНЦ РФ ЦНИИ РТК

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

**Шмаков Олег Александрович**, заместитель директора,  
ГНЦ РФ ЦНИИ РТК

## ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ КОНФЕРЕНЦИИ

---

Председатель:

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

Члены организационного комитета:

**Анцев Георгий Владимирович**, к.т.н., генеральный директор-  
генеральный конструктор, АО «НПП «Радар ММС»

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

**Желтов Сергей Юрьевич**, д.т.н., академик РАН, заместитель  
генерального директора по науке, ФГУП «ГосНИИАС»

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

**Кудж Станислав Алексеевич**, д.т.н., ректор, РТУ МИРЭА

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

**Лопота Виталий Александрович**, д.т.н., чл.-корр., научный  
руководитель-генеральный конструктор, ГНЦ РФ ЦНИИ РТК

**Максимов Андрей Станиславович**, к.т.н., председатель  
Комитета по науке и высшей школе

**Мартьянов Олег Викторович**, руководитель Национального  
центра развития технологий и базовых элементов  
робототехники ФПИ

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

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

**Пешехонов Владимир Григорьевич**, д.т.н., академик РАН,  
научный руководитель, ЦНИИ «Электроприбор»

**Рудской Андрей Иванович**, академик РАН, ректор,  
Санкт-Петербургский политехнический университет  
Петра Великого

**Серебрянный Владимир Валерьевич**, к.т.н., ректор,  
МГТУ «СТАНКИН»

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

**Чурилов Олег Валерьевич**, директор Департамента развития  
технологического предпринимательства и трансфера  
технологий Минобрнауки России

## СОДЕРЖАНИЕ

|   |           |
|---|-----------|
| <b>СЕКЦИЯ «НАЗЕМНАЯ РОБОТОТЕХНИКА»</b>  | <b>24</b> |
| <hr/>   |           |
| <i>А.Л. Коротков, И.И. Саитов, Н.О. Тапеха,<br/>А.Н. Тимофеев, О.А. Шмаков</i><br>ПРОБЛЕМЫ РОБОТИЗАЦИИ ИССЛЕДОВАНИЯ<br>И ОБЕЗВРЕЖИВАНИЯ ВЗРЫВНЫХ УСТРОЙСТВ  | 24        |
| <i>О.А. Козлов, Д.О. Сущенко</i><br>ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ НАЗЕМНОЙ<br>РОБОТОТЕХНИКИ В ИНТЕРЕСАХ РОСГВАРДИИ   | 26        |
| <i>А.В. Кучеренко, А.Л. Коротков</i><br>ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЗАМКНУТОГО ОБЪЕМА<br>КАНАЛА СВЯЗИ БОЛЬШОЙ ПРОТЯЖЕННОСТИ<br>НА КАЧЕСТВО ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ<br>ЦИФРОВЫМИ МОДЕМАМИ   | 28        |
| <i>С.М. Соколов</i><br>АНАЛИЗ СЦЕНЫ В СОСТАВЕ АЛГОРИТМИЧЕСКОГО<br>ОБЕСПЕЧЕНИЯ СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ АВТОНОМНЫХ<br>НАЗЕМНЫХ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ<br>КОМПЛЕКСОВ  | 30        |
| <i>В.Ф. Филаретов, А.А. Кацурин</i><br>СИСТЕМА СОГЛАСОВАННОЙ ПОЛУАВТОМАТИЧЕСКОЙ<br>РАБОТЫ ДВУХ МОБИЛЬНЫХ РОБОТОВ  | 32        |
| <i>В.П. Носков, И.О. Киселев, А.Н. Курьянов</i><br>ВИДЕО-ДАЛЬНОМЕТРИЧЕСКИЕ ДЕСКРИПТОРЫ<br>ПЛОСКИХ ТЕКСТУР В НАВИГАЦИИ РОБОТОВ   | 34        |
| <i>Ф.М. Бельченко, И.Л. Ермолов</i><br>ВНЕДРЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ<br>ПЕРСПЕКТИВЫ НА ВИДЕОИЗОБРАЖЕНИЯХ<br>ВО ВСТРАИВАЕМЫХ СИСТЕМАХ<br>РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ  | 37        |
| <i>А.М. Бойко, А.А. Будза, А.Г. Кваско, П.В. Костырин,<br/>К.А. Максимов, Д.В. Ткаченко, П.Ю. Шамрай</i><br>ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНАЯ ОПТОЭЛЕКТРОННАЯ<br>СИСТЕМА ОТСЛЕЖИВАНИЯ ПОЛОЖЕНИЯ<br>БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ (БЛА) | 39        |

*В.П. Андреев*

ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ РАБОТЫ КИНО-  
И ТЕЛЕЖУРНАЛИСТОВ СРЕДСТВАМИ  
ЭКСТРЕМАЛЬНОЙ РОБОТОТЕХНИКИ 41

*А.И. Федотов, Д.А. Антонов, И.В. Богovina*  
СИСТЕМА ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ (ОБНАРУЖЕНИЯ  
ВОЗГОРАНИЯ), НАВИГАЦИИ, СТЫКОВКИ И СВЯЗИ  
В ПРОТИВОПОЖАРНОМ КОМПЛЕКСЕ НА ОСНОВЕ  
МОБИЛЬНОГО ПОЖАРНОГО РОБОТА 43

*О.Н. Галактионов, М. Томских, С.А. Завьялов,  
Г.Э. Рего, Д.Ж. Корзун*  
О КОНСТРУКЦИИ КОЛЕСНОГО ШАССИ И СЕНСОРНОЙ  
СИСТЕМЫ ДЛЯ АВТОНОМНОГО ДВИЖЕНИЯ ПО  
ТРУДНОПРОХОДИМОЙ МЕСТНОСТИ С ПРЕОДОЛЕНИЕМ  
И ОБХОДОМ ПРЕПЯТСТВИЙ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ  
ЛЕСОХОЗЯЙСТВЕННЫХ РАБОТ 45

*С.Г. Немчинов, А.А. Туровский, Р.В. Приходченко*  
СИСТЕМА ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ ДЛЯ  
РОБОТИЗИРОВАННЫХ УСТАНОВОК ПОЖАРОТУШЕНИЯ 47

*И.А. Шипов*  
МОДЕЛИРОВАНИЕ НАВИГАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ  
НАЗЕМНОГО РОБОТОТЕХНИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА 48

*А.Н. Жирабок, А.В. Зуев, Ким Чхун Ир*  
ИНТЕРВАЛЬНОЕ ОЦЕНИВАНИЕ ПЕРЕМЕННЫХ  
ЭЛЕКТРОПРИВОДА РОБОТА 50

*А.Ю. Исхаков, А.О. Исхакова, Р.В. Мещеряков*  
О БЕЗОПАСНОСТИ WEB-ИНТЕРФЕЙСОВ  
В КИБЕРФИЗИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ 52

*И.Л. Ермолов, М.М. Князьков, Е.А. Семенов,  
А.Н. Суханов, Ф.М. Бельченко*  
АЛГОРИТМ НАСТРОЙКИ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ  
СИГНАЛА УПРАВЛЕНИЯ МЕХАТРОННЫМ ПРИВОДОМ  
ЭКЗОСКЕЛЕТА К ОСОБЕННОСТЯМ ОГИБАЮЩЕЙ  
ЭЛЕКТРОМИОГРАММЫ ОПЕРАТОРА 54

*Б.С. Латин, И.Л. Ермолов*  
РАСПРЕДЕЛЕННОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ  
ДЛЯ ГРУППЫ СОВМЕСТНО ПЕРЕНОСЯЩИХ ГРУЗ  
РОБОТОВ С УЧЕТОМ СВОЙСТВ ОПОРНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ 56

*В.П. Андреев, П.Ф. Плетенев*  
МЕТОДЫ ДИНАМИЧЕСКОГО ПЕРЕПРОГРАММИРОВАНИЯ  
ДЛЯ МОБИЛЬНОГО РОБОТА С МОДУЛЬНОЙ АРХИТЕКТУРОЙ 58

|  |    |
|--|----|
| <i>Е.В. Бова, В.В. Леушина</i><br>К ВОПРОСУ ОБ ОЦЕНКЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ<br>МОДАЛЬНОСТЕЙ ЧЕЛОВЕКО-МАШИННОГО<br>ИНТЕРФЕЙСА ПРИ УПРАВЛЕНИИ МОБИЛЬНЫМ<br>РОБОТОТЕХНИЧЕСКИМ УСТРОЙСТВОМ   | 60 |
| <i>А.Ю. Гетманцев</i><br>СИСТЕМА БОРТОВЫХ ИЗМЕРЕНИЙ<br>РОБОТИЗИРОВАННОГО АВТОМОБИЛЯ-МИШЕНИ:<br>ТРЕБОВАНИЯ, АСПЕКТЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ   | 62 |
| <i>А.И. Горох</i><br>ПЕРСПЕКТИВНЫЙ ОБЛИК РОБОТИЗИРОВАННОГО<br>ПОДВИЖНОГО МИШЕННОГО КОМПЛЕКСА   | 64 |
| <i>И.А. Зенков, Т.В. Меньшакова</i><br>ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗОН НАЗЕМНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ<br>ПРИ ПУСКАХ УПРАВЛЯЕМЫХ РАКЕТ ПО ДВИЖУЩИМСЯ<br>РОБОТИЗИРОВАННЫМ АВТОМОБИЛЯМ-МИШЕНЯМ   | 66 |
| <i>И.В. Гурин, М.С. Красило, П.Г. Скубак</i><br>УСТРОЙСТВО АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ<br>МЕХАНИЧЕСКОЙ КОРОБКОЙ ПЕРЕКЛЮЧЕНИЯ ПЕРЕДАЧ  | 68 |
| <i>Г.М. Израелян, А.А. Назаров, Е.О. Гаранин</i><br>СИНТЕЗ И ПРИМЕНЕНИЕ МНОГОУРОВНЕВОЙ<br>АРХИТЕКТУРЫ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ УЗЛАМИ<br>БЕСПИЛОТНОГО ТС   | 70 |
| <i>Н.В. Дубровский</i><br>РАЗРАБОТКА ПРОТОТИПА БЕСПИЛОТНОГО<br>БУЛЬДОЗЕРА ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТ<br>ПО ПЛАНИРОВАНИЮ НА ПЕРЕСЕЧЕННОЙ МЕСТНОСТИ  | 72 |
| <i>А.В. Михайличенко, И.Б. Паращук</i><br>НАДЕЖНОСТЬ КОМПОНЕНТОВ ХРАНЕНИЯ<br>И ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ДЛЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ<br>НАЗЕМНЫМИ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИМИ<br>КОМПЛЕКСАМИ ВОЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ   | 74 |
| <i>Ю.С. Колесов, Р.Б. Тарасов, В.Е. Пряничников</i><br>РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ НЕПРЕРЫВНОГО РАЗВЕРТЫВАНИЯ<br>ПРОГРАММНОЙ СРЕДЫ ДЛЯ СЕРВИСНЫХ РОБОТОВ  | 76 |
| <i>В.Е. Пряничников, О.И. Давыдов, А.А. Арыскин,<br/>А.К. Григорьев, Ю.С. Колесов, А.Я. Ксензенко, М.С. Петраков,<br/>А.В. Плотников, Е.А. Прысев, М.Д. Соловьёва, А.В. Снопков,<br/>Д.К. Степанова, Р.Б. Тарасов, Д.С. Тележкин</i><br>ИНТЕГРАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛИЗАЦИИ<br>СЕРВИСНЫХ МОБИЛЬНЫХ И ПРОМЫШЛЕННЫХ РОБОТОВ | 79 |

|  |     |
|--|-----|
| <i>В.Е. Пряничников, А.В. Плотников</i><br>ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ СОПОСТАВЛЕНИЯ<br>ПОКАЗАНИЙ ПРОСТРАНСТВЕННО РАЗНЕСЕННЫХ<br>УЛЬТРАЗВУКОВЫХ СЕНСОРОВ ДЛЯ ЗАХВАТА ОБЪЕКТОВ<br>МОБИЛЬНЫМ СЕРВИСНЫМ РОБОТОМ                | 82  |
| <i>Р.Б. Тарасов, А.В. Плотников, В.Е. Пряничников</i><br>РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ КАРТОГРАФИРОВАНИЯ<br>И ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ СЕРВИСНЫХ РОБОТОВ   | 85  |
| <i>А.А. Тачков</i><br>НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ ПРОБЛЕМА СИНТЕЗА СИСТЕМЫ<br>УПРАВЛЕНИЯ ГРУППОЙ НАЗЕМНЫХ РТК   | 88  |
| <i>Д.С. Яковлев, А.А. Тачков</i><br>МЕТОД ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ<br>БЕСПИЛОТНОГО ДВИЖЕНИЯ НАЗЕМНЫХ<br>МОБИЛЬНЫХ РОБОТОВ  | 92  |
| <i>С.Ю. Курочкин, А.А. Тачков</i><br>СТАТИСТИЧЕСКАЯ ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ<br>ГРУППОВОГО ДВИЖЕНИЯ МОБИЛЬНЫХ РОБОТОВ<br>С УЧЕТОМ ВЕРОЯТНОСТНО-ВРЕМЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК<br>СИСТЕМЫ СВЯЗИ И АВТОНОМНОГО УПРАВЛЕНИЯ<br>ДВИЖЕНИЕМ | 94  |
| <i>А.В. Козов, М.В. Мельникова</i><br>ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ СИНТЕЗА СУПЕРВИЗОРА ПРИ<br>ПРОЕКТИРОВАНИИ ДИСКРЕТНО-СОБЫТИЙНОЙ СИСТЕМЫ<br>ГРУППОВОГО УПРАВЛЕНИЯ МОБИЛЬНЫМИ РОБОТАМИ   | 96  |
| <i>Н.А. Бузлов</i><br>РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ЛОКАЛИЗАЦИИ НАЗЕМНЫХ<br>РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ В ГОРОДСКОЙ<br>ИНДУСТРИАЛЬНОЙ СРЕДЕ И В УСЛОВИЯХ<br>СЛАБОПЕРЕСЕЧЕННОЙ МЕСТНОСТИ  | 98  |
| <i>Е.В. Иванов</i><br>СХЕМА ПЛОСКОПАРАЛЛЕЛЬНОГО ТРОСОВОГО<br>МАНИПУЛЯТОРА ПОВЫШЕННОЙ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ   | 100 |
| <i>А.В. Козов</i><br>РЕАЛИЗАЦИЯ КОМПЬЮТЕРНОЙ МОДЕЛИ ДИСКРЕТНО-<br>СОБЫТИЙНОЙ СИСТЕМЫ ГРУППОВОГО УПРАВЛЕНИЯ<br>МОБИЛЬНЫМИ РОБОТАМИ  | 102 |
| <i>Е.К. Игнатиади, И.К. Петушок</i><br>СИСТЕМА ПОДГОТОВКИ ОПЕРАТОРОВ<br>И ОБСЛУЖИВАЮЩЕГО ПЕРСОНАЛА<br>ДЛЯ ПЕРСПЕКТИВНЫХ РТК  | 103 |

|   |     |
|---|-----|
| <i>Н.О. Копытов, В.М. Битный-Шляхто</i><br>ПРОБЛЕМНЫЕ ВОПРОСЫ СОЗДАНИЯ НАЗЕМНЫХ<br>РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ   | 105 |
| <i>П.В. Абрамов</i><br>СИСТЕМА ПЛАНИРОВАНИЯ ДВИЖЕНИЯ<br>РОБОТА С ИЗБЫТОЧНОЙ АРХИТЕКТУРОЙ  | 106 |
| <i>Д.О. Дохов, И.И. Саитов, Д.Н. Новиков, Н.В. Заруцкий</i><br>АНТРОПОМОРФНАЯ КИСТЬ   | 108 |
| <i>Д.Н. Новиков, Д.О. Дохов, И.И. Саитов, Н.В. Заруцкий</i><br>МЕХАНИЗМ ОБЕЗВЕШИВАНИЯ ЗАДАЮЩЕЙ<br>МАНИПУЛЯЦИОННОЙ СИСТЕМЫ С ПАКЕТОМ<br>ЛИСТОВЫХ ПРУЖИН                          | 110 |
| <i>Д.С. Попов</i><br>ЭФФЕКТИВНОСТЬ СИСТЕМ ДИСТАНЦИОННОГО<br>УПРАВЛЕНИЯ НАЗЕМНЫМИ МОБИЛЬНЫМИ<br>РОБОТАМИ В УСЛОВИЯХ ДЕЙСТВИЯ ВРЕМЕННЫХ<br>ЗАДЕРЖЕК В КАНАЛАХ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ | 112 |
| <i>И.Б.Прямыцын, М.Т. Коротких, Д.С. Попов</i><br>РАСПРЕДЕЛЕННАЯ СИСТЕМА ПОУЗЛОВОГО<br>ИСПЫТАНИЯ ПРИ СБОРКЕ ЛЕГКИХ РОБОТОВ<br>СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ                           | 114 |
| <i>И.И. Саитов, Д.Н. Новиков, Д.О. Дохов, А.Н. Тимофеев</i><br>РАЗРАБОТКА УНИВЕРСАЛЬНОГО ПОВОРОТНОГО<br>МОДУЛЯ С СИЛОВОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ  | 116 |
| <i>В.О. Гончаров, Н.С. Слободзян</i><br>РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ<br>ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ КОСМИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ<br>БЕЗ ПРИМЕНЕНИЯ МИКРОКОНТРОЛЛЕРА                             | 118 |
| <i>М.В. Прошутинский, Н.Г. Яковенко</i><br>КОМПЕНСАЦИЯ ПОГРЕШНОСТИ ДАННЫХ<br>НАВИГАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ АВТОНОМНОГО<br>МАЛОГАБАРИТНОГО ПОДВИЖНОГО РОБОТА                             | 119 |
| <i>Д.А. Вольф</i><br>ПРОГРАММНАЯ БИБЛИОТЕКА ДЛЯ ГРУППОВОГО<br>УПРАВЛЕНИЯ ДВИГАТЕЛЯМИ ПОСТОЯННОГО ТОКА   | 121 |
| <i>Ю.Ф. Ивлев</i><br>ПРОБЛЕМЫ В СОЗДАНИИ ГЕККОНОПОДОБНЫХ<br>РОБОТОВ   | 123 |

|  |            |
|--|------------|
| <i>Д.В. Бордюгов, Л.Е. Козлова, О.А. Шаронова</i><br>ОБ УПРАВЛЕНИИ ДВИЖЕНИЕМ МОБИЛЬНОГО РОБОТА<br>С ДВИЖИТЕЛЯМИ, РАБОТАЮЩИМ НА ЭФФЕКТЕ<br>ПЕРИОДИЧЕСКОГО «ДИНАМИЧЕСКОГО ЗАКЛИНИВАНИЯ»                                      | 126        |
| <i>Д.А. Корниенко, Ю.С. Дубинов</i><br>РАЗРАБОТКА НОВОГО ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА<br>ДЛЯ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ПО ЗАБОЛОЧЕННОЙ<br>И ОБВОДНЕННОЙ МЕСТНОСТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ<br>ВИБРАЦИОННОЙ ТЯГИ  | 128        |
| <i>И.И. Нестеров, Н.В. Мальгин, А.Б. Кутман, А.А. Торонков</i><br>ВЫСОКОТОЧНЫЕ МЭМС ИНЕРЦИАЛЬНЫЕ<br>НАВИГАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ<br>С ГИРОКОМПАСИРОВАНИЕМ   | 129        |
| <i>В.Н. Ложкин</i><br>ПОДХОДЫ РАСЧЕТНО-ЦИФРОВОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ<br>И ПРАКТИКА КОНТРОЛЯ ЭКСТРЕМАЛЬНОГО<br>ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОЗДУХА ОТ ТРАНСПОРТА<br>В ГОРОДАХ РОССИИ  | 131        |
| <i>М.Г. Щербаков</i><br>УНИВЕРСАЛЬНЫЕ ГАЗОАНАЛИЗАТОРЫ  | 132        |
| <i>А.А. Воробьев, В.В. Сергеев</i><br>ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА И ОСОБЕННОСТИ РАЗРАБОТКИ<br>ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ КОМПЛЕКТУЮЩИХ ИЗДЕЛИЙ<br>ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ НАЗЕМНЫМИ<br>РОБОТОТЕХНИЧЕСКИМИ КОМПЛЕКСАМИ ВОЕННОГО<br>НАЗНАЧЕНИЯ | 135        |
| <i>А.С. Воронов, Д.М. Королев, А.С. Алексеенко</i><br>СИСТЕМА КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ<br>АККУМУЛЯТОРНЫМИ БАТАРЕЯМИ   | 137        |
| <b>СЕКЦИЯ «МОРСКАЯ РОБОТОТЕХНИКА»</b>  | <b>139</b> |
| <i>О.В. Третьяков, П.Г. Тенишев, В.А. Туголуков</i><br>СОЗДАНИЕ РОБОТИЗИРОВАННОГО СКОРОСТНОГО<br>МОРЕХОДНОГО КАТЕРА В ПЛАНАРНОМ КОРПУСЕ  | 139        |
| <i>И.Л. Ермолов, М.М. Князьков, Е.А. Семенов, А.Н. Суханов</i><br>ИССЛЕДОВАНИЯ ОСОБЕННОСТЕЙ АДАПТАЦИИ<br>ПНЕВМАТИЧЕСКОГО РОБОТА ВЕРТИКАЛЬНОГО<br>ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ДЛЯ РАБОТЫ НА КОРПУСЕ СУДНА<br>В ВОДНОЙ СРЕДЕ                 | 141        |

- Авс Ахмад, А.С. Юценко*  
ДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПОДВОДНОГО  
МОБИЛЬНОГО РОБОТА С ВОЛНООБРАЗНЫМИ  
ДВИЖИТЕЛЯМИ 143
- А.П. Абеленцев*  
РОССИЙСКИЕ СРЕДСТВА ПОДВОДНОЙ НАВИГАЦИИ  
И СВЯЗИ: ПРАКТИКА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ 145
- В.В. Сергеев, С.И. Косянчук, А.Л. Шидловский, К.С. Талировский*  
СИСТЕМА ФОТО И ВИДЕО СЪЕМКИ  
ДЛЯ БУКСИРОВЩИКА ВОДОЛАЗОВ 148
- А.А. Курносоев*  
ВЛИЯНИЕ НАРУШЕНИЙ СИММЕТРИИ НА ОПРЕДЕЛЕНИЕ  
ОПТИМАЛЬНЫХ ТРАЕКТОРИЙ УПРАВЛЕНИЯ СЛОЖНЫМИ  
РОБОТОТЕХНИЧЕСКИМИ СИСТЕМАМИ 150
- С.А. Половко, А.С. Проценюк, В.В. Целуйко*  
ОПЫТ СОЗДАНИЯ СИСТЕМЫ ПОДВОДНОЙ СТЫКОВКИ  
ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ СОВМЕСТНЫХ ДЕЙСТВИЙ 152
- Н.А. Щур, И.В. Митин, Р.А. Коротаев, В.И. Миронов, В.Б. Казанцев*  
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ И ЧИСЛЕННОЕ  
МОДЕЛИРОВАНИЕ ГИДРОДИНАМИКИ РЫБОПОДОБНОГО  
ПОДВОДНОГО РОБОТА 154
- Д.А. Фролов, С.А. Половко, Н.А. Щур*  
ОТРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ СИНТЕЗА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ  
АНПА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ ЧИСЛЕННОЙ  
ГИДРОДИНАМИКИ И КИБЕРНЕТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ 157
- К.К. Забелло, Н.А. Щур*  
РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ СОПРЯЖЕННЫХ РАСЧЁТОВ  
ДИНАМИКИ ТЕЛА, СОВЕРШАЮЩЕГО ВЗМАХОВЫЕ  
КОЛЕБАНИЯ, И ГИДРОДИНАМИКИ, ОБТЕКАЮЩЕЙ  
ЕГО ЖИДКОСТИ 159
- А.А. Иванов*  
К ВОПРОСУ ОБ УПРАВЛЯЕМОСТИ ГИПЕРИЗЫТОЧНОГО  
РЕКОНФИГУРИРУЕМОГО НЕОБИТАЕМОГО ПОДВОДНОГО  
АППАРАТА 161
- Л.А. Мартынова, И.В. Пашкевич, Г.А. Подшивалов,  
Г.В. Конохов, Н.И. Горбачев, Т.А. Гриненкова, А.И. Стариков*  
ПОДХОД К ИССЛЕДОВАНИЮ АЛГОРИТМОВ УПРАВЛЕНИЯ  
АНПА ПРИ ВОЗНИКНОВЕНИИ НЕИСПРАВНОСТЕЙ  
В ЕГО ОБОРУДОВАНИИ 163

- В.С. Быкова, А.И. Машошин, Г.А. Подшивалов, А.С. Смирнов*  
ОПТИМИЗАЦИЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ПОИСКА ДОННОГО  
ОБЪЕКТА ПРИ ПОМОЩИ АНПА НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ  
НЕЗАВИСИМЫХ КАНАЛОВ НАБЛЮДЕНИЯ 165
- А.В. Зуев, А.А. Проценко, А.А. Тимошенко, Д.В. Копылов*  
МЕТОД ПОСТРОЕНИЯ САМОНАСТРОИВАЮЩИХСЯ  
КОРРЕКТИРУЮЩИХ УСТРОЙСТВ ДЛЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ  
ПОДВОДНЫХ МАНИПУЛЯТОРОВ, ИСПОЛЬЗУЮЩИХ  
БЕСКОЛЛЕКТОРНЫЕ ДВИГАТЕЛИ ПОСТОЯННОГО ТОКА 167
- В.В. Чернышев, В.В. Арыканцев, Я.В. Калинин,  
А.Х. Насари Задеган, Н.Г. Шаронов*  
ОТРАБОТКА МЕТОДОВ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ  
ШАГАЮЩИХ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ  
ПЕРЕДВИГАЮЩИХСЯ ПО ДНУ 169
- А.А. Кабанов, В.А. Крамарь, Д.А. Токарев, М.М. Майстришин*  
АРХИТЕКТУРА ПЛАТФОРМЫ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ  
МОРСКИХ РОБОТИЗИРОВАННЫХ АГЕНТОВ  
НА БАЗЕ МОРСКОГО ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ 171
- В.К. Абросимов*  
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ ПОМОЩНИК ВОДОЛАЗА 173
- А.А. Яковлев, Д.С. Кудрявцев, Р.В. Сахабудинов, А.С. Голосий*  
ОБЕСПЕЧЕНИЕ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ  
РОБОТОТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ «АВТОНОМНЫЙ  
ГЛУБОКОВОДНЫЙ АППАРАТ» В РЕЖИМЕ АКТИВНОЙ  
КОМПЕНСАЦИИ КАЧКИ 175
- С.С. Кавтрев, Е.Ю. Смирнова, В.А. Леонтьев,  
А.С. Проценюк, М.Н. Плавинский*  
МОДЕЛИ ПРИМЕНЕНИЯ ГРУППЫ НПА,  
ОРГАНИЗАЦИЯ СВЯЗИ И ВЫПОЛНЕНИЕ ОСНОВНЫХ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОПЕРАЦИЙ 177
- Д.А. Юхимец, С.В. Карманова*  
РАЗРАБОТКА МЕТОДА СОПРЯЖЕНИЯ ПРЯМОЛИНЕЙНЫХ  
ГАЛСОВ С УЧЕТОМ ДИНАМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ АНПА И  
ОГРАНИЧЕНИЙ ИХ ДВИЖИТЕЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ 179
- И.Ю. Липко, К.В. Дементьев*  
ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ МОДЕЛИ ПОДВОДНОГО  
АППАРАТА УПРОЩЁННОЙ ФОРМЫ НА ЕГО УГЛОВЫЕ  
КООРДИНАТЫ: ПРЯМОУГОЛЬНЫЙ ПАРАЛЛЕЛЕПИПЕД  
И ЦИЛИНДР 181

|  |     |
|--|-----|
| <i>К.В. Дементьев, А.А. Кабанов</i><br>МЕТОД РАСЧЕТА ДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ<br>ПОДВОДНОГО ОБОТА-МАНИПУЛЯТОРА<br>И СИНТЕЗ SDRE РЕГУЛЯТОРА  | 183 |
| <i>Д.И. Николаев</i><br>ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ КОМПЛЕКСОВ СВЯЗИ<br>АВТОНОМНЫХ НЕОБИТАЕМЫХ ПОДВОДНЫХ<br>АППАРАТОВ ПРИ ИХ ПЕРЕМЕННОЙ СТРУКТУРНОЙ<br>ИЗБЫТОЧНОСТИ  | 185 |
| <i>М.А. Шахраманьян, Е.В. Павлов, В.М. Битный-Шляхто,<br/>П.К. Шубин, М.В. Кулешова, М.С. Крашенинников</i><br>РАЗВИТИЕ РОБОТИЗИРОВАННЫХ СРЕДСТВ ПОИСКОВО-<br>СПАСАТЕЛЬНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ УСЛОВИЙ<br>АРКТИКИ И КРАЙНЕГО СЕВЕРА | 187 |
| <i>Д.К. Серов</i><br>ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ УПРАВЛЕНИЯ<br>ДВИЖЕНИЕМ НЕОБИТАЕМОГО ПОДВОДНОГО<br>АППАРАТА В ВЕРТИКАЛЬНОЙ ПЛОСКОСТИ  | 190 |
| <i>С.А. Солнышкин</i><br>ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМА УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ<br>ГИПЕРИЗБЫТОЧНОГО АНПА ПРИ ЕГО РЕКОНФИГУРАЦИИ<br>В ПРОЦЕССЕ ДВИЖЕНИЯ  | 191 |
| <i>А.К. Голубев, В.А. Поздняков, М.В. Михайлов</i><br>РАЗРАБОТКА КОМПЬЮТЕРНЫХ МОДЕЛЕЙ СПУСКО-<br>ПОДЪЕМНОГО АГРЕГАТА   | 194 |

**СЕКЦИЯ «ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ  
И ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ  
В ЭКСТРЕМАЛЬНОЙ РОБОТОТЕХНИКЕ»** **196**

---

|  |     |
|--|-----|
| <i>В.А. Поминова, И.К. Петушок</i><br>ПОДХОДЫ К ИССЛЕДОВАНИЮ МЕТОДОВ СОЗДАНИЯ ОТЛАДочно-<br>МОДЕЛИРУЮЩИХ КОМПЛЕКСОВ<br>ДЛЯ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО И ПОВЕДЕНЧЕСКОГО<br>МОДЕЛИРОВАНИЯ РТК И ГРУПП РТК | 196 |
| <i>С.А. Коваленко, И.С. Фомин</i><br>ПРИМЕНЕНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКИХ АЛГОРИТМОВ В СВЕРТОЧНЫХ<br>НЕЙРОННЫХ СЕТЯХ КЛАССИФИКАЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ  | 198 |

|  |     |
|--|-----|
| <i>Л.А. Станкевич, А. Журавская</i><br>УПРАВЛЕНИЕ МОБИЛЬНЫМ РОБОТОМ<br>НА ОСНОВЕ НЕЙРОИНТЕРФЕЙСА   | 200 |
| <i>Е.А. Еременко, А.М. Корсаков, А.В. Бахшиев</i><br>РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА СТРУКТУРНОГО ОБУЧЕНИЯ<br>СЕГМЕНТНОЙ СПАЙКОВОЙ МОДЕЛИ НЕЙРОНА   | 203 |
| <i>А.А. Демчева, А.М. Корсаков, А.В. Бахшиев</i><br>МОДЕЛИРОВАНИЕ БОЛЕВЫХ ОЩУЩЕНИЙ НА ОСНОВЕ<br>СЕГМЕНТНОЙ СПАЙКОВОЙ МОДЕЛИ НЕЙРОНА  | 205 |
| <i>С.Р. Орлова</i><br>РАЗРАБОТКА МОДУЛЯ ТРЕХМЕРНОЙ СЕГМЕНТАЦИИ ДЛЯ<br>СИСТЕМЫ РАСПОЗНАВАНИЯ СЦЕНЫ МОБИЛЬНОГО РОБОТА  | 208 |
| <i>И.Д. Горбенко, О.Б. Шагниев</i><br>АДАПТИВНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ<br>СВЕРЛЕНИЯ ПРИ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ СВОЙСТВ<br>МАТЕРИАЛА ЗАГОТОВКИ   | 210 |
| <i>В.И. Петренко, Ф.Б. Тебуева, В.О. Антонов, А.В. Сакольчик</i><br>РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАДАЧ В КЛАСТЕРИЗИРОВАННОМ<br>ПОЛЕ ЦЕЛЕЙ ДЛЯ ГОМОГЕННЫХ И ГЕТЕРОГЕННЫХ<br>ГРУПП БПЛА   | 211 |
| <i>М.Ф. Степанов, А.М. Степанов, О.М. Степанова</i><br>АСПЕКТЫ САМООРГАНИЗАЦИИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ<br>СИСТЕМ ГРУППОВОГО УПРАВЛЕНИЯ  | 213 |
| <i>И.В. Степанян, М.А. Зидун, М.О. Савкин, Лю Дун</i><br>СИНТЕТИЧЕСКАЯ ПАРАДИГМА ГЛУБОКОГО<br>ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ СИСТЕМ АДАПТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ   | 216 |
| <i>А.В. Тимошенко, М.Е. Бояров, А.И. Назаров</i><br>АКТУАЛЬНОСТЬ ПОВЫШЕНИЯ АВТОНОМНОСТИ<br>РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ В ТАКТИЧЕСКОМ<br>ЗВЕНЕ И ОБЪЕДИНЕНИЕ ИХ В ОДНО ИНФОРМАЦИОННОЕ<br>ПРОСТРАНСТВО С ДРУГОЙ ТЕХНИКОЙ ВВСТ | 217 |
| <i>А.В. Тимошенко, М.Е. Бояров, А.И. Назаров</i><br>АКТУАЛЬНОСТЬ РАЗРАБОТКИ ПАТТЕРНОВ ПОВЕДЕНИЯ<br>РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ<br>ЗАДАЧ В ДИНАМИЧЕСКОЙ СРЕДЕ   | 220 |
| <i>М.Е. Бояров, Ю.М. Черновол, А.И. Назаров</i><br>МЕТОДОЛОГИЯ ФОРМАЛИЗАЦИИ ЗАДАЧ ПРИ РАЗРАБОТКИ<br>ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩЕЙ СИСТЕМЫ<br>РОБОТОТЕХНИЧЕСКИМИ КОМПЛЕКСАМИ<br>С ЭЛЕМЕНТАМИ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА            | 222 |

- В.В. Кореньков, А.Г. Решетников, С.В. Ульянов,  
П.В. Зрелов, Д.П. Зрелова*  
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЕ РОБОТИЗИРОВАННОЕ УПРАВЛЕНИЕ  
В ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ СИТУАЦИЯХ НА ОСНОВЕ  
КВАНТОВЫХ САМООРГАНИЗУЮЩИХСЯ КОНТРОЛЛЕРОВ 224
- В.Я. Вилисов*  
ОБ УСКОРЕНИИ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ МОДЕЛИ  
РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЗАДАНИЙ В ГРУППЕ АВТОНОМНЫХ  
МОБИЛЬНЫХ РОБОТОВ 226
- А.Д. Московский, М.А. Ровбо, П.С. Сорокоумов*  
ПРЕДСКАЗАНИЕ ОПАСНЫХ СИТУАЦИЙ ПО ДАННЫМ  
СТЕРЕОКАМЕРЫ ПРИ ДВИЖЕНИИ МОБИЛЬНОГО РОБОТА  
ПО СЛОЖНОМУ ЛАНДШАФТУ 228
- И.Л. Ермолов, С.П. Хрипунов*  
ВОЗМОЖНОСТИ СИНТЕЗА САМООБУЧАЮЩИХСЯ СИСТЕМ  
УПРАВЛЕНИЯ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ 230
- Д.А. Анохин, К.И. Кий*  
АНАЛИЗ НАМЕРЕНИЙ СОСЕДНИХ ВОДИТЕЛЕЙ  
НА ОСНОВЕ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ 233
- С.А. Матвеев, М.И. Надежин*  
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПОДХОДОВ К ДИАГНОСТИКЕ  
ИСПОЛНИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ  
СИСТЕМ МЕТОДАМИ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ 235
- В.И. Безбородов, С.Е. Симанов, Р.В. Мецержаков*  
ПОЛИГОН ДЛЯ РАЗВИТИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ  
СИСТЕМЫ ЗАЩИТЫ ОБЪЕКТОВ НЕФТЕГАЗОВОЙ  
ОТРАСЛИ, В ТОМ ЧИСЛЕ С ПРИМЕНЕНИЕМ РТК 236
- Д.С. Яговитов*  
ГЕНЕРАТИВНЫЙ ПОДХОД К МОДЕЛИРОВАНИЮ ИСКУССТВЕННЫХ  
НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ РЕШЕНИЯ  
ЗАДАЧИ ПРЕДСКАЗАНИЯ НАГРУЗКИ В СЕТЯХ  
СВЯЗИ ВОЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ 240
- А.Ю. Алейников, Д.И. Ушаков, С.А. Рачинский,  
О.Г. Худасова, Д.С. Агафонов, И.В. Швалев*  
БЕСПИЛОТНОЕ АВТОНОМНОЕ ЛЕТАТЕЛЬНОЕ СРЕДСТВО С  
ФУНКЦИЕЙ СКАНИРОВАНИЯ ЗАДАННОГО ПЕРИМЕТРА  
НА НАЛИЧИЕ ОБЪЕКТОВ С ТРЕБУЕМЫМИ СВОЙСТВАМИ,  
С СИСТЕМОЙ ВЫСОКОТОЧНОГО  
ГЕОПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ И КОМПОНЕНТАМИ  
ДОПОЛНЕННОЙ РЕАЛЬНОСТИ 242

*О.Г. Худасова, Ю.Г. Худасова, А.И. Тымкив,  
М.И. Нудель, А.А. Пахолук*  
АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА КОНТРОЛЯ  
И ПОДДЕРЖАНИЯ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ УМНОГО УЛЬЯ 243

*А.И. Калинин*  
ОБУЧЕНИЕ С ПОДКРЕПЛЕНИЕМ  
В МОБИЛЬНОЙ РОБОТОТЕХНИКЕ 245

*В.В. Варлашин*  
АЛГОРИТМ УСТРАНЕНИЯ ИСКАЖЕНИЙ  
НА ИЗОБРАЖЕНИЯХ, ПОЛУЧЕННЫХ С ВИДЕОКАМЕР  
СО СВЕРХШИРОКОУГОЛЬНЫМИ ОБЪЕКТИВАМИ 247

*И.А. Ляпцев, В.В. Варлашин, И.Б. Прямыцын*  
СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КЛАССА ДЕТАЛИ  
ПО ЕЕ ТРЕХМЕРНОЙ МОДЕЛИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ  
ИСКУССТВЕННОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ 250

*М.Г. Фиков, В.В. Варлашин*  
ПРЕДОТВРАЩЕНИЕ СТОЛКНОВЕНИЙ МАНИПУЛЯТОРОВ  
С ПОМОЩЬЮ ОГРАНИЧИВАЮЩИХ РАМОК В СРЕДЕ UNITY 253

*В.В. Варлашин, О.А. Шмаков*  
ПОДХОДЫ К ОРГАНИЗАЦИИ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ  
АКТИВНОГО ПРОМЫШЛЕННОГО ЭКЗОСКЕЛЕТА 255

*А.И. Жаринов, Д.П. Курганов, И.А. Потапов, М.А. Хоружко,  
В.Б. Казанцев, С.А. Лобов*  
НЕЙРОМОРФНЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ  
РОБОТА-РЫБЫ НА ОСНОВЕ ЦЕНТРАЛЬНЫХ  
ГЕНЕРАТОРОВ РИТМА 258

## **КРУГЛЫЙ СТОЛ «РОБОТИЗАЦИЯ АТОМНОЙ ОТРАСЛИ» 260**

---

*В.В. Тинин*  
РОБОТОТЕХНИКА, ПРИМЕНЯЕМАЯ НА МОДУЛЕ  
ФАБРИКАЦИИ И РЕФАБРИКАЦИИ ПЛОТНОГО СМЕШАННОГО  
УРАН-ПЛУТОНИЕВОГО ТОПЛИВА ОПЫТНО-  
ДЕМОНСТРАЦИОННОГО ЭНЕРГОКОМПЛЕКСА АО «СХК».  
ВЫВОД ИЗ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЯРОО КАК ДРАЙВЕР РЫНКА  
РОБОТОТЕХНИКИ В РОССИИ И В МИРЕ 260

- И.Ю. Далаев, В.М. Копылов, А.А. Трутс<sup>1</sup> Ю.П. Зайков,  
В.А. Ковров, А.С. Холкина*  
РОБОТИЗАЦИЯ ПИРОХИМИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ  
ПЕРЕРАБОТКИ ОЯТ 262
- В.А. Кожемякин, С.В. Прибылев, С.В. Литвинов*  
АППАРАТУРА РАДИАЦИОННОГО КОНТРОЛЯ  
ДЛЯ ДИСТАНЦИОННО УПРАВЛЯЕМОГО БЕСПИЛОТНОГО  
ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА «ЭЛЕКТРОН-7» 264
- А.Н. Новик, В.А. Кожемякин, Е.В. Быстров,  
П.В. Кучинский, Г.И. Хилько*  
СОВМЕЩЕННАЯ АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА  
РАДИАЦИОННО-МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО И ПОЖАРНОГО  
МОНИТОРИНГА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ 266
- И.Э. Новиков*  
УСОВЕРШЕНСТВОВАННЫЙ МЕТОД ОБНАРУЖЕНИЯ  
ЛОКАЛЬНЫХ ИСТОЧНИКОВ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ  
ПРИМЕНИМЫЙ ДЛЯ ПРЕДЕЛЬНЫХ ВЫСОТ  
СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ АВИАЦИОННОГО  
РАДИАЦИОННОГО КОНТРОЛЯ ПОВЕРХНОСТИ ЗЕМЛИ 268
- П.В. Семенихин, В.Е. Соловьев, И.Э. Новиков, М.В. Ремизов*  
ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ПОВЫШЕНИЯ СТОЙКОСТИ  
К НЕЙТРОННОМУ ИЗЛУЧЕНИЮ ГАММА-СПЕКТРОМЕТРОВ  
ВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ НА ОСНОВЕ КРИСТАЛЛОВ ОЧГ 270
- А.А. Волошкин, Л.А. Рыбак, Д.И. Малышев, В.В. Черкасов*  
РОБОТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА НА БАЗЕ ДЕЛЬТА  
МАНИПУЛЯТОРА ДЛЯ АЛИКВОТИРОВАНИЯ  
В ЗАКРЫТЫХ КАМЕРАХ И БОКСАХ 272
- А.Н. Бирюков, С.А. Вольнов, А.В. Жмакин,  
А.А. Подосинников, Н.М. Сидоров*  
ТЕХНОЛОГИЯ ДЕМОНТАЖА РЕАКТОРОВ РБМК-1000 274
- И.Ф. Гуцин, В.В. Приходько, В.В. Сапунов, Е.М. Чавкин,  
К.И. Ильин, В.В. Левцанов, А.Н. Лещинский, Д.О. Мусич,  
А.Н. Фомин, П.П. Хвостенко*  
РАЗРАБОТКА ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ  
РОБОТОТЕХНИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА  
ДЛЯ ОБСЛУЖИВАНИЯ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ ТОКАМАКОВ 276
- С.В. Кулешов, Б.В. Соколов, А.Н. Павлов, А.А. Зайцева,  
А.И. Савельев*  
КОНЦЕПТУАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ И ПРОЕКТ МЕТОДИК  
РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ СБОРА И ОБРАБОТКИ  
ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ НАЗЕМНЫХ НРТК 280

|  |            |
|--|------------|
| <i>В.В. Кондратьев, Б.В. Соколов</i><br>КОМБИНИРОВАННЫЙ ПОДХОД К ОПРЕДЕЛЕНИЮ<br>СОСТОЯНИЯ И МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ НАЗЕМНОГО<br>РОБОТОТЕХНИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА   | 282        |
| <i>И.Ю. Даляев, А.А. Трутс, А.Н. Белозуб, А.А. Жеребцов</i><br>ПРИМЕНЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ<br>СИСТЕМ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССА<br>СОРТИРОВКИ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ   | 284        |
| <i>И.В. Войнов, Б.А. Морозов, М.В. Носиков</i><br>МОБИЛЬНЫЙ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС МРК-65<br>ДЛЯ РАБОТ НА ОБЪЕКТАХ АТОМНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ  | 285        |
| <i>П.С. Григорьев, А.А. Трутс, П.А. Лошицкий,<br/>Е.А. Смирнов, Д.С. Костромин</i><br>О РЕЗУЛЬТАТАХ АПРОБИРОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ<br>РЕШЕНИЙ В ОБЛАСТИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ РАДИАЦИОННОЙ<br>СТОЙКОСТИ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ  | 288        |
| <b>КРУГЛЫЙ СТОЛ «МЕДИЦИНСКАЯ РОБОТОТЕХНИКА»</b>  | <b>291</b> |
| <i>Д.Б. Смирнов, А.А. Воротников, Ю.В. Подураев</i><br>ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ОТРАЖЕННОГО<br>ИЗЛУЧЕНИЯ ЛАЗЕРА ДЛЯ МЕДИЦИНСКОГО РОБОТА  | 291        |
| <i>Т.Р. Тагиров, Л.А. Камышиникова, О.Г. Худасова,<br/>Д.К. Колупаев, А. Мохсин</i><br>АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС<br>ДЛЯ РАЗРАБОТКИ КИСТИ РУКИ С БИОЛОГИЧЕСКОЙ<br>ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ  | 293        |
| <i>Е.С. Белицкий, М.А. Соловьёв, В.М. Ковальский,<br/>А.А. Воротников, А.Ю. Кордонский, А.А. Гринь, В.В. Крылов</i><br>КОНЦЕПЦИЯ МЕХАТРОННОГО УСТРОЙСТВА ЛИНЕЙНОГО<br>ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ<br>СЛОЖНОЙ ФОРМЫ С ВОЗМОЖНОСТЬЮ ИЗМЕРЕНИЯ СИЛЫ | 294        |
| <i>С.М. Берро, А.Н. Тимофеев</i><br>ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ МАНИПУЛИРОВАНИЯ<br>ПРОТЕЗАМИ РУК  | 296        |
| <i>В.О. Наумов, Е.А. Трофимов, О.А. Тельминов, Е.С. Горнев</i><br>ИССЛЕДОВАНИЕ РЕКУРРЕНТНЫХ НЕЙРОСЕТЕЙ<br>И АППАРАТНОЙ РЕАЛИЗАЦИИ ДЛЯ ОБРАБОТКИ<br>СИГНАЛОВ И УПРАВЛЕНИЯ ЭКЗОСКЕЛЕТОМ РУКИ   | 298        |

|   |            |
|---|------------|
| <i>Г.А. Карнуп, О.А. Тельминов, Е.С. Горнев</i><br>ИССЛЕДОВАНИЕ ВАРИАЦИОННОГО АВТОЭНКОДЕРА<br>ДЛЯ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ МЫШЦ И УПРАВЛЕНИЯ<br>ЭКЗОСКЕЛЕТОМ РУКИ                                 | 300        |
| <i>И.В. Самсонов</i><br>АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС РЕГИСТРАЦИИ<br>ПОКАЗАТЕЛЕЙ СОСТОЯНИЯ ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ПАССИВНОГО<br>ЭКЗОСКЕЛЕТА НИЖНИХ КОНЕЧНОСТЕЙ                                       | 302        |
| <i>Д. Диб, Р.Б. Гарсия, И.В. Меркурьев</i><br>РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ СТАБИЛИЗАЦИИ ВЕРТИКАЛЬНОГО<br>ПОЛОЖЕНИЯ АКТИВНОГО МЕДИЦИНСКОГО<br>ЭКЗОСКЕЛЕТА ЧЕЛОВЕКА                                     | 304        |
| <i>И.С. Барынкин, А.С. Смирнов</i><br>ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ НОВОЙ<br>КОНСТРУКЦИИ АКТИВНОГО ЭКЗОСКЕЛЕТА НИЖНИХ<br>КОНЕЧНОСТЕЙ  | 306        |
| <i>Д.Р. Хашев, Е.А. Лукьянов</i><br>РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА АНАЛИЗА<br>КУЛЬТИ ПАЦИЕНТА  | 308        |
| <i>А.В. Синегуб, А.В. Лопота</i><br>КИБЕРПРОТЕЗИРОВАНИЕ. ИНТЕГРАЦИЯ ПРОТЕЗА<br>В ТЕЛО ЧЕЛОВЕКА  | 310        |
| <i>А.И. Хадж, А.Ю. Алейников, Ю.С. Павлова,<br/>С.Д. Иванов, Х. Камаль</i><br>АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС<br>ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ЛОКТЕВОГО СУСТАВА<br>С ФУНКЦИЕЙ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗИ | 312        |
| <i>А.А. Зеленский, Т.Х. Абдуллин, Ю.В. Илюхин</i><br>СГЛАЖИВАНИЕ КУСОЧНО-ЛИНЕЙНОЙ ТРАЕКТОРИИ ПРИ<br>ПЯТИОСЕВОЙ НЕПРЕРЫВНОЙ КОНТУРНОЙ ОБРАБОТКЕ  | 314        |
| <b>КРУГЛЫЙ СТОЛ «КОСМИЧЕСКАЯ РОБОТОТЕХНИКА»</b>   | <b>319</b> |
| <i>Е.Б. Коротков, Н.С. Слободзян, Ю.А. Жуков,<br/>А.А. Киселев, В.Г. Порпылев</i><br>ТРАЕКТОРНОЕ УПРАВЛЕНИЕ МЕХАНИЗМОМ<br>ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ  | 319        |
| <i>А.С. Перхов, Р.С. Зверев, Т.О. Козлова, М.Л. Литвак</i><br>ЛУНА-27. ГРУНТОЗАБОРНОЕ УСТРОЙСТВО  | 321        |

- В.А. Яковлев, И.В. Докучаев, Р.С. Зверев,  
Т.О. Козлова, М.Л. Литвак*  
ЛУНА-25. ЛУННЫЙ МАНИПУЛЯТОРНЫЙ КОМПЛЕКС 323
- А.В. Леканов, В.Г. Порпылев, Р.А. Пряничников*  
ЗАДАЧИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ КИНЕМАТИЧЕСКИХ  
ПЕРЕДАЧ ДЛЯ КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ 326
- А.С. Дмитриев, А.А. Жуков, А.А. Никитин*  
ОБ ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИИ ШАГАЮЩЕГО  
КОСМИЧЕСКОГО МИКРОРОБОТА 328
- О.М. Капустина, А.И. Кобрин, К.А. Компанеец*  
МЕТОД КОНТРОЛЯ МАНИПУЛЯТИВНОСТИ РОБОТА 330
- А.И. Быков, А.В. Артемьев*  
РЕЗУЛЬТАТЫ АНАЛИЗА ЗАВИСИМОСТИ МОЩНОСТИ  
ПРИВОДА МОТОР-КОЛЕС ПЕРСПЕКТИВНЫХ  
ПЛАНЕТОХОДОВ ОТ НАГРУЗКИ НА КОЛЕСО 332
- Е.В. Власенков, Н.М. Хамидуллина*  
ОЦЕНКА РАДИАЦИОННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ДАТЧИКИ  
ЭФФЕКТА ХОЛЛА В ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯХ  
РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ ДЛЯ РАБОТЫ В СОСТАВЕ  
ЛУНОХОДОВ И НА ВНЕШНЕЙ ПОВЕРХНОСТИ  
ПЕРСПЕКТИВНОЙ РОССИЙСКОЙ ОРБИТАЛЬНОЙ  
СЛУЖЕБНОЙ СТАНЦИИ 333
- М.И. Калинов, В.А. Родионов*  
ВЛИЯНИЕ ПРЕЦЕССИИ УЗЛОВ ОРБИТ РАЗНОВЫСОТНЫХ  
КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ  
ПРИМЕНЕНИЯ КОСМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ  
НАБЛЮДЕНИЯ ЗА МОРСКИМИ ОБЪЕКТАМИ 335
- Ю.Ф. Голубев, В.М. Мирхайдаров, А.В. Яскевич*  
ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ВИЗУАЛИЗАЦИЯ СБОРОЧНЫХ  
ОПЕРАЦИЙ, ВЫПОЛНЯЕМЫХ МАНИПУЛЯТОРОМ ERA 337
- М.И. Маленков, В.А. Волов, А.Н. Богачёв, Н.К. Гусева,  
Е.А. Лазарев, Гао Хайбо, Дэн Цзунчуань*  
О КОНЦЕПЦИИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ МОБИЛЬНЫХ  
ПЛАТФОРМ МЕЖДУНАРОДНОЙ ЛУННОЙ  
НАУЧНОЙ СТАНЦИИ 339
- М.Е. Баркова, В.О. Кузнецова*  
К ВОПРОСУ О РОЛИ МАТЕРИАЛОВ КОСМИЧЕСКИХ  
ОБЪЕКТОВ И КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ В РАЗРАБОТКЕ  
РОБОТИЗИРОВАННОГО КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА  
ДЛЯ СБОРА КОСМИЧЕСКОГО МУСОРА 342

- А.В. Мандрик, А.А. Алисъвяк*  
ПРИКЛАДНОЕ ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ  
НАНОСПУТНИКОВ В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ 344
- А.В. Васильев, И.В. Шардыко, В.А. Гольдберг, В.М. Копылов*  
ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ МОДУЛЬНЫХ  
МАНИПУЛЯТОРОВ В КОСМИЧЕСКОЙ РОБОТОТЕХНИКЕ 345
- К.А. Волняков, В.М. Копылов, В.В. Титов*  
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАНИПУЛЯТОРА, ОЧУВСТВЛЕННОГО  
ПО УСИЛИЮ, ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫХ  
ОРГАНОВ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ  
КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ 348
- И.В. Шардыко, В.В. Титов, В.М. Копылов*  
СИСТЕМА ПОЗИЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ  
МАНИПУЛЯТОРОМ С УПРУГИМИ ШАРНИРАМИ  
ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО ТИПА 350
- К.Г. Райкунов*  
ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ АВТОМАТИЧЕСКИХ  
РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ НА НАЧАЛЬНОМ  
ЭТАПЕ РАЗВЁРТЫВАНИЯ АВТОМАТИЧЕСКОЙ  
НАУЧНОЙ СТАНЦИИ НА ПОВЕРХНОСТИ ЛУНЫ 353
- В.А. Дикарев, А.Ю. Кикина, Ю.С. Чеботарев,  
А.Н. Симбаев, Э.В. Никитов, Ю.С. Агаркова*  
РОБОТОТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ОПЕРАЦИОННОЙ  
ПОДДЕРЖКИ ВНЕКОРАБЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ  
КОСМОНАВТОВ: ВАРИАНТ, СПОСОБ  
СОГЛАСОВАННОСТИ, КОНТРОЛЬ ПРИМЕНЕНИЯ 354

**СЕКЦИЯ «НАЗЕМНАЯ РОБОТОТЕХНИКА»**

---

*А.Л. Коротков<sup>1,2</sup>, И.И. Саитов<sup>1,2</sup>, Н.О. Тапеха<sup>1,2</sup>,  
А.Н. Тимофеев<sup>1,2</sup>, О.А. Шмаков<sup>1,2</sup>*

**ПРОБЛЕМЫ РОБОТИЗАЦИИ ИССЛЕДОВАНИЯ  
И ОБЕЗВРЕЖИВАНИЯ ВЗРЫВНЫХ УСТРОЙСТВ**

*<sup>1</sup>ГНЦ РФ ЦНИИ РТК, Санкт-Петербург; <sup>2</sup>СПбПУ, Санкт-Петербург  
a.korotkov@rtc.ru, i.saitov@rtc.ru, n.tapexha@rtc.ru, timofeevan@inbox.ru,  
shmakov@rtc.ru*

*A.L. Korotkov<sup>1,2</sup>, I.I. Saitov<sup>1,2</sup>, N.O. Tapekha<sup>1,2</sup>,  
A.N. Timofeev<sup>1,2</sup>, O.A. Shmakov<sup>1,2</sup>*

**PROBLEMS OF ROBOTIZATION OF RESEARCH  
AND NEUTRALIZATION OF EXPLOSIVE DEVICES**

*<sup>1</sup>Russian State Scientific Center for Robotics and Technical Cybernetics,  
St. Petersburg; <sup>2</sup>SPBSTU, St. Petersburg,  
a.korotkov@rtc.ru, i.saitov@rtc.ru, n.tapexha@rtc.ru, timofeevan@inbox.ru,  
shmakov@rtc.ru*

В наши дни использование робототехнических средств при обезвреживании и исследовании взрывных устройств (ВУ) становится все более актуальной и востребованной задачей.

Наибольшее практическое распространение получили мобильные роботы (МР) для обезвреживания и разборки ВУ на месте их установки террористами. Для работы с ВУ они оснащаются манипуляторами достаточной грузоподъемности (10...20 кг) управляемыми операторами дистанционно.

В обзорной части работы, рассматриваются существующие роботизированные комплексы, предназначенные специально для взрывотехнических задач. В ходе их анализа выяснилось, что такого рода техника способна обнаружить, переместить или уничтожить ВУ простой геометрической формы, находящиеся на открытой местности. Однако такие МР не в состоянии выполнить более сложные операции обезвреживания и разборки ВУ на элементы, которые затем отправляются в специальные центры для исследования. Таким образом, при создании робототехнических средств, возможности которых достаточны для выполнения этих задач, выявлены следующие взаимосвязанные проблемы:

– непригодность манипуляторов и захватных устройств (ЗУ) для работы с различными непредсказуемыми ВУ в узких стесненных зонах;

- адаптация ЗУ к специфике физических свойств ВУ.

Зачастую ВУ имеют форму близкую к телам вращения и могут иметь замысловатые выступающие исполнительные механизмы. Также приходится манипулировать разнообразными эластичными и непрочными контейнерами или пакетами с жидкостями. Объекты манипулирования нередко связаны между собой электрическими проводами, скотчем или клеем, а также сцеплены выступающими элементами конструкции.

Теснота и труднодоступность зон проведения работ затрудняет захват и манипулирование ВУ. Разнообразные препятствия и предметы загромождают пространство для манипулирования и превращают его в ниши с узким извилистым входом и выходом с объектом манипулирования. Также не исключена вероятность, что продольные размеры ВУ окажутся больше размера сечения входа в нишу, в таком случае появится необходимость в дополнительной маневренности ЗУ при нахождении непосредственно в узкой зоне.

Решения проблем неприспособленности ВУ к захвату роботом и тесноты зоны проведения работ взаимосвязаны.

По возрастанию степени сложности в работе просматривается следующий ряд методов и средств адаптации к специфике ВУ таких сменных рабочих органов:

- упругие «адаптивные» пальцы или губки с «программируемой деформацией»;
- сменные ЗУ, использующие эффекты отверждаемых вакуумом эластичных оболочек с сыпучим наполнителем;
- особо компактные сменные ЗУ с качающимися многосуставными пальцами;
- сменные особо длинные губки («ЗУ-пинцет»);
- пальцы или губки, пластически деформируемые внешними средствами реконфигурации;
- пальцы на подтрюможенных кинематических парах, сдвигаемые и/или поворачиваемые внешними средствами реконфигурации.

Встречаются ситуации, когда ВУ находится в стесненной нише с узким входом, например, в сумке, пакете или транспортном контейнере. В этом случае все механизмы кисти и ЗУ целесообразно оставлять на свободе до входа в нишу, а удержание и манипулирование объектами выполнять длинными, порядка 100...300 мм, пальцами. Получается компоновка, которую для краткости условимся называть «ЗУ-пинцет».

В статье представлены варианты компоновки «ЗУ-пинцет» для работы в тесном пространстве, устанавливаемые на манипуляторе

ангулярного типа. В качестве альтернативного варианта реализации предлагаемого метода адаптации ЗУ к специфике ВУ представлена принципиальная схема системы реконфигурации ЗУ стационарными дистанционно управляемыми механизмами

Таким образом, манипулятор с дистанционным управлением получит возможность выполнять задачу обезвреживания и разборки непредсказуемого ВУ на месте его обнаружения.

Результаты были получены в рамках выполнения государственного задания Минобрнауки России FNRG-2022-0012 1021051302301-9-2.2.2 № 075-01623-22-01 «Разработка коллаборативного робота с ассистирующей двурукой антропоморфной манипуляционной системой для работы в пространствах малого объема».

*О.А. Козлов<sup>1</sup>, Д.О. Сущенко<sup>2</sup>*  
**ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ НАЗЕМНОЙ  
РОБОТОТЕХНИКИ В ИНТЕРЕСАХ РОСГВАРДИИ**

<sup>1</sup>*Управление артиллерийского вооружения и робототехники Федеральной службы войск национальной гвардии Российской Федерации, Москва;*

<sup>2</sup>*Главный центр научных исследований Федеральной службы войск национальной гвардии Российской Федерации, Москва  
dvrh@yandex.ru, orvb@list.ru*

*О.А. Kozlov<sup>1</sup>, D.O. Suschenko<sup>2</sup>*  
**PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF THE GROUND-  
BASED ROBOTICS IN THE INTERESTS OF THE NATIONAL  
GUARD OF THE RUSSIAN FEDERATION**

<sup>1</sup>*Department of Artillery Armament and Robotics of the Federal Service of the National Guard of the Russian Federation, Moscow;*

<sup>2</sup>*Main Center for Scientific Research of the Federal Service of the National Guard of the Russian Federation, Moscow  
dvrh@yandex.ru, orvb@list.ru*

Научно-технический прогресс, а также особая роль Росгвардии в области обеспечения общественной и государственной безопасности, предполагает необходимость поиска новых эффективных способов действий войск с применением перспективных образцов вооружения, военной и специальной техники. В свою очередь опыт вооруженных конфликтов и кризисных ситуаций последних десятилетий, взгляды военного руководства Российской Федерации на подготовку и ведение военных действий, анализ действий террори-

стических организаций свидетельствуют о возрастающей роли перспективных средств ведения вооруженной борьбы, борьбы с терроризмом, пресечения и ликвидации массовых беспорядков в том числе робототехнических комплексов (далее – РТК).

Значительное место в этом вопросе отводится РТК, применение которых потенциально позволит уменьшить или исключить потери личного состава в ходе выполнения поставленных задач; снизить степень его участия в наиболее опасных операциях; повысить боевые возможности подразделений войск без увеличения их численности.

В перспективе наземные РТК представляют интерес для войск в части решения следующих основных групп задач (рисунок 1):

- поражение противника, охрана и оборона объектов;
- ведение разведки и наблюдения, анализ обстановки;
- поиск и обнаружение взрывоопасных предметов, и выполнение взрывотехнических работ [1].



Рисунок 1 — Задачи, решаемые при помощи наземных РТК

Проведенный анализ выявленных недостатков позволил определить перспективные направления развития наземных РТК в интересах Росгвардии, основными из которых являются: создание малогабаритных и многофункциональных РТК; обеспечение модульности построения и реконфигурируемости; повышение интеллектуальной и ресурсной автономности; создание унифицированных базовых платформ для всех сред применения; создание гибридных силовых установок; создание модулей полезной нагрузки, повышающих возможности РТК; оснащение РТК средствами нелетального воздействия; роботизация экипажных, обитаемых и пилотируемых образцов ВВСТ; снижение доли применяемых иностранных комплекствующих; создание и совершенствование боевых (ударных) РТК; обеспечение конструктивной унификации РТК [2].

При этом основным аспектом разработки РТК в интересах Росгвардии является обязательный учет специфики решаемых войсками служебно-боевых задач, форм применения и способов их действий, а также опыта применения РТК другими ведомствами.

Таким образом, несмотря на отдельные трудности и финансовые ограничения, работа по оснащению войск перспективными образцами РТК, в наибольшей степени отвечающих требованиям войск, ведется структурными подразделениями Росгвардии с положительной динамикой. В ближайшей перспективе в войсках планируется осуществить поэтапный переход от создания отдельных образцов к оснащению серийными перспективными образцами РТК.

1. Козлов О.А., Поляков О.А. Состояние и перспективы развития беспилотных летательных аппаратов военного назначения в России и в зарубежных странах / О. А. Козлов // Академическая публицистика. – Уфа: № 5-2/2022, – С. 84-90.

2. Сущенко Д.О. Перспективные направления развития РТК войск национальной гвардии Российской Федерации [Текст]: информационно-аналитический обзор: НЦСИ Росгвардии. – М.: 2018.

*А.В. Кучеренко<sup>1</sup>, А.Л. Коротков<sup>2</sup>*

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЗАМКНУТОГО ОБЪЕМА  
КАНАЛА СВЯЗИ БОЛЬШОЙ ПРОТЯЖЕННОСТИ  
НА КАЧЕСТВО ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ ЦИФРОВЫМИ  
МОДЕМАМИ**

*<sup>1</sup>ООО «ПЛАЗ», Санкт-Петербург, a.kucherenko@plazlink.com;*

*<sup>2</sup>ГНЦ РФ ЦНИИ РТК, Санкт-Петербург, a.korotkov@rtc.ru*

*A.V. Kucherenko<sup>1</sup>, A.V. Korotkov<sup>2</sup>*

**INVESTIGATION OF THE EFFECT OF CLOSED VOLUME  
OF A LONG-DISTANCE COMMUNICATION CHANNEL  
ON THE QUALITY OF INFORMATION TRANSMISSION  
BY DIGITAL MODEMS**

*<sup>1</sup>«PLAZ», St. Petersburg, a.kucherenko@plazlink.com; <sup>2</sup>Russian State Scientific Center for Robotics and Technical Cybernetics, St. Petersburg, a.korotkov@rtc.ru*

Одним из перспективных направлений использования робототехнических комплексов (РТК) является исследование объектов, разме-

щенных внутри замкнутых объемов. Отдельно следует выделить замкнутые объемы большой протяженности (волновые каналы).

В указанных условиях управление роботом целесообразно реализовывать по радиоканалу с использованием цифровых модемов.

Разработчикам аппаратуры приходится сталкиваться с рядом проблем, обусловленных особенностями распространения электромагнитных волн в данных условиях.

Одной из нерешенных задач является учет влияния многолучевого распространения энергии в конкретных условиях на качество функционирования канала связи.

Имеющаяся в современных литературных источниках теоретическая база не позволяет в полной мере ответить на этот вопрос [1], [2].

Предлагаемые методы расчета адаптированы к условиям многолучевого распространения, вызванного отражениями от отдельных предметов.

Задачей настоящего исследования является сбор и обработка статистического материала для разработки прикладной методики расчета влияния волнового канала на характеристики системы управления роботом. В качестве критерия принята реализуемая скорость передачи информации.

Эксперименты проводились при размещении антенн модемов в газовой трубе диаметром 1,5 м на расстоянии 5000 м. Оценка работоспособности выполнена для рабочих частот 1190, 2334, 2586 МГц. Тип модуляции BPSK и QPSK.

Результаты испытаний приведены в таблице 1.

Таблица 1 — Результаты эксперимента по измерению скорости передачи информации РТК

| Модуляция | RSSI, дБм | FES FER | FES interation |
|-----------|-----------|---------|----------------|
| BPSK      | -25       | 0       | 1              |
| QPSK      | -25       | 1       | 20             |

Влияния несущей частоты на результаты испытаний не выявлены.

Выводы:

- установлена количественная зависимость скорости передачи информации от типа модуляции;
- обоснована необходимость увеличения полосы сигнала до 20 МГц, что позволит увеличить скорость обмена на 80%;
- подтверждена необходимость изменения величины циклического префикса для оптимизации функционирования канала связи.

Работа выполнена в рамках НИОКТР, выполняемых ЦНИИ РТК при реализации комплексного проекта по созданию высокотехнологичного производства «Разработка роботизированного диагностического комплекса для внутритрубного контроля трубопроводов» при финансовой поддержке Министерством науки и высшего образования Российской Федерации; соглашение о предоставлении субсидии № 075-11-2022-035.

1. А.И. Семенова Разработка метода оценки эффективности приема многочастотных сигналов в условиях многолучевого распространения. СПБНТОРЭС: Труды ежегодной НТК, №1, 2020.

2. Перов А.И Статистическая теория радиотехнических систем. М.: Радиотехника, 2003.400 с.

*С.М. Соколов*

**АНАЛИЗ СЦЕНЫ В СОСТАВЕ АЛГОРИТМИЧЕСКОГО  
ОБЕСПЕЧЕНИЯ СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ  
АВТОНОМНЫХ НАЗЕМНЫХ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ  
КОМПЛЕКСОВ**

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

*S.M. Sokolov*

**SCENE ANALYSIS AS PART OF THE ALGORITHMIC  
SUPPORT OF THE VISION SYSTEM OF AUTONOMOUS  
GROUND-BASED ROBOTIC COMPLEXES**

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

Признанной тенденцией и, даже требованием современной мобильной робототехники является переход к автономным робототехническим комплексам (РТК). Чем большую степень автономности в различных условиях функционирования мы хотим передать РТК, тем более разнообразные знания и способы получения данных об условиях функционирования должны быть представлены и реализованы в бортовой информационно-управляющей системе. На этом пути использование супервизорного управления с передачей всё большего числа функций бортовой информационно-управляющей системе является текущей задачей. Эта задача, в свою очередь, распадается на ряд подзадач, одной из ключевых среди которых, является обеспечение ситуационной осведомлённости. В ситуационной

осведомлённости, помимо эффективного представления априорных знаний и моделей окружающего мира требуется система верификации этих моделей. Такую задачу призваны решать системы информационного обеспечения, среди которых центральное место занимают системы технического зрения. Зрительные данные во всех диапазонах лучистой энергии, с одной стороны предоставляют большое количество информации об объектах окружающего мира, но, с другой, для получения этой информации требуются интеллектуальные алгоритмы обработки и высокопроизводительные вычислительные средства. Разработке алгоритмов анализа сцены в составе алгоритмического обеспечения бортовых СТЗ с целью информационного обеспечения целенаправленных перемещений автономных наземных РТК посвящена настоящая работа.

Анализ сцен имеет долгую историю, практически совпадающую с историей компьютерного зрения. Если первые исследования в этой области рассматривали модельные сцены и акцентировали логический уровень рассмотрения [1, 2], то в настоящее время на первый план выходит анализ естественных сцен с целью извлечения информации, необходимой, в частности для систем управления автономных робототехнических комплексов [3, 4].

В нашей группе исследуется применение анализа сцен для повышения эффективности решения таких задач бортовой СТЗ как определение общих условий движения РТК (какая среда: урбанистическая, естественная, смешанная); погодные условия; время суток; автоматический поиск/выделение ориентиров в окружающем пространстве; определение полосы движения транспортного средства. Исследуются алгоритмы различной природы: традиционные (с пошаговым объяснением типа обработки и её результатов), нейросетевые.

Сам анализ сцены состоит из нескольких подзадач. Первой из этих подзадач является сегментация изображения сцены на однородные области. Совместно с априорной информацией о возможных объектах интереса в поле зрения результаты сегментации позволяют более точно и надёжно исследовать объекты интереса, сосредотачивая внимание на тех областях, в которых могут содержаться дополнительные характеристики этих объектов. Приводятся результаты экспериментов по обработке зрительных данных, полученных с различных полей зрения в процессе движения транспортного средства. Дается сравнительный анализ применения различных алгоритмов и ряд рекомендаций к их использованию в зависи-

мости от решаемой задачи и доступных сенсорных и вычислительных средств.

1. Minsky M., Papert S. Perceptrons. - Cambridge, Mass.: MIT Press, 1969. [Русский перевод: Минский М., Пейперт С. Перцептроны. - М.: Мир, 1971.].

2. Дуда, Р. Распознавание образов и анализ сцен / Р. Дуда, П. Харт. – М.: Мир, 1976.

3. Razavian A. S., Azizpour H., Sullivan J., and Carlsson S., “Cnn features off-the-shelf: an astounding baseline for recognition,” CVPR workshop, 2014.

4. Liang-Chieh Chen, Yukun Zhu, Papandreou G., Schroff Florian, Hartwig Adam. Encoder-Decoder with Atrous Separable Convolution for Semantic Image Segmentation, ECCV, 2018, Corpus ID: 3638670.

***В.Ф. Филаретов<sup>1,2</sup>, А.А. Кацурин<sup>2,3</sup>***

**СИСТЕМА СОГЛАСОВАННОЙ ПОЛУАВТОМАТИЧЕСКОЙ РАБОТЫ ДВУХ МОБИЛЬНЫХ РОБОТОВ**

<sup>1</sup>*Институт автоматизации и процессов управления ДВО РАН, Владивосток;*

<sup>2</sup>*Дальневосточный федеральный университет, Владивосток;* <sup>3</sup>*Институт проблем морских технологий ДВО РАН, Владивосток*  
*filaretov@inbox.ru, katsurin@mail.ru*

***V.F. Filaretov<sup>1,2</sup>, A.A. Katsurin<sup>2,3</sup>***

**THE SYSTEM OF COORDINATED SEMI-AUTOMATIC WORK OF TWO MOBILE ROBOTS**

<sup>1</sup>*Institute of Automation and Control Processes FEB RAS, Vladivostok;* <sup>2</sup>*Far Eastern Federal University, Vladivostok,* <sup>3</sup>*Institute of Marine Technology Problems FEB RAS, Vladivostok*

*filaretov@inbox.ru, katsurin@mail.ru*

Создание эффективных мобильных робототехнических комплексов, предназначенных для проведения работ в труднодоступных условиях остается актуальной задачей современной робототехники. При этом обычно применяется полуавтоматическое управление, когда человек-оператор обеспечивает перемещение рабочего органа (РО) многостепенного манипулятора (ММ) с помощью за-

дающего устройства (ЗУ), ориентируясь только по изображению рабочего пространства на экране телемонитора.

В работе решается задача создания системы полуавтоматического управления ММ, установленным на основном мобильном роботе (МР), с помощью специального ЗУ. При этом используемая система позволяет оператору работать даже с объектами, находящимися вне зоны видимости системы технического зрения (СТЗ) основного МР, за счет формирования изображения рабочего пространства на телемониторе оператора с помощью СТЗ, устанавливаемой на вспомогательном - более маневренном МР.

Общий вид системы показан на рисунке 1. В процессе работы основного МР 1, оснащенного ММ 2 с РО 3 и СТЗ 4, могут возникнуть ситуации, когда СТЗ 4 не позволит видеть объект работ 5. В этом случае для наблюдения за объектом 5 может быть использован вспомогательный, более маневренный и, возможно, меньший по габаритам второй МР 6, оснащенный СТЗ 7. Этот малый МР может подходить к объекту 5 с удобного ракурса так, чтобы оператор на экране монитора 8 одновременно видел этот объект и РО 3 манипулятора 2.

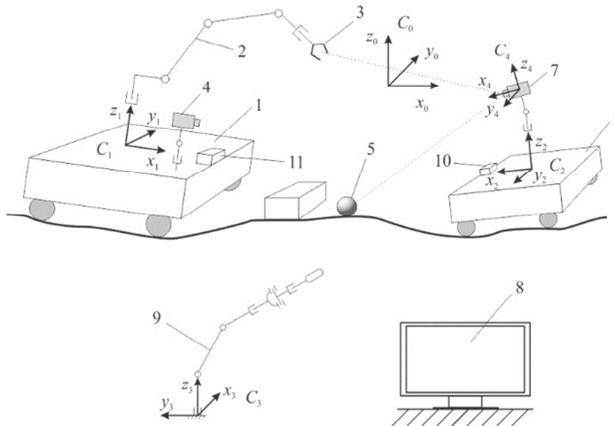


Рисунок 1 — Система согласованного полуавтоматического управления мобильными роботами

Предлагаемая система управления ММ может работать в двух чередующихся режимах [1, 2]: стабилизации (вспомогательном) и слежения (рабочем). В режиме стабилизации ММ неподвижно фиксируется в пространстве, а оператор имеет возможность изменять конфигурацию ЗУ 9 и ориентацию СТЗ 7. В режиме слежения ис-

полняются любые движения, определяемые ЗУ, и поддерживается взаимная ориентация рукоятки ЗУ и изображения РО ММ на экране телемонитора 8 при любой ориентации СТЗ 7.

В работе предложена система полуавтоматического управления ММ, установленным на одном из МР робототехнического комплекса, включающего два МР. Она позволяет улучшить эксплуатационные характеристики этого комплекса, обеспечивая непрерывное получение визуальной информации об объекте работ с нескольких ракурсов, даже когда этот объект не виден СТЗ основного МР, а наблюдается СТЗ вспомогательного МР.

Работа выполнялась при финансовой поддержке РНФ (грант РНФ 22-29-01156).

1. Филаретов В. Ф., Кацурин А. А. Метод полуавтоматического позиционного управления манипулятором с помощью телекамеры, изменяющей пространственную ориентацию своей оптической оси // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2008. – № 9. – С. 15-22.

2. Филаретов В. Ф., Кацурин А. А. Система телеуправления многозвенным манипулятором, установленным на мобильном роботе // Информационно-измерительные и управляющие системы. – 2018. – № 12. – С. 40-48.

***В.П. Носков, И.О. Киселев, А.Н. Курьянов***  
**ВИДЕО-ДАЛЬНОМЕТРИЧЕСКИЕ ДЕСКРИПТОРЫ**  
**ПЛОСКИХ ТЕКСТУР В НАВИГАЦИИ РОБОТОВ**

*МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, noskov\_mstu@mail.ru*

***V.P. Noskov, I.O. Kiselev, A.N. Kuryanov***  
**RGB-D DESCRIPTORS OF FLAT TEXTURES**  
**FOR ROBOTS NAVIGATION**

*Bauman Moscow State Technical University, Moscow, noskov\_mstu@mail.ru*

Рассмотрена актуальная задача определения текущего положения мобильного робота (беспилотного летательного аппарата) по видео-дальнометрическим изображениям (объемным раскрашенным облакам точек), формируемым бортовой комплексированной системой технического зрения, построенной на базе лидара и цветной видеокамеры, при движении (полете) в урбанизированной сре-

де, содержащей плоские объекты (стены, потолки, тротуары, дороги,...) [1-3]. Предложен алгоритм видео-навигации, основанный на использовании плоских комплексированных (видеодальнометрических) дескрипторов, выделяемых на плоских текстурированных объектах внешней среды, для описания которых используются яркостные и геометрические параметры. Сформулированы правила формирования плоского комплексированного дескриптора, обеспечивающие выделение с помощью оператора Собеля особой (центральной) точки дескриптора и вычисление яркостных и геометрических параметров в ее плоской локальной области. Дополнение яркостных параметров плоского дескриптора, формируемых видеокамерой, геометрическими параметрами, формируемых дальнометрическим сенсором, снимает проблему инвариантности дескриптора к масштабу и тем самым существенно снижает трудоемкость вычислений при его выделении [4]. Сформулированы правила нахождения соответствующих друг другу дескрипторов на выделяемых в процессе движения плоских текстурированных объектах, основанные на вычислении разности яркостных и геометрических параметров сравниваемых дескрипторов. Выполнена оценка ошибки решения навигационной задачи с использованием плоских комплексированных дескрипторов в зависимости от ошибки сенсоров системы технического зрения и геометрических размеров дескриптора. За счет построения гистограмм решения навигационной задачи по каждой координате объекта управления для всех пар соответствующих друг другу дескрипторов достигнута статистически устойчивая высокая достоверность решения полной навигационной задачи. Точность решения навигационной задачи получилась не хуже точности СТЗ. Использование плоских комплексированных дескрипторов позволило при сравнительно малом объеме вычислений с приемлемой точностью и быстродействием решить полную навигационную задачу на бортовых вычислителях в темпе движения (полета) объекта управления. Эффективность предложенных алгоритмических и разработанных программно-аппаратных средств подтверждена натурными экспериментами, проведенными в реальных условиях урбанизированной среды. На рис. 1а показаны особые точки на текстурированном плоском объекте, на рис. 1б и 1в показан один и тот же дескриптор, найденный на соответствующих друг другу текстурированных плоских объектах, выделенных из двух комплексированных изображений, полученных при разных положениях СТЗ (робота).

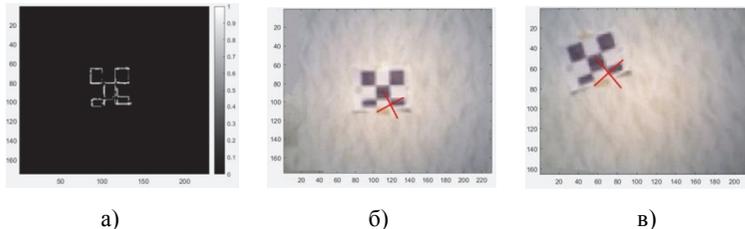


Рисунок 1 — Особые точки и комплексированный дескриптор на плоских текстурированных объектах

На рисунке 2а приведено исходное видео-дальнометрическое изображение помещения, а на рис. 1б результат решения SLAM-задачи с использованием комплексированных плоских дескрипторов, найденных в текстурированных плоских объектах, выделяемых в последовательности комплексированных изображений, формируемых бортовой СТЗ в процессе движения (полета) объекта управления.

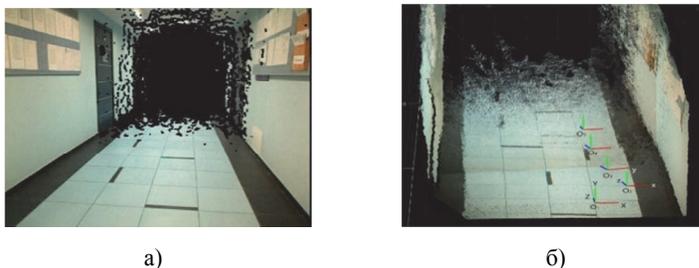


Рисунок 2 — Решение SLAM-задачи с использованием комплексированных плоских дескрипторов

Использование плоских комплексированных дескрипторов позволило свести трудоемкую трехмерную задачу оптимизации совмещения текстур плоских текстурированных объектов [3] к простому совмещению соответствующих друг другу дескрипторов[4].

1. Носков В.П., Киселев И.О. Трехмерный вариант метода Хафа в реконструкции внешней среды и навигации. // М.: «Новые технологии», «Мехатроника, автоматизация, управление» №8, 2018. с. 552-560.

2. Носков В.П., Киселев И.О. Выделение плоских объектов в линейно структурированных 3D-изображениях. // С-Петербург: Робототехника и техническая кибернетика №2(19), 2018. С. 31-38.

3. Носков В.П., Киселев И.О. Использование текстуры линейных объектов для построения модели внешней среды и навигации // М.: «Новые технологии», Мехатроника, автоматизация, управление. 2019. №8, т. 20. С. 490-497.

4. Носков В.П., Курьянов А.Н. Использование комплексированных дескрипторов в решении SLAM-задачи. // Таганрог, Известия ЮФУ. Технические науки. №1, С. 268-278.

*Ф.М. Бельченко, И.Л. Ермолов*

**ВНЕДРЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ  
ПЕРСПЕКТИВЫ НА ВИДЕОИЗОБРАЖЕНИЯХ  
ВО ВСТРАИВАЕМЫХ СИСТЕМАХ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ  
КОМПЛЕКСОВ**

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

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

**IMPLEMENTATION OF PERSPECTIVE CONVERSION  
TECHNOLOGY ON VIDEO IMAGES IN EMBEDDED SYSTEMS  
ROBOTIC COMPLEXES**

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

В работе исследуются возможности системы телеметрии, вносящей целевые искажения в передаваемое видеоизображение, при функционировании во встраиваемых системах. Исследована работа Б.В. Раушенбаха по работе камер космических спутников [1].

Предложен ряд решений по совершенствованию систем телеметрии РТК [2]. В качестве целевой платформы для испытаний предложено использовать NVIDIA Jetson Nano (рис.1). Данная платформа имеет возможность запуска полноценной операционной системы и удовлетворяет всем требованиям по производительности аппаратных ресурсов.

Для разработки программы использовалась библиотека OpenCV для работы с системами технического зрения. Для преобразований перспективы внутри библиотеки используется матрица, позволяющая осуществлять повороты, переносы и масштабирование различных планов изображения. Далее было реализовано внесение целевых искажений, позволившее решить ряд проблем на изображениях, таких

как: дисторсия (рис. 2), изменение отображения различных планов на видео, виртуальный поворот плоскости [3, 4].

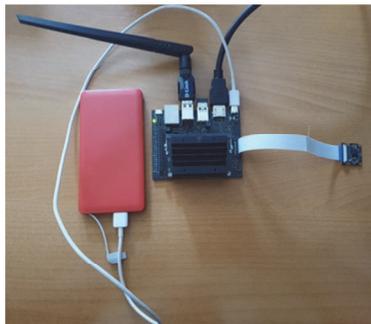


Рисунок 1 — Прототип системы телеметрии на базе NVIDIA Jetson Nano



Рисунок 2 — Исправление проблемы дисторсии при внесении целевого искажения перспективы

В настоящее время проводятся испытания по разрабатываемому проекту. Совместно с технологией преобразования перспективы внедряется ряд технологий сегментации изображений, для оценки эффективности технологии при возможном внедрении в системах технического зрения.

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.

3. Бельченко Ф.М., Ермолов И.Л. Внесение целевых ситуационных искажений в системах телеметрии// Материалы XIV Всероссийской мультikonференции по проблемам управления. — Ростов-на-Дону: Таганрог, 2021. – с.119-121.

4. Бельченко Ф.М., Ермолов И.Л. Новый подход к преобразованию перспективы изображений в системах телеметрии роботов. Мехатроника, автоматизация, управление. 2021;22(12):644-649. <https://doi.org/10.17587/mau.22.644-649>.

*А.М. Бойко<sup>1</sup>, А.А. Будза<sup>2</sup>, А.Г. Кваско<sup>3</sup>, П.В. Костырин<sup>2</sup>,  
К.А. Максимов<sup>2</sup>, Д.В. Ткаченко<sup>2</sup>, П.Ю. Шамрай<sup>2</sup>*  
**ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНАЯ ОПТОЭЛЕКТРОННАЯ  
СИСТЕМА ОТСЛЕЖИВАНИЯ ПОЛОЖЕНИЯ  
БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ (БЛА)**

<sup>1</sup>ФТИ им А.Ф. Иоффе, Санкт-Петербург, [boiko@theory.ioffe.ru](mailto:boiko@theory.ioffe.ru);  
<sup>2</sup>НИИЦ «ВНИИЖТ», Санкт-Петербург; <sup>3</sup>ЦЗИ ООО «Конфидент»,  
Санкт-Петербург

*A.M. Boiko<sup>1</sup>, A.A. Budza, A.G. Kvasko, P.V. Kostyrin,  
K.A. Maksimov, D.V. Tkachenko, P.Yu. Shamray*  
**HIGH-PERFORMANCE OPTOELECTRONIC TRACKING  
SYSTEM FOR AERIAL ROBOTICS (UAV's)**

<sup>1</sup>Ioffe Institute, St. Petersburg, [boiko@theory.ioffe.ru](mailto:boiko@theory.ioffe.ru); <sup>2</sup>JSC Railway Research  
Institute (VNIIZHT), St. Petersburg; <sup>3</sup>Information security center «Confident»,  
St. Petersburg

Современные исследования в области теории управления в применении к беспилотным летательным аппаратам (БЛА), требуют современной лабораторной приборной базы. Самым простым, и доступным способом измерить положение и координаты БЛА во время исследований являются системы ГНСС, которые обеспечивают точность позиционирования в единицы сантиметров и определение скорости с точностью единиц сантиметров в секунду (при наличии системы коррекции). Но такие исследования можно производить только на открытом воздухе, что требует обеспечения работы весьма затратной полевой лаборатории с одной стороны, с другой - требует разрешения на полёты в воздушном пространстве для беспилотников, которые еще не имеют никакого юридического статуса. Если мы хотим проводить исследования под крышей в бо-

лее комфортных условиях, не нарушая правила использования воздушного пространства, то там становятся недоступны данные ГНСС. Следовательно, приходится использовать системы, работающие по камерам, по ультразвуку, по радио. Каждая из таких систем имеет существенные для пользователя недостатки – начиная от цены в десятки и сотни раз превосходящей цену исследуемых БЛА и заканчивая невозможностью напрямую измерить линейную скорость без применения дополнительных измерительных систем и алгоритмов.

В нашей работе показано, как можно создать оптоэлектронную систему, обладающую необходимой производительностью (более 25000 «сырых» измерений в секунду), которой не требуется никаких дополнительных инерциальных модулей и радиосвязи, для одновременного определения положения и скорости БЛА в пределах действия локального навигационного поля [1-3].

Ключевая идея состоит в том, чтобы использовать классический принцип измерения угла направления на объект, используемый в моноимпульсной радиолокации [4]. А поскольку для радиодиапазона характерны крупногабаритные антенны, то мы их заменили на малогабаритные светодиодные маяки и фотоприёмники. Это позволило уменьшить габариты и стоимость модулей измерительной системы до габаритов и стоимости, приемлемых в лабораторном использовании.

Полученная точность измерений содержит ошибку ( $3\sigma$ ) не более 0.1 градуса, что соответствует линейному отклонению 3 мм на дистанции 2 метра от маяка. А ошибка определения скорости не превосходит 2см/сек на том же расстоянии. Следовательно, такая система позволяет имитировать показания ГНСС в лабораторном помещении, не внося дополнительных изменений ни в логику работу, ни в конструкцию.

1. «Разработка элементов системы оптического инструментального захода на посадку беспилотного летательного аппарата», А.А. Будза, дипломная работа, СПбПУ, 2016.

2. «Разработка автономного аппаратного комплекса высокоточного измерения продольной скорости на основе фазового метода», П.В. Костырин, магистерская диссертация, СПбПУ, 2017.

3. «Разработка устройства приёма и обработки сигналов оптической системы инструментального захода на посадку бесплотного летательного аппарата», А.А. Будза, выпускная квалификационная работа магистра, СПбПУ, 2016.

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

*В.П. Андреев*

**ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ РАБОТЫ КИНО- И ТЕЛЕЖУРНАЛИСТОВ СРЕДСТВАМИ ЭКСТРЕМАЛЬНОЙ РОБОТОТЕХНИКИ**

*Московский государственный технологический университет «СТАНКИН»,  
Москва, andreevvipa@yandex.ru*

*V.P. Andreev*

**SAFETY OF THE WORK OF FILM- AND TV- JOURNALISTS BY MEANS OF EXTREME ROBOTICS**

*Moscow State University of Technology «STANKIN», Moscow,  
andreevvipa@yandex.ru*

В настоящее время безопасность кино- и телеоператоров, работающих в «горячих» точках, обеспечивается индивидуальными средствами защиты – касками и бронежилетами. Эти средства не позволяют защититься от снайперского огня и миномётных снарядов. В силу своей профессии военные журналисты и операторы работают в той же зоне, где и солдаты, подвергаются тем же рискам, что и бойцы.

Целью роботизации вооружённых сил РФ является освоение безлюдных технологий, обеспечивающих полное или частичное исключение личного состава при решении боевых задач. Необходимо данную цель распространить и на военных журналистов и операторов и создать специальные робототехнические комплексы (РТК) для журналистов, освещающих боевые действия. Для этого предлагается использовать современные средства экстремальной робототехники – дистанционно управляемые мобильные РТК, оснащённые стереоскопическими системами технического зрения (СТЗ) и соответствующими средствами кино-телесъёмки.

Примерами таких экстремальных роботов могут служить РТК с дистанционным управлением (рис. 1), разработанные в Центральном научно-исследовательском и опытно-конструкторском институте робототехники и технической кибернетики» (ЦНИИ РТК).

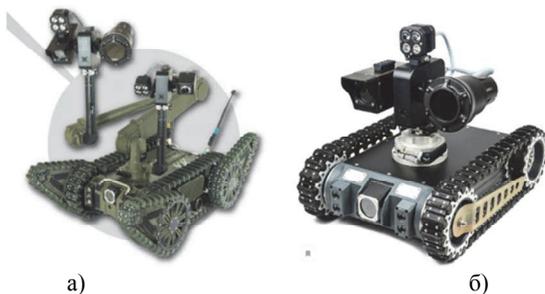


Рисунок 1 — Мобильные роботы «КАПИТАН» (а) и «КУРСАНТ» (б)

Дистанционное управление мобильными роботами (МР) по радиоканалу уже не является большой проблемой. Однако такой коммуникационный канал, как правило, не предназначен для передачи по радиоканалу многопоточкового видео. Оснащение роботов стереоскопической СТЗ и специальной операторской телекамерой требует более широкополосного коммуникационного канала, поскольку необходимо передавать несколько видеопотоков одновременно. Кроме того, операторская телекамера может работать в формате высокого разрешения, что существенно повышает объём передаваемой информации в единицу времени.

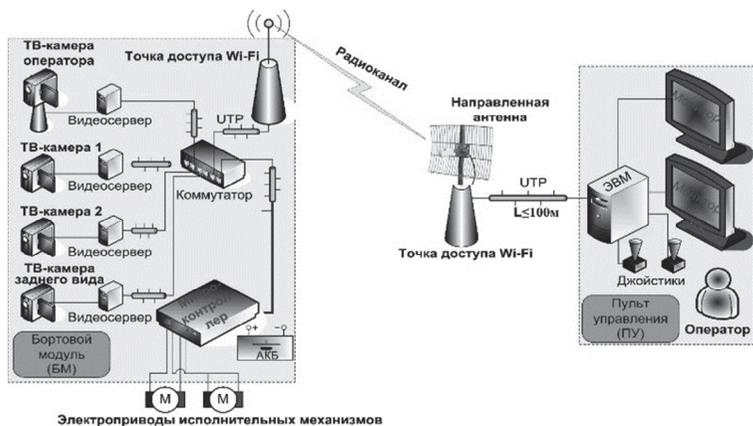


Рисунок 2 — Структурная схема СТЗ для кино- и тележурналиста

Решение данной проблемы предложено в [1]. Разработанная и изготовленная СТЗ была предназначена для получения и беспроводной передачи видеoinформации на пульт управления (ПУ) оператора од-

новременно с шести телекамер, установленных на РТК BROKK-110D и BROKK-330 (Швеция). Аналогичное упрощённое решение СТЗ для РТК можно предложить для кино- и тележурналистов (рис. 2).

В СТЗ можно использовать стандартные аналоговые телекамеры, видеосигнал которых с помощью видеосервера преобразуется в цифровую форму и выполняется сжатие видеопотока. Все электронные элементы СТЗ объединены в локальную вычислительную сеть. Коммуникационный канал между бортовыми системами робота и ПУ оператора формируется на основе беспроводного сетевого соединения Wi-Fi. Использование стека протоколов TCP/IP стандарта Ethernet и разработанное ПО обеспечивают надёжную высокоскоростную (30 к/сек) передачу всех видеопотоков одновременно по радиоканалу в зоне прямой видимости на расстояние не менее 200 метров.

1. Система технического зрения для супервизорного управления роботизированных средств, построенная с использованием беспроводной технологии Wi-Fi / Андреев В.П., Кирсанов К.Б., и др. // Материалы XX Международной научно-технической конференции: Экстремальная робототехника (ЭР-2009). – Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2009. – С.364-368.

***А.И. Федотов, Д.А. Антонов, И.В. Боговина***  
**СИСТЕМА ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ (ОБНАРУЖЕНИЯ  
ВОЗГОРАНИЯ), НАВИГАЦИИ, СТЫКОВКИ И СВЯЗИ В  
ПРОТИВОПОЖАРНОМ КОМПЛЕКСЕ НА ОСНОВЕ  
МОБИЛЬНОГО ПОЖАРНОГО РОБОТА**

*ООО «Автоматические Системы Спасения», Санкт-Петербург,  
fedotov@acc-project.ru, antonov@acc-project.ru, bogovina@acc-project.ru*

***A.I. Fedotov, D.A. Antonov, I.V. Bogovina***  
**THE SYSTEM OF TECHNICAL VISION (FIRE DETECTION),  
NAVIGATION, DOCKING AND COMMUNICATION IN A FIRE-  
FIGHTING COMPLEX BASED ON A MOBILE FIRE ROBOT**

*Automatic Rescue Systems Ltd, St. Petersburg, fedotov@acc-project.ru,  
antonov@acc-project.ru, bogovina@acc-project.ru*

В настоящее время стоит вопрос о защите крупных зданий и сооружений от пожара.

Для таких объектов компания АСС разрабатывает противопожарный комплекс на основе мобильных роботов. Он устанавливается на объекте на стадии строительства или модернизации, и предназначен для борьбы с пожарами на ранней стадии.

Наша система представляет собой (см. рис. 1) мобильный робот, который движется по направляющим (до 400 м), распложенным под потолком. Он выезжает к месту пожара, находит его, подключается к магистрали (при помощи разработанного узла стыковки) с водой или пеной и производит направленное на пожар тушение.

Для данного комплекса нами разработаны:

– Система обнаружения пожара на основе ИК извещателя. Она устанавливается на роботе и позволяет направлять струю огнетушащего вещества точно на пожар. В настоящее время практическая дальность такой системы до 50 м. В настоящее время ведутся работы по увеличению дальности обнаружения пожара до 75-100 м с точностью  $\pm 0,5$  м, а так же автоматического определения расстояния до пожара (сейчас система только направляет струю).



Рисунок 1 — Общий вид противопожарного комплекса на основе мобильных роботов АСС

– Разработана система навигации робота. Так как робот движется по направляющей, то он ориентируется при помощи меток на ней. В настоящее время для этого используются индуктивный бесконтактный датчик на роботе и металлические пластины на направляющих. В настоящее время ведутся работы по разработки адресных меток, которые робот может считывать на скорости до 8 м/с.

– Разработана автоматическая система стыковки с трубопроводом для подачи тушащей жидкости под давлением 6 атм. Так же данный узел позволяет подводить питание для робота при тушении, что позволяет ему работать без ограничения по емкости аккумуляторов.

– Разрабатывается комплексная система связи и передачи информации (в том числе видео), так как использование Wi-Fi на расстоянии 400 м в производственных помещениях (в т.ч. при пожаре) затруднено помехами. Комплексная связь основана на использовании радиосвязи мегагерцового диапазона для передачи команд и передача информации по проводной связи в месте стыковки с трубопроводом.

*О.Н. Галактионов<sup>1</sup>, М. Томских<sup>2</sup>, С.А. Завьялов<sup>1</sup>,  
Г.Э. Рего<sup>1</sup>, Д.Ж. Корзун<sup>1</sup>*

**О КОНСТРУКЦИИ КОЛЕСНОГО ШАССИ И СЕНСОРНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ АВТОНОМНОГО ДВИЖЕНИЯ ПО ТРУДНОПРОХОДИМОЙ МЕСТНОСТИ С ПРЕОДОЛЕНИЕМ И ОБХОДОМ ПРЕПЯТСТВИЙ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ЛЕСОХОЗЯЙСТВЕННЫХ РАБОТ**

<sup>1</sup>ПенпГУ, г. Петрозаводск, [ong66@mail.ru](mailto:ong66@mail.ru), [sza123@list.ru](mailto:sza123@list.ru), [regogr@yandex.ru](mailto:regogr@yandex.ru), [dkorzun@cs.karelia.ru](mailto:dkorzun@cs.karelia.ru); <sup>2</sup>ДРОНЦХАБ, Москва, [info@droneshub.ru](mailto:info@droneshub.ru)

*O.N. Galaktionov<sup>1</sup>, M. Tomskih<sup>2</sup>, S.A. Zavyalov<sup>1</sup>,  
G.E. Rego<sup>1</sup>, D.Zh. Korzun<sup>1</sup>*

**ON THE DESIGN OF WHEELED CHASSIS AND SENSING SYSTEM FOR AUTONOMOUS MOVEMENT ON DIFFICULT TERRAIN WITH OVERCOMING AND BYPASSING OBSTACLES WHEN PERFORMING FORESTRY WORK**

<sup>1</sup>PetrSU, Petrozavodsk, [ong66@mail.ru](mailto:ong66@mail.ru), [sza123@list.ru](mailto:sza123@list.ru), [regogr@yandex.ru](mailto:regogr@yandex.ru), [dkorzun@cs.karelia.ru](mailto:dkorzun@cs.karelia.ru); <sup>2</sup>DRONESHUB, Moscow, [info@droneshub.ru](mailto:info@droneshub.ru)

В лесном комплексе РФ сложилась критическая ситуация в части воспроизводства и организации уходов за лесом, обусловленная снижением численности работников, привлекаемых на сезонные работы. Одним из путей решения может стать внедрение в лесохозяйственное производство роботизированной техники [1]. Рассмотрим работы, связанные с лесопосадками и уходом за лесом на ранних возрастах [2]. Основное требование на движение техники - способность

автономно передвигаться по труднопроходимой местности с преодолением и обходом препятствий [3].

Природные условия в зоне ухода и лесопосадок характеризуются малопересеченной местностью, обладающей выраженным микрорельефом, наличием переувлажненных и заболоченных участков, отходов лесозаготовительного процесса – обломков и целых стволов деревьев, ветвей, колеи, сформированной лесозаготовительными машинами. При подготовке к лесопосадочным работам дополнительно формируются гряды, сформированные грунтом и отходами лесозаготовок.

При движении по такой местности роботизированная платформа будет сталкиваться с проблемой преодоления препятствия или для обхода препятствия, что требует коррекции ранее разработанного маршрута по ходу движения. Таким образом, приходим к следующим двум задачам по разработке роботизированной платформы:

- а) конструкция колесного шасси, обеспечивающего возможность передвижения с преодолением и обходом препятствий;
- б) сенсорная система, обеспечивающая распознавание препятствия для определения способа преодоления или обхода.

В докладе представлены технические требования и обсуждается вариант конструкции колесного шасси и сенсорной системы.

Колесное шасси должно обеспечивать движение в соответствии с заданным маршрутом, со скоростью сравнимой или превосходящей скорость передвижения человека, а также доставку технологического оборудования для выполнения работ с экономически эффективными затратами. Концептуальная схема представлена на рис. 1.

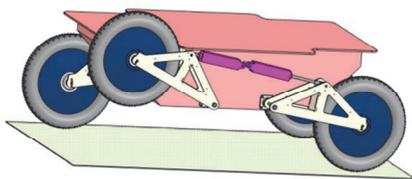


Рисунок 1 — Схема шасси. Возможна установка двух параллельных ферм на мотор-колесо

Сенсорная система должна обеспечивать как техническое зрение (наблюдение на основе видеокамер, в т.ч. тепловизионных), так и комплексное использование других способов распознавания препятствий. В частности, предлагается интегрировать в систему лидары, микрофоны и датчики деформаций, активно используемые в бионических компонентах робототехники и тактильном интернете.

1. Беспилотные машины и аппараты в лесном хозяйстве / Ю. В. Суханов, П. О. Шукин, О. И. Гаврилова [и др.] // Наука, технологии, общество - НТО-II-2022 : сборник научных статей по материалам II Всероссийской научной конференции, Красноярск, 2022. С. 46-66.

2. Luiz F. P. Oliveira, António P. Moreira, Manuel F. Silva. Advances in Forest Robotics: A State-of-the-Art Survey // Robotics, 2021, № 10(2). DOI 10.3390/robotics10020053.

3. Features of Building a Forestry Intelligent Robotic System / O. Galaktionov, S. Zavyalov, L. Shchegoleva, D. Korzun // Conference of Open Innovations Association, FRUCT. – 2021. – No 29. – P. 433-436.

***S.G. Немчинов, А.А. Туровский, Р.В. Приходченко***  
**СИСТЕМА ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ ДЛЯ  
РОБОТИЗИРОВАННЫХ УСТАНОВОК ПОЖАРОТУШЕНИЯ**

*ООО «Инженерный центр пожарной робототехники «ЭФЭР»,  
г. Петрозаводск, info@efer.pro*

***S.G. Nemchinov, A.A. Turovskiy, R.V. Prikhodchenko***  
**TECHNICAL VISION SYSTEM FOR IMPLEMENTATION  
IN ROBOTIC FIRE SUPPRESSION SYSTEMS**

*«Engineering centre of fire robots technology «FR» LLC, Petrozavodsk,  
info@efer.pro*

В работе рассматривается роботизированная установка пожаротушения с системой определения местоположения и корректировки направления подачи струи огнетушащего вещества. Предложены способы улучшения эффективности работы роботизированной установки пожаротушения за счет повышения точности попадания пожарного робота струей огнетушащего вещества в цель путем корректировки траектории струи по инфракрасному и видимому каналу. Приводится схема установки, алгоритм поиска проекции траектории и дальнейшего 3D-восстановления траектории струи огнетушащего вещества для расчёта корректировки. Полученная корректировка компенсирует смещение струи в определённом диапазоне ветровых нагрузок.

Рассмотрены два способа использования обратной связи при тушении очагов возгорания: по инфракрасному и видимому диапазону. Испытания на полигоне показали практическую эффектив-

ность обоих методов. Доработка системы для работы рассмотренных способов в комплексе позволит быстрее и точнее локализовать очаг возгорания при неблагоприятных погодных условиях.

*И.А. Шипов*

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ НАВИГАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ НАЗЕМНОГО РОБОТОТЕХНИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА**

*АО «ВНИИ «Сигнал», г. Ковров, pil14@inbox.ru*

*I.A. Shipov*

## **NAVIGATION SYSTEM SIMULATION OF UNMANNED GROUND VEHICLES**

*VNII Signal JSC, Kovrov, pil14@inbox.ru*

При проектировании робототехнических комплексов (РТК) в целом и отработке технических решений на уровне их подсистем эффективным инструментом является программно-аппаратное моделирование. При этом значимость этапа моделирования возрастает вместе со сложностью структуры и расширением набора функциональных задач наземного РТК. Учитывая экономическую целесообразность, длительность закупки ЭРИ и сложность проектирования современных аппаратных средств [1] проведение имитационных экспериментов может существенно снизить риски конструктивных дефектов при одновременном сокращении сроков разработки.

Средствами моделирования могут быть отработаны основные базовые алгоритмы решения задачи ориентирования и определения местоположения объекта, скорректированы основные функции с учетом специфики применения и определен облик системы в целом.

Методы моделирования навигационных систем наземных РТК можно разделить на два основных типа:

- моделирование архитектуры;
- моделирование поведения.

Проведение моделирования архитектуры позволяет сформировать облик будущей навигационной системы с учетом типовых особенностей каждого структурного элемента [2]. Для проведения объективного сравнительного анализа вариантов необходима максимально достоверная реализация алгоритмов функционирования всех подсистем.

Эффективность моделирования поведения навигационной системы зависит от полноты функций используемых моделей, немаловажную роль играет реализация имитации взаимосвязей между элементами с учетом привязки к единой шкале времени.

Разработанный программно-аппаратный комплекс моделирования состоит из следующих типовых модулей:

- модуль имитации функционирования бесплатформенной инерциальной навигационной системы;
- модуль имитации аппаратуры спутниковой навигации;
- программно-аппаратный модуль имитации одометрических датчиков;
- модуль имитации блока чувствительных элементов;
- модуль унифицированного потребителя навигационной информации.

Набор программных компонентов дает возможность разработчику проводить глубокий анализ функционирования как системы в целом, так и отдельных ее частей. Таким образом модуль имитации алгоритмов функционирования БИНС может взаимодействовать как с аппаратным блоком чувствительных элементов по каналам информационного взаимодействия, так и моделировать функционирование по унифицированным записям телеметрии полученных при различных условиях эксплуатации. Функция работы с файлами данных делает возможным анализ алгоритмов функционирования БИНС, построенных на чувствительных элементах различного типа, а также повышает эффективность анализа модели компенсации систематических погрешностей. Программные модули одометрических датчиков в сочетании с имитацией аппаратуры спутниковой навигации обеспечивают проведение исследований в области создания эффективных алгоритмов комплексирования БИНС в составе подвижных объектов, при различных условиях эксплуатации.

В рамках программно-аппаратного комплекса реализована возможность воспроизведения сценариев функционирования. В связи с этим одним из возможных подходов к расширению функционала является накопление базы статистических данных.

Разработанный комплекс имитационного моделирования навигационных систем позволяет решать широкий спектр исследовательских задач на различных этапах жизненного цикла наземных робототехнических объектов.

1. Шипов И.А., Реализация распределенных вычислений на отечественных микропроцессорных устройствах. // Известия ЮФУ. Технические науки. - 2022. - №1 (225) – С. 218-226.

2. Шипов И.А., Ветошкин Е.В., Комплексированная навигация наземных робототехнических комплексов. // Робототехника и техническая кибернетика. - 2021. – Т.9 №2 (225) – С. 127-132.

***А.Н. Жирабок, А.В. Зувев, Ким Чхун Ир***  
**ИНТЕРВАЛЬНОЕ ОЦЕНИВАНИЕ ПЕРЕМЕННЫХ  
ЭЛЕКТРОПРИВОДА РОБОТА**

*Дальневосточный федеральный университет, г. Владивосток; Институт  
проблем морских технологий ДВО РАН, г. Владивосток  
zhirabok@mail.ru, alvzuev@yandex.ru*

***A.N. Zhirabok, A.V. Zuev, Kim Chung Ir***  
**INTERVAL ESTIMATION OF ELECTRIC ACTUATOR ROBOT  
VARIABLES**

*Far Eastern Federal University, Vladivostok; Institute of Marine Technology  
Problems, Vladivostok  
zhirabok@mail.ru, alvzuev@yandex.ru*

Классическая задача интервального оценивания состоит в построении интервального наблюдателя, формирующего оценку множества допустимых значений вектора состояния для различных классов динамических систем с неопределенностями; обзор полученных результатов содержится в [1]. В настоящей работе ставится и решается задача построения интервальных наблюдателей для линейных динамических систем с неопределенностями, позволяющих оценить множество допустимых значений заданной линейной функции вектора состояния. Соответствующее решение может оказаться существенно проще, нежели в [1], а класс систем, для которых такой наблюдатель может быть построен, расширится.

Рассматриваемая система описывается уравнениями

$$\dot{x}(t) = (F + \Delta F(\mu))x(t) + Gu(t) + L\rho(t), \quad y(t) = Hx(t) + v(t), \quad (1)$$

где  $x(t)$ ,  $u(t)$  и  $y(t)$  – векторы состояния, управления и выхода;  $F$ ,  $G$ ,  $L$  и  $H$  – постоянные матрицы;  $\rho(t)$  – неизвестная ограниченная функция времени, описывающая возмущения на систему,

$\|\rho(t)\| \leq \rho^*$ ;  $v(t)$  – неизвестная ограниченная функция времени, описывающая шумы измерений,  $\|v(t)\| \leq v^*$ ; матричная функция  $\Delta F(\mu)$  описывает параметрическую неопределенность, она ограничена для известных  $\underline{\Delta F}$  и  $\overline{\Delta F}$ :  $\underline{\Delta F} \leq \Delta F(\mu) \leq \overline{\Delta F}$ .

Требуется построить интервальный наблюдатель минимальной размерности, формирующий нижнюю  $\underline{z}(t)$  и верхнюю  $\overline{z}(t)$  границы известной линейной функции вектора состояния  $x(t)$ , заданной матрицей  $M$  в виде  $z(t) = Mx(t)$ , для которых справедливо неравенство  $\underline{z}(t) \leq z(t) \leq \overline{z}(t)$  при всех  $t \geq 0$ . Приведенные выше отношения  $\leq$  для векторов и матриц понимаются поэлементно.

Решение основано на модели системы (1) минимальной размерности, не чувствительной к возмущению  $\rho^*$ , оценивающей переменную  $z(t)$ :

$$\dot{x}^*(t) = (F^* + \Delta F^*)x^*(t) + J^*Hx(t) + G^*u(t), \quad z(t) = H_z(t) + Qy(t),$$

где  $x^*(t) \in R^k$  – вектор состояния,  $J^*$ ,  $G^*$ ,  $H_z$ ,  $Q$ ,  $H_z$  – матрицы, подлежащие определению, матрица  $F^*$  ищется в виде

$$F^* = \begin{pmatrix} \lambda_1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \lambda_2 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & \lambda_k \end{pmatrix},$$

$\underline{\Delta F}^* = \Phi \underline{\Delta F} \Phi^T (\Phi \Phi^T)^{-1}$ ,  $\overline{\Delta F}^* = \Phi \overline{\Delta F} \Phi^T (\Phi \Phi^T)^{-1}$ , где матрица  $\Phi$  такая, что  $x^*(t) = \Phi x(t)$ . Показано [2], что матрица  $F^*$  существует.

В [2] задача решалась в предположении, что параметрические неопределенности отсутствуют, в настоящей работе они учитываются.

Наблюдатель описывается уравнениями

$$\begin{aligned} \dot{\underline{x}}^*(t) &= (F^* - \underline{P}H^* + \underline{\Delta F}^*)\underline{x}^*(t) + \underline{P}y^* + J^*y(t) + G^*u(t) - |J^*| E_k v^*, \\ \dot{\overline{x}}^*(t) &= (F^* - \overline{P}H^* + \overline{\Delta F}^*)\overline{x}^*(t) + \overline{P}y^* + J^*y(t) + G^*u(t) + |J^*| E_k v^*, \\ \underline{z}(t) &= H_z \underline{x}^*(t) + Qy(t), \quad \overline{z}(t) = H_z \overline{x}^*(t) + Qy(t), \\ \underline{x}^*(0) &= \underline{x}^*_{*0}, \quad \overline{x}^*(0) = \overline{x}^*_{*0}. \end{aligned} \quad (2)$$

Здесь  $|J^*|$  состоит из абсолютных значений элементов матрицы  $J^*$ ,  $E_k = (11\dots 1)^T$ ,  $\underline{P}$  и  $\overline{P}$  – некоторые матрицы,  $y^* = R^*y$  для некоторой матрицы  $R^*$ , такой, что  $R^*H = H^*\Phi$ .

Теорема. Пусть  $H_z \geq 0$ ,  $\Delta F_* \geq 0$  и  $0 \leq \underline{x}_*(0) \leq x_*(0) \leq \bar{x}_*(0)$ , тогда для интервального наблюдателя (2) выполняется соотношение

$$\underline{x}_*(t) \leq x_*(t) \leq \bar{x}_*(t), \quad \underline{z}(t) \leq z(t) \leq \bar{z}(t).$$

Полученные теоретические результаты применены к оценке компоненты вектора состояния электропривода робота. Работа подержана Российским научным фондом (проект № 22-29-01303).

1. Ефимов Д.В. Построение интервальных наблюдателей для динамических систем с неопределенностями // Автоматика и телемеханика. 2016. № 2. С. 5-49.

2. Жирабок А.Н., Зуев А.В., Ким Чхун Ир Метод построения интервальных наблюдателей для стационарных линейных систем // Известия РАН. Теория и системы управления. 2022. № 4 С. 22-32.

***А.Ю. Исхаков, А.О. Исхакова, Р.В. Мещеряков***  
**О БЕЗОПАСНОСТИ ВЕБ-ИНТЕРФЕЙСОВ**  
**В КИБЕРФИЗИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ**

*ИПУ РАН, Москва, iskhakovandrey@gmail.com*

***A.Y. Iskhakov, A.O. Iskhakova, R.V. Meshcheryakov***  
**ABOUT WEB-INTERFACE SECURITY IN CYBER-PHYSICAL**  
**SYSTEMS**

*ICS RAS, Moscow, iskhakovandrey@gmail.com*

Киберфизические системы в целом и робототехника в частности требуют гарантированного обеспечения надежных и безопасных каналов управления со стороны операторов. При этом зачастую при создании прототипов систем управления робототехническими комплексами (РТК) разработчики ограничиваются применением базовых методов шифрования канала связи и не уделяют должного внимания задаче защиты интерфейса взаимодействия.

Анализ работ по системам обеспечения безопасности РТК позволяет утверждать, что основной проблемой, связанной с разработкой систем обеспечения защиты для сети роботов, является отличие данного типа сети от привычных компьютерных сетей. Это требует разработки особых методов и подходов, которые должны учитывать определенные факторы: ограниченность вычислительных и энерге-

тических ресурсов роботов [1]. Между тем в ходе выполнения одной из базовых задач проектирования мобильного устройства с необходимостью управления на больших расстояниях перед разработчиками встает вопрос о выборе технологии, позволяющей обеспечить универсальный инструментарий для передачи команд и получения обратной связи от киберфизической системы. И зачастую, такими технологиями являются веб-ориентированные интерфейсы, построенные с помощью веб-служб и SOA [2].

Для организации взаимодействия с Web-службой необходимо знать ее сетевой адрес, получить XML-описание интерфейса и передавать/принимать сообщения HTTP (HTTPS), составленные в соответствии с описанием интерфейса. Язык реализации и платформа функционирования для Web-служб не регламентируются.

Механизм поиска и установления связи с конкретной Web-службой базируется на спецификации UDDI (Universal Description Discovery & Integration) и предполагает наличие UDDI-сервера, на котором развернуты специальная регистрация новых Web-служб и функционал ответа на поисковые запросы о расположении служб с заданными атрибутами. В докладе разбираются основные аспекты информационной безопасности (уязвимости, методы атак и защиты) для веб-интерфейсов различных киберфизических систем.

Исследование выполнено при частичной финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №19-29-06-44, совета по грантам Президента Российской Федерации в рамках научного проекта №МК-3172.2021.1.6

1. Басан Александр Сергеевич, Басан Елена Сергеевна, Макаревич Олег Борисович Анализ и Разработка средств обеспечения безопасности для систем группового управления автономными мобильными роботами // Вопросы кибербезопасности. 2017. №5 (24).

2. Минеев Сергей Алексеевич Применение Web-служб в робототехнике // Вестник ННГУ. 2010. №5-2.

3. Халиев С.У., Пахаев Х.Х. Информационная безопасность в робототехнике // ИВД. 2019. №4 (55). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/informatsionnaya-bezopasnost-v-robototekhnike> (дата обращения: 21.04.2022).

*И.Л. Ермолов, М.М. Князьков, Е.А. Семенов,  
А.Н. Суханов, Ф.М. Бельченко*

**АЛГОРИТМ НАСТРОЙКИ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ  
СИГНАЛА УПРАВЛЕНИЯ МЕХАТРОННЫМ ПРИВОДОМ  
ЭКЗОСКЕЛЕТА К ОСОБЕННОСТЯМ ОГИБАЮЩЕЙ  
ЭЛЕКТРОМИОГРАММЫ ОПЕРАТОРА**

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт  
проблем механики им. А.Ю. Ишлинского Москва, sukhانov-artiom@yandex.ru*

*I.L. Ermolov, M.M. Knyazkov, E.A. Semenov,  
A.N. Sukhanov, A.V. Belchenko*

**ALGORITHM FOR ADJUSTING THE SENSITIVITY  
OF THE CONTROL SIGNAL OF THE MECHATRONIC DRIVE  
OF THE EXOSKELETON TO THE PECULIARITIES  
OF THE OPERATOR'S EMG ENVELOPE**

*Ishlinsky Institute for Problems in Mechanics of the Russian Academy of Sciences,  
Moscow, sukhанov-artiom@yandex.ru*

Отдельная скелетная мышца работает исключительно на сокращение. Поэтому для полноценного управления движением конечности (хотя бы в одной плоскости) необходимо два мускула антагониста. В нашем исследовании мы исследовали двуглавую мышцу плеча человека или бицепс, антагонистом которой является трёхглавая мышца плеча, именуемая ещё трицепсом. Работая в паре, данные мышцы компенсируют движения друг друга, тем самым, позволяя управлять движением предплечья в локте. Таким образом, важно учитывать одновременный вклад обеих мышц в управление движением. Однако после укорочения мышечные волокна должны расслабиться. В расслабленной мышце кальциевые каналы закрыты, но по закону суперкомпенсации в околоскелетном пространстве снова появляются ионы, образуя ток, который регистрируется датчиками биопотенциалов и может быть интерпретирован системой управления как сигнал к действию.

Если реализовывать управление мехатронным приводом, используя информацию о биопотенциалах мышц антагонистов, то крайне необходимо учитывать накопленную информацию о состоянии системы на некотором временном окне и, анализируя её, уже принимать решение о компенсации управления. Среди методов, которые можно применить для компенсации сигнала управления можно назвать динамическое изменение уровня мёртвой зоны, а

также динамическое изменение чувствительности системы к управляющим сигналам.

В работе приводятся результаты экспериментов, проведённых с целью выявления особенностей поведения огибающей электромиограммы оператора при различных параметрах, занесённых в алгоритм чувствительности системы управления экзоскелетом.

Данная работа показывает особенности изменения огибающей электромиограммы в процессе реализации быстрых и медленных движений и влияние деактивации мускула на затухание амплитуды огибающей электромиограммы на примере двуглавой мышцы плеча оператора (рис. 1).

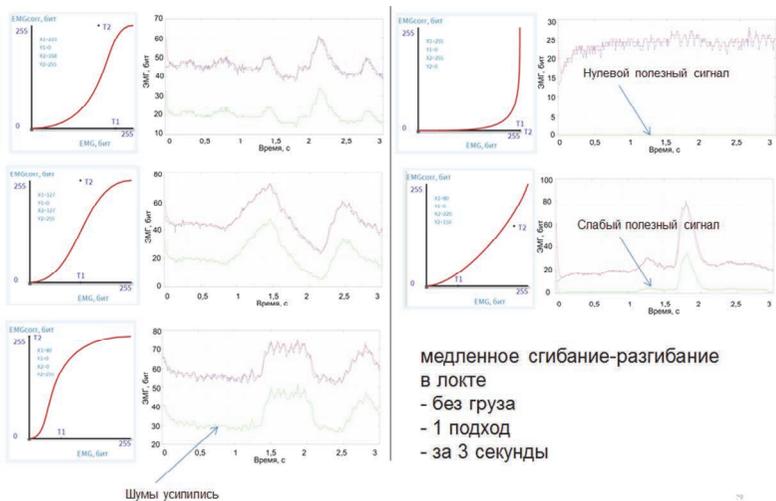


Рисунок 1 — Работа алгоритма настройки чувствительности

Приводится анализ электромиограммы при взаимодействии с тяжёлым объектом в пространстве. Приводится результат применения алгоритма, компенсирующего влияние эффекта затухания амплитуды электромиограммы при расслаблении мускула на формирование сигнала управления.

1. Holobar, Ales & Zazula, Damjan. Gradient Convolution Kernel Compensation Applied to Surface Electromyograms. 617-624. 10.1007/978-3-540-74494-8\_77.(2007).

2. Jebara, Sofia. Electromyogram signal enhancement in FMRI noise using spectral subtraction. European Signal Processing Conference. 1980-1984.(2014).

3. Fougner, Anders & Stavadahl, Øyvind & Kyberd, Peter & Losier, Yves & Parker, Philip.. Control of Upper Limb Prostheses: Terminology and Proportional Myoelectric Control-A Review. IEEE transactions on neural systems and rehabilitation engineering : a publication of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. 20. 663-77. 10.1109/TNSRE.2012.2196711. (2012).

*Б.С. Ланин<sup>1</sup>, И.Л. Ермолов<sup>2</sup>*  
**РАСПРЕДЕЛЕННОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ  
ДЛЯ ГРУППЫ СОВМЕСТНО ПЕРЕНОСЯЩИХ ГРУЗ  
РОБОТОВ С УЧЕТОМ СВОЙСТВ ОПОРНЫХ  
ПОВЕРХНОСТЕЙ**

<sup>1</sup>МГТУ СТАНКИН, Москва, *mail@borislap.ru*; <sup>2</sup>ИПМех РАН, Москва, *ermolov@ipmnet.ru*

*B.S. Lapin<sup>1</sup>, I.L. Ermolov<sup>2</sup>*  
**DISTRIBUTED MOTION PLANNING FOR A GROUP  
OF ROBOTS CARRYING A LOAD JOINTLY, CONSIDERING  
THE PROPERTIES OF SUPPORTING SURFACES**

<sup>1</sup>MSUT STANKIN, Moscow, *mail@borislap.ru*; <sup>2</sup>IPMech RAS, Moscow, *ermolov@ipmnet.ru*

Задача планирования траектории является одной из самых исследуемых задач в современной робототехнике, ежемесячно выходят статьи по этой теме, в которых предлагаются решения этой задачи для конкретных условий или предлагаются лучшие методы планирования. Самой исследуемой в последнее время областью использования решения задачи планирования траектории можно назвать планирование траектории для беспилотных автомобилей и БПЛА [1]. При этом, существуют исследования, посвященные движению групп роботов, в том числе строем [2].

Управление строем группы роботов представляет собой одну из важнейших задач в активно развивающейся в последние годы групповой (роевой) робототехнике [3]. Планирование движения наземных мобильных роботов осложняется влиянием характеристик опорной поверхности на реализуемое роботом движение, внося

высокую степень неопределенности в связи между управляющим воздействием на движитель робота и непосредственным движением робота. При движении строим данную неопределенность особенно важно учитывать, а влияние характеристик опорной поверхности предсказывать. Степень данной неопределенности особенно высока на пересеченной местности в условиях изменяющихся типов опорных поверхностей и их параметров. Критической проблема становится в задачах, где требуется обеспечивать высокую скорость движения группы роботов. Планирование движения мобильных роботов на пересеченной местности является очень перспективным направлением, что подтверждается недавно анонсированной программой DARPA Robotic Autonomy in Complex Environments with Resiliency (RACER) [4].

Ранее, было рассмотрено движение группы роботов вдоль заданной траектории с максимальной скоростью в условиях изменяющихся типов поверхностей и их характеристик [5]. В данной работе рассматривается планирование траектории движения при тех же условиях.

Как правило, чем сложнее условия, тем вычислительно сложнее их учитывать при планировании. Бортовые вычислители мобильных роботов традиционно сталкиваются с нехваткой вычислительных ресурсов, поэтому в групповом управлении актуально распределять вычисления между роботами. В работе рассмотрено решение задачи планирования траектории группы роботов с распределенными между роботами группы вычислениями.

Часть работы над данным материалом выполнена по теме государственного задания (№ госрегистрации АААА-А20-120011690138-6).

1. Галустян Н.К. Децентрализованное управление группой квадрокоптеров. Москва: Автореферат диссертации к.т.н., 2017. 17 с.
2. Иванов Д.Я. Формирование строя группой беспилотных летательных аппаратов при решении задач мониторинга // Известия ЮФУ. Технические науки. 2012. № 4. С. 219-224.
3. Dorigo Marco. Swarmanoid: A Novel Concept for the Study of Heterogeneous Robotic Swarms // IEEE Robotics and Automation Magazine, Vol. 20, No. 4, 2013. pp. 60-71.
4. Robotic Autonomy in Complex Environments with Resiliency (RACER) [Электронный ресурс] // DARPA: [сайт]. [2022]. URL: <https://www.darpa.mil/program/robotic-autonomy-in-complex-environments-with-resiliency>

5. Храдецкий В.Г., Ермолов И.Л., Князьков М.М., Лапин Б.С., Семенов Е.А., Собольников С.А., Суханов А.Н. Система группового транспортного управления мобильными наземными роботами на различных грунтах // Робототехника и техническая кибернетика., Т. 8, № 1, 2020. С. 61-71.

***В.П. Андреев, П.Ф. Плетенев***  
**МЕТОДЫ ДИНАМИЧЕСКОГО**  
**ПЕРЕПРОГРАММИРОВАНИЯ ДЛЯ МОБИЛЬНОГО РОБОТА**  
**С МОДУЛЬНОЙ АРХИТЕКТУРОЙ**

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

***V.P. Andreev, P.F. Pletenev***  
**DYNAMIC REPROGRAMMING METHODS FOR A MOBILE**  
**ROBOT WITH MODULAR ARCHITECTURE**

*MSTU «STANKIN», Moscow, andreevvipa@yandex.ru, cpp.create@gmail.com*

При проведении работ в экстремальных условиях и в недетерминированных средах возникает потребность в реконфигурируемых модульных мобильных роботах [1], [2], [3]. Системы управления (СУ) мобильных роботов (МР) с монокомпьютером, на котором выполняются все вычислительные операции (как высокоуровневого, так и низкоуровневого управления) не допускают оперативной перенастройки робототехнической системы; обеспечение перенастройки СУ таких роботов на практике означает создание нового робота с заданной новой функциональностью. Как отмечено в [4], [5], решение этой проблемы видится в создании МР с модульной архитектурой системы управления, в которой каждый модуль обладает собственной системой управления и, в результате, реализуются распределённые вычисления. В таких ситуациях возникает потребность в быстром (возможно, дистанционном) изменении программного обеспечения вычислительных устройств СУ модулей – динамическом перепрограммировании – удалённой и управляемой извне адаптации, настройки и подстройки к ситуации.

Цель работы – анализ существующих и перспективных методов динамического перепрограммирования, пригодных для использования в мобильном роботе с модульной архитектурой системы управления. Основная проблема использования динамического перепрограммирования для модульного робота – необходимость использо-

вания в СУ модулей встраиваемых микроконтроллерных систем и обновление программной части «на лету» без отключения и демонтажа блоков через основную шину данных, используемую микроконтроллером.

Авторы выделяют несколько таких методов: (а) параметрическое перепрограммирование, (б) замена кода микроконтроллера, (в) замена байткода, (г) замена скрипта на интерпретируемом языке программирования.

Анализ каждого из методов предлагается выполнять по следующим критериям: объём требуемой оперативной памяти, памяти программ, скорость вычислений, теоретическая сложность создания реализации метода в виде базовой управляющей программы, теоретическая сложность использования конечным пользователем прошивки. Также каждый метод анализируется путём экспериментальной реализации на микроконтроллерах семейств STM32F103, GD32VF103, ESP32 и микрокомпьютерах Raspberry Pi и Orange Pi.

На основе поставленных экспериментов делается вывод о пригодности каждого из рассмотренных методов для использования в системе управления модульного МР. Предлагаются рекомендации по применению тех или иных методов динамического перепрограммирования с учётом их достоинств и недостатков.

1. Промышленная робототехника / А.В. Бабич, А.Г. Баранов, И.В. Калабин и др. // Под ред. Я.А. Шифрина – М.: Машиностроение, 1982 – 415 с., ил.

2. Козырев Ю.Г. Промышленные роботы агрегатно-модульного типа / Воробьев Е.И., Козырев Ю.Г., Царенко В.И. // ISBN: 5-217-00166-6. – М.: Машиностроение, 1988. – 240 с.

3. Лопота А.В., Юревич Е.И. Этапы и перспективы развития модульного принципа построения робототехнических систем // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Информатика. Телекоммуникации. Управление. – 2013. – № 1. – С. 98-103.

4. Юревич Е.И. Роботы ЦНИИ РТК на Чернобыльской АЭС и развитие экстремальной робототехники: Монография // СПб.: Изд-во Политехнического ун-та, 2004.

5. Андреев В.П., Плетенев П.Ф. Метод информационного взаимодействия для систем распределённого управления в роботах с модульной архитектурой. Информатика и автоматизация (Труды СПИИРАН). ISSN 2078-9181. – Санкт-Петербург: СПИИРАН. – 2018. – №2(57). – С.134-160.

*Е.В. Бова, В.В. Леушина*

**К ВОПРОСУ ОБ ОЦЕНКЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ  
МОДАЛЬНОСТЕЙ ЧЕЛОВЕКО-МАШИННОГО  
ИНТЕРФЕЙСА ПРИ УПРАВЛЕНИИ МОБИЛЬНЫМ  
РОБОТОТЕХНИЧЕСКИМ УСТРОЙСТВОМ**

*НИИ «Курчатовский институт», Москва, bova.ev@phystech.edu,  
wandbpand@gmail.com*

*E.V. Bova, V.V. Leushina*

**ON THE ISSUE OF EVALUATING THE EFFECTIVENESS OF  
THE MODALITIES OF THE HUMAN-MACHINE INTERFACE  
IN THE MANAGEMENT OF A MOBILE ROBOTIC DEVICE**

*National Research Centre «Kurchatov Institute», Moscow, bova.ev@phystech.edu,  
wandbpand@gmail.com*

Эффективное управление мобильными роботами с делегированной автономностью требует не столько максимально полных телеметрических данных, сколько качественного понимания состояния системы, зачастую представленного в виде мультимодальных воздействий. Широкое распространение получили решения, основанные на технологиях виртуальной реальности [1] и воздействиях тактильных интерфейсов [2,3,4]. Для оценки эффективности разных модальностей в контуре управления необходим инструмент, при помощи которого можно задавать различные правила воздействия различных модальностей системы.

В докладе представлена система человеко-машинного интерфейса (ЧМИ), передающая информацию путем визуальных (технология виртуальной реальности) и тактильных воздействий (вибро-, электро- и термоинтерфейс). Основой этой системы стала так называемая функция трансляции состояния робота в воспринимаемые оператором мультимодальные воздействия: визуальные, температурные, электрические и вибрационные. Поскольку правила такой трансляции задаются на качественном, лингвистическом уровне, для их описания целесообразно применить нечеткую логику. Благодаря этому оператор должен примерно понимать окружение и состояние управляемого объекта.

ЧМИ был апробирован на задаче, связанной с управлением подвижной платформой. В качестве входных данных ЧМИ считывал показатели датчиков робота: восьми дальномеров и датчика освещенности. Данные с дальномеров использовались для реконструкции среды в виртуальной реальности. Обнаруженные объекты отобража-

лись в виде сфер, окрашенных в зеленый, желтый или красный цвет, обозначающий степень близости препятствия. Для предотвращения дезориентации оператора в среде виртуальной реальности отображался пройденный путь за последние пять секунд и конечная точка пути в виде прозрачной зелёной полусферы (см. рис. 1).

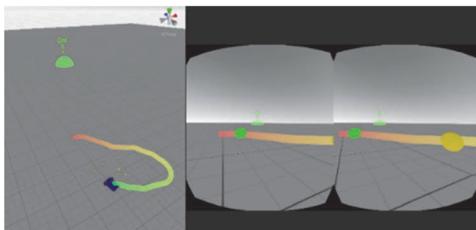


Рисунок 1 — Отображение объектов в виртуальной реальности: слева – вид от третьего лица, справа – от первого лица

Также данные с дальномеров использовались некоторыми тактильными интерфейсами для отображения опасной близости объектов, воздействуя на оператора вибрацией и слабым электрическим током в зависимости от степени опасности столкновения с препятствием. При достаточно близком нахождении к объекту на оператора воздействовали слабым электрическим током, в противном случае – вибрацией разной интенсивности. Датчик освещенности фиксировал попадание управляемого объекта в опасную зону, длительное нахождение в которой негативно влияло на состояние робота. Степень нагрева термоинтерфейса зависела от ущерба, полученного от пребывания в этой зоне.

В ходе эксперимента, в котором оператору необходимо было достичь конечной области в неизвестной ему местности, оценивалось влияние системы на процесс выполнения задачи, поставленной перед испытуемым.

Работа выполнена при поддержке НИЦ «Курчатовский институт» (приказ № 2754 от 28.10.2021).

1. T. Williams, N. Tran, and J. Rands, «A Hands-Free Virtual-Reality Teleoperation Interface for Wizard-of-Oz Control», 2018.

2. Y. Yamauchi, «Vibro-tactile Notification in Different Environments for Motorcyclists», no. c, pp. 59–65, 2020.

3. Z. Zhao, M. Yeo, S. Manoharan, S. C. Ryu, and H. Park, «Electrically-Evoked Proximity Sensation Can Enhance Fine Finger Control in Telerobotic Pinch», Sci. Rep., vol. 10, no. 1, pp. 1–12, 2020, doi:

10.1038/s41598-019-56985-9.

4. S. W. Kim et al., «Thermal display glove for interacting with virtual reality», Sci. Rep., vol. 10, no. 1, pp. 1–12, 2020, doi: 10.1038/s41598-020-68362-y.

*А.Ю. Гетманцев*  
**СИСТЕМА БОРТОВЫХ ИЗМЕРЕНИЙ  
РОБОТИЗИРОВАННОГО АВТОМОБИЛЯ-МИШЕНИ:  
ТРЕБОВАНИЯ, АСПЕКТЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ**

*ГЛИЦ им. В.П. Чкалова МО РФ, г. Ахтубинск, tomamens@mail.ru*

*A.Yu. Getmantsev*  
**THE SYSTEM OF ON-BOARD MEASUREMENTS  
OF UNMANNED TARGET CARS: REQUIREMENTS, ASPECTS  
AND PROSPECTS**

*State Flight Test Center V.P. Chkalova Ministry of Defense of Russia, Akhtubinsk,  
tomamens@mail.ru*

В последнее время значительно возросла актуальность испытаний авиационного вооружения, применяемого по высокоскоростным подвижным целям.

При оснащении авиационных полигонов перспективными подвижными мишенными средствами на базе роботизированных или дистанционно-управляемых автомобилей-мишеней возникает необходимость в получении высокоточной измерительной информации при помощи системы бортовых измерений (далее - СБИ), которая является важной частью измерительного комплекса испытательного полигона. По сравнению с СБИ, другие системы измерений обладают или меньшей дальностью, или меньшей информативностью.

В связи с разработкой автомобилей-мишеней требуется адаптация существующей номенклатуры СБИ с целью внедрения этих незаменимых средств объективного контроля для получения достоверной информации о собственных координатах высокоманевренной мишени и о координатах авиационных средств поражения (далее – АСП) за счет записи информации с видеокамер патрульного типа с максимально близкого расстояния. Послеполетный анализ этой информации позволяет сделать вывод о промахе АСП и оценить результативность боевого применения АСП, т.е. в целом оценить эффективность работы боевого авиационного комплекса.

Таким образом, имеется потенциальная возможность повысить качество испытаний систем и комплексов авиационного вооружения различных типов, а также усовершенствовать процесс боевой подготовки лётного состава, операторов беспилотных летательных аппаратов и военнослужащих других видов и родов войск.

Ключевые характеристики перспективной системы бортовых измерений:

- высокая надежность и работоспособность в условиях взрыва;
- достаточная емкость накопителя информации, чтобы записать потоки информации от нескольких высокоскоростных камер большого разрешения;
- синхронизация потоков данных со шкалой единого времени и регистрация трех разноскоростных потоков информации: медленного, среднего и быстрого, соответственно:
  - медленный поток – это текущие координаты, остаток топлива, заряда аккумулятора, принятая командная информация,
  - средний по скорости поток – информация от датчиков перегрузки, датчиков попаданий, вибродатчиков,
  - высокоскоростной поток информации большого объема – потоковое видео от видеокамер управления и видеокамер патрульного типа для определения промаха,
- масштабируемость для возможности расширения целевой нагрузки;
- приемлемо низкая стоимость разработки, эксплуатации, ремонта, замены.

Отдельные аспекты, требующие особого рассмотрения:

- исключительно отечественная элементная база;
- оптимальный выбор: «дешевые одноразовые элементы» против «дорогие элементы и неубиваемые узлы многократного применения»;
- спутниковая информация исключительно от отечественных навигационных систем;
- применение средств криптозащиты, разрешенных Минобороны России, не требующих поиска и списания после уничтожения взрывом автомобиля-мишени;
- дешевизна СБИ при среднесерийном производстве;
- СБИ становится штатной составной частью автомобиля-мишени (в соответствующей комплектации).

Перспективы совершенствования СБИ:

- увеличение числа каналов и повышение информативности;

- совершенствование протоколов и стандартизация алгоритмов обработки информации;
- снижение массогабаритных размеров и энергопотребления;
- повышение живучести;
- повышение скрытности радиоканала контрольной бортовой информации;
- дистанционное диагностирование и управление работой нескольких бортовых частей СБИ с одного рабочего места оператора по командной радиолинии.

*А.И. Горох*

**ПЕРСПЕКТИВНЫЙ ОБЛИК РОБОТИЗИРОВАННОГО  
ПОДВИЖНОГО МИШЕННОГО КОМПЛЕКСА**

*ГЛИЦ им. В.П. Чкалова МО РФ, г. Ахтубинск, artur.gorokh@mail.ru*

*A.I. Gorokh*

**PERSPECTIVE IMAGE OF A ROBOTIZED  
MOBILE TARGET COMPLEX**

*State Flight Test Center V.P. Chkalova Ministry of Defense of Russia, Akhtubinsk,  
artur.gorokh@mail.ru*

Практика применения управляемого авиационного вооружения в конфликтах и контртеррористических операциях свидетельствует о росте значения высокоточного управляемого авиационного оружия при поражении высокоманевренных подвижных одиночных и групповых целей.

Для подготовки летных экипажей в применении авиационных средств поражения по подвижным целям, а также для испытания новых (модернизированных) образцов вооружения необходимо создание системы подвижной мишенной обстановки, максимально полно имитирующей характеристики реальных целей потенциального противника.

Также описываемая мишенная система может быть востребована для боевой подготовки операторов противотанковых управляемых ракет и экипажей танков (боевых машин).

Такая система должна включать в себя:

- дистанционно-управляемые или полностью автоматические мишени (буксируемые, роботизированные серийные автомобили, модульные низкобюджетные);
- специально подготовленную грунтовую трассу;
- комплекс управления;
- комплекс визуализации, оценки и документирования результатов применения средств поражения.

Подробнее рассмотрим первый вариант - буксируемые мишени. Очевидно, если речь идет о массовом применении АСП, необходимо стремиться к максимальному удешевлению мишеней при сохранении возможностей правдоподобной имитации сигнатур реальных целей. Наиболее эффективным в этом случае будет применение многоразового дистанционно управляемого буксировщика мишени, буксирующего легкую и дешевую мишенную конструкцию на максимально безопасном расстоянии, ограничиваемом длиной буксировочной сцепки.

Основные требования к дистанционно управляемому буксировщику:

- достаточная мощность для буксировки с высокой скоростью различных по массе и габаритам мишеней;
- повышенная проходимость (в случае колесного исполнения) для движения по пересеченной местности;
- защищенность наиболее важных и дорогостоящих узлов;
- возможность управления водителем во время транспортировки на полигон.

В качестве дистанционно управляемых буксировщиков мишеней могут выступать специально разработанные или серийно выпускаемые транспортные средства, оснащенные специальной аппаратурой. По этому пути пошли американские разработчики подвижных мишеней из фирмы «Kairos Autonomi». Они производят программно-аппаратный комплекс, позволяющий за непродолжительное время роботизировать обычное серийное транспортное средство (легковые, грузовые автомобили) для дистанционного управления через систему тросов и сервоприводов. На рисунке 1 показан специально подготовленный буксировщик с выносными видеокameraми и в матовом окрасе, поглощающем лазерное излучение.



Рисунок 1 — Роботизированный буксировщик с мишенью

*И.А. Зенков, Т.В. Меньшакова*

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗОН НАЗЕМНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ  
ПРИ ПУСКАХ УПРАВЛЯЕМЫХ РАКЕТ ПО ДВИЖУЩИМСЯ  
РОБОТИЗИРОВАННЫМ АВТОМОБИЛЯМ-МИШЕНЯМ**

*ГЛИЦ им. В.П. Чкалова МО РФ, г. Ахтубинск, a.zenkov2012@yandex.ru,  
ttvvvmmm1234@mail.ru*

*I.A. Zenkov, T.V. Menshakova*

**DETERMINATION OF GROUND SAFETY ZONES DURING  
GUIDED MISSILE LAUNCHES ON MOVING ROBOTIC  
TARGET VEHICLES**

*State Flight Test Center V.P. Chkalova Ministry of Defense of Russia, Akhtubinsk,  
a.zenkov2012@yandex.ru, ttvvvmmm1234@mail.ru*

При планировании лётных испытаний авиационных средств поражения (далее – АСП) по подвижным наземным мишеням на первый план выдвигается проблема обеспечения безопасности объектов, расположенных вне полигонной инфраструктуры: населенных пунктов, коммуникаций, сооружений и других наземных объектов безопасности, которые должны быть защищены от поражения осколками исправных или аварийных АСП. Обычно самолет-носитель не входит в зону действия ПВО противника. Новое поколение – планирующие управляемые АСП являются наиболее эффективными и перспективными по сравнению с ракетами класса воздух-поверхность, так как отсутствие дорогостоящего ракетного двигателя и его топлива позволяет более чем в два раза увеличить массу боевой части при той же дальности и точности боевого применения. Кроме того, сами дистанционно-управляемые автомобили-мишени являются потенциально опасными для людей, населенных пунктов, объектов инфраструктуры, поскольку обладают высо-

кой скоростью, большой массой и значительной инерцией, а видеопоток от их видеокамер ограничен. Несоблюдение норм безопасности приводит к необратимым катастрофическим последствиям. Директивный уровень безопасности поражения объектов населенных пунктов и наземной инфраструктуры задан предельной вероятностью  $10^{-5}$ .

Основными факторами, определяющими размеры зоны наземной опасности (далее – ЗНО) для АСП, являются: фактические тактико-технические характеристики АСП, результаты расчетов границ зоны наземной опасности, выполняемые как на этапе подготовки, так и непрерывно в ходе летного эксперимента; нормативно заданные методы и методики проведения летных экспериментов (далее – ЛЭ) при испытаниях АСП и реальные условия их боевого применения с учетом внешних воздействующих факторов; наличие и исправность бортового измерительного оборудования, системы измерений и системы ликвидации АСП; время принятия решения оперативным руководителем ЛЭ на ликвидацию АСП. Для автомобиля-мишени основными факторами при определении зоны наземной опасности являются: фактические характеристики автомобиля-мишени, трек его движения, применяемые системы бортовых, внешнетраекторных или радиотелеметрических измерений, исправность и надежность бортового оборудования. До начала ЛЭ рассчитываются границы коридора безопасности, выход за которые приводит к принудительной либо автоматической ликвидации АСП. Для автомобиля-мишени до начала летного эксперимента формируется трек его движения с учетом возможной скорости в соответствии с данными о рельефе, исходя из информации цифровой карты местности. При исправном бортовом оборудовании и системе измерений в ходе летного эксперимента траектория движения автомобиля-мишени не выходит за границы полигона. В случае отказов бортового оборудования или средств измерений, определяющих положение автомобиля-мишени, он становится объектом опасности с радиусом зоны наземной опасности, равной области достижимости его координат. При расчете непосредственной опасности главным критерием безопасного проведения ЛЭ является вероятность отрицательного исхода, которая должна быть меньше, чем  $10^{-5}$ . Эта вероятность складывается из условных вероятностей, определяемых неисправностями бортового оборудования и системы измерений АСП и автомобиля-мишени, а также системы ликвидации АСП. Для расчета вероятностей применяется математическая модель в виде дерева вероятностей, учитывающая все возможные группы событий.

Рассматривается вариант несимметричной плотности распределения координат точек применения АСП по подвижной мишени. Для определения зоны наземной опасности были взаимоувязаны различные математические модели и смоделирован эксперимент по определению границ зон наземной опасности.

Априорно известная информация о координатах зоны разрешенного пуска, предполагаемых координатах цели, возможных траекториях полета изделия и вероятностях отказов системы измерения АСП или автомобиля-мишени, системы ликвидации АСП позволяет построить зону наземной опасности до начала ЛЭ. Каждый раз после корректировки исходных данных вычисление границ зон наземной опасности производится заново. В ходе выполнения ЛЭ информация, поступающая от АСП и автомобиля-мишени, уточняет границы возможного падения элементов АСП и воздействия его поражающих факторов.

***И.В. Гурин, М.С. Красило, П.Г. Скубак***  
**УСТРОЙСТВО АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ  
МЕХАНИЧЕСКОЙ КОРОБКОЙ ПЕРЕКЛЮЧЕНИЯ  
ПЕРЕДАЧ**

*Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону,  
GurinIV86@yandex.ru, mihaikrasilo@yandex.ru, skubak.pavel92@gmail.com*

***I.V. Gurin, M.S. Krasilo, P.G. Skubak***  
**AUTOMATIC CONTROL OF THE MANUAL TRANSMISSION**

*Don State Technical University, Rostov-on-Don, GurinIV86@yandex.ru,  
mihaikrasilo@yandex.ru, skubak.pavel92@gmail.com*

В современной промышленности четко определилась потребность в удешевлении технологии производства беспилотных транспортных средств и специализированных машин. Подобные технологии находят применение в транспортных средствах применяемых в структурированной среде, телеуправляемой технике специального назначения и автомобилях для лиц с ограниченными возможностями. На основании изучения статистических данных по действующему парку транспортных средств гражданского назначения Российской Федерации выяснилось, что 99,5% [1] данной техники имеет механическую КПП. На основании вышперечисленных факторов, были начаты работы по разработке и испытаниям навесного

устройства автоматического управления механической КПП для серийных транспортных средств.

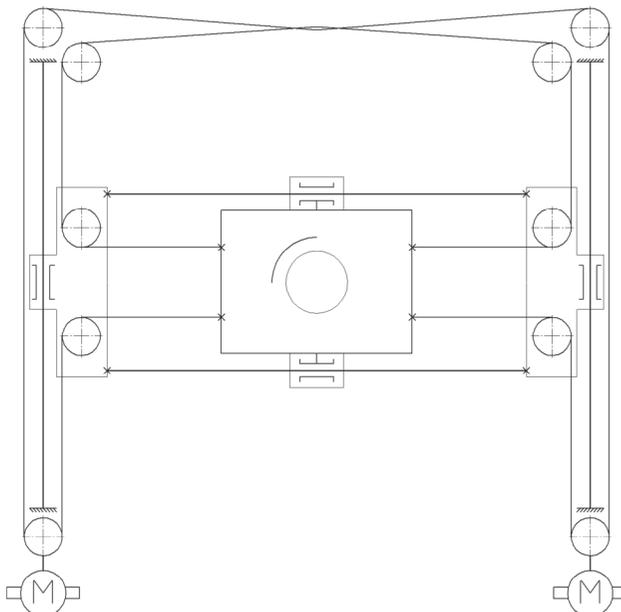


Рисунок 1 — Кинематическая схема устройства автоматического управления механической КПП

В рамках данной работы был произведен анализ существующих видов систем двухкоординатного позиционирования [2]. На основании проанализированных данных и критериев к разрабатываемому устройству, было принято решение о применении системы на основе кинематики CoGeXY (см. рис. 1).

Научным коллективом «Ресурсного Центра Робототехники ДГТУ» и НИЛ «ИЭСМиК» был разработан прототип беспилотного транспортного средства на основе серийного автомобиля Lada Granta FL. Описанное устройство автоматического управления механической КПП является узлом программно-аппаратного комплекса автоматизации серийного транспортного средства.

Апробация данного беспилотного ТС проводилась в рамках Всероссийский полевых испытаний «Робокросс 2022», в ходе которых были выявлены преимущества и недостатки разработанного устройства переключения передач.

1. Трифонов Н.Ю., Ливинская В.А., Коржуков В.В. Регрессионная модель оценки автомобилей на основе парсинга интернет-данных // Системный анализ и прикладная информатика. – Минск: 2020. – №2. – С. 4-9.

2. Гавшин А.П., Анискович Д.А., Тибейкин В.В. Обзор кинематических схем 3D принтеров // Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им В.Г. Шухова. Сборник материалов научно-практической конференции. – Белгород: 2018. – С. 2089-2093.

*Г.М. Израелян, А.А. Назаров, Е.О. Гаранин*  
**СИНТЕЗ И ПРИМЕНЕНИЕ МНОГОУРОВНЕВОЙ  
АРХИТЕКТУРЫ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ УЗЛАМИ  
БЕСПИЛОТНОГО ТС**

*Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону,  
Israelyan-harry@mail.ru, sasha.nazarov.nazarov@mail.ru,  
garanin1392@gmail.com*

*H.M. Israelyan, A.A. Nazarov, E.O. Garanin*  
**SYNTHESIS AND APPLICATION OF A MULTI-LEVEL  
ARCHITECTURE OF AN UNMANNED VEHICLE NODE  
MANAGEMENT SYSTEM**

*Don state technical university, Rostov-on-Don, Israelyan-harry@mail.ru,  
sasha.nazarov.nazarov@mail.ru, garanin1392@gmail.com*

Разработка полноценного беспилотного транспортного средства является одним из наиболее актуальных и прогрессивных направлений развития автомобильной отрасли. На данный момент реализованы некоторые системы вспомогательного управления для человека [1, с.8], о полноценном автопилоте, на данный момент, говорить рано. Тем не менее, большое количество компаний выделяют ресурсы на разработку и тестирование решений, стремящихся выполнять такой набор функций, который можно было обобщить словом «автопилот».

Доклад посвящен разработке системы управления навесными мехатронными модулями, взаимодействующими с органами управления движением ТС. Органы управления включают в себя: педали газа, сцепления, тормоза, рычаг механической КПП и рулевое колесо. Первичной целью разработки было создание системы, которая

бы обеспечила возможность телеуправления беспилотного транспортного средства.

Представленная система управления имеет верхний и нижний программно-аппаратные уровни (рис. 1). Связь между ними обеспечивается при помощи последовательных портов и UART-протоколов передачи данных, в частности использовался протокол ModBus ASCII.

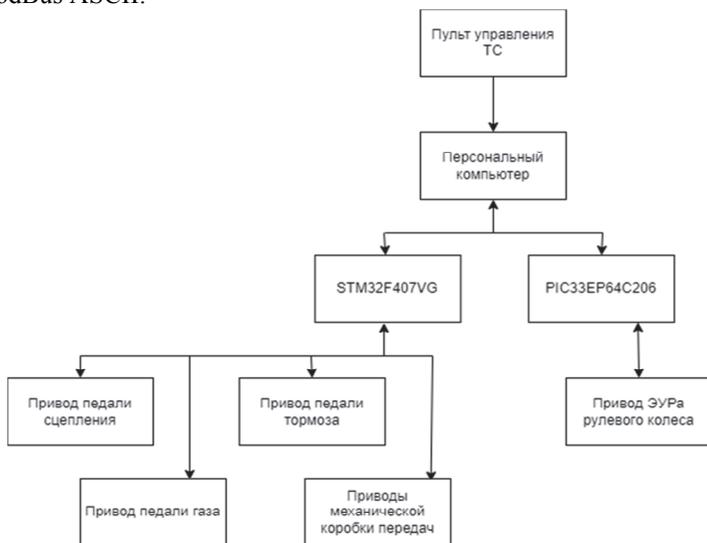


Рисунок 1 — Система управления узлами ТС

Верхний уровень - операционная система Ubuntu 20.04, с возвращённым в ней фреймворком ROS2, установленная на персональном компьютере. Нижний уровень - микроконтроллеры с подключенными исполнительными механизмами и линиями обратной связи. Управляющая программа для одного из микроконтроллеров была разработана с применением продвинутых средств разработки встраиваемых систем - операционной системы реального времени (ОСРВ) FreeRTOS [2].

Описанная выше система была спроектирована и изготовлена на учебной версии автомобиля Лада Гранта, в рамках подготовки к всероссийским испытаниям беспилотных транспортных средств «Робокросс 2022» [3]. В ходе испытаний была проведена серия тестов, которая выявила ряд достоинств и недостатков разработанного ПО. И позволила определить дальнейший путь развития проекта.

1. Интеллектуальные системы помощи водителю. Технические требования и методы испытаний / А. М. Иванов, С. Р. Кристальный, Н. В. Попов, С. С. Шадрин. – Москва : Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), 2019. – 100 с. – ISBN 978-5-7962-0260-9. – EDN QWUWKC.

2. Бурмистров, А. В. Операционные системы реального времени для микроконтроллерных систем / А. В. Бурмистров, И. В. Филин // Успехи современного естествознания. – 2012. – № 6. – С. 87-88. – EDN PBJTVJ.

3. РОБОКРОСС // RussianRobotics URL: <https://www.russianrobotics.ru/competition/robocros/> (дата обращения: 15.07.2022).

*Н.В. Дубровский*

**РАЗРАБОТКА ПРОТОТИПА БЕСПИЛОТНОГО  
БУЛЬДОЗЕРА ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТ ПО  
ПЛАНИРОВАНИЮ НА ПЕРЕСЕЧЕННОЙ МЕСТНОСТИ**

*ООО «ДСТ-УРАЛ», г. Челябинск, dubrovsky@tm10.ru*

*N.V. Dubrovsky*

**DEVELOPMENT OF A PROTOTYPE OF UNMANNED  
BULLDOZER FOR RELATED WORK ON RUGGED TERRAIN  
PLANNING**

*LTD «DST-URAL», Chelyabinsk, dubrovsky@tm10.ru*

Современные системы управления строительной техникой, информационные технологии и электроника в текущем своем эволюционном развитии достигли такого уровня, что автоматизация и роботизация дорожно-строительной техники оставалась вопросом времени.

Непрерывная модернизация и улучшение систем управления техникой ООО «ДСТ-УРАЛ» подтолкнуло к внедрению и развитию технологий дистанционного управления. Развитие внешних систем, которые позволяют управлять техникой вне кабины началось в 2017 году и с тех пор не останавливается.

Применение таких технологий позволяет вовсе отказаться от использования кабины (см. рис. 1), что приводит к снижению себестоимости продукции, а также центр тяжести машины перемещается ближе к земле, что повышает ее устойчивость по опрокидыванию.

В 2021 году на выставке СТРОЙДОРЭКСПО компанией впер-

вые была представлена технология беспилотного управления. Бульдозер без кабины самостоятельно перемещался в пределах выбранной территории по траектории, заданной удаленно (см. рис. 2) с использованием разработанного специалистами предприятия мобильного приложения. Так же в этом приложении задается угол наклона отвала бульдозера и его высота над уровнем моря.



Рисунок 1 — Бульдозер без кабины

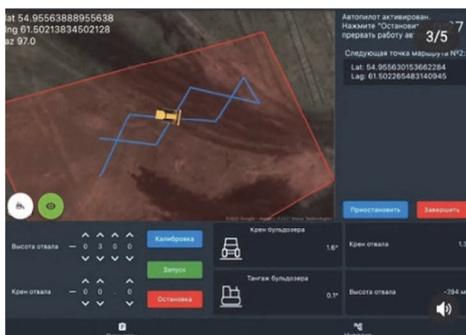


Рисунок 2 — Мобильное приложение для работы с беспилотным бульдозером

Для обеспечения безопасности на бульдозере установлены дополнительные кнопки по бокам, нажатие которых приведет к немедленной остановке машины, и система определения препятствий перед отвалом с техническим зрением и возможностью калибровки зоны действия.

Для корректной работы системы управления был разработан алгоритм движения для перемещения объекта к целевой координате. При этом координата может изменяться уже во время движения машины. Ниже представлена теоретически полученная траектория движения беспилотной машины (см. рис. 3) при указании новой

координаты цели в момент движения. Местность – испытательный полигон ООО «ДСТ-УРАЛ».



Рисунок 3 — Теоретическая траектория движения, наложенная на карту

*А.В. Михайличенко, И.Б. Парашук*  
**НАДЕЖНОСТЬ КОМПОНЕНТОВ ХРАНЕНИЯ  
И ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ДЛЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ  
НАЗЕМНЫМИ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИМИ  
КОМПЛЕКСАМИ ВОЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

*Военная академия связи им. Маршала Советского Союза С.М. Буденного,  
Санкт-Петербург, shchuk@rambler.ru*

*A.V. Mikhailichenko, I.B. Parashchuk*  
**RELIABILITY OF DATA STORAGE AND PROCESSING  
COMPONENTS FOR CONTROL SYSTEMS OF GROUND-  
BASED ROBOTIC COMPLEXES FOR MILITARY PURPOSES**

*Marshal of the Soviet Union S.M. Budyonny Military Academy of Communications,  
St. Petersburg, shchuk@rambler.ru*

Военно-политическая обстановка, сложившаяся в современном мире, требует принятия срочных мер в плане построения и совершенствования наземных робототехнических комплексов (НРТК) военного назначения (ВН), а также систем управления ими [1].

Именно поэтому все большую значимость приобретают научно-практические направления исследований, ориентированные на разработку высокотехнологичных и отказоустойчивых систем управления (СУ) как обычных экстремальных робототехнических комплексов, так и НРТК ВН [2]. Ключевыми компонентами таких СУ являются аппаратно-программные средства хранения и обработки данных

(ХОД). Компоненты ХОД – взаимосвязанная совокупность аппаратно-программных средств для создания производительной и отказоустойчивой инфраструктуры, отвечающей за обработку и хранение информации в интересах управления боевыми роботами.

Компоненты ХОД являются эффективным инструментом в военной инфраструктуре для боевой (экстремальной) робототехники, а от их надежности многое зависит в устойчивом, непрерывном и оперативном управлении НРТК ВН. Вместе с тем, пока не существует единого подхода в вопросах оценки их надежности, что делают актуальной проблему выработки системного подхода в вопросах оценки надежности компонентов ХОД для СУ НРТК ВН в условиях неопределенности.

Неопределенность и зашумленность исходных данных, важных для обобщенной, комплексной оценки надежности компонентов ХОД для СУ НРТК ВН, обуславливает необходимость привлечения для задач анализа новых методов и средств, например, таких как математические методы и алгоритмы гранулярных вычислений [3].

Гранулярные вычисления (ГрВ) могут быть использованы как на этапе синтеза подсистемы параметров надежности компонентов ХОД для СУ НРТК ВН, так и для задач непосредственного анализа надежности данных компонентов в условиях неопределенности.

Предлагается использовать современные «гранулярные» математические подходы, способные осуществлять слияние массивов нечетко заданных, зашумленных данных в группы (информационные «гранулы») по принципу семантического и функционального сходства и реализовывать математически корректную обработку этих данных.

Реализуемые с помощью ГрВ этапы синтеза системы параметров надежности и собственно оценки надежности средств ХОД, нацеленные на повышение достоверности управления боевыми роботами с учетом различных аспектов неопределенности (нечеткости) и зашумленности исходных данных, содержат процедуры информационного гранулирования, гранулярного суммирования, расчета функции следа гранулярной суммы и минимизация следа гранулярной суммы [3].

Таким образом, применение алгоритмов ГрВ позволяет повысить достоверность оценки надежности компонентов ХОД для СУ НРТК ВН за счет уточнения (верификации) неточных, зашумленных и нечетких исходных данных большой размерности. Данные методы позволяют устранить нечеткость и зашумленность исходных данных для оценки надежности компонентов ХОД. Это, в свою очередь, позволяет повысить объективность задания этих исходных данных, и, в

конечном итоге, повысить адекватность управления такими сложными системами.

1. Шеремет И.Б., Рудианов Н.А., Рябов А.В., Хрущев В.С. О необходимости разработки концепции построения и применения автономных робототехнических комплексов военного назначения // Экстремальная робототехника. Труды Международной научно-технической конференции – СПб.: ООО «АП4Принт», 2016. С. 35-39.

2. Андреев В.П., Кирсанов К.Б., Подураев Ю.В. Территориально-распределенное многооператорное управление роботизированными системами с использованием сетевых технологий // Экстремальная робототехника. Труды Международной научно-технической конференции. – СПб.: Изд-во Политехника-сервис, 2015. С. 71-76.

3. Парашук И.Б., Михайличенко Н.В., Михайличенко А.В. Нейронечеткие сети и алгоритмы гранулярных вычислений в задачах интеллектуальной обработки данных для оценки надежности мобильных дата-центров // Применение искусственного интеллекта в информационно-телекоммуникационных системах. Сборник материалов научно-практической конференции. – СПб.: ВАС, 2021. С. 110-115.

*Ю.С. Колесов, Р.Б. Тарасов, В.Е. Пряничников*  
**РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ НЕПРЕРЫВНОГО  
РАЗВЕРТЫВАНИЯ ПРОГРАММНОЙ СРЕДЫ  
ДЛЯ СЕРВИСНЫХ РОБОТОВ**

*ИПМ им. М.В.Келдыша РАН, Москва, fencer.mod1@gmail.com,  
radtarasov@gmail.com, v.e.pr@yandex.ru*

*Y.S. Kolesov, R.B. Tarasov, V.E. Pryanichnikov*  
**DEVELOPMENT OF A SYSTEM FOR CONTINUOUS  
DEPLOYMENT OF A SOFTWARE ENVIRONMENT  
FOR SERVICE ROBOTS**

*KIAM Russian Academy of Sciences, Moscow, fencer.mod1@gmail.com,  
radtarasov@gmail.com, v.e.pr@yandex.ru*

На базе лаборатории «Сенсорика» разрабатывается многоцелевой сервисный робот Амур-307 [1]. Одной из актуальных задач, стоящих перед командой разработчиков, является оперативное первичное развертывание дистрибутива с созданным бортовым программным обеспечением (ПО). В данной статье рассматривается

механизм автоматического развертывания, обновления системы и механизм удаленной отладки в случае критических ситуаций. Реализованный механизм предоставляет новые возможности для установки бортового ПО и отладки системы. В отличие от существующих решений [2], которые загружают операционную систему через проводной сетевой интерфейс, данный подход позволяет задействовать беспроводной интерфейс для первоначального развертывания. Использование загрузчика второго уровня позволяет воспользоваться модулями и программными компонентами, реализующими полный стек сетевого уровня и все необходимые драйвера для использования WiFi.

В качестве вычислительного модуля робототехнической платформы Амур-307 используется Raspberry Pi4. Технические характеристики данного модуля позволяют осуществить загрузку целевой операционной системы напрямую в оперативную память через WiFi сеть с помощью механизма 2-х стадийной загрузки (рис.1).

Вычислительный модуль оснащен интерфейсом сети WiFi, однако, встроенный загрузчик U-boot не имеет встроенных механизмов для работы с данной сетью для загрузки образа ОС и его прошивки [3], поэтому для обновления ПО требовалось прошивать модули вручную, что занимало продолжительное время. При серийном производстве новых робототехнических систем необходимо иметь механизмы загрузки текущей стабильной версии программного обеспечения, проверки на целостность и подлинность, а также его обновление.



Рисунок 1 — Диаграмма стадий работы системы развёртывания ПО. На данной схеме обозначены: u-boot – первичный загрузчик, передающий управление загрузчику 2-го уровня; загрузчик 2-го уровня с встроенными драйверами, который загружает с сервера развертывания образ операционной системы и передает управление прошивке после её размещения в оперативной памяти

Предлагается следующий механизм загрузки: загрузчик первого этапа U-boot передаёт управление загрузчику 2-го этапа, для которого разработано миниатюрное ядро ОС с подключенными драйверами WiFi и встроенной начальной корневой файловой системы (далее initramfs). Уменьшение ядра потребовалось в силу ряда причин: во-первых, место на микросхеме, куда планируются записать загрузчик 2-го уровне сильно ограничено, а, во-вторых, меньший

размер ускоряет время загрузки. Initramfs - это первоначальная корневая файловая система, которая используется на раннем этапе инициализации операционной системы. Она содержит в себе некоторое крайне ограниченное по функционалу количество драйверов, скриптов и утилит, которые используются для финальной загрузки. Удалось сделать свой вариант initramfs с встроенной программой диагностики, драйверами WiFi и скриптами, скачивающими дистрибутив ОС и размещающими его в оперативной памяти с последующей окончательной загрузкой. Это решение часто используется при загрузке разных live образов [4], но в нашем случае загрузка происходит, во-первых, по беспроводной сети, во-вторых, является звеном конвейера последовательного развертывания [5]. После загрузки ядро ОС, которое и представляет собой загрузчик 2-го этапа, через WiFi загружает в оперативную память основную прошивку вычислительного модуля.

Загрузка производится с сервера, при этом целостность образа проверяется по контрольной сумме, а цифровая подпись используется для проверки его подлинности. Это позволяет также проверять корректность применения системы и идентифицировать её пользователей.

Созданное программное решение является элементом последовательного развертывания прошивки, в результате работы созданного механизма, после появления на сервере обновлений новой прошивки происходит её автоматическое развертывание на всех сервисных роботах, подключенных к сети и следящих за обновлениями на сервере. В дальнейшем возможна интеграция модулей рутокен для использования вместе с целевым ПО.

В результате была спроектирована и разработана система непрерывного развёртывания предоставляющая следующие механизмы: первичного развертывания дистрибутива с проверкой его целостности и подлинности, предоставления удалённого доступа для отладки в критических ситуациях и для полного обновления системы. Данная система непрерывного развёртывания, является логическим продолжением ранее разработанной системы непрерывной интеграции бортового ПО для робота Амур-307 [1].

1. Ayskin, A[lexander]; Bogdanovich, A[lena]; Davydov, O[leg]; Grigoriev, A[leksey]; Khelemendik, R[oman]; Kharin, K[onstantin]; Kuvshinov, S[ergey]; Petrakov, M[aksim]; Plotnikov A[leksey], Pryanichnikov, V[alentin]; & Tarasov R[adomir] (2019). Control algorithms for service and industrial transport robots, Proceedings of the 30th DAAAM International Symposium, pp.1166-1173, B. Katalinic (Ed.), Published by

DAAAM International, ISBN 978-3-902734-22-8, ISSN 1726-9679, Vienna, Austria. DOI: 10.2507/30th.daaam.proceedings.164.

2. Маленькие «малинки» в крупном дата-центре. — Текст : электронный // habr.com : [сайт]. — URL: <https://habr.com/ru/company/selectel/blog/580398/> (дата обращения: 14.08.2022).

3. U-Boot Reference Manual. — Текст : электронный // hub.digi.com : [сайт]. — URL: <https://hub.digi.com/dp/path=/support/asset/u-boot-reference-manual/> (дата обращения: 14.08.2022).

4. BootToRAM. — Текст : электронный // : [сайт]. — URL: <https://wiki.ubuntu.com/BootToRAM> (дата обращения: 14.08.2022).

5. Feoktistov A.G., Gorsky S.A., Sidorov I.A., Kostromin R.O., Fereferov E.S., Bychkov I.V. Continuous integrating modules of distributed applied software packages in Orlando Tools. Trudy ISP RAN/Proc. ISP RAS, vol. 31, issue 2, 2019. pp. 83-96.

***В.Е. Пряничников<sup>1-3</sup>, О.И. Давыдов<sup>1</sup>, А.А. Арыскин<sup>2</sup>,  
А.К. Григорьев<sup>2</sup>, Ю.С. Колесов<sup>1</sup>, А.Я. Ксензенко<sup>2</sup>, М.С. Петраков<sup>2</sup>,  
А.В. Плотников<sup>1</sup>, Е.А. Прысев<sup>1</sup>, М.Д. Соловьёва<sup>1</sup>, А.В. Снопков<sup>2</sup>,  
Д.К. Степанова<sup>1</sup>, Р.В. Тарасов<sup>1</sup>, Д.С. Тележкин<sup>1</sup>***

**ИНТЕГРАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ  
ИНТЕЛЛЕКТУАЛИЗАЦИИ СЕРВИСНЫХ МОБИЛЬНЫХ  
И ПРОМЫШЛЕННЫХ РОБОТОВ**

<sup>1</sup>ИПМ им. Кельдыша РАН, Лаборатория «Сенсорика», Москва; <sup>2</sup>МГТУ  
Станкин, Москва; <sup>3</sup>Международный институт новых образовательных  
технологий РГГУ, Москва, [v.e.pr@yandex.ru](mailto:v.e.pr@yandex.ru)

***V.E. Pryanichnikov<sup>1-3</sup>, O.I. Davydov<sup>1</sup>, A.A. Aryskin<sup>2</sup>,  
A.K. Grigoriev<sup>2</sup>, Yu.S. Kolesov<sup>1</sup>, A.Ya. Ksenzenko<sup>2</sup>, M.S. Petrakov<sup>2</sup>,  
A.V. Plotnikov<sup>1</sup>, E.A. Prysev<sup>1</sup>, M.D. Solovyova<sup>1</sup>, A.V. Snopkov<sup>2</sup>,  
D.K. Stepanova<sup>1</sup>, R.V. Tarasov<sup>1</sup>, D.S. Bogotkin<sup>1</sup>***

**INTEGRATION TECHNOLOGIES  
FOR INTELLECTUALIZATION OF SERVICE MOBILE  
AND INDUSTRIAL ROBOTS**

<sup>1</sup>Keldysh Institute of Applied Mathematics Russian Academy of Sciences  
International Laboratory Sensorika, Moscow; <sup>2</sup>MSTU Stankin, Moscow;  
<sup>3</sup>International Institute of New Educational Technologies RSUH, Moscow,  
[v.e.pr@yandex.ru](mailto:v.e.pr@yandex.ru)

При создании мобильных сервисных роботов возникает законо-  
мерная проблема использования разработок программного обеспече-

ния (ПО) от различных авторов для интеллектуализации, обработки сенсорных потоков и управления. Поскольку ещё и конфигурация аппаратно-программных средств и конструкций роботов отличаются большим разнообразием, то центральной задачей становится разработка интеграционного ПО и средств тестирования отдельных объединяемых пакетов ПО и устройств. ИПМ им.Келдыша РАН с МИНОТ РГГУ решает эту актуальную проблему стандартизации и эффективной интеллектуализации разнородных сервисных и промышленных роботов, мехатронных устройств путем выстраивания единой технологии создания интеграционного софта для объединения разнородных заготовок отдельных компонент и проектов, выполненных с разной степенью проработки и реализованных на разных языках программирования. Например, для разрабатываемых нами мобильных роботов серии Амур (работающих в помещениях) реализовывалось следующее ПО.

На основе сформированных обучающих выборок и адаптации нейронных сетей были исследованы и решены задачи распознавания маркеров Агисо-кодов размером 150x150мм для навигации и 50x50мм для различения предметов манипулирования. Даже по некачественным изображениям от наиболее простых видеокамер удалось создать упрощенное ПО для надежной идентификации ручек и дверей, различения лиц (например, при идентификации медперсонала и пациентов госпиталя), для ведения голосового диалога при наведении и командном управлении, а также для синтеза речевых ответов роботов. Удалось обеспечить реализацию этого ПО на распространенных бортовых микропроцессорах. Большие возможности интеллектуализации поведения роботов дала навигационная программа вычисления пассивных фреймов (технология генерации списков проходов/дверей в помещениях) по данным от лидара и по данным от алгоритма аппроксимации препятствий на основе логического сопоставления показаний разнонаправленных ультразвуковых сенсоров.

Перечисленные программные возможности аппаратно обеспечиваются разработанным и тиражируемым достаточно универсальным электронным блоком, который сопрягает силовые ключи 6x30Ax12-24в, одометры, ИК- и УЗВ-датчики с Rasbery-Pi, с каналами связи и системой бортового электропитания. Гусеничное шасси робота Амур-307 с двумя параллельными манипуляторами собирается на основе предложенной технологии быстрого прототипирования, предусматривающего использование комбинации лазерной резки и фрезерования, применение типовых комплектующих массового производства и их встраивание в изделия за счет переходных узлов, из-

готовленных на 3D аддитивных принтерах. Управление манипуляторами строится с использованием управляющих двигательных синергий, поисковых и тестовых движений; разрабатываются также сменные захватные устройства с тензосенсорами.

Подобные технологии интеллектуализации применяются нашим коллективом и для реализации управления промышленными установками/цехами и создания цеховых транспортных систем для текстильной и упаковочной индустрии, для обеспечения работы компактных установок лабораторной отработки различных химических рецептур для последующего переноса в промышленные условия.

Более подробную информацию можно найти в некоторых наших публикациях, приведенных ниже [1-6]. Рекламные списки разработчиков и интеграторов мобильных роботов можно найти в работе [7], исследование [8] посвящено аппаратным проблемам создания распределенных вычислительных систем для роботов. Проведенный анализ этих работ показывает, что предлагаемый нами комплексный подход отличается новизной и эффективностью решений.

1. Intelligent robotronics – methodology for solving logical problems of service robots / V. E. Pryanichnikov, V. V. Chernyshev, O. I. Davydov [et al.] // Annals of DAAAM and Proceedings of the International DAAAM Symposium: 30, – Zadar, 2019. – P. 1131-1135. – DOI 10.2507/30th.daaam.proceedings.158.

2. В.Е. Пряничников, Е.А. Шиповалов, Р.Б. Тарасов. Интеллектуальное обеспечение логистических миссий в медучреждениях мобильными сервисными роботами АМУР-307 // РОБОТОТЕХНИКА и ТЕХНИЧЕСКАЯ КИБЕРНЕТИКА / ROBOTICS and TECHNICAL CYBERNETICS 2021; N 9(2), С. 121-126, ISSN 2310-5305, DOI: 10.31776/RTCJ.9206, RSCI / Web of Science.

3. Plotnikov, A[leksey] & Pryanichnikov, V[alentin] (2021). Kinestostatic Analysis of the Service Mobile Robot with Manipulator, Proceedings of the 32nd DAAAM International Symposium, pp.0446- 0453, B. Katalinic (Ed.), Published by DAAAM International, ISBN 978-3-902734-33-4, ISSN 1726-9679, Vienna, Austria DOI: 10.2507/32nd.daaam.proceedings.065/

4. Chernyshev V.V., Pryanichnikov V.E., Arykantsev V.V. (2021) Algorithms of Self-control of the Underwater Walking Device According to Information on a Collision of Feet with an Unorganized Support Surface. In: Yuschenko A. (Eds) Modern Problems of Robotics. MPoR 2020. Communications in Computer and Information Science, vol 1426. Springer, Cham. DOI [https://doi.org/10.1007/978-3-030-88458-1\\_14](https://doi.org/10.1007/978-3-030-88458-1_14),

Print ISBN 978-3-030-88457-4 Online ISBN 978-3-030-88458-1

5. Давыдов О.И. Архитектура системы управления мобильного сервисного робота / Давыдов О.И., Пряничников В.Е. // Информационно-измерительные и управляющие системы. – М.: Радиотехника, 2015, т.13 № 7. - С.41 -50.

6. Пряничников В.Е., Арыскин А.А., Ксензенко А.Я., Петраков М.С., Игнатьев В.А., Хелемендик Р.В. Построение сервисного автономного мобильного робота на основе управления, использующего логический анализ реализуемости операций // Научный сервис в сети Интернет: труды XX Всероссийской научной конференции (17-22 сентября 2018 г., г. Новороссийск). — М.: ИПМ им. М.В.Келдыша, 2018. -528с., С.428-438, DOI:10.20948/abrau-2018 <https://keldysh.ru/abrau/2018/proc.pdf>.

7. <https://bespilot.com/robots/robots-developers> Разработчики-интеграторы робототехнических систем (по состоянию на 27.09.2022).

8. Сеченов С.И. Методика разработки облачной архитектуры распределенных вычислительных комплексов мобильных роботов. Автореферат диссертации по спец. 05.13.15, М.: ВАК РФ, 2021, <https://www.dissercat.com/content/metodika-razrabotki-oblachnoy-arkhitektury-raspredeleennykh-vychislitelnykh-kompleksov-mobiln>

*В.Е. Пряничников, А.В. Плотников*

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ СОПОСТАВЛЕНИЯ  
ПОКАЗАНИЙ ПРОСТРАНСТВЕННО РАЗНЕСЕННЫХ  
УЛЬТРАЗВУКОВЫХ СЕНСОРОВ ДЛЯ ЗАХВАТА ОБЪЕКТОВ  
МОБИЛЬНЫМ СЕРВИСНЫМ РОБОТОМ**

*ИПМ им.Келдыша РАН, базовая кафедра СиУС при МГТУ Станкин,  
Международный институт новых образовательных технологий РГГУ,  
Москва, v.e.pr@yandex.ru, plotnikov.workmail@yandex.ru*

*V.E. Pryanichnikov, A.V. Plotnikov*

**USING ALGORITHMS FOR COMPARING THE READINGS  
OF SPATIALLY SPACED ULTRASONIC SENSORS TO  
CAPTURE OBJECTS BY A MOBILE SERVICE ROBOT**

*KIAM Russian Ac.Sc, basic chair in MSTU Stankin, International Institute of New  
Educational Technologies RSUH, Moscow, v.e.pr@yandex.ru,  
plotnikov.workmail@yandex.ru*

В ИПМ им.Келдыша РАН совместно с рядом организаций ведутся работы по созданию мобильных сервисных роботов, способных авто-

номно решать такие задачи как навигация в помещениях, захват и перенос объектов в условиях, где пребывание человека нежелательно. Например, одной из возможных областей применения сервисного робота АМУР-307 является работа в красных зонах госпиталей [1].

В работе предлагается алгоритм захвата объектов, с применением дополнительного ускорения мобильной базы (рис. 1). Для осуществления операций оценки массы объекта манипулирования и осуществления сложного движения захвата необходимо было решить задачу исследования динамики системы «тележка - манипулятор». Решение задачи динамики осуществлялось роботом, используя аналитические решения по методу кинестатики.

Для определения допустимого движения транспортной платформы робота, определения плоскости, на которой расположен объект, необходимо согласование с алгоритмами навигации и картографирования робота. Осуществить картографирование ближайшего операционного пространства можно разными способами. Например, лидары обеспечивают относительно высокое качество сканирования, но это достаточно дорогостоящие хрупкие устройства, у которых есть проблемы с идентификацией стеклянных перегородок и зеркал. Применение сонаров существенно дешевле, но они отличаются худшей точностью сканирования из-за широкой диаграммы направленности излучения. Поэтому необходимо программным способом увеличить угловое разрешение за счет дополнительных алгоритмов обработки и сопоставления показаний от нескольких специальным образом ориентированных датчиков. Эти подходы актуальны для применения и на подводных аппаратах [2].

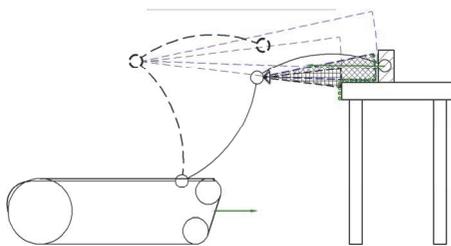


Рисунок 1 — Стратегия захвата объекта мобильным роботом

Как показали проведенные исследования с использованием математического моделирования и макетирования, удалось построить алгоритм картографирования для трехмерного случая. Идентификация препятствий проводится за счет сопоставления парных измерений, логического анализа их показаний и закругления показаний

локаторов. Разработана достаточно нетривиальная система правил для генерации точек в 2D (карта местности получается в виде облака пятен). Эта система правил дополняется алгоритмом удаления точек в 2D, наблюдаемых с разных ракурсов. Для совмещения показаний нескольких датчиков проводится переход в третье измерение, выполняется адаптация алгоритма на случай 3D. Пример работы алгоритма приведен на рисунке 2.

Внизу на рисунке представлен результат аппроксимации препятствий многогранниками — этот вариант алгоритма работает существенно медленнее. С помощью облака пятен оказалось возможным определять препятствия, требующие специальных алгоритмов их преодоления, например, при идентификации высокого порога, его прохождение требует осторожности - необходим переход на малые скорости движения. При использовании вертикального привода (или при размещении датчика на манипуляторе) становится возможным определение не только расположения плоскости стола, но и предметов на нем для решения задач их захвата. Из рисунка 2 также понятно, что визуализация работы алгоритма необходима прежде всего для его отладки, в то время как бортовой вычислитель робота оперирует списками и системами правил.

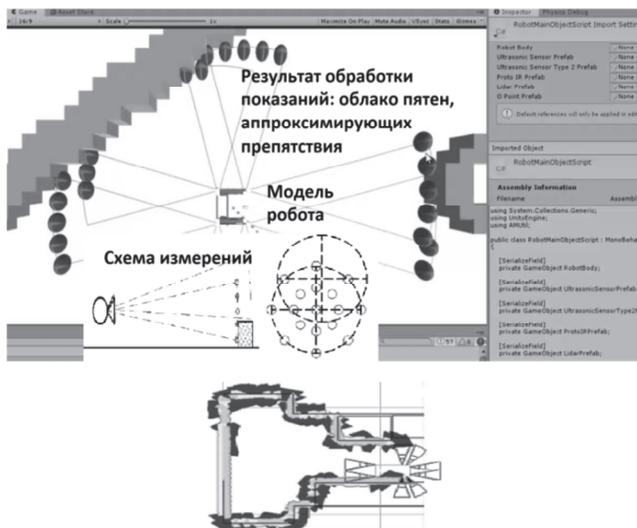


Рисунок 2 — Результаты работы двух алгоритмов пространственного сопоставления показаний ультразвуковых сенсоров — выполняется аппроксимация препятствий облаком пятен (вверху) или шлейфом из трапеций (внизу)

В работе подробно обсуждаются и другие методы эффективной интеллектуализации сервисных мобильных роботов при решении задач картографирования и навигации на основе обработки последовательных сканов местности, сделанных лидаром, и с помощью системы ультразвуковых локаторов при сопоставлении длинных шлейфов измерений. Особенности предложенных алгоритмов являются их высокое быстродействие и достаточная компактность. Апробация проводилась как на математических моделях, так и на реальных мобильных роботах.

1 Plotnikov, A[leksei] & Pryanichnikov, V[alentin] (2020). Mapping Algorithm, Simulating Lidar and Sonars on Mobile Robots, Proceedings of the 31st DAAAM International Symposium, pp.0986-0993, B. Katalinic (Ed.), Published by DAAAM International, ISBN 978-3-902734-29-7, ISSN 1726-9679, Vienna, Austria DOI: 10.2507/31st.daaam.proceedings.136.

2 V.V. Chernyshev, V.E. Pryanichnikov, V.V. Arykantsev, I.P. Vershinina, Ya.V. Kalinin, «Research of the walking type of movement in underwater conditions», OCEANS 2019 – Marseille, IEEE, Marseille, France, 2019, pp. 1–6, <https://doi.org/10.1109/OCEANSE.2019.8867233>

***Р.Б. Тарасов, А.В. Плотников, В.Е. Пряничников***  
**РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ КАРТОГРАФИРОВАНИЯ  
И ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ СЕРВИСНЫХ РОБОТОВ**

*ИПМ им. М.В.Келдыша РАН, Москва, [radtarasov@gmail.com](mailto:radtarasov@gmail.com),  
[plotnikov.workmail@yandex.ru](mailto:plotnikov.workmail@yandex.ru), [v.e.pr@yandex.ru](mailto:v.e.pr@yandex.ru)*

***R.B. Tarasov, A.V. Plotnikov, V.E. Pryanichnikov***  
**DEVELOPMENT OF MAPPING AND POSITIONING  
ALGORITHMS OF SERVICE ROBOTS**

*Keldysh Institute of Applied Mathematics Russian Academy of Science, Moscow,  
[radtarasov@gmail.com](mailto:radtarasov@gmail.com), [plotnikov.workmail@yandex.ru](mailto:plotnikov.workmail@yandex.ru), [v.e.pr@yandex.ru](mailto:v.e.pr@yandex.ru)*

При разработке робототехнических систем одной из главнейших задач встающих перед разработчиками является задача очувствления разрабатываемой системы. Для перемещающегося в пространстве робота наиболее остро встаёт проблема совмещения показаний дистанционных сенсоров и датчиков внутренней информации,

нахождения алгоритмов сканирования окружающего пространства, поиска путей и обхода/уклонения от препятствий.

В данной статье рассматривается реализация механизмов картографирования окружающего пространства робота на основе данных лидара, массива ультразвуковых сенсоров, акселерометра, гироскопа и энкодеров моторов, установленных на сервисном гусеничном роботе серии АМУР-307 [1], структура алгоритмов представлена на рисунке 1.

Для решения задач картографирования и позиционирования были реализованы алгоритмы, позволившие связать данные от разнородных датчиков и хранить их в упрощённом виде для снижения вычислительной нагрузки [2] в виде так называемого «информационного поля» - специальной 2D-структуры данных. Эти алгоритмы можно разделить на 3 блока:

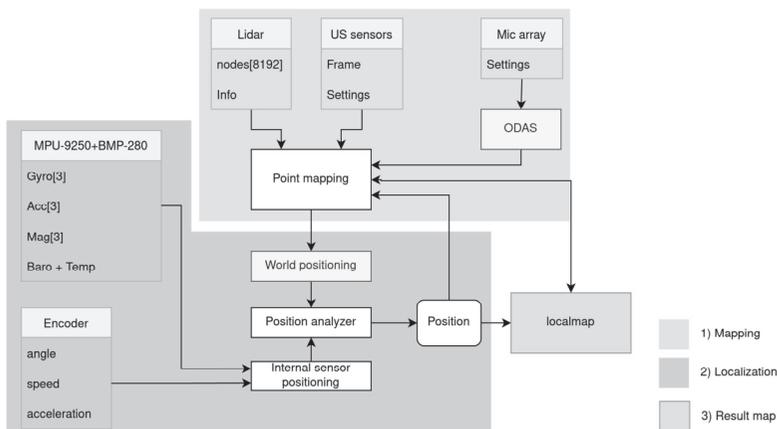


Рисунок 1 — Структура алгоритмов картографирования и позиционирования.

(1) *Алгоритмы позиционирования робота.* Основная часть данных алгоритмов работает по данным от датчиков внутреннего состояния: одометров и инерциальных сенсоров. Другая часть алгоритмов по изменению расстояний до препятствий вычисляет при помощи непрерывной триангуляции облако инвариантных точек, получаемых из блока картографирования окружающей среды. После получения внутренних и внешних данных происходит их сопоставление, основываясь на таблице правил, в которой находятся также коэффициенты доверия к различным группам данных.

(2) *Алгоритмы картографирования окружающей среды.* На роботе установлены лидар, массив ультразвуковых сенсоров и массив микрофонов, эти датчики выдают облака точек. Все полученные данные сохраняются в контейнер данных карты с пометкой типа датчика. Для работы с лидаром была модифицирована оригинальная версия библиотеки от компании RPLidar. Для работы с массивом сонаров команда разработчиков робота АМУР реализовала библиотеку SPM, предоставляющую возможность конфигурации и получения данных с массива сонаров [3,4]. Для микрофонного массива была применена библиотека с открытым исходным кодом ODAS.

(3) *Контейнер* для хранения всех полученных данных на карте и обрабатывающие алгоритмы. Для хранения карты здания была выбрана следующая модель:

- Каждый этаж представлен двумерной картой;
- Каждая карта этажа поделена на квадратные сектора равные или большие, чем наибольший из размеров корпуса робота;
- Каждый сектор представлен программной ячейкой, которая не хранит весь массив точек, а только обобщенные показатели проходимости, историю проезда роботом окрестностей секторов и прочую достаточно простую информацию.

Из перечисленных модулей была собрана и протестирована SLAM-система. Эта разработанная система предоставляет все необходимые данные для реализации следующего уровня – навигации робота по карте пространства. Данной точности хранения данных хватает с избытком для построения траекторий движения на большие расстояния, однако для навигации при движении также происходит обработка массива точек в каждом цикле управления для обнаружения перемещающихся препятствий в ближней зоне мобильного робота.

1. Ayskin, A[lexander]; Bogdanovich, A[lena]; Davydov, O[leg]; Grigoriev, A[leksey]; Khelemendik, R[oman]; Kharin, K[onstantin]; Kuvshinov, S[ergey]; Petrakov, M[aksim]; Plotnikov A[leksey], Pryanichnikov, V[alentin]; & Tarasov R[adomir] (2019). Control algorithms for service and industrial transport robots, Proceedings of the 30th DAAAM International Symposium, pp.1166-1173, B. Katalinic (Ed.), Published by DAAAM International, ISBN 978-3-902734-22-8, ISSN 1726-9679, Vienna, Austria. DOI: 10.2507/30th.daaam.proceedings.164.

2. Ayskin, A[lexander]; Davydov, O[leg]; Eprikov S[tanislav]; Ksenzenko A[lexander]; Pryanichnikov, V[alentin]; Punenkov O[leg]; Shipovalov E[gor]; Solovyova M[ariia]; Stepanova D[aria]; Tarasov

R[adomir] & Tikhomirov A[lexey] (2020). Robotariums implementations with the Elements of Artificial Intelligence Control, Proceedings of the 31st DAAAM International Symposium, pp.0973-0985, B. Katalinic (Ed.), Published by DAAAM International, ISBN 978-3-902734-29-7, ISSN 1726-9679, Vienna, Austria DOI: 10.2507/31st.daaam.proceedings.135.

3. Plotnikov, A[lleksei] & Pryanichnikov, V[alentin] (2020). Mapping Algorithm, Simulating Lidar and Sonars on Mobile Robots, Proceedings of the 31st DAAAM International Symposium, pp.0986-0993, B. Katalinic (Ed.), Published by DAAAM International, ISBN 978-3-902734-29-7, ISSN 1726-9679, Vienna, Austria DOI: 10.2507/31st.daaam.proceedings.136.

4. А.В. Плотников, В.Е. Пряничников. АЛГОРИТМ КАРТОГРАФИРОВАНИЯ ОПЕРАЦИОННОГО ПРОСТРАНСТВА РОБОТА ПО УЛЬТРАЗВУКОВЫМ ДАННЫМ Труды международной научно-технической конференции ЭКСТРЕМАЛЬНАЯ РОБОТОТЕХНИКА (Proceedings of the International scientific and technological conference EXTREME ROBOTICS). – Санкт-Петербург: ООО «Издательско-полиграфический комплекс «Гангут», 2020. – с. 34.

*A.A. Tachkov*

### **НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ ПРОБЛЕМА СИНТЕЗА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ГРУППОЙ НАЗЕМНЫХ РТК**

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

*A.A. Tachkov*

### **THE PROBLEM OF SYNTHESIS OF THE CONTROL SYSTEM FOR A GROUP OF UNMANNED GROUND VEHICLES**

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

В робототехнике проблему группового управления робототехническими комплексами (РТК) зачастую сводят к частным задачам, например, совместного движения, распределения целей в группе, координации действий и т.п. [1, 2], что позволяет осуществить синтез, но только отдельных подсистем системы группового управления. Проблема синтеза подобной системы напрямую связана с необходимостью оперирования большим числом координат состояния как объектов управления, так и самой системы [3, 4].

В формализованном виде проблема синтеза системы управления  $S^*$  группой наземных РТК заключается в определении состава вычислительных (технических), информационных и программных средств системы управления по РТК и пункту управления, при которых достигается максимальная эффективность применения группы  $\hat{W}$  при заданных стоимостных ограничениях  $C_0$  на разработку системы:

$$S^* = \left\langle U_S, F_S, Q_S^*, E_S^* \right\rangle = \underset{\substack{Q_S \in \{Q_S(C_0)\}_a \\ E_S \in \{E_S\}_a}}{\arg \max} \hat{W}(S, \hat{\mathbf{B}}, C_0), \quad (1)$$

где  $U_S = \{u_1, u_2\}$  – множество целей системы управления группой РТК;  $u_1$  – обеспечение оперативного формирования операции;  $u_2$  – обеспечение оптимальности результата в групповом действии;  $F_S$  – множество функций системы управления;  $Q_S$  – структура системы управления;  $E_S$  – эмерджентность (несводимость свойств системы к сумме свойств её компонентов) системы управления;  $\{Q_S(C_0)\}_a$  – альтернативные варианты структуры системы управления;  $\{E_S\}_a$  – допустимые варианты эмерджентности системы управления (технологические ограничения);  $\hat{\mathbf{B}}$  – вектор условий функционирования группы РТК.

Особенностями данной научно-технической проблемы являются:

- стохастический характер показателя эффективности  $\hat{W}$ ;
- неопределенность условий применения группы РТК (заранее неизвестны условия применения группы), поэтому на этапе проектирования системы управления (до применения группы) требования к значениям  $\hat{W}$  носят также неопределенный (субъективный) характер;
- большой размер пространства состояний параметров проектируемой системы управления.

В докладе рассматривается подход к её решению, в частности, метод уменьшения пространства состояний параметров при выборе класса альтернативных вариантов структуры системы управления. Уменьшение пространства достигается за счёт совместного применения «метода группового управления»<sup>1</sup> [5] и принципа иерархической структуризации системы группового управления [3].

---

<sup>1</sup> Метод группового управления – совокупность приемов и способов планирования (формирования) операции (организации групповых действий), а также способов воздействия на группу РТК (организация робототехнической системы) для достижения цели операции.

Рисунок 1 поясняет суть метода группового управления. На рисунке пунктирной линией показаны границы ответственности между разработчиками разных уровней систем управления и оператором (или операторами), которые взаимодействуют с РТК во время проведения операции. Оператор отвечает за формирование плана операции (потенциальной последовательности групповых действий) применительно к условиям применения группы РТК. Формирование такого плана возможно только при наличии конечного списка групповых действий и доступных для них параметров.

Любое групповое действие для  $i$ -го РТК, реализованное в виде некоторого алгоритма разработчиком групповых алгоритмов, представляет собой подмножество выполняемых индивидуальных действий  $F^i$  из множества  $F_i^i$  всех доступных действий [6]. Выполнение индивидуальных действий связано с появлением информации  $I^i$  об этом действии. При разработке групповых алгоритмов разработчик использует конечное множество моделей работы подсистем РТК (индивидуальных действий) и полученную информацию. Также возможен обмен информацией  $I$  между РТК на групповом уровне (или между операторами, данный вариант не показан, чтобы не загромождать рисунок) в зависимости от класса системы управления. В случае, если имеется возможность на уровне отдельных РТК определять в процессе работы показатель качества выполнения задачи группой (функционал), то появляется возможность автоматически подстраивать работу группы под условия применения без вмешательства оператора.

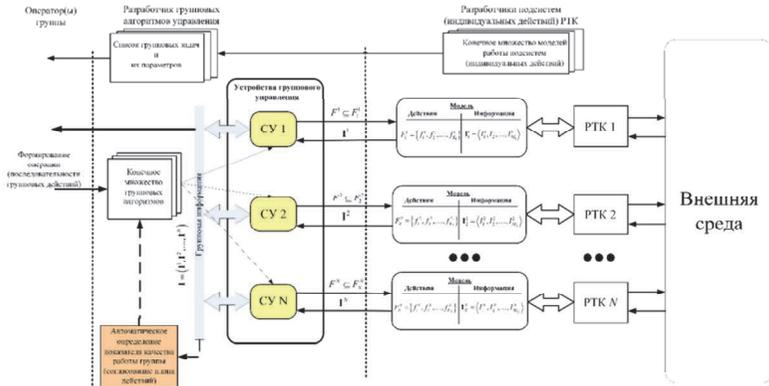


Рисунок 1 — Обобщенная структурная схема системы группового управления РТК

Таким образом, в зависимости от условий функционирования группы РТК можно обоснованно выбрать один из методов группового управления (мощность множества методов определяется размерностью признакового пространства для описания метода, например, в работе [5] определено 16 методов для 4-х бинарных признаков). При этом метод группового управления задает вполне определенный класс альтернативных вариантов построения систем управления, оптимизация параметров которых далее проводится в соответствии с (1).

1. Пшихопов В.Х., Медведев М.Ю. Групповое управление движением мобильных роботов в неопределенной среде с использованием неустойчивых режимов // Труды СПИИРАН, 2018, Вып. 60, С. 39-63.

2. Метод распределения целей в группах интеллектуальных мобильных роботов / Д.А. Белоглазов и др. // Известия ТулГУ. Технические науки, 2016, Вып. 11, Ч.3, С. 122 – 133.

3. Веселов Г.Е., Скляров А.А. Современные методы синтеза систем группового управления мобильными роботами // IX Всероссийская научная конференция «Системный синтез и прикладная синергетика» (п. Нижний Архыз, Россия, 24-27 сентября 2019 г.), С. 30-40 (DOI: 10.23683/978-5-9275-3228-5-2019-30-40).

4. Durand J-G. A methodology to achieve microscopic/macroscopic configuration tradeoffs in cooperative multi-robot systems design // A thesis of the Degree Doctor of Philosophy, Georgia Institute of Technology, 2017, 666 p.

5. Тачков А.А. Признаковое описание метода группового управления робототехническими комплексами военного назначения // Сборник материалов VI Всероссийской научно-практической конференции «Вопросы контроля хозяйственной деятельности и финансового аудита, национальной безопасности, системного анализа и управления», М.: ФГБНУ «Экспертно-аналитический центр», 2021, С. 550-553.

6. Подход к формализации тактической задачи для группы наземных робототехнических комплексов военного назначения / А.А. Максимов и др. // Вопросы оборонной техники. Серия 16, 2017, Вып. 7-8 (109-110), С. 88 – 96.

*Д.С. Яковлев, А.А. Тачков*  
**МЕТОД ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ  
БЕСПИЛОТНОГО ДВИЖЕНИЯ НАЗЕМНЫХ МОБИЛЬНЫХ  
РОБОТОВ**

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

*D.S. Iakovlev, A.A. Tachkov*  
**METHOD OF ENSURING MOVEMENT SAFETY OF GROUND  
UNMANNED MOBILE ROBOTS**

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

Доклад посвящен методу обеспечения безопасности движения мобильного робота (МР), который позволяет принимать взвешенное решение при выборе оптимального и безаварийного поведения (стратегии) МР.

Поведение или стратегия движения МР  $\mathbf{st} = \langle \mathbf{r}, V \rangle$  определяется кортежем из траектории  $\mathbf{r}$  и безопасной скорости  $V$  движения МР. Сложность задачи обеспечения безаварийного движения МР состоит в обоснованном выборе параметров стратегии  $\mathbf{st}$  для снижения ожидаемого ущерба (риска) от потенциального столкновения при условии минимизации отклонения средней скорости движения МР от заданной оператором.

Представленный в докладе метод обеспечения безопасности движения МР (рис. 1) позволяет выбирать оптимальную стратегию, выполняя оценку текущей ситуации.

На первом этапе выполняется анализ окружающей обстановки, включающий в себя вероятностную оценку наличия препятствий в зоне движения МР  $\mathcal{P}(\Omega_h, cl)$  на основе информации из карты внешних объектов  $\mathcal{L}_0(\Omega_h, cl)$ . Вычисляется вероятность столкновения МР  $P_{col}^i$  для каждого найденного в зоне движения МР препятствия  $\mathbf{ob}_i$  с помощью предварительной оценки вероятности наезда МР на препятствия  $\mathcal{P}_{cov}(\Omega_h, \mathbf{r}_i)$  при движении по траектории  $\mathbf{r}_i(t)$  с учетом текущего пространственного положения МР  $\mathbf{q}^*(t)$  и координатного закона  $p(\omega_{ij} | \theta)$  вероятности отклонения МР от траектории  $\mathbf{r}_i(t)$ , который получен из анализа динамических характеристик системы беспилотного управления движением МР [1].

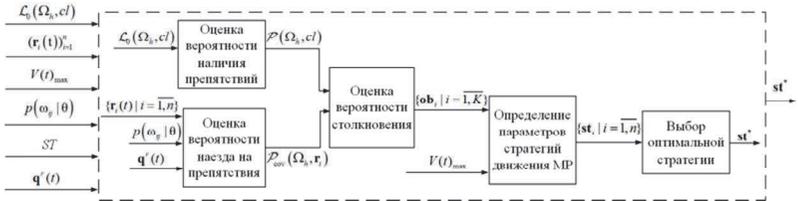


Рисунок 1 — Структурная схема метода обеспечения безопасности беспилотного движения МР

Второй этап подразумевает определение параметров всех доступных стратегий движения МР  $\{\mathbf{st}_i | i = \overline{1, n}\}$  в соответствии с множеством доступных в данный момент времени траекторий движения  $\{\mathbf{r}_i(t) | i = \overline{1, n}\}$  путем взвешенного анализа ожидаемых ущербов (рисков) с помощью модели принятия решений [2].

На третьем этапе выполняется оценка значения среднего риска  $\overline{R}(\mathbf{st}_i)$  для каждой стратегии из множества  $\{\mathbf{st}_i | i = \overline{1, n}\}$  и выбор оптимальной стратегии движения МР, для которой выполняется условие минимальности среднего риска  $\mathbf{st}^* = \arg \min_{i \in \{\overline{1, n}\}} \overline{R}(\mathbf{st}_i)$ .

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. Iakovlev D. S., Collision Risk Analysis to Ensure the Safety of Autonomous Vehicle Motion Control, 2021 International Russian Automation Conference (RusAutoCon), 2021, pp. 644-649, doi: 10.1109/RusAutoCon52004.2021.9537403.

*С.Ю. Курочкин, А.А. Тачков*

**СТАТИСТИЧЕСКАЯ ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ  
ГРУППОВОГО ДВИЖЕНИЯ МОБИЛЬНЫХ РОБОТОВ С  
УЧЕТОМ ВЕРОЯТНОСТНО-ВРЕМЕННЫХ  
ХАРАКТЕРИСТИК СИСТЕМЫ СВЯЗИ И АВТОНОМНОГО  
УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ**

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

*S.Yu. Kurochkin, A.A. Tachkov*

**STATISTICAL MODEL OF A MULTI-ROBOT FORMATION  
CONTROL SYSTEM WITH RESPECT TO COMMUNICATION  
AND AUTONOMOUS MOTION CONTROL SYSTEM  
PROBABILISTIC AND TIME CHARACTERISTICS**

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

Доклад посвящен задаче статистического имитационного моделирования группового движения мобильных роботов (МР), оснащенных системой автономного управления движением (САУД) [1], с сохранением заданной формы строя. Обмен информацией о своем положении в пространстве, текущей скорости и состоянии в процессе движения между МР осуществляется при помощи системы связи, которая имеет вероятностно-временные характеристики (ВВХ), основными из которых являются пропускная способность каналов связи, вероятность доставки сообщений и время задержки сообщений в сети. Вероятностными характеристиками обладает и САУД из-за возникновения случайных ошибок в информационно-измерительной системе и контуре управления. Как следствие, входящая в САУД подсистема безопасности может ошибочно идентифицировать потенциальное столкновение МР с препятствием и выдать сигнал снижения скорости вплоть до полной остановки или смены траектории движения [2]. Поэтому за основную вероятностно-временную характеристику САУД принята интенсивность остановок МР, а для системы связи – время задержки сообщений в сети.

С целью определения влияния перечисленных выше ВВХ на качество движения группы МР (сохранение заданной формы строя) разработана имитационная модель, структура которой представлена на рисунке 1. Имитационная модель входящего в группу МР состоит из следующих элементов: модели имитации запаздываний доставки сообщений в канале обмена данными, модуля управления

движением МР в группе, а также модели САУД, в которую входят модели тракторного регулятора [3], динамики МР с учетом приводного уровня [4] и подсистемы безопасности САУД. Согласованное движение группы МР в строю заданной формы обеспечивается алгоритмом, реализующим метод децентрализованной виртуальной структуры [5]. Разработанная модель позволяет осуществить настройку выбранного алгоритма группового управления, а также исследовать влияние ВВХ системы связи и САУД на качество движения группы МР. В качестве показателей качества движения группы МР выбрана средняя скорость движения группы и отклонение от заданной формы строя. Зависимость показателей качества от указанных ВВХ получена при помощи статистического имитационного моделирования методом Монте-Карло.

Имитационная модель реализована в пакете MATLAB с использованием библиотек Simulink, Parallel Computing Toolbox и Coder. Выполнено статистическое имитационное моделирование для варьируемых ВВХ системы связи и САУД (задержки сообщений от 0 до 10 с при различной интенсивности остановок МР [2]). В результате обработки экспериментальных данных получена зависимость показателей качества движения группы МР от варьируемых ВВХ системы связи и САУД.

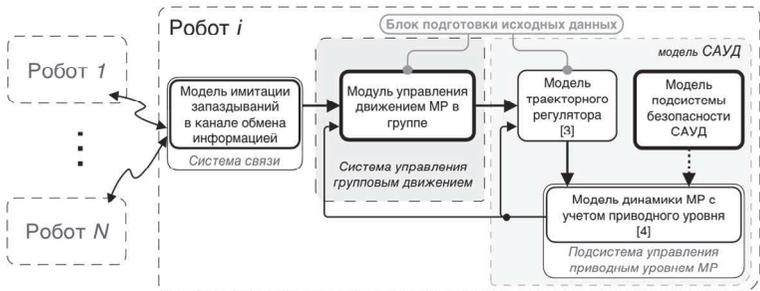


Рисунок 1 — Структура имитационной модели группы МР

1. Тачков А.А. Принципы построения систем автономного управления движением наземных робототехнических комплексов специального назначения // Сборник тезисов 32-й Международной научно-технической конференции «ЭКСТРЕМАЛЬНАЯ РОБОТОТЕХНИКА». Санкт-Петербург, 2021. С. 49-51.

2. Iakovlev D. S., Collision Risk Analysis to Ensure the Safety of Autonomous Vehicle Motion Control, 2021 International Russian Automation Conference (RusAutoCon), 2021, С. 644-649.

*А.В. Козов, М.В. Мельникова*

**ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ СИНТЕЗА СУПЕРВИЗОРА  
ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ДИСКРЕТНО-СОБЫТИЙНОЙ  
СИСТЕМЫ ГРУППОВОГО УПРАВЛЕНИЯ МОБИЛЬНЫМИ  
РОБОТАМИ**

*МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, alexey.kozov@gmail.com,  
mashamelnikova12@mail.ru*

*A.V. Kozov, M.V. Melnikova*

**APPLICATION OF SUPERVISOR SYNTHESIS METHODS  
IN DESIGNING A DISCRETE-EVENT GROUP CONTROL  
SYSTEM FOR MOBILE ROBOTS**

*Bauman Moscow State Technical University, Moscow, alexey.kozov@gmail.com,  
mashamelnikova12@mail.ru*

Доклад посвящён особенностям методов синтеза дискретно-событийного супервизора для системы группового управления (СГУ) мобильными робототехническими комплексами (МРТК). Сложность создания СГУ для группы МРТК, действующей в недетерминированной среде, обусловлена высокими требованиями по быстродействию, адаптивности и надёжности системы, а также проблемой «проклятия размерности». Наиболее остро эта проблема проявляется при проектировании верхних уровней иерархической СГУ, обеспечивающей согласование и координацию действий МРТК группы для достижения поставленной человеком-оператором цели [1].

Представление верхних уровней СГУ в виде дискретно-событийной системы позволяет применить при их проектировании теорию супервизорного управления [2]. В докладе рассмотрены некоторые методы синтеза супервизора в рамках этой теории, приведены оценки их вычислительной сложности и применимости при проектировании и реализации дискретно-событийной системы группового управления (ДССГУ) для МРТК. Метод домино А.А. Амбарцумяна [3] отмечен как наиболее подходящий по критерию вычислительной сложности для применения в динамически реконфигурируемой ДССГУ. Продемонстрированы ограничения этого метода, связанные с параллельными (независимыми) действиями МРТК при выполнении группового действия. Предложены расширение синтаксиса описания требуемого поведения (спецификации) и модификация метода домино, позволяющие снять указанные ограничения без увеличения вычислительной сложности.

Применение модифицированного метода продемонстрировано на примере синтеза супервизора для выполнения группового действия выхода на рубеж с последующим тушением очага пожара тремя МРТК (рис. 1). Описаны дискретно-событийная модель участвующего в групповом действии МРТК, спецификация требуемого поведения группы из трёх роботов, а также объединённая сеть Петри супервизора и объекта управления, полученная в соответствии с предложенной модификацией.

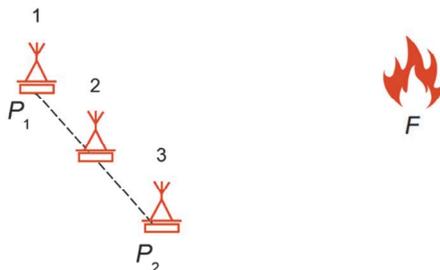


Рисунок 1 — Позиции роботов группы на рубеже тушения  $P_1P_2$  для ликвидации очага пожара  $F$  при выполнении группового действия

В заключение указаны возможные направления дальнейшей модификации метода домино для его применения при проектировании и реализации ДССГУ МРТК.

1. Волосатова Т.М., Козов А.В., Тачков А.А. Система группового управления мобильными роботами с позиций автоматизированного проектирования // Информационные технологии. Т. 26, № 5. С. 274–282.

2. Wonham W.M., Cai K. Supervisory Control of Discrete-Event Systems. Cham: Springer, 2018. 502 p.

3. Амбарцумян А.А. Сетевое управление на сетях Петри в структурированной дискретно-событийной системе // УБС, 2010, выпуск 30.1, С. 506–535.

*Н.А. Бузлов*

**РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ЛОКАЛИЗАЦИИ НАЗЕМНЫХ  
РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ В ГОРОДСКОЙ  
ИНДУСТРИАЛЬНОЙ СРЕДЕ И В УСЛОВИЯХ  
СЛАБОПЕРЕСЕЧЕННОЙ МЕСТНОСТИ**

*МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, nikita\_buzlov@outlook.com*

*N.A. Buzlov*

**SOLUTION OF THE PROBLEM OF LOCALIZATION OF  
GROUND ROBOTICS SYSTEMS IN URBAN ENVIRONMENT  
AND OFF ROAD TERRAIN**

*Bauman Moscow State Technical University, Moscow,  
nikita\_buzlov@outlook.com*

Решение задачи определения положения и ориентации робототехнических комплексов (РТК) является наиболее важной для достижения поставленной цели для систем автоматического управления движением (САУД). В качестве источников локализации в основном используют одометрию, инерциальную навигационную систему (ИНС) и глобальную навигационную спутниковую систему (ГНСС). Также определение положения и ориентации РТК осуществляют с помощью методов визуальной навигации [1].

В докладе рассматриваются частные проблемы построения системы локализации при создании системы автономного управления движением. На рисунке 1 показано потребление бортовых вычислительных ресурсов современных САУД при решении классических задач:



Рисунок 1 — Количество потребляемых бортовых ресурсов вычислителя при решении задач в САУД

Поэтому в условиях резко ограниченного количества ресурсов бортового вычислителя для получения наиболее качественного результата приходится использовать оптимальную стратегию для решения задачи локализации.

Блок инерциальной навигационной системы и одометрия как источники относительной угловой и линейной скоростей позволяют решать задачу локализации с помощью счисления пути. Стоит отметить, что несмотря на проскальзывание движителя, а также наличие шумов, дрейфа и флуктуаций данных - эти источники позволяют решать задачу локализации в относительной системе координат с достаточной точностью с целью использования данной информации при работе контроллера движения [2], модуля локального планирования, построения карты профильной проходимости, а также устранения дисторсии лидара. При использовании математических операций, к примеру интегрирования, данные источники не потребляют большое количество ресурсов.

Для глобального определения положения и ориентации РТК, в основном, используют ГНСС. Точность данного решения как правило сильно зависит от самого устройства, а также от окружающей среды, поэтому для решения используют другие методы. Отсюда появляется главная проблема: какой метод использовать при ограниченном количестве ресурсов.

Доклад освещает доступные методы глобальной локализации, в условиях ограниченного количества бортовых ресурсов. Предлагается рекомендация для комплексирования ГНСС, ИНС и одометрии.

1. Девятериков Е.А., Михайлов Б.Б. Система управления движением мобильного робота с визуальным одометром. Информатика, телекоммуникации и управление. 2013(5 (181)):103-8.

2. Тачков А.А., Козов А.В., Курочкин С. Ю., Яковлев Д.С., Бузлов Н. А. Реализация траекторного регулятора наземного робототехнического комплекса на основе модельного прогнозирующего управления. Робототехника и техническая кибернетика, 2022(1(10)):43-54.

*Е. В. Иванов*

**СХЕМА ПЛОСКОПАРАЛЛЕЛЬНОГО ТРОСОВОГО  
МАНИПУЛЯТОРА ПОВЫШЕННОЙ  
ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ**

*МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, egorvladivanov@mail.ru*

*E. V. Ivanov*

**SCHEME OF A CABLE DRIVEN PARALLEL MANIPULATOR  
OF INCREASED ENERGY**

*Bauman Moscow State Technical University, Moscow, egorvladivanov@mail.ru*

В статье рассматриваются манипуляторы с гибкими звеньями. Они вызывают высокий интерес у разработчиков крупномасштабных робототехнических систем, поскольку обладают такими полезными качествами, как большое рабочее пространство, высокая грузоподъемность и скорость, быстрое развертывание и масштабируемость. Рабочий инструмент такого манипулятора приводится в движение набором гибких звеньев, роль которых могут выполнять тросы. В литературе этот робототехнический класс называется плоскопараллельными манипуляторами с тросовым приводом (ПТМ). На данный момент эти роботы являются подходящим выбором для приложений, в которых может потребоваться перемещение рабочего инструмента более чем на 100-300 метров. Примером могут служить задачи проведения онлайн-съемки спортивных мероприятий на стадионах, для работы со стеллажами в логистических центрах, обслуживания больших радиотелескопов и многого другого [1]. Следует отметить, что достижение такого большого рабочего пространства неосуществимо для большинства роботов. Области применения тросовых манипуляторов постоянно расширяются. Однако, несмотря на все свои преимущества, эти системы имеют свои недостатки, одним из которых является невысокая точность и управляемость системы, из-за влияния свойств упругих гибких звеньев и большее потребление электроэнергии по сравнению с классическими жесткими манипуляторами. Поэтому проблема управляемости и энергоэффективности ПТМ сегодня очень актуальна [2].

В первой части нашей работы мы проанализировали существующие проектные решения и выявили их недостатки [3]. После этого мы использовали теорию решения изобретательских задач (ТРИЗ) и синтезировали новую кинематическую схему (см. рис. 1), позволяющую разгрузить привод манипулятора, увеличить рабочую площадь и повысить энергоэффективность и управляемость, сохранив

простоту конструкции. Во второй части мы провели оценочный энергорасчет манипуляторов различных схем, определили зависимости нагрузочного момента на тянущих приводах в зависимости от положения рабочего инструмента. В заключение мы представили результаты сравнения модернизированной схемы по сравнению с классической.

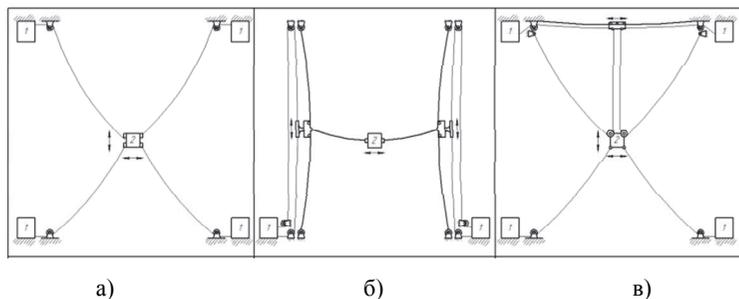


Рисунок 1 – Конфигурационные схемы: а) классический ПТМ (полностью ограниченный); б) вполне ограниченный (технологии тросовых кранов); в) модернизированная схема ПТМ

Представленная нами схема манипулятора может найти свое применение в роботизированных проектах, где требуется большая рабочая зона и высокая грузоподъемность. Примером могут служить задачи автоматизированной мойки небоскребов и проведения высотных красящих работ, а также возможно применение на складских помещениях, для обслуживания стеллажей. Для дальнейшей проверки работоспособности представленной кинематической схемы и доказательства ее эффективности необходимо провести полноценное математическое моделирование с учетом гибких и упругих свойств тросов.

1. Борисов, В. А. Механизмы перспективных робототехнических систем [Текст]. М.: Техносфера, 2020. с. 297.

2. Алепо А.В., Яковенко Д.М., Дубовсков В.В. Механизмы параллельной структуры: обзор современного состояния, область применения манипуляторов в промышленности и анализ перспектив развития // Фундаментальные исследования. – 2016. – № 2-1. – С. 13-17.

3. Гапоненко Е.В., Рыбак Л.А., Холошевская Л.Р. Структурный анализ и классификация роботизированных систем с приводными механизмами на основе кабельных элементов // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова, г. Белгород - 2019 - №9 – С. 126-134.

*А.В. Козов*

## **РЕАЛИЗАЦИЯ КОМПЬЮТЕРНОЙ МОДЕЛИ ДИСКРЕТНО-СОБЫТИЙНОЙ СИСТЕМЫ ГРУППОВОГО УПРАВЛЕНИЯ МОБИЛЬНЫМИ РОБОТАМИ**

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

*A.V. Kozov*

## **A COMPUTER MODEL OF DISCRETE-EVENT GROUP CONTROL SYSTEM FOR MOBILE ROBOTS**

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

Доклад посвящён одной реализации компьютерной модели, используемой при разработке системы группового управления для мобильных робототехнических комплексов (МРТК), действующих в недетерминированной среде. Система группового управления как объект проектирования является иерархической распределённой динамически реконфигурируемой системой, для верхних уровней которой характерно дискретно-событийное представление [1, 2]. Проектирование этих уровней, т.е. дискретно-событийной системы группового управления (ДССГУ), сталкивается с проблемой «проклятия размерности» и ограничениями существующих методологий проектирования реконфигурируемых систем управления [3]. Одним из ограничений является отсутствие прямого соответствия между дискретно-событийной моделью системы (например, в виде сети Петри) и её программной реализацией как компонента ДССГУ – управляющего конечного автомата. Актуальной проблемой является разработка модели, по которой возможна автоматическая генерация программной реализации компонента ДССГУ на целевом языке.

В докладе предложена математическая модель компонента ДССГУ, описывающая вычислительный граф алгоритма его работы. Такая модель связывает состояния и события дискретно-событийного представления с примитивами реализации компонента ДССГУ – информационно-расчётными задачами (ИРЗ) и информационным связям между ними. Представлено математическое описание атрибута поведения – данных, необходимых для запуска или выполнения ИРЗ. Математическая модель, включающая атрибуты поведения, позволяет реализовать компьютерную модель ДССГУ.

Рассмотрены существующие подходы к программной реализации управляющих конечных автоматов на языках программирования

различных уровней. Обоснован выбор подхода с использованием предметно-ориентированного языка в качестве основы для реализации компьютерной модели ДССГУ. Разработанная на языке С++ с использованием указанного подхода библиотека позволяет упростить создание компьютерных моделей. Применение библиотеки иллюстрирует компьютерная модель компонента ДССГУ, обеспечивающего выполнение индивидуальных действий МРТК: автономное движения в заданную точку и тушение очага пожара.

1. Волосатова Т.М., Козов А.В., Тачков А.А. Система группового управления мобильными роботами с позиций автоматизированного проектирования // Информационные технологии. Т. 26, № 5. С. 274–282.

2. Козов А.В. Динамическая реконфигурация системы управления мобильными роботами при выполнении группового действия // Экстремальная робототехника. СПб., 2020. С. 78-83.

3. Козов А.В. Модели и методы проектирования динамически реконфигурируемой системы группового управления мобильными роботами // Автоматизация процессов управления. 2021. № 1(63). С. 130-139.

*Е.К. Игнатиади, И.К. Петушок*  
**СИСТЕМА ПОДГОТОВКИ ОПЕРАТОРОВ  
И ОБСЛУЖИВАЮЩЕГО ПЕРСОНАЛА  
ДЛЯ ПЕРСПЕКТИВНЫХ РТК**

*ГНЦ РФ ЦНИИ РТК, Санкт-Петербург, i.petushok@rtc.ru*

*Е.К. Ignatiadi, I.K. Petushok*  
**TRAINING SYSTEM FOR OPERATORS AND MAINTENANCE  
PERSONNEL ON PROMISING RTCS**

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

Развитие робототехники в нашей стране в условиях санкционного давления стран Запада невозможно без взаимодействия между разработчиками и персоналом по обслуживанию и управлению роботами. Планируемое увеличение вновь разрабатываемых робо-

тотехнических комплексов (РТК) создает определенные сложности при подготовке обслуживающего персонала.

ЦНИИ РТК предлагает изменить подход в системе подготовки операторов, при котором оценивается не только уровень подготовки оператора, но и его точка зрения о возможностях робота, алгоритмах управления и его интерфейсе с помощью системы новых технических средств обучения.

При подготовке операторов перспективных РТК взаимодействуют, как эксплуатирующая организация, так и предприятие разработчик:

Организация, эксплуатирующая РТК, производит:

- экспертную оценку;
- эргономическую экспертизу;
- подготовку персонала на новые РТК;
- Организация - разработчик производит:
- интеграцию цифровых двойников робототехнических средств во внешнюю среду;
- разработку 3D моделей объектов;
- разработку макетов для эргономических исследований.

Подготовка операторов начинается на ранних стадиях разработки РТК, на этом же этапе цифровая модель РТК внедряется в виртуальную среду.

Таким образом, система подготовки операторов должна включать несколько компонентов:

- автоматизированную систему обучения с интерактивными руководствам оператора, компьютерными обучающими программами;
- процедурный тренажер для проверки правильности действий РТК и эргономики интерфейса и пультов управления;
- ряд специализированных тренажеров для РТК опытные образцы которых близки к завершению;
- вычислительно моделирующий комплекс, имитирующий внешнюю среду, статистические и динамические модели;
- систему коллективного отображения информации.

В тоже время и сама подготовка операторов должна отличаться от традиционной, предлагается начинать с операторов, имеющих опыт эксплуатации РТК на процедурном тренажере, представляющим собой цифрового двойника РТК, на котором отрабатывается эргономика и алгоритмы управления роботом. При этом они должны, кроме получения знаний об РТК, выступать в роли тестировщиков программного обеспечения и давать экспертную оценку на этапе разработки РТК. В дальнейшем подготовка операторов должна проходить на полнофункциональном специализированном тренажере. На данном этапе

подготовки оператор обрабатывает навыки управления РТК и его возможности при взаимодействии с другими техническими средствами и природными объектами. При этом, кроме обычной подготовки операторов, на тренажерах предлагается воспроизводить обстановку по информации, полученной от РТК в реальных условиях.

Перспективные РТК не могут создаваться без использования цифровых двойников, а подготовка операторов должна проводиться на ранних стадиях разработки роботов с целью уменьшения сроков их внедрения. Сотрудничество разработчиков с операторами поможет оценить эффективность перспективного РТК и подготовить операторов ещё до создания серийных образцов.

*Н.О. Копытов, В.М. Битный-Шляхто*  
**ПРОБЛЕМНЫЕ ВОПРОСЫ СОЗДАНИЯ НАЗЕМНЫХ  
РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ**

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

*N.O. Kopytov, V.M. Bitnyi-Shliakhto*  
**PROBLEMS AND PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT  
OF ROBOTIC COMPLEXES OF HIGH TRAFFIC**

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

До настоящего времени не решён ряд проблемных вопросов, связанных с реализацией полной технологии разработки и изготовления наземных робототехнических комплексов (РТК). Требуется организация централизованного процесса формирования единых требований (с обеспечением разработки государственных стандартов), объединение подходов к созданию РТК на базе успешных разработок различных предприятий РФ, формирование государственной стратегии развития робототехники.

Проведённый анализ рынка показал, что большинство производимых модулей и устройств, необходимых для создания современных РТК, базируются на импортной элементной базе. Таким образом, в текущих геополитических условиях насущным вопросом является импортозамещение базовых компонентов робототехники, для создания которых требуется определение комплекса предприятий, специализирующихся на их разработке и изготовлении.

Для создания современных наземных робототехнических комплексов выявлена необходимость реализации следующих унифици-

рованных решений на отечественной элементной базе:

- разработка и создание устойчивого канала связи;
- разработка и создание современных оптико-электронных средств;
- разработка приводов, двигателей и актуаторов, предназначенных для перемещения манипуляторов с высокой точностью (при различных нагрузке и скоростях движения);
- разработка и создание наборов инструментов, необходимых для выполнения технологических операций наземными РТК и располагаемых на роботизированных платформах. Разработка специальных решений по их габаритам, размещению, захвату и установке;
- разработка и создание портативных 3-D сканеров поверхностей, предназначенных для применения инструментов в автоматическом режиме (сверление, резка и т.п.);
- создание высокопроизводительных систем обработки и хранения информации.

Результаты получены в рамках выполнения государственного задания Минобрнауки России FNRG-2022-0008 1021051101732-4-1.2.1;2.2.2 № 075-01623-22-01 «Исследование методов и разработка технологий создания отладочно-моделирующих комплексов для функционального и поведенческого моделирования РТК и групп РТК».

*П.В. Абрамов*

## **СИСТЕМА ПЛАНИРОВАНИЯ ДВИЖЕНИЯ РОБОТА С ИЗБЫТОЧНОЙ АРХИТЕКТУРОЙ**

*ГНЦ РФ ЦНИИ РТК, Санкт-Петербург, p.abramov@rtc.ru*

*P.V. Abramov*

## **MOTION PLANNING SYSTEM FOR ROBOT WITH REDUNDANT ARCHITECTURE**

*Russian state scientific center for robotics and technical cybernetics,  
St. Petersburg, p.abramov@rtc.ru*

Исследование относится к области систем управления с предсказывающей моделью (MPC – model predictive control). MPC является фундаментальной частью систем усовершенствованного управления технологическими процессами и чаще всего применяется на верхнем уровне автоматизации производственных процессов [1]. В MPC ис-

пользуется численная оптимизация для нахождения оптимального управления на некотором временном горизонте в будущем на основе модели процесса.

Особенностью предлагаемого автором решения являются его применение для класса мобильных роботов с избыточной архитектурой в условиях наличия большого числа неопределенных факторов, влияющих на движение. Под избыточностью подразумевается избыточность по степеням свободы, выражающаяся в том числе в том, что достижение целевой точки возможно бесконечным числом способов. Под неопределённостью среды понимаются неизвестные параметры трения, сопротивления воздуха, упругих сил и другие.

В данной области известен ряд исследований по управлению с помощью MPC квадрокоптерами [2] и мобильными роботами [3]. В этих публикациях описано применение MPC для управления движением роботов по заранее определенной траектории. Наша работа ставит перед собой цель одновременной генерации и отработки траектории.

В докладе указанный подход рассматривается на примере мобильного робота в конфигурации 4WS4WD. Автором разработано программное обеспечение системы управления. В качестве результатов исследования проведено моделирование, подтверждающее целесообразность принятого метода для управления роботом с избыточной архитектурой.

Результаты получены в рамках выполнения государственного задания Минобрнауки России FNRG-2022-0026 1022031700007-3-2.2.2 № 075-01623-22-03 «Исследование путей реализации адаптивной устойчивости наземного модульного реконфигурируемого робототехнического шасси легкого класса при движении в недетерминированной среде с различными полезными нагрузками».

1. Колодин А.А., Ёлшин В.В. "Разработка и исследование регулятора на основе прогнозирующей модели" Вестник Самарского государственного технического университета. Серия: Технические науки, vol. 29, no. 1 (69), 2021, pp. 36-45.

2. M. Greeff and A. P. Schoellig, "Flatness-Based Model Predictive Control for Quadrotor Trajectory Tracking," 2018 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS), 2018, pp. 6740-6745.

3. M. Xu, B. Liu, J. Zhou, Z. Zhou and Z. Weng, "Trajectory Tracking of Wheeled Soccer Robots Based on Model Predictive Control," 2021 6th International Conference on Control and Robotics Engineering (ICCRE), 2021, pp. 50-54.

***Д.О. Дохов, И.И. Саитов, Д.Н. Новиков, Н.В. Заруцкий***  
**АНТРОПОМОРФНАЯ КИСТЬ**

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

***D.O. Dokhov, I.I. Saitov, D.N. Novikov, N.V. Zarutskii***  
**ANTHROPOMORPHIC HAND**

*Russian state scientific center for robotics and technical cybernetics,  
St. Petersburg, d.dohov@rtc.ru*

Захватные устройства манипуляторов, работающих в автоматическом режиме и режиме телеуправления, используются для выполнения операций с объектами, имеющими различные форму и размеры. При высоком разнообразии объектов целесообразным является применение антропоморфных захватов (кистей), имеющих три и более пальцев и более одного сочленения на каждом пальце. В таких устройствах существенно усложняется компоновка с точки зрения расположения приводных механизмов [1-3].

Целью данной работы является разработка конструкции антропоморфной кисти, устанавливаемой на манипулятор, и работающей в копирующем режиме, при этом кисть должна быть выполнена в качестве быстросъемного модуля. С учетом режима работы кисти, конструкция устройства подразумевает наличие пяти пальцев, приближенных к человеческой кисти по функциональным возможностям и габаритам. В настоящей работе произведен поиск существующих реализаций антропоморфных кистей и выполнен аналитический обзор существующих решений. По результатам анализа наиболее перспективных вариантов устройств проведены работы по разработке и описанию кинематической схемы и конструкции разрабатываемого устройства.

Отличительной особенностью разрабатываемой конструкции пальцев является возможность осуществления адаптивного сжатия посредством одного привода. Такого результата удалось добиться с использованием упругих элементов, соединяющих шток и три независимые системы рычагов для каждой фаланги. Если проксимальная или промежуточная фаланги встречают на пути сопротивление, то оставшиеся фаланги продолжают движение, обхватывая объект. Подобный подход обеспечивает захват с наибольшим количеством точек касания независимо от формы объекта. На рисунке 1 представлено пошаговое сгибание пальца при захвате цилиндра.

Также в конструкции реализован механизм поворота от каждого пальца в отдельности от других. Это позволяет позиционировать

пальцы в хвате кисти, аналогично тому, как раздвигает пальцы человек. На рисунке 2 представлен поворотный привод в разрезе.

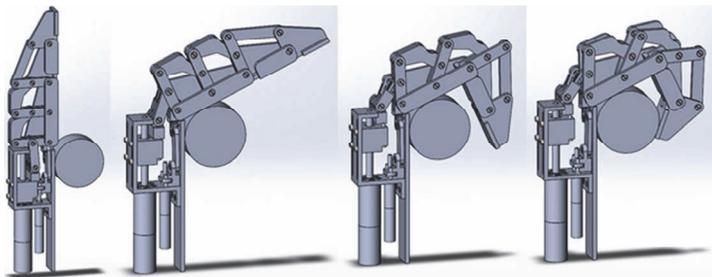


Рисунок 1 — Сгибание пальца

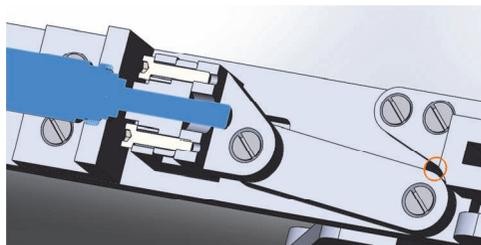


Рисунок 2 — Поворотный привод в разрезе

Результаты получены в рамках выполнения государственного задания Минобрнауки России FNRG-2022-0012 1021051302301-9-2.2.2 № 075-01623-22-03 «Разработка коллаборативного робота с ассистирующей двурукой антропоморфной манипуляционной системой для работы в пространствах малого объема».

1. Yoon D., Choi Y. Underactuated finger mechanism using contractible slider-crank and stackable four-bar linkages // IEEE/ASME Transactions on Mechatronics. – 2017. – Т. 22. – №. 5. – С. 2046-2057.

2. Figliolini G., Rea P. Overall design of Ca. UM Ha. robotic hand for harvesting horticulture products //Robotica. – 2006. – Т. 24. – №. 3. – С. 329-331.

3. Jin J. et al. LISA Hand: Indirect self-adaptive robotic hand for robust grasping and simplicity //2012 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO). – IEEE, 2012. – С. 2393-2398.

**Д.Н. Новиков, Д.О. Дохов, И.И. Саитов, Н.В. Заруцкий**  
**МЕХАНИЗМ ОБЕЗВЕШИВАНИЯ ЗАДАЮЩЕЙ**  
**МАНИПУЛЯЦИОННОЙ СИСТЕМЫ С ПАКЕТОМ**  
**ЛИСТОВЫХ ПРУЖИН**

*ГНЦ РФ ЦНИИ РТК, Санкт-Петербург, novikov.dn@edu.spbstu.ru*

**D.N. Novikov, D.O. Dokhov, I.I. Saitov, N.V. Zarutskii**  
**COMPENSATION MECHANISM FOR CONTROL-POINT**  
**SETTING DEVICE WITH A PACKAGE OF LEAF SPRINGS**

*Russian state scientific center for robotics and technical cybernetics,  
St. Petersburg, novikov.dn@edu.spbstu.ru*

Управление манипуляторами в современных системах в режиме телеуправления осуществляется двумя группами устройств:

- панелями управления с элементами типа рукоятки, джойстики и кнопки;
- задающими манипуляционными системами (ЗМС).

ЗМС, в сравнении с первой группой устройств управления, обладают низким уровнем негативного воздействия на работоспособность оператора [1]. ЗМС различают по принципу копирования движения:

- системы, копирующие кинематику исполнительного манипулятора;
- системы, копирующие кинематику оператора (носимые устройства).

Первый тип ЗМС, в свою очередь, делится на ЗМС параллельной и последовательной структуры [1]. Такие системы имеют неподвижное основание и подвижную платформу, с помощью которой оператор задает движение исполнительного манипулятора.

Одной из задач при создании ЗМС первого типа является разработка системы обезвешивания. Системы обезвешивания бывают двух типов: активные (с приводами) и пассивные. Далее рассматривается задача разработки пассивной системы обезвешивания для ЗМС. В качестве исполнительного манипулятора выбран робот UR5e ф. Universal Robots [2]. Кинематическая схема ЗМС представлена на рисунке 1, она повторяет кинематику робота UR5e.

Работа разрабатываемого модуля обезвешивания основывается на создании компенсационных сил за счет действия гибридной системы, состоящей из блока с пружинами сжатия и пакета листовых пружин [3]. Результаты исследования [3] механизма в ANSYS

Workbench показали, что при требуемых габаритах компенсационный момент, создаваемый гибридной системой, на порядок меньше требуемого для компенсации сил тяжести звеньев задающего устройства, а увеличение жесткости пружинного блока для обеспечения требуемого усилия приводит к увеличению габаритов модуля обезвешивания.

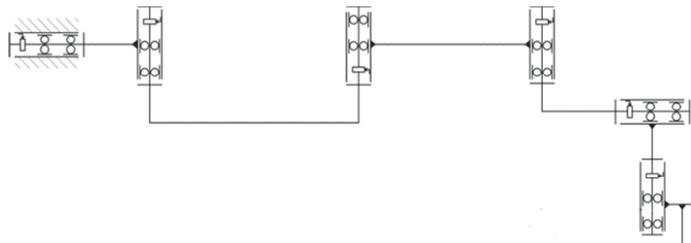


Рисунок 1 — Кинематическая схема ЗМС

В рамках концепции исследована возможность применения в модуле обезвешивания листовых пружин, объединяемых в пакет (рис. 2). Разработанная конструкция представляет собой кулачок, жестко соединенный со звеном задающего устройства путем шлицевого соединения, толкатель рычага с направляющей, сам рычаг с закрепленным в нем пакетом листовых пружин, а также регулирующую корпусную часть-упор. Последняя служит для возможности регулировки компенсационного усилия, создаваемого модулем обезвешивания.

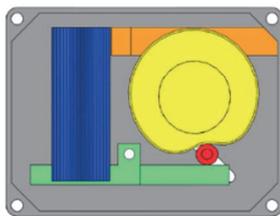


Рисунок 2 — Модуль обезвешивания

Предварительный расчёт подобранных листовых пружин показал, что, при изменении конфигурации механизма [3] с переходом к прямоугольному корпусу с установкой листовых пружин, механизм при схожих размерных параметрах демонстрирует лучшие характеристики компенсационного момента. В рамках дальнейшей проработки и совершенствования механизма предполагается точный рас-

чёт компенсационного момента, создаваемого модулем, проработка геометрии составных частей и уменьшение габаритов.

Результаты получены в рамках выполнения государственного задания Минобрнауки России FNRG-2022-0012 1021051302301-9-2.2.2 № 075-01623-22-03 «Разработка коллаборативного робота с ассистирующей двурукой антропоморфной манипуляционной системой для работы в пространствах малого объема».

1. Харузин С. В., Шмаков О. А. Основные тенденции и перспективные решения в области разработки задающих манипуляционных систем // Информатика, телекоммуникации и управление. – 2017. – Т. 10. – №. 2. – С. 7-21.

2. Официальный сайт компании Universal Robots [Электронный ресурс] // URL: <https://www.universal-robots.com/products/ur5-robot/> (дата обращения 20.07.2022).

3. Kim J. et al. CVGC-II: A New Version of a Compact Variable Gravity Compensator With a Wider Range of Variable Torque and Energy-Free Variable Mechanism // IEEE/ASME Transactions on Mechatronics. – 2021. – Т. 27. – №. 2. – С. 678-689.

*Д.С. Попов*

**ЭФФЕКТИВНОСТЬ СИСТЕМ ДИСТАНЦИОННОГО  
УПРАВЛЕНИЯ НАЗЕМНЫМИ МОБИЛЬНЫМИ РОБОТАМИ  
В УСЛОВИЯХ ДЕЙСТВИЯ ВРЕМЕННЫХ ЗАДЕРЖЕК  
В КАНАЛАХ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ**

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

*D.S. Popov*

**EFFICIENCY OF REMOTE CONTROL SYSTEMS FOR  
GROUND-BASED MOBILE ROBOTS UNDER CONDITIONS  
OF TIME DELAYS IN DATA TRANSMISSION CHANNELS**

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

В работе рассмотрены вопросы телеуправления наземными мобильными роботами в экстремальных условиях эксплуатации. Существенное влияние на эффективность управления оказывает наличие временных задержек в информационных каналах.

Источники задержек достаточно разнообразны: обработка входных данных, получаемых с датчиков и телевизионных камер, буферизация и передача данных между внутренними узлами как мобильного робота, так и пульта управления, радио и кабельные линии связи, потери информационных пакетов из-за помех, использование дополнительных блоков, таких как системы криптографической защиты информации. Значения задержек могут составлять от сотен миллисекунд до единиц секунд; достаточно большие величины являются причинами потери устойчивости систем управления.

Учитывая специфику условий применения мобильных роботов в неструктурированной среде для оценки эффективности систем дистанционного управления предлагается использовать метод, в основе которого лежит непосредственно телеуправление человеком-оператором роботом с визуальной обратной связью. Задача управления заключается в движении по заранее заданной траектории, отмеченной на земле, от начальной точки до конечной. Результаты оцениваются по совокупности зафиксированного времени выполнения задачи и схожести полученной траектории с эталонной.

В работе приведены результаты моделирования управления мобильным роботом в различных условиях с различными значениями временных задержек. Предложены методы частичной компенсации негативного влияния задержек на эффективность управления.

Результаты были получены в рамках выполнения государственного задания Минобрнауки России FNRG-2022-0026 1022031700007-3-2.2.2 № 075-01623-22-03 «Исследование путей реализации адаптивной устойчивости наземного модульного реконфигурируемого робототехнического шасси легкого класса при движении в недетерминированной среде с различными полезными нагрузками».

**И.Б.Прямыцын<sup>1</sup>, М.Т. Коротких<sup>2</sup>, Д.С. Попов<sup>1</sup>**  
**РАСПРЕДЕЛЕННАЯ СИСТЕМА ПОУЗЛОВОГО**  
**ИСПЫТАНИЯ ПРИ СБОРКЕ ЛЕГКИХ РОБОТОВ**  
**СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

*<sup>1</sup>ГНЦ РФ ЦНИИ РТК, Санкт-Петербург; <sup>2</sup>СПБПУ, Санкт-Петербург  
pib@rtc.ru, kmt46@mail.ru, d.popov@rtc.ru*

**I.B. Pryamitsyn<sup>1</sup>, M.T. Korotkih<sup>2</sup>, D.S. Popov<sup>1</sup>**  
**DISTRIBUTED SYSTEM OF NODE TESTS IN THE ASSEMBLY**  
**OF LIGHT ROBOTS FOR SPECIAL PURPOSES**

*<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, d.popov@rtc.ru*

При производстве роботов специального назначения, осуществляемом в условиях единичного и мелкосерийного производства, значительную долю затрат труда, особенно малопроизводительного ручного, занимают процессы сборки и испытания готовой продукции.

Особенностью этих процессов является возможность испытания отдельных агрегатов только после сборки готового изделия, так как функциональность отдельных узлов зависит от функционирования связанных с ними узлов и агрегатов. Это затрудняет поиск причин отказов и неудовлетворительного функционирования изделия на этапе окончательных испытаний. Устранение же отказов связано с чрезвычайно трудоемкими этапами разборки изделия, что после устранения отказов не гарантирует выявления отказов в других узлах устройства.

Испытание отдельных же узлов и агрегатов может быть проведено при применении специального испытательного оборудования, как в нормальном, так и ускоренном режимах.

Поэлементная схема испытаний обеспечивает преемственность полученных характеристик надежности в случае применения в новой конструкции уже отработанных элементов и комплектующих. При применении новых опытных образцов отдельных узлов и их испытаниях появляется база сравнения их по надежности с ранее применявшимися образцами.

Стендовые испытания возможно проводить на испытательном оборудовании, позволяющем в широких пределах изменять программы, режимы и условия испытаний, поэтому особенно важное значение приобретает определение возможностей и требований к такому специальному стендовому оборудованию.

Выбор объекта испытаний при анализе легких роботов специального назначения определяется их структурой и выполняемыми функциями отдельных узлов и агрегатов. Разрабатываемое стендовое испытательное оборудование должно позволять контролировать все функциональные параметры узла, агрегата в условиях максимально приближенных к реальным условиям эксплуатации, автоматизировать обработку экспериментальных данных. В то же время оно должно обладать широкими функциональными возможностями, позволяющими испытывать всю гамму разрабатываемых и производимых изделий с учетом их будущего развития.

Если рассмотреть структуру легких роботов специального назначения, произведенных за прошлый период, то можно видеть, что они состоят из ограниченного набора элементов: ходовой части (шасси), манипулятора, оптико-электронных устройств, системы дистанционного управления, системы аудио-видео наблюдения. Для каждого из элементов существует свой набор критериев их работоспособности и надежности. В условиях производственных стендовых испытаний по ускоренной методике [1,2] можно определить уровень безотказности, а остальные критерии надежности определяются только в условиях относительно длительной эксплуатации.

Предложена конструкция и система управления универсального стенда для испытаний ходовой части и навесного оборудования, имитирующего условия будущей эксплуатации и позволяющего измерять большинство характеристик мобильных роботов в соответствии с ГОСТ [3].

1. Вентцель Е. С., Овчаров Л. А. Теория случайных процессов и ее инженерные приложения: Учебное пособие. М.: Издательский центр «Академия», 2003.

2. Шашурин В. Д., Ветрова Н. А., Назаров В. В., Серегин Н. Г. Ускоренные испытания на надежность технических систем: Учебное пособие. М.: Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2016.

3. ГОСТ Р 60.6.3.14— 2019/ ИСО 18646-1:2016 Роботы и робототехнические устройства. Рабочие характеристики и соответствующие методы испытаний сервисных мобильных роботов.

**И.И. Саитов, Д.Н. Новиков, Д.О. Дохов, А.Н. Тимофеев**  
**РАЗРАБОТКА УНИВЕРСАЛЬНОГО ПОВОРОТНОГО**  
**МОДУЛЯ С СИЛОВОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ**

*ГНЦ РФ ЦНИИ РТК, Санкт-Петербург, i.saitov@rtc.ru*

**I.I. Saitov, D.N. Novikov, D.O. Dokhov, A.N. Timofeev**  
**DEVELOPMENT OF A UNIVERSAL ROTARY MODULE**  
**WITH FORCE FEEDBACK**

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

Задающие манипуляционные системы (ЗМС), копирующие движения оператора, выполненные в виде носимых устройств [1] обладают наименьшим уровнем негативного воздействия на работоспособность оператора и имеют интуитивно понятную структуру. Под ЗМС такого типа понимается совокупность устройств ввода (управляющих органов), предназначенных для управления исполнительным манипулятором. Такие устройства часто имеют различного рода обратные связи: силовые, тактильные, вибрационные, что позволяет передать оператору информацию о состоянии объекта управления (ОУ) и прикладываемых к его системам возмущающим воздействиям со стороны окружающей среды.

Рассматривается ЗМС, располагаемая на теле человека-оператора и обеспечивающая его силовой обратной связью. Внешний вид ЗМС представлен на рисунке 1.



Рисунок 1 — Задающая манипуляционная система

Основным элементом ЗМС является универсальный поворотный модуль с силовой обратной связью. Модуль позволяет определить угол поворота в суставе оператора, передать усилие обратной связи от исполнительного манипулятора, а также обеспечивает возможность блокировки модуля в некотором заданном положении. Основными требованиями, предъявляемыми к такому модулю, являются

компактный размер и вес, так как ЗМС располагается на теле человека-оператора.

Существует несколько подходов к построению подобных модулей. В работе [2] рассматривается модуль с червячной передачей. Такой модуль имеет простую конструкцию, а также обеспечивает достаточный момент на выходном звене, однако имеет трудности с выбором зазоров, что значительно влияет на точность манипулирования.

Альтернативным подходом к построению подобного модуля является применение приводов квазипрямого действия [3]. Такой модуль состоит из высокомоментного электродвигателя и редуктора с передаточным отношением меньшим чем 1:10, модуль обладает достаточным моментом, большой точностью, но имеет значительные габариты и массу.

В настоящей работе рассматривается поворотный модуль, построенный с применением рычажного механизма (рис. 2).

Реализованный механизм не дает возможность осуществить полный поворот модулем, однако позволяет получить двукратное увеличение момента на выходном звене по сравнению с червячным приводом при тех же габаритах, имеет более высокий КПД и не имеет трудностей с выбором зазоров.

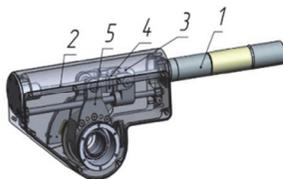


Рисунок 2 — Поворотный модуль: 1 - мотор-редуктор; 2 - шарико-винтовая передача; 3 - каретка; 4 - шатун с интегрированным датчиком усилия; 5 - кривошип

Применение кривошипно-ползунного механизма имеет свои особенности. Так момент на выходном звене нелинейно зависит от силы, прикладываемой к ползуну. Для сохранения характеристик механизма в приемлемых пределах необходимо обеспечивать минимальный угол давления. В данной конструкции он ограничен значением  $30^\circ$ , а длины звеньев механизма подобраны таким образом, чтобы обеспечивать величину хода выходного звена  $90^\circ$  и передаточное отношение, близкое к постоянному значению.

В качестве привода модуля используется мотор-редуктор с шарико-винтовой передачей и фрикционным электромагнитным тормозом. Применение винтового механизма позволяет получить необхо-

димую величину момента на выходном звене при минимальных зазорах, а фрикционный тормоз обеспечивает возможность блокировки шарнира в произвольном положении. Для обеспечения силовой обратной связи в конструкцию шатуна интегрирован датчик усилия. Вследствие того, что шатун испытывает только сжатие-растяжение, развиваемое усилие возможно измерить однокомпонентным тензометрическим датчиком, а величину момента на выходном звене определить пересчетом с учетом передаточного отношения.

Результаты получены в рамках выполнения государственного задания Минобрнауки России FNRG-2022-0012 1021051302301-9-2.2.2 № 075-01623-22-03 «Разработка коллаборативного робота с ассистирующей двурукой антропоморфной манипуляционной системой для работы в пространствах малого объема».

1. Харузин С. В., Шмаков О. А. Основные тенденции и перспективные решения в области разработки задающих манипуляционных систем // Информатика, телекоммуникации и управление. – 2017. – Т. 10. – №. 2. – С. 7-21.

2. Kim G. H., Lee J. W., Seo T. I. Durability characteristics analysis of plastic worm wheel with glass fiber reinforced polyamide // Materials. – 2013. – Т. 6. – №. 5. – С. 1873-1890.

3. Gealy D. V. et al. Quasi-direct drive for low-cost compliant robotic manipulation // 2019 International Conference on Robotics and Automation (ICRA). – IEEE, 2019. – С. 437-443.

***В.О. Гончаров, Н.С. Слободзян***

**РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ  
ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ КОСМИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ  
БЕЗ ПРИМЕНЕНИЯ МИКРОКОНТРОЛЛЕРА**

*БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова, Санкт-Петербург, vog97@yandex.ru*

***V.O. Goncharov, N.S. Slobodzyan***

**DEVELOPMENT OF A CONTROL SYSTEM FOR AN  
ELECTRIC DRIVE FOR SPACE PURPOSE WITHOUT THE USE  
OF A MICROCONTROLLER**

*BSTU «VOENMEH» named after D.F. Ustinov, St. Petersburg, vog97@yandex.ru*

Широкое применение синхронных двигателей с постоянными магнитами (СДПМ) в космической и авиационной технике обу-

словлено их высокими показателями мощности, относительно массогабаритных характеристик. Для устройств, применяемых в данных сферах, предъявляются повышенные требования к надежности и периоду безотказной работы.

Управление СДПМ возможно реализовать различными методами: скалярное, по противо-ЭДС, по сигналам датчиков Холла. Однако наличие микроконтроллера в составе системы управления снижает период безотказной работы. По этой причине в данной работе рассмотрен метод управления СДПМ по сигналам с датчиков Холла без применения микроконтроллера в контуре управления. Для управления СДПМ по датчикам Холла необходимо оценивать сигналы с датчиков положения ротора, формировать и подавать управляющую комбинацию на обмотки фаз двигателя. В данной работе исследуется система управления, в которой измерение сигналов с датчиков положения ротора и формирование управляющих сигналов реализовано при помощи мультиплексоров, широтно-импульсная модуляция формируется при помощи интегральной микросхемы. Для регулирования двигателя по скорости сформирован блок измерения частоты сигналов с датчиков положения ротора.

Компьютерная имитационная модель системы управления разработана в среде компьютерного моделирования MATLAB® Simulink®. Результаты моделирования показывают, что обеспечивается высокое качество работы системы.

*М.В. Прошутинский, Н.Г. Яковенко*  
**КОМПЕНСАЦИЯ ПОГРЕШНОСТИ ДАННЫХ  
НАВИГАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ АВТОНОМНОГО  
МАЛОГАБАРИТНОГО ПОДВИЖНОГО РОБОТА**

*БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова, Санкт-Петербург,  
mikhail.proshootinsky@gmail.com, yakovenko\_ng@mail.ru*

*M.V. Proshutinsky, N.G. Yakovenko*  
**COMPENSATION OF THE ERROR OF THE NAVIGATION  
SYSTEM DATA OF AN AUTONOMOUS SMALL-SIZED  
MOBILE ROBOT**

*Baltic State Technical University «VOENMEH», St. Petersburg,  
mikhail.proshootinsky@gmail.com, yakovenko\_ng@mail.ru*

В процессе проектирования автономных малогабаритных подвижных роботов для определения местоположения и пройденного

пути разрабатываются специальные бесплатформенные инерциальные навигационные системы (БИНС) на базе микроэлектромеханических (МЭМС) датчиков: гироскопов и акселерометров.

Однако МЭМС-датчики имеют значительный уход показаний, непредсказуемо изменяющихся во времени, а погрешность измерений со временем возрастает вследствие недопустимо большого собственного дрейфа и сильного влияния внешней среды [1].

В настоящее время в микронавигации для начальной выставки БИНС и компенсации накапливающихся погрешностей чаще всего используются данные спутниковых навигационных систем [2]. Но в условиях полного отсутствия возможности коррекции измеренных величин по данным от спутников или по известным ориентирам на местности требуется повышать точность БИНС другими способами.

С целью решения данной проблемы предлагается следующий метод возможного уменьшения погрешности МЭМС-датчиков.

Заранее на полигоне набирается статистика на конкретном роботе с конкретными МЭМС-датчиками, на конкретных шасси. Набранные статистические данные обрабатываются в бортовом вычислителе робота и в дальнейшем используются как поправочные абсолютные значения. По показаниям блок выбирает группу погрешностей, отобранных во время полигонных испытаний. Затем информация поступает в блоки сравнения по линейному и угловому перемещению. В них происходит вычитание математического ожидания погрешности из измеренного значения. В итоге, погрешность измерений уменьшается на величину математического ожидания.

Единственное допущение, которое вводится в данном алгоритме, состоит в том, что значения, полученные на полигоне, являются верными только для конкретных условий.

В рамках полномасштабного эксперимента с целью подтверждения идей, высказанных выше, было поставлено 20 однотипных опытов на экспериментальной установке в стационарном состоянии длительностью 8 часов каждый. Характер распределения ошибок рассматривался с различными доверительными интервалами работы датчиков, начиная с первой минуты работы.

Таблица 1 — Математическое ожидание измерений по выборке

| Время   | Гироскоп |       |       | Акселерометр |       |       |
|---------|----------|-------|-------|--------------|-------|-------|
|         | Ось X    | Ось Y | Ось Z | Ось X        | Ось Y | Ось Z |
| 1 мин   | 2,81     | 0,41  | 1,17  | -0,34        | -0,53 | 9,53  |
| 2 мин   | 2,81     | 0,40  | 1,17  | -0,34        | -0,53 | 9,53  |
| 8 часов | 2,79     | 0,40  | 1,12  | -0,33        | -0,51 | 9,54  |

Таблица 2 — Дисперсия по выборке

| Время   | Гироскоп |       |       | Акселерометр |       |       |
|---------|----------|-------|-------|--------------|-------|-------|
|         | Ось X    | Ось Y | Ось Z | Ось X        | Ось Y | Ось Z |
| 1 мин   | 0,02     | 0,03  | 0,04  | 0,00         | 0,00  | 0,00  |
| 2 мин   | 0,02     | 0,03  | 0,03  | 0,00         | 0,00  | 0,00  |
| 8 часов | 0,03     | 0,19  | 0,04  | 0,00         | 0,00  | 0,00  |

По первым полученным результатам эксперимента было установлено, что математическое ожидание данных, полученных с МЭМС-датчиков, и их дисперсия меняются не значительно в течение всего времени работы инерциального измерительного модуля. Следовательно, их можно использовать для коррекции показаний в качестве поправочных коэффициентов.

1. Максюшин Г.В. Учёт погрешностей МЭМС-акселерометра при его моделировании. Политехнический молодежный журнал. 2019. № 02. С 1–7.

2. Аль Битар Н., Гаврилов А.И. Сравнительный анализ алгоритмов комплексирования в слабосвязанной инерциально-спутниковой системе на основе обработки реальных данных. «Гироскопия и навигация». Том 27, № 3 (106), 2019.

*Д.А. Вольф*

**ПРОГРАММНАЯ БИБЛИОТЕКА ДЛЯ ГРУППОВОГО  
УПРАВЛЕНИЯ ДВИГАТЕЛЯМИ ПОСТОЯННОГО ТОКА**

*Институт проблем управления им. В. А. Трапезникова Российской академии наук, Москва, runsolar@mail.ru*

*D.A. Wolf*

**THE SOFTWARE LIBRARY FOR GROUP ENGINE  
CONTROLLING OF DC MOTORS**

*V.A. Trapeznikov Institute of Control Sciences of Russian Academy of Sciences, Moscow, runsolar@mail.ru*

В настоящее время рынок электронных модулей управления двигателями постоянного тока (драйверы двигателей) достаточно обширен. Для сборки колесных роботов могут применяться различные типы драйверов. Наиболее доступны такие драйверы как L298N, TB6612, MX1508. Отличительной особенностью каждого

типа драйвера является принцип внешнего электрического управления [1]. Так, например, управление драйвером L298N осуществляется с помощью трех электрических входов, для драйвера TB6612 необходимо использовать всего два, а драйвер MX1508 мультиплексирует 4 отдельных управляющих сигнала на два физических входа. На этапе разработки и поддержки алгоритмов группового управления, при использовании различных типов драйверов в одном проекте приходится учитывать специфику управления каждого типа драйвера [2, 3].



Рисунок 1 — Связь программных и физических объектов для группового управления четырьмя моторами постоянного тока, подключенных к разным типам драйверов двигателей

Для решения данной проблемы была разработана специализированная программная библиотека, которая позволяет представить каждую связку драйвера и мотора постоянного тока как однородную управляемую программную абстракцию [4].

На рисунке 1 показана связь программных и физических объектов, которые создаются библиотекой для группового управления моторами, подключенных к различным драйверам. Каждый абстрактный мотор представляет собой независимый программный объект управления, который может быть объединен в группу вне зависимости от того с каким драйвером он связан физически (группы 1 и 2 на рисунке

1). Для объединения и управления группами моторов разработан специальный высокоуровневый интерфейс пользователя.

Ядром библиотеки являются два программных класса – Motor и MotoDriver. Программный класс Motor отвечает за создание программных объектов абстракций реальных моторов и реализует низкоуровневые функции управления драйверами двигателей. Класс MotoDriver осуществляет управление объектами класса Motor, предоставляя высокоуровневые методы программирования для группового управления моторами.

1. Хаменко В. Микросхемы драйверов реверсируемых двигателей постоянного тока фирмы Rohm. Компоненты и Технологии, № 48, 2005, С. 92-94.

2. Наунг Йе, Щагин А.В, Зо Мин Кхаинг. Режимы управления двигателям постоянного тока с замкнутым контуром в высокоточных системах позиционирования // «Известия вузов. Электроника» Т.23, № 3, июнь-июль 2018 С. 304-308.

3. Щагин А. В., Чжо Ту. Система управления скоростью вращения вала асинхронного электродвигателя с использованием скалярного метода. Известия высших учебных заведений. Электроника, no. 2 (106), 2014, pp. 83-85.

4. Программная библиотека MotoDriver. [Электронный ресурс]. 2022. Дата обновления: 30.07.2022. URL: <https://github.com/Runsolar/motodriver>.

***Ю.Ф. Ивлев***

## **ПРОБЛЕМЫ В СОЗДАНИИ ГЕККОНОПОДОБНЫХ РОБОТОВ**

*Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН, Москва,  
yuvertb@sevin.ru*

***Yu.F. Ivlev***

## **KEY ISSUES IN GECKO-INSPIRED ROBOTICS**

*A.N. Severtsov Institute of Ecology and Evolution of the Russian Academy of Sciences, Moscow, yuvertb@sevin.ru*

Гекконоподобные роботы – это механические устройства, способные или самостоятельно двигаться по наклонным и вертикальным

поверхностям, или захватывать и перемещать предметы за счет использования адгезионных материалов, прототипом которых служат фибриллярные адгезионные структуры на подошвенной стороне пальцев гекконов. Взрывной интерес к изучению таких структур в начале века и многочисленные попытки воспроизвести их в технике порождены исследованиями, показавшими, что достаточно большая адгезия у гекконов (до  $10 \text{ Н/см}^2$ ) может быть обеспечена за счет сил Ван-дер-Ваальса [1]. «Сухая» природа таких материалов, не требующих дополнительных субстанций в области адгезионного контакта, открывает широкие перспективы их использования. Тем не менее, за два с лишним десятилетия интенсивных НИР не удалось создать ни гекконоподобные адгезивы, ни, тем более, робототехнические устройства на их основе, которые были бы сравнимы по функциональности с биологическим прототипом.

Различные варианты искусственных фибриллярных адгезивов «сухого» типа обеспечивают адгезию, сходную с адгезией биологического прототипа или даже на порядок превышающую ее [2]. Однако, ни один из них не обладает характерной для гекконов устойчивостью к естественному пылевому загрязнению. За счет своей способности к самоочистке адгезив гекконов при движении животного по естественным наклонным поверхностям может выдержать не менее  $10^4$  циклов «контакт-отрыв» без потери адгезионных свойств. В сходных условиях гекконоподобные роботы способны сделать лишь несколько шагов. Существующие физические модели, призванные объяснить причины высокой пылеустойчивости естественных адгезивов, далеки от технической реализации. До сих пор не ясно, в какой степени пылеустойчивость обусловлена структурой и физико-химическими свойствами самого адгезионного покрытия и в какой – кинематикой и динамикой конечностей животного во время контакта.

Особенности динамики контактного взаимодействия необходимо учитывать и для разрешения еще одной (пока не вполне осознанной) загадки, имеющей непосредственное отношение к проектированию гекконоподобных механизмов. Предварительная нагрузка, требуемая для достижения надежного адгезионного контакта с субстратом у гекконов считается низкой – порядка 10% от величины адгезии. Соответственно, низкая преднагрузка адгезива контактных площадок закладывается как параметр «по умолчанию» во всех разработках гекконоподобных устройств. Однако, факты, в том числе результаты измерений силового взаимодействия с опорой у свободно бегающих по вертикали животных, а также у изолированных образцов их адге-

зива (рис. 1), свидетельствуют о том, что в реальности преднагрузка в несколько раз больше конечной адгезии.

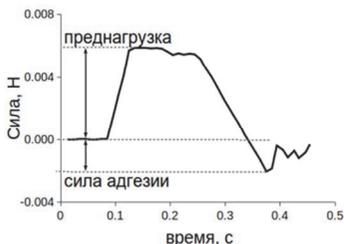


Рисунок 1 — Сила адгезии и преднагрузка при контакте образца адгезива геккона *Gekko gekko* со стеклянной поверхностью

Механизмы, посредством которых гекконы обеспечивают такую преднагрузку в процессе адгезионного контакта, в настоящее время не известны и не ясно, можно ли их воспроизвести в робототехнических устройствах. Но поскольку высокая преднагрузка для достижения адгезионного контакта у гекконов так или иначе реализуется, есть надежда, что при проектировании гекконоподобных роботов можно будет использовать искусственные «сухие» адгезивы с адгезией более высокой, чем у гекконов [2]. Ранее их не использовали из-за невыгодного, как считалось, соотношения адгезии и преднагрузки. Однако, применение таких адгезивов в перспективе сулит существенное увеличение массы, размеров и грузоподъемности гекконоподобных механизмов.

1. Autumn K. et al. Adhesive force of a single gecko foot-hair // Nature. 2000. Т. 405. С. 681–685.

2. Qu L. et al. Carbon Nanotube Arrays with Strong Shear Binding-On and Easy Normal Lifting-Off // Science. 2008. Т. 322. С. 238–242.

**Д.В. Бордюгов, Л.Е. Козлова, О.А. Шаронова**  
**ОБ УПРАВЛЕНИИ ДВИЖЕНИЕМ МОБИЛЬНОГО РОБОТА**  
**С ДВИЖИТЕЛЯМИ, РАБОТАЮЩИМ НА ЭФФЕКТЕ**  
**ПЕРИОДИЧЕСКОГО «ДИНАМИЧЕСКОГО**  
**ЗАКЛИНИВАНИЯ»**

*ООО «НПО «ПРИМА», Волгоград, denklopuk@gmail.com*

**D.V. Bordyugov, L.E.Kozlova, O.A. Sharonova**  
**THE MOTION CONTROL OF A MOBILE ROBOT WITH THE**  
**PROPULSION DEVICES WITH WORKING ON PERIODIC**  
**«DYNAMIC JAMING» EFFECT**

*ООО «PRIMA», Volgograd, denklopuk@gmail.com*

В условиях неорганизованной среды, роботы, дискретно взаимодействующие с опорной поверхностью, имеют существенные преимущества по сравнению с машинами, использующими традиционные типы приводов [1, 2]. Лазающие роботы, предназначенные для перемещения по вертикальным поверхностям стен, столбам, балкам и т.д. занимают особое место среди них.

Рассматривается робот, перемещающийся по горизонтально расположенному стержню [3, 4]. Конструкция включает в себя две втулки, одна из которых за счёт сил трения в результате заклинивания обхватывает стержень и удерживается на нём, в то время как другая – свободно перемещается. Расчетная схема представлена на рис. 1.

Ставится задача определения необходимого усилия  $P$ , развиваемого приводом в зависимости от геометрических параметров втулки, ее веса  $G_1$ , веса дополнительного груза  $G$  и его положения, характеризующееся расстоянием  $l$ , фрикционных свойств втулки и стержня, характеризующихся коэффициентами трения  $f$  – коэффициент трения при заклинивании втулки,  $f_1$  – коэффициент трения при движении втулки.

Результаты модельной задачи. Пусть  $G_1 = 3,92$  Н;  $G_2 = 3$  Н;  $a = 65$  мм;  $h = 30$  мм;  $d = 30$  мм;  $l = 15$  мм;  $f = 0,36$ .

Представлена математическая модель робота, продвижение которого основано на эффекте периодического заклинивания. Определена зависимость силы, действующей со стороны привода  $P$  от веса груза  $G$  при различных значениях коэффициентов трения  $f, f_1$ .

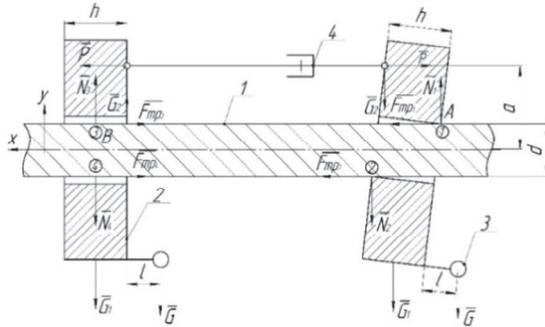


Рисунок 1 — Расчетная схема втулки в зацеплении: 1 – стержень; 2 – втулка; 3 – груз; 4 – линейный привод

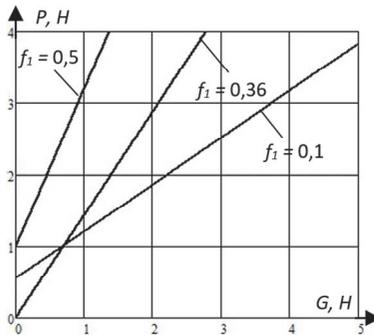


Рисунок 2 — Зависимость силы, действующей со стороны привода  $P, H$  от веса груза  $G, H$

1. Об управлении движением мобильных роботов с двигателями, дискретно взаимодействующими с опорной поверхностью / Е. С. Брискин, Н. Г. Шаронов, Я. В. Калинин [и др.] // Экстремальная робототехника. – 2017. – Т. 1. – № 1. – С. 265-275.

2. Брискин, Е.С. Сравнительный анализ колесных, гусеничных и шагающих машин / Брискин Е.С., Чернышев В.В., Малолетов А.В., Шаронов Н.Г. // Робототехника и техническая кибернетика. - 2013. - № 1 (1). - С. 6-14.

3. Mathematical Modelling of Mobile Robot Motion with Propulsion Device of Discrete Interacting with the Support Surface / Briskin, E.S., Kalinin, Y.V., Maloletov, A.V., Sharonov, N.G. // (2018) IFAC-PapersOnLine, 51 (2), pp. 236-241. DOI: 10.1016/j.ifacol.2018.03.041

4. О выборе геометрических параметров заклинивающе-поворотных движителей мобильных роботов / Е. С. Брискин, Н. Г. Шаронов, Ю. С. Кваша, М. О. Скобелев // Известия Волгоградского государственного технического университета. – 2017. – № 8(203). – С. 108-112.

*Д.А. Корниенко, Ю.С. Дубинов*

**РАЗРАБОТКА НОВОГО ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА  
ДЛЯ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ПО ЗАБОЛОЧЕННОЙ И  
ОБВОДНЕННОЙ МЕСТНОСТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ  
ВИБРАЦИОННОЙ ТЯГИ**

*РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М.Губкина, Москва, ankoroff57@gmail.com,  
dubinov.y@gubkin.ru*

*D.A. Kornienko, Y.S. Dubinov*

**INVENTING A NEW VEHICLE FOR MOVING OVER ROUGH  
TERRAIN USING VIBRATION TRACTION**

*RSU of Oil and Gas (NRU) named after I.M. Gubkin, Moscow,  
ankoroff57@gmail.com, dubinov.y@gubkin.ru*

Для разработки, строительства и эксплуатации месторождений нефти и газа в труднодоступных местах требуется транспорт, имеющий высокую проходимость. Отдельной проблемой становится доставка оборудования на промыслы Западной Сибири, окруженные многочисленными болотами. Появилась необходимость в универсальном транспорте способном перемещаться по пересеченной местности, болотам, обводненной местности одновременно.

Исследования показали, что данную задачу можно решить с помощью транспортного средства, использующего в качестве тяги – направленные вибрации, с помощью изменения частоты и угла приложения которых будет достигаться перемещение в 4-х направлениях.

Изготовленный опытный образец включает в себя корпус, с креплением для силовой установки (вибродинамика) и плату управления, с которой осуществляется дистанционное управление сервоприводами, изменяющими угол отклонения пластины относительно корпуса, в следствие чего изменяется направление движения модели. Проведенные испытания показали возможность перемещения полезной нагрузки с помощью опытного образца, была построена

зависимость скорости перемещения груза от заданной частоты колебаний вибродинамика (см. рис. 1)

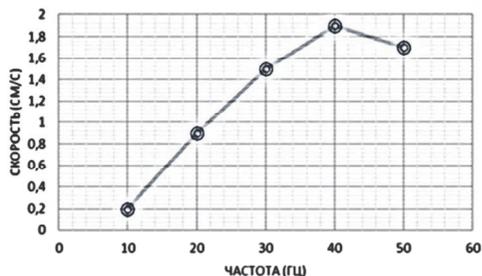


Рисунок 1 — График зависимости скорости перемещения от частоты колебаний вибродинамика

1. Клюев В.В. Неразрушающий контроль и диагностика: Машиностроение, 2003.
2. ГОСТ 24346-80 «Вибрация. Термины и определения». - Дата введения 1981-01-01.
3. Вибрации в технике: Справочник: в 6- ти т. — М.: Машиностроение. —Т. 1. Колебания линейных систем / Под ред. В.В. Болотина, 1999. — 504 с.

*И.И. Нестеров, Н.В. Мальгин, А.Б. Кутман, А.А. Торопков*  
**ВЫСОКОТОЧНЫЕ МЭМС ИНЕРЦИАЛЬНЫЕ  
НАВИГАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ  
С ГИРОКОМПАСИРОВАНИЕМ**

*ООО «Гиrolаб», г. Пермь, [inbox@gyrolab.ru](mailto:inbox@gyrolab.ru)*

*I.I. Nesterov, N.V. Malgin, A.B. Kutman, A.A. Toropkov*  
**HIGH-PRECISION MEMS INERTIAL NAVIGATION SYSTEMS  
WITH GYROCOMPASSING**

*LLC «Gyrolab», Perm, [inbox@gyrolab.ru](mailto:inbox@gyrolab.ru)*

Многолетний опыт разработки ИНС на базе МЭМС, волоконно-оптических и кольцевых лазерных гироскопов специалистов «Гиrolаб» и усилия разработчиков по повышению точности микромеха-

нических систем привели к появлению в линейке ИНС МЭМС моделей «ГЛ-ВГ110-XX» со следующими точностями:

- Истинный курс (гироскомпасирование 5 мин.):  $1^\circ/\cos(\varphi)$
- Погрешность координат: 5 миль / 30 мин.
- Потребляемая мощность: 1,6 Вт
- Размеры: 89мм × 51мм × 23мм
- Масса: 0,12 кг

Характеристики МЭМС инерциальных навигационных систем не только достигли, но даже превзошли параметры волоконно-оптических гироскопов с разомкнутым контуром, при этом ИНС МЭМС обладают меньшими габаритами, весом и энергопотреблением, на что давно существовал запрос рынка - авиационного-космического, морского, наземного — в частности для применения в пилотажно-навигационных комплексах, в космических аппаратах, ракетной технике, инклинометрии, системах навигации различного рода беспилотных объектов (БПЛА, АНПА, беспилотный наземный транспорт), системах стабилизации.



Рисунок 1 — ИНС МЭМС OEM моделей «ГЛ-ВГ110-XX»

Микромеханические гироскопы нового поколения обеспечивают высокую устойчивость и точность при самом высоком ресурсе среды твердотельных датчиков.

### ***Гироскомпасирование***

ИНС МЭМС состоят из инерциально измерительного блока (ИИБ), включающего триаду гироскопов и массив акселерометров, точность которых обеспечивает определение направления на истинный север в режиме гироскомпасирования. Это преимущество позволяет обходиться без магнитного датчика для определения курса, и в условиях, когда датчик магнитного курса нельзя применить из-за помех.

*В.Н. Ложкин*

**ПОДХОДЫ РАСЧЕТНО-ЦИФРОВОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ  
И ПРАКТИКА КОНТРОЛЯ ЭКСТРЕМАЛЬНОГО  
ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОЗДУХА ОТ ТРАНСПОРТА В ГОРОДАХ  
РОССИИ**

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

*V.N. Lozhkin*

**APPROACHES TO COMPUTATIONAL-DIGITAL MODELING  
AND THE PRACTICE OF CONTROL OF EXTREME AIR  
POLLUTION FROM TRANSPORT IN RUSSIAN CITIES**

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

Правительства государств [1], и прогрессивная общественность связывают перспективу сохранения устойчивости развития цивилизации с радикальным преобразованием уклада мировой экономики путем декарбонизации процессов получения и потребления энергии, а также снижения токсичности отработавших газов (ОГ) при получении энергии от сжигания углеводородов. По мнению ученых эта глобальная проблема не может быть решена в ближайшие 50 лет без контроля чрезвычайного загрязнения воздушной среды ОГ двигателей городского транспорта [2].

Научно-методическое и инструментальное обеспечение диагностики и расчетно-цифрового моделирования эмиссии ОГ в практиках контроля их воздействия совершенствуются [2].

В докладе приводится информация о авторских разработках уникального диагностического оборудования лазерного индицирования, позволившего получить универсальные модели для расчета локальной температуры пламени, скорости образования и выгорания частиц черного углерода опасных размеров  $PM_{2.5}$  и NO. Новые знания о механизмах образования загрязняющих веществ в цилиндрах двигателей стали предтечей оригинальных технологий управления декарбонизацией. Получили применение способы «лавинной активации горения», в частности, с помощью катализаторов; водно-топливного микро-эмульгирования, ослабляющего водородные связи с эффектами «микро-взрывного испарения»; газонасыщенных горючих; безразборной диагностики по составу ОГ) и развитие информационные технологии контроля эффекта эколого-пожароопасного воздействия на население и климат путем интегри-

рования и преобразования цифровых данных в ГИС-карты загрязнения воздуха в долях ПДК<sub>МР</sub> [2].

1. Федеральный закон от 02.07.2021 N 296-ФЗ «Об ограничении выбросов парниковых газов». - URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202107020031>.

2. Ложкин В.Н., Ложкина О.В. Информационные процессы в управлении комплексной безопасностью транспорта: стратегическое планирование и моделирование. – СПб : Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 2022. – 164 с. ISBN 978 -5-907489-15-8.

*М.Г. Щербаков*

## **УНИВЕРСАЛЬНЫЕ ГАЗОАНАЛИЗАТОРЫ**

*АО «ГосНИИхиманалит», Санкт-Петербург, mail@himanalit.ru*

*M.G. Shcherbakov*

## **UNIVERSAL GAS ANALYZERS**

*JSC «GosNIHimanalit», St. Petersburg, mail@himanalit.ru*

АО «ГосНИИхиманалит» проведены научные исследования по созданию универсальных газоанализаторов, которые могут быть индивидуальными (носимые), стационарными, устанавливаемые на малогабаритные беспилотные летательные аппараты и автомобильную технику.

Универсальные газоанализаторы предназначены для:

- обнаружения паров отравляющих веществ (ОВ);
- обнаружения пороговых и предельно допустимых концентраций паров аварийно-химических опасных веществ (АХОВ);
- измерения радиационного фона по эквивалентной дозе гамма-(рентгеновского) излучения, измерение накопленной во времени мощности эквивалента дозы гамма- (рентгеновского) излучения на местности;
- выдачи сигналов оповещения о пороговых и предельно допустимых концентрациях ОВ и АХОВ, повышенном радиационном фоне (световая, звуковая, графическая система оповещения);
- передачи в автоматизированном режиме параметров и концентраций ОВ и АХОВ с помощью постоянной радиосвязи и при-

вязки к системе GPS, графического отображения результатов на электронной карте и графической системе учёта результатов.

В качестве примера институтом разработаны газоанализаторы «Шмель» и «Оса», которые могут применяться на беспилотных летательных аппаратах (БПЛА) типа «Phantom 4 Pro (Phantom 4)».

Внешний вид газоанализаторов «Шмель» и «Оса» приведен на рисунке 1.



«Шмель»



«Оса»

Рисунок 1 — Внешний вид газоанализатора «Шмель» и «Оса»

Газоанализатор «Шмель» состоит из двух блоков: блок управления и блок сенсорных модулей. В газоанализаторе установлено 6-8 химических датчиков для определения концентрации загрязняющих веществ, а также для измерения радиационного фона по эквивалентной дозе гамма-(рентгеновского) излучения и измерение накопленной во времени мощности эквивалента дозы гамма- (рентгеновского) излучения на местности.

В газоанализаторе «Оса» устанавливается от 6 до 8 химических датчиков для определения концентрации паров вредных веществ. Газоанализаторы могут комплектоваться датчиками для определения более 80 опасных веществ по требованию Заказчика.

Принцип работы газоанализатора заключается в принудительной подаче загрязненного воздуха с помощью установленного насоса на химические датчики для определения концентрации с последующей передачей информации. Кроме того, газоанализатор «Оса» с помощью дополнительного устройства (рисунок 2) может проводить:

- отбор проб воздуха в полете или стационарном расположении на местности в пробоотборные мешки (см. рис 2) с последующим анализом в химической лаборатории;
- отбор проб воздуха с использованием сорбционных трубок с последующим анализом в химической лаборатории;

– измерение концентрации паров воздуха с использованием индикаторных трубок (см. рис.2).



Рисунок 2 — Газоанализатор «Оса» с дополнительным устройством

Конструкция газосигнализаторов «Шмель» и «Оса» может быть изменена (увеличен размер газоанализатора и установлено большее количество датчиков для определения концентрации загрязняющих веществ) под любую модификацию беспилотных летательных аппаратов и для различных видов транспортных средств, в том числе робототехнических средств воздушного и наземного базирования.

Разработанные газоанализаторы прошли практическую проверку работоспособности при проведении опытно-исследовательских учений МЧС России по выполнению мероприятий по защите территорий, входящих в Арктическую зоны РФ, от чрезвычайных ситуаций в г. Дудинка Красноярского края в сентябре 2021 года. По результатам опытно-исследовательских учений газоанализаторы получили положительную оценку своей работоспособности и были рекомендованы для принятия на снабжение при комплектовании подразделений аварийно-спасательных формирований МЧС России.

*А.А. Воробьев, В.В. Сергеев*

**ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА И ОСОБЕННОСТИ РАЗРАБОТКИ  
ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ КОМПЛЕКТУЮЩИХ ИЗДЕЛИЙ ДЛЯ  
ОРГАНИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ НАЗЕМНЫМИ  
РОБОТОТЕХНИЧЕСКИМИ КОМПЛЕКСАМИ ВОЕННОГО  
НАЗНАЧЕНИЯ**

*Военная академия материально-технического обеспечения,  
Санкт-Петербург, maestro265@yandex.ru*

*A.A. Vorobiev, V.V. Sergeev*

**JUSTIFICATION OF THE CHOICE AND FEATURES OF THE  
DEVELOPMENT OF ADDITIONAL COMPONENTS  
TO ORGANIZE THE MANAGEMENT OF GROUND-BASED  
ROBOTIC COMPLEXES FOR MILITARY PURPOSES**

*Logistics Military Academy of Army, St. Petersburg, maestro265@yandex.ru*

Для применения базового шасси ВАТ (выбранного из Перечня и серийно выпускаемого) при создании наземных РТК ВН его надо дополнительно оборудовать рядом систем, по сути трансформирующих базовое шасси в модуль движения РТС и позволяющих управлять им. Подобный подход не является инновационным и на сегодняшний день хорошо апробирован в части как методических результатов, так и технологических решений.

В общем случае перечень дополнительных комплектующих изделий, необходимых для трансформации базового шасси в автономный РТК, может существенно различаться, в зависимости от особенностей целевого назначения комплекса, условий его применения и функционирования, возможностей эксплуатации в составе группы. Однако минимально необходимый (основной) перечень комплектующих изделий определяется самой структурой наземных РТК и включает системы: управления приводами, технического зрения, навигации и связи.

В литературе различные аспекты создания и применения указанных систем РТК рассматриваются весьма подробно. Однако априорное игнорирование базовой структуры РТК в большинстве случаев существенно ограничивает возможности практического использования полученных результатов.

Справедливости ради следует отметить, что в публикациях до настоящего времени не представлены в явном виде состав и структура модуля управления движением (МУД) РТК, а также типовые задачи и базовые архитектурные решения названных систем. Практиче-

ская реализация МУД РТК возможна по одному из трёх вариантов: дистанционное (ручное) управление, выполнение заранее заданной программы (совокупности программ), управление с использованием методов искусственного интеллекта (ИИ) [1].

Совершенно иная ситуация возникает при организации управления несколькими однородными РТС. Наряду с вариантами реализации модулей управления, приходится учитывать и так называемую «схему» управления: централизованную (иерархическую), децентрализованную (сетевую) и смешанную.

При централизованной схеме управление совокупностью (однородных) РТС осуществляет одно средство. Для наземных РТС это может быть, например, средство с улучшенными ТТХ, или специально выделенный БЛА. Децентрализованная схема управления предполагает возможности создания нескольких центров управления одновременно (так называемое «роевое управление»), или, в частном случае – возможности передачи управления другому средству при возникновении определенных событий. Смешанная схема управления может подразумевать как комбинированное управление, так и вариативное. ТаА образом, организация управления совокупностью однородных РТС существенно усложнится (см. табл. 1).

Таблица 1 — Организация управления однородными РТС

| Вариант управления | Схема управления |                    |           |
|--------------------|------------------|--------------------|-----------|
|                    | централизованная | децентрализованная | смешанная |
| дистанционное      | +                | +                  | ?         |
| по программе       | +                | +                  | ?         |
| методы ИИ          | ?                | ?                  | ?         |

Примечания: + – отработаны технологические решения;  
? – проводятся теоретические исследования.

Подобная вариабельность методов организации управления имеет место как для МУД, так и для модуля управления целевой нагрузкой РТК. Очевидно, что в случае совместного применения РТК, разнородных по методам организации управления, возникают ещё более сложные задачи. С учетом рассмотренных методов организации управления движением РТК, предложения по разработке комплектующих изделий для реализации функций МУД РТК будем формировать для наиболее распространенного на практике (до 90% всех наземных РТК) простейшего варианта – дистанционное управление одним комплексом.

1. Воробьев А.А., Сергеев В.В. Проблемы формирования облика специализированных робототехнических комплексов / Робототехника и техническая кибернетика. – 2021. – Том 9. – № 4. – С. 312-320.

***А.С. Воронов<sup>1,2</sup>, Д.М. Королев<sup>1</sup>, А.С. Алексеенко<sup>1</sup>***  
**СИСТЕМА КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ**  
**АККУМУЛЯТОРНЫМИ БАТАРЕЯМИ**

*<sup>1</sup>ООО «КРАФТ», Санкт-Петербург, avoronov@kravt-studio.com, info@kravt-studio.com; <sup>2</sup>Университет ИТМО, Санкт-Петербург*

***A.S. Voronov<sup>1,2</sup>, D.M. Korolev<sup>1</sup>, A.S. Alekseenko***  
**BATTERY MONITORING AND MANAGEMENT SYSTEM**

*<sup>1</sup>LLC «KRAFT», St. Petersburg, avoronov@kravt-studio.com, info@kravt-studio.com; <sup>2</sup>ITMO UNIVERSITY, St. Petersburg*

Правительство РФ давно поставило задачу уходить от импорта, [1], особенно в областях специального оборудования [2]. Однако, очень немногие компании шли по этому пути, пытаясь до последнего пользоваться импортными компонентами. Причины были просты и понятны: главными недостатками российских компонентов являются большие размеры, по сравнению с иностранными аналогами, меньший функционал и худшее удобство разработки, при этом стоимость этих компонентов значительно выше импортных.

Сейчас, когда доступ к иностранным компонентам почти полностью перекрыт, стало ясно, что необходимо использовать отечественные компоненты и учиться с ними работать.

Наша компания является признанным лидером в производстве надежных и высокопроизводительных аккумуляторных батарей [3]. Все предыдущие системы контроля и управления (СКУ) аккумуляторными батареями (АКБ) у нас делались на иностранных компонентах. Поэтому перед нами стоит задача сделать СКУ, отвечающую высоким требованиям, предъявляемым к АКБ, но полностью на российских компонентах.

В настоящем докладе приведены первые результаты разработки СКУ, которая будет состоять из российских комплектующих.

В первую очередь, в разрабатываемой СКУ будут реализованы следующие решения:

1. Защита цепей от переходных процессов во время зарядки, подключения нагрузки и ее резкого отключения;
2. Аппаратные защиты «второго уровня» (secondary level protection), актуальных при отказе встроенного ПО или выходе из строя одной или нескольких измерительных цепей;
3. Цепи, детектирующие перегрузку или КЗ в цепях нагрузки.

Проведен поиск электронных компонентов, позволяющих реализовать необходимые схмотехнические решения. Осуществлена разводка платы. На рисунке 1 представлен общий вид платы СКУ, подготовленной для применения отечественных компонентов.

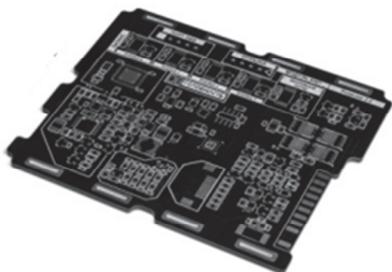


Рисунок 1 — Общий вид платы СКУ

На следующем этапе, после закупки компонентов, будет осуществлено написание программного обеспечения СКУ, дальнейшие тестирования и устранения выявленных недостатков. Результаты окончательной разработки будут представлены в последующих научных публикациях.

1. Постановление Правительства Российской Федерации от 30 апреля 2020 г. №616. (<http://static.government.ru/media/files/H8O4Iq3uSKhLHLY7AB13b3jEDHGDhaDE.pdf>)
2. Космос, глубина и радиация, журнал «Популярная механика» (№11, Ноябрь 2018). (<https://www.popmech.ru/technologies/455982-gde-rabotayut-samye-smelye-roboty/>).
3. [http://arpe.ru/aboutassociation/founders/?SECTION\\_ID=9&ELEMENT\\_ID=1235](http://arpe.ru/aboutassociation/founders/?SECTION_ID=9&ELEMENT_ID=1235)

**СЕКЦИЯ «МОРСКАЯ РОБОТОТЕХНИКА»**

---

***О.В. Третьяков<sup>1</sup>, П.Г. Тенишев<sup>1</sup>, В.А. Туголуков<sup>2</sup>***  
**СОЗДАНИЕ РОБОТИЗИРОВАННОГО СКОРОСТНОГО**  
**МОРЕХОДНОГО КАТЕРА В ПЛАНАРНОМ КОРПУСЕ**

*<sup>1</sup>ВМФ ВУНЦ «ВМА им. Н.Г. Кузнецова», Санкт-Петербург; <sup>2</sup>ИЦ «Морской»  
ГЛИЦ МО РФ им. В.П. Чкалова, г. Феодосия  
vunc-vmf-3fil@mail.ru, tenishefff@yandex.ru, variant\_co@mail.ru*

***О.В. Tretiyakov<sup>1</sup>, V.A. Tugolukov<sup>1</sup>, P.G. Tenisheff<sup>2</sup>***  
**ROBOTIC FAST SEAKEEPING CRAFT**  
**IN PLANAR HULL DESIGN**

*<sup>1</sup>NTSC of the Naval Academy named N.G.Kuznetsov, St. Petersburg; <sup>2</sup>Leading  
Researcher at the Marine Test Center of the SFTC of the MD RF named  
V.P.Chkalov, Feodosia  
vunc-vmf-3fil@mail.ru, tenishefff@yandex.ru, variant\_co@mail.ru*

Первоочередной задачей проектанта роботизированного катера является разрешение проблемы штормовой безопасности катера за счет снижения нагрузок от удара волн путем рационального выбора формы корпуса и носовой оконечности катера. Для предполагаемых районов эксплуатации катера – дальневосточного Тихого океана и северного морского пути Ледовитого океана – эта проблема осложняется необходимостью учета тяжелых условий эксплуатации катера – частых штормов, обледенения, плавания во льдах и других побочных явлений внешней среды.

Для проектирования формы корпуса и носовой оконечности катера на ударные нагрузки предлагается проектирование треугольной формы шпангоутов на нагрузки при слеминге. При этом функцией цели при проектировании носовых обводов является сопротивление воды движению катера.

В связи с этим предлагается применить треугольно-гофрированное днище в носовой части и на всю длину планарного корпуса. Через функциональные критерии и алгоритмы первоочередного расчета корпуса проводится развертывание конструктивных решений катера в последовательности и порядке функционального проектирования планарных (пространственно плоских) треугольных конструкций корпуса. Простой по проектированию, постройке и эксплуатации масштабируемый корпус катера позволяет значительно снизить затраты, сроки и трудоемкость

изготовления, сборки и монтажа корпусных конструкций наружной обшивки и внутреннего корпусного насыщения катера объемами отсеков двигательной установки, топлива и боеприпасов, оборудования и служебных помещений, технических систем и средств обслуживания. Для этого катер должен иметь аппаратно-программный комплекс управления, позволяющий реализовать дистанционное и автоматическое управление катером, с сохранением штатного ручного управления. Дистанционное управление осуществляется с выносного пульта управления. Автоматическое управление осуществляется путем программного назначения решаемых задач.

Планарный корпус, благодаря треугольным конструкциям, обеспечивает высокую прочность, жесткость и относительную легкость катера. Благодаря высоким гидродинамическим качествам крепкого треугольного корпуса и высокой скорости (до 65 узлов), обеспечиваемой двумя дизельными двигателями MTU 8V2000M61 потребной суммарной мощностью 1200 кВт и двух водометных движителей FF340 мощностью по 530 кВт, катер сравнительно небольшого водоизмещения (20 т), оснащенный специальными техническими системами и средствами, обеспечивает решение возложенных на него задач.

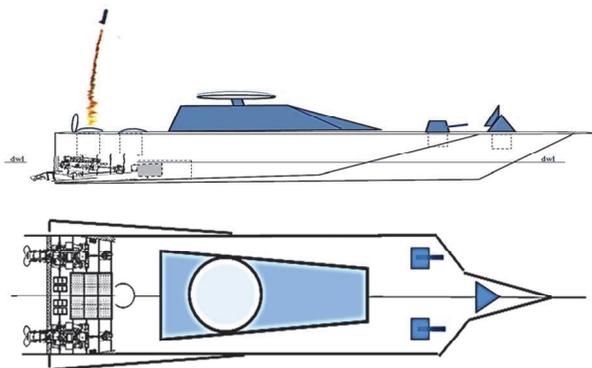


Рисунок 1 — Роботизированный скоростной мореходный катер в планарном корпусе

**И.Л. Ермолов<sup>1,2</sup>, М.М. Князьков<sup>1</sup>, Е.А. Семенов<sup>1</sup>, А.Н. Суханов<sup>1</sup>**  
**ИССЛЕДОВАНИЯ ОСОБЕННОСТЕЙ АДАПТАЦИИ**  
**ПНЕВМАТИЧЕСКОГО РОБОТА ВЕРТИКАЛЬНОГО**  
**ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ДЛЯ РАБОТЫ НА КОРПУСЕ СУДНА**  
**В ВОДНОЙ СРЕДЕ**

*<sup>1</sup>Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского РАН, Москва; <sup>2</sup>«Санкт-Петербургский государственный морской технический университет»  
Ipm\_labrobotics@mail.ru*

**I.L. Ermolov<sup>1,2</sup>, M.M. Knyazkov<sup>1</sup>, E.A. Semenov<sup>1</sup>, A.N. Sukhanov<sup>1</sup>**  
**RESEARCH ON THE ADAPTATION ISSUES**  
**OF A PNEUMATIC WALL CLIMBING ROBOT WORK**  
**ON THE HULL OF A SHIP IN AN AQUATIC ENVIRONMENT**

*<sup>1</sup>Ishlinsky Institute for Problems in Mechanics RAS, Moscow; <sup>2</sup>St. Petersburg State Marine Technical University (MTU)  
Ipm\_labrobotics@mail.ru*

В данной статье приводятся результаты исследований процессов формирования вакуума в захватных устройствах робота вертикального перемещения (РВП) [1]. Рассмотрены ситуации, когда робот перемещается по не очищенной поверхности корпуса судна (см. рис. 1), как в воздушной, так и в водной среде, с неизвестными дефектами поверхности перемещения [2]. Для моделирования подобных ситуаций, были проведены натурные испытания на разработанном стенде. Исследовался уровень вакуума при вариации параметров дефектов, моделируемых с помощью калиброванных отверстий пневмодросселей. Были получены данные, которые позволят формировать в захватных устройствах РВП достаточный уровень вакуума, для надежного сцепления робота с поверхностью перемещения (см. рис. 2). В данном эксперименте вариативность диаметра пневмодросселя эмулировала геометрию трещины или сквозного дефекта, в области которого происходит фиксация робота к поверхности. Из этого графика видно, что у представленного генератора вакуума есть уровни входного давления, при которых фиксация на поверхности будет надёжной даже при наличии сквозного дефекта или трещины. Однако при увеличении размеров трещины или сквозного дефекта происходит резкое снижение характеристики уровня вакуума, создаваемого в зоне фиксации.

Исследования проводятся в рамках программы стратегического академического лидерства «Приоритет-2030».

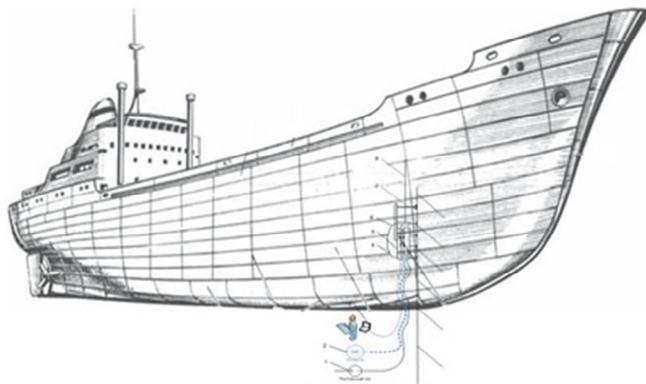


Рисунок 1 — Перемещение РВП по корпусу судна

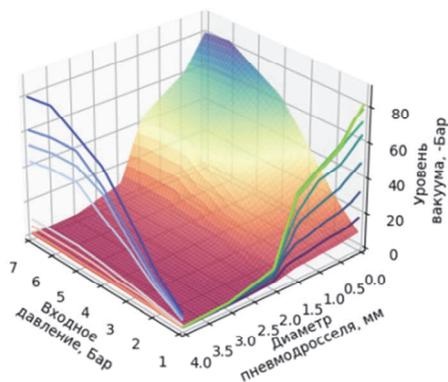


Рисунок 2 — Зависимость уровня вакуума, создаваемого в камере вакуумирования устройства фиксации робота на поверхности

1. Градецкий В.Г., Князьков М.М., Семенов Е.А., Суханов А.Н. Динамические процессы в вакуумных контактных устройствах роботов вертикального перемещения в водной среде// в журнале Мехатроника, автоматизация, управление, том 20, № 7, с. 417-421 DOI: 10.17587/mau.20.417-421

2. Balashov, V.S., Gromov, B.A., Ermolov, I.L., Roskilly, A.P. Cleaning By Means of the HISMAR Autonomous Robot// Russian Engineering Research 31(6), 2011, с. 589-592 DOI 10.3103/S1068798X11060049

*Авс Ахмад, А.С. Ющенко*

## ДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПОДВОДНОГО МОБИЛЬНОГО РОБОТА С ВОЛНООБРАЗНЫМИ ДВИЖИТЕЛЯМИ

*МГТУ им. Н.Э.Баумана, Москва, aws.ahmad318@gmail.com,  
arkadyus@mail.ru*

*Aws Ahmad, A.S. Yuschenko*

## DYNAMIC MODEL OF AN UNDERWATER MOBILE ROBOT WITH UNDULATING PROPULSORS

*Bauman Moscow State Technical University, Moscow,  
aws.ahmad318@gmail.com, yusch@bmstu.ru*

В настоящее время большое внимание исследователей уделяется разработке и управлению подводных роботов для изучения и защиты подводной среды, проведения поисково-спасательных работ и разведывательных операций. Ведется активный поиск новых типов двигательных механизмов, способных работать в водной среде, а также и на суше, в прибрежной полосе. В результате наблюдения и анализа механизмов движения живых существ начались разработки роботов с волнообразным механизмом движения [1], свойственного скатам «batoids», и некоторым другим подводным существам. Этот способ движения позволяет обеспечить значительную маневренность, режим стабилизации при наличии течения, и также обладает относительной бесшумностью по сравнению с альтернативными способами движения подводных роботов, которые используют классические механизмы.

Данная работа посвящена изучению подводного робота с волнообразными двигателями (Рис. 1) с целью определить динамическую модель движения такого робота (1) [2], параметры для определения гидростатической силы, действующей на робот, и гидродинамические параметры (матрицу добавленной массы и матрицу демпфирования) с использованием метода CFD SolidWorks. Уравнение динамики приведено ниже:

$$\mathbf{M}_v \cdot \dot{\mathbf{v}} + \mathbf{C}_v(\mathbf{v})\mathbf{v} + \mathbf{D}(\mathbf{v})\mathbf{v} + \mathbf{g}(\boldsymbol{\eta}) = \boldsymbol{\tau} + \boldsymbol{\tau}_E \quad (1)$$

где:  $\boldsymbol{\eta}$  вектор координат положения и углов Эйлера робота в инерциальной системе отсчета  $O_E X_E Y_E Z_E$ .  $\mathbf{v} = [u, v, \omega, p, q, r]^T$  векторы ленини и угловой скорости,  $\boldsymbol{\tau}$  управляющие входы в системе координат, связанной с роботом  $O_b X_b Y_b Z_b$ ,  $\boldsymbol{\tau}_E$  - силы возмущения, действующие на покачивание и подъем,  $\mathbf{D}(\mathbf{v})$  - линейная матрица демпфирования, вектор  $\mathbf{g}(\boldsymbol{\eta})$  определяет комбинированные эффек-

ты гравитации и плавучести в инерциальной системе координат,  $C_v(\mathbf{v})$  - матрица Кориолиса,  $M_v$  - матрица добавленной массы.

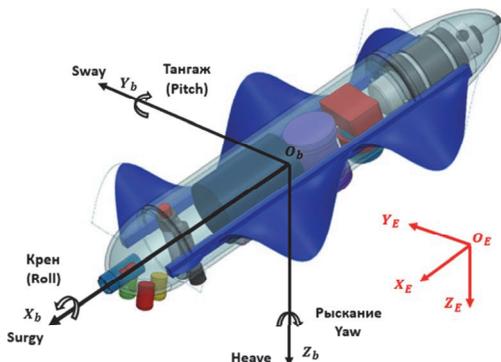


Рисунок 2 — Модель робота и системы координат

В результате анализа модели методом CFD, были получены соотношения, приведенные в таблице 1:

Таблица 1.

|                         |                                       |
|-------------------------|---------------------------------------|
| Surge (вперед) (Н)      | $F_x = 1,57u^2 + 0,5 - 0,13$          |
| Sway (Раскачивание) (Н) | $F_y = 39,5v^2 + 1,98v - 0,4$         |
| Heave (Подъем) (Н)      | $F_z = 62,3\omega^2 + 5\omega + 1,62$ |
| Pitch (Тангаж) (Н.М)    | $T_y = 3,93q^2 - 0,33q + 0,3$         |
| Yaw (Рыскание) (Н.М)    | $T_z = 2,98r^2 - 0,098r + 0,04$       |

Результаты гидростатического анализа и гидродинамического анализа были использованы в библиотеке Simscape MATLAB для реализации модели робота и изучения влияния гидростатической и динамической силы на робота, а также для разработки алгоритмов управления. Анализ результатов моделирования, приведенный в докладе, показал, в частности, что при прямолинейном движении робота без обратной связи по оси  $OX_E$  робот движется не только по этой оси, как это предполагается теоретически, но и по двум другим осям. Эти результаты обусловлены, в первую очередь, отсутствием идеальной симметрии робота по плоскости  $O_E Z_E X_E$  и несовершенством размещения плавников относительно центра тяжести робота. Таким образом, были получены рекомендации как по организации управления, так и совершенствования конструкции робота.

1. T. J. Hu, L. C. Shen, L. X. Lin, and H. J. Xu, “Biological inspirations, kinematics modeling, mechanism design and experiments on an undulating robotic fin inspired by *gymnarchus niloticus*,” *Mech. Mach. Theory*, vol. 44, no. 3, pp. 633–645, Mar. 2009.

2. Antonelli G., Antonelli G. *Underwater robots*. – Switzerland : Springer International Publishing, 2014. – Т. 3 23–48.

*А.П. Абеленцев*

**РОССИЙСКИЕ СРЕДСТВА ПОДВОДНОЙ НАВИГАЦИИ И СВЯЗИ: ПРАКТИКА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ**

*ООО «Лаборатория подводной связи и навигации», Москва,  
hello@unavlab.com*

*A.P. Abeleltsev*

**RUSSIAN UNDERWATER NAVIGATION  
AND COMMUNICATION INSTRUMENTS: PRACTICE  
AND PROSPECTS**

*LLC Underwater Communicztions & Navigation Laboratory, Moscow,  
hello@unavlab.com*

В современных условиях особую важность представляет разработка отечественных средств гидроакустической связи и навигации, обеспечивающих работу подводных робототехнических комплексов различной степени автономности: от малых телеуправляемых аппаратов до глобальных глайдеров и обитаемых подводных аппаратов. В данной работе представлен обзор актуальных текущих и перспективных задач гидроакустической связи применительно к подводной робототехнике и средств их решения.

С точки зрения разработки, практически любая навигационная задача содержит в себе задачу обеспечения цифровой гидроакустической связи, часто с разделением абонентов, к которой добавляется задача измерения времени в широком смысле этого термина: от определения времени распространения сигнала между двумя абонентами до определения фаз сигнала, принимаемого на фазированную антенную решетку.

Предназначенная работать в естественных водоемах гидроакустическая система связи должна проектироваться в первую очередь с учетом «недружелюбных» условий работы: крайне узкая доступная полоса частот, рефракция, интерференция и пр.

С точки зрения же требований пользователя, современная система связи должна иметь встроенные механизмы обеспечения если не множественного доступа к среде, то как минимум механизмы разделения абонентов.

Производимые ООО «Лабораторией подводной связи и навигации» гидроакустические модемы семейств uWave и RedLine, к примеру, имеют встроенную систему кодового разделения абонентов и обеспечивают пользователя так называемыми «изолирующими кодовыми каналами»: изолирующий кодовый канал гарантирует, что любой абонент не может принять сообщение, которое было передано в кодовом канале, отличном от того, в котором он ведет прием.

Оба типа модемов разрабатывались на основе цифрового шумоподобного сигнала, обеспечивающего работу в условиях многолучевого распространения и при значительном уровне помех.

Устройства решают задачи:

- передачи произвольных цифровых данных;
- разделения и изоляции абонентов;
- логической адресации
- гарантированной доставки (получения подтверждения о получении и повторной передачи).

Отдельно стоит сказать о требованиях к массогабаритным показателям и энергоэффективности. Миниатюризация средств гидроакустической связи делает возможным в принципе оснащение такими средствами самых малых аппаратов, в особенности автономных необитаемых (АНПА), значительно расширяя тем самым их функционал и область применения.

Например, самый малый из устройств семейства uWave, являющийся на данный момент самым маленьким из подобных устройств в мире [1][2] при размере 45x42 мм обеспечивает связь на дальностях до 1000 метров (подтвержденная в естественном водоеме дальность - 1092 метра).

Таких выдающихся массогабаритных показателей удалось достичь при помощи запатентованного [3] решения, когда весь модем, включая аналоговые тракты приема и передачи и цифровой сигнальный процессор, располагаются внутри пьезокерамической антенны.

### ***Навигационные задачи***

На сегодняшний день использование цифровых сигналов в качестве навигационных стало стандартом де-факто, и в самом широком смысле навигационные задачи включают в себя задачи обеспечения связи.

### ***Определение собственных навигационных параметров***

В ООО «Лаборатория подводной связи и навигации» разработана и с 2015 года выпускается система т.н. подводного GPS [4][5], являющаяся на данный момент ближайшим аналогом глобальных спутниковых навигационных систем и реализует их ключевую особенность: четыре плавучих буя в акватории позволяют определять собственное географическое (абсолютное) местоположение неограниченному числу подводных объектов, оснащенных малогабаритными навигационными приемниками. При этом навигационные приемники эмулируют протокол обычных GNSS-приемников, что позволяет максимально упростить интеграцию.

### ***Определение навигационных параметров управляемого объекта***

Задача в большей степени актуальна для различных телеуправляемых аппаратов и осуществления поиска в аварийных случаях.

Телеуправляемый аппарат, как правило не содержит серьезной логики обеспечения собственного движения, в лучшем случае он может иметь систему стабилизации глубины, и, что значительно реже - курса. Телеуправление осуществляется по кабелю, а обратная связь организуется при помощи видеоизображения/звуквидения/ гидролокации.

На существенных для таких комплексов дистанций - более сотни метров, телеуправление без определения как минимум относительного (относительно судна обеспечения) положения аппарата затруднено и сопряжено с рисками, особенно в районах с активным судоходством и/или различными природными факторами (сложный донный ландшафт, течения, плохая видимость и т.п.).

В ООО «Лаборатория подводной связи и навигации» разработан целый ряд систем для решения обозначенной задачи.

В частности, нами разработана, производится и продается ультракороткобазисная система Zima2 [6], которая позволяет осуществлять слежение за подводными объектами, оборудованными маяками-ответчиками, при помощи пеленгационной антенны, устанавливаемой на опускаемой штанге на судне обеспечения.

1. Zia, M.Y.I., Poncela, J. & Otero, P. State-of-the-Art Underwater Acoustic Communication Modems: Classifications, Analyses and Design Challenges. *Wireless Pers Commun* 116, 1325–1360 (2021).

2. Quraishi, Anwar Ahmad, Cooperative Multi-Robot Systems for Aquatic Environmental Sensing: pour l'obtention du grade de Docteur es Sciences, EPFL, Lausanne, 170p, (2021).

3. Патент RU2659299C1.
4. [https://docs.unavlab.com/documentation/RU/RedWAVE/RedWAVE\\_DataBrief\\_ru.html](https://docs.unavlab.com/documentation/RU/RedWAVE/RedWAVE_DataBrief_ru.html).
5. Патенты US10989815B2, WO2017044012A1, EP3349040A4, RU2599902C1.
6. [https://docs.unavlab.com/navigation\\_and\\_tracking\\_systems\\_ru.html#zima2](https://docs.unavlab.com/navigation_and_tracking_systems_ru.html#zima2).

***В.В. Сергеев<sup>1</sup>, С.И. Косянчук<sup>1</sup>, А.Л. Шидловский<sup>2</sup>,  
К.С. Талировский<sup>2</sup>***

**СИСТЕМА ФОТО И ВИДЕО СЪЕМКИ  
ДЛЯ БУКСИРОВЩИКА ВОДОЛАЗОВ**

*<sup>1</sup>АО «НИИ телевидения», Санкт-Петербург; <sup>2</sup>ФГБУ ВО  
Санкт-Петербургский университет противопожарной службы  
МЧС России, Санкт-Петербург  
npk62ypr@niitv.ru, shaten7575@inbox.ru*

***V.V. Sergeev<sup>1</sup>, S.I. Kosyanchuk<sup>1</sup>, A.L. Shidlovsky<sup>2</sup>, K.S. Talirovskiy<sup>2</sup>***  
**PHOTO AND VIDEO SHOOTING SYSTEM FOR DIVING TOW**

*<sup>1</sup>JSC «Television Scientific Research Institute», St. Petersburg; <sup>2</sup>St. Petersburg  
University of the State Fire Service of the Ministry of Emergencies of Russia  
npk62ypr@niitv.ru, shaten7575@inbox.ru*

В настоящее время буксировщики водолазов широко используют в мировой водолазной практике, поскольку их применение позволяет в кратчайшие сроки выполнить поисково-спасательные работы на больших площадях с привлечением минимального количества личного состава водолазов и, тем самым, спасти человеческие жизни, вовремя выполнить ремонтно-восстановительные работы на затонувших объектах или предотвратить экологические катастрофы.

В докладе приводятся основные технические параметры разработанного для МЧС буксировщика водолазов «Фактор» с грузовым контейнером на гибкой сцепке для транспортировки грузов при проведении различных видов подводных работ:

- поиск затонувших объектов и пострадавших в акватории океанов и морей на больших площадях;
- доставка оборудования на глубину работающим водолазам;
- доставка снаряжения и баллонов с кислородом для спасения людей на затонувших объектах;

- транспортировка грузов, пострадавших или погибших;
- осмотр трубопроводов и подводных объектов;
- проведение анти террористических операций, разведки, охраны, минирования/разминирования и других специальных работ силовыми ведомствами.

Приводится сравнительный анализ тактико-технических характеристик буксировщика водолаза «Фактор» с аналогичными устройствами, представленными на мировом рынке, такими как: «Rotinor», «Seabob», «Bonex», «Dive x-tras Piranha».

Показано, что у буксировщика «Фактор» благодаря оригинальному размещению водолаза на буксировщике отсутствуют существенные недостатки лучших зарубежных аналогов, которые имеют «тянущий» принцип действия, где водолаз держится руками за рычаги буксировщика, а именно:

- в процессе перемещения у водолаза устают руки и по прибытию к месту работы ему необходимо время для восстановления сил;
- встречный поток воды направленный в лицо затрудняет видимость в воде;
- нет возможности для транспортировки пострадавшего и груза.

Еще одно преимущество буксировщика «Фактор» в том, что водолаз во время движения имеет свободные руки для управления буксировщиком и может выполнять дополнительные функции.

В докладе предложено оснастить буксировщик «Фактор» оборудованием для фото и видео съемки объектов наблюдения с системой подсветки для расширения функциональных возможностей и повышения эффективности поисково-спасательных и осмотровых работ, работ по составлению донных карт, паспортов безопасности подводных объектов и их охраны, выполнения специальных видов работ, а также учебного процесса обучения водолазов.

Полученные в процессе работы фото и видео материалы позволяют контролировать качество выполняемых подводных работ, сократить время пребывания водолазов в водной среде, привлечь для анализа фото и видео материалов экспертов на суше и, при необходимости, выполнить повторную видео съемку проблемных мест объектов, исключить при поиске и осмотре человеческий фактор и пропуск участков объектов или поверхности дна.

В докладе рассматривается структура и приводятся основные технические параметры оборудования для выполнения фото и видео съемки объектов наблюдения на скорости хода буксировщика. Для обеспечения требуемого уровня освещенности установлены два светодиодных светильника с возможностью плавной регулировки мощ-

ности излучения водолазом. Для контроля получаемых изображений ТВ камерой и вывода служебной информации служит дисплей 5””.

Для расширения функциональных возможностей буксировщика в части безопасности и навигации рассматриваются вопросы оснащения буксировщика глубиномером с индикацией достижения предельной рабочей глубины и компасом.

*А.А. Курнос*  
**ВЛИЯНИЕ НАРУШЕНИЙ СИММЕТРИИ  
НА ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ТРАЕКТОРИЙ  
УПРАВЛЕНИЯ СЛОЖНЫМИ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИМИ  
СИСТЕМАМИ**

*АО «СПМБМ «МАЛАХИТ», Санкт-Петербург, info-ckb@malachite-spb.ru*

*A.A. Kurnosov*  
**THE IMPACT OF SYMMETRY VIOLATIONS  
ON DETERMINING OPTIMAL CONTROL TRAJECTORIES  
FOR COMPLEX ROBOTIC SYSTEMS**

*JSC «SPMBM «MALAHIT», St. Petersburg, info-ckb@malachite-spb.ru*

Повышение эффективности и конкурентоспособности техногенных систем однозначно связано с их усложнением, что является признаком уровня технологического развития страны. Рост сложности систем приводит и к росту катастрофического потенциала, пропорционального сложности системы [1].

Сложные системы (СС) – зонтичный термин, относящийся к слабо определенной полиморфной сущности, проявления которой превосходят наше понимание принципов её функционирования. Сформулированы условия отнесения систем к классу сложных на основе 5-ти свойств: открытости, неизоморфной изменчивости трех видов (структурной, пространственной и информационной), двойного кода, агрегирования событий и нарушения физических симметрий.

Традиционные принципы разработки СС базируются на ряде законов сохранения, соответствующих непрерывным симметриям физических процессов. Широко используются законы сохранения энергии/импульса, гипотеза эргодичности, обратимости времени в физических процессах и т.п. Классификационным признаком СС предлагается считать именно нарушения некоторых физических симметрий - закона сохранения энергии, условия Слуцкого для эргодических систем, неоднородности и анизотропности времени, причинности,

симметрии изоморфности агрегированных событий и пр.

Это приводит к необходимости разработки специальных методов определения оптимальных траекторий эволюции СС с целью выработки возможных управлений. Базовая гипотеза метода - непредсказуемые катастрофы и проявления каузальной несовместимости СС связаны с тем, что реальная метрика СС превосходит метрику, заложенную при их проектировании. Базовые постулаты : энергия имеет фундаментальное значение; время необратимо; все эволюции СС представляют собой поток уникальных событий; координаты в пространстве-времени можно использовать, чтобы однозначно идентифицировать каждое событие, при этом размерность пространства-времени должна обеспечивать вложение всех событий, как уникальных, то есть соответствовать количеству степеней изменчивости систем; наблюдателя не существует, как и глобального сценария поведения индивидов; все события воспринимаются индивидами в своих индивидуальных временах [2]. Базовая сущность – ЭПМ - энергетическое причинное множество (эволюционирующий гиперграф), порожаемое совокупностью индивидов – элементов СС. В некоторых узлах ЭПМ возможно управление эволюцией систем для отдельных индивидов в пределах заданных ограничений по управлению. Метрика ЭПМ -  $T^3L^3$  [3].

Базовые модели - физико-математическая модель взаимодействия; нейролингвистическая модель и модель управления. Рассматриваются структуры и особенности моделей при физическом имитационном моделировании. Критерий оптимальности – минимум энергетических (информационных) затрат по траектории при максимуме близости финального паттерна состояния к целевому, определённом текстом. Теоретические положения иллюстрируются результатами исследований и экспериментальными оценками.

Применение изложенного подхода можно рекомендовать для сложных систем с проблемами совместимости, вызванными масштабной кооперацией разработки со слабыми горизонтальными связями, сложностью отдельных элементов, наличием требований по разграничению доступа к информации, мультидоменностью применения элементов сложных систем. Реализация подхода позволяет обеспечить устранение конфликтов каузальной совместимости на ранних стадиях проектирования и разработать оптимальные алгоритмы комплексного применения разнородных средств.

1. Charles Perrow. Normal Accidents. Living With High-Risk Technologies. USA, Basic Books, 1984.

2. Kurnosov A. Predictive Temporal Analytics Method in Situational Modeling of the Evolution of Complex Systems, Journal of Physics: Conference Series / Intelligent Information Technology and Mathematical Modeling 2021, 2131 (2021) 032026 doi:10.1088/1742-6596/2131/3/032026.

3. Smolin Lee, The dynamics of difference. Perimeter Institute for Theoretical Physics, 31 Caroline Street North, Waterloo, Ontario N2J 2Y5, Canada June 4, 2019.

***С.А. Половко, А.С. Проценюк, В.В. Целуйко***  
**ОПЫТ СОЗДАНИЯ СИСТЕМЫ ПОДВОДНОЙ СТЫКОВКИ  
ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ СОВМЕСТНЫХ ДЕЙСТВИЙ**

*ГНЦ РФЦНИИ РТК, Санкт-Петербург, a.procenyuk@rtc.ru*

***S.A. Polovko, A.S. Procenyuk, V.V. Tceluyko***  
**EXPERIENCE IN CREATING AN UNDERWATER DOCKING  
SYSTEM FOR ORGANIZING JOINT ACTIONS**

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

В ходе создания и эксплуатации автономных необитаемых подводных аппаратов выявлена необходимость стыковки аппарата с носителем или донной станцией, для зарядки аккумуляторных батарей, передачи собранной информации, загрузки очередной миссии, проведения диагностики и технического обслуживания.

Задача стыковки с подводным носителем является одной из наиболее сложных, так как предусматривает тесное взаимодействие подвижных объектов в условиях подвижной среды. Особенностью стыковки разрабатываемого АНПА с подводным объектом является необходимость приведения аппарата в район нахождения объекта с большого расстояния, точного позиционирования и обеспечения вертикального движения до момента стыковки с одновременным удержанием позиции в горизонтальной плоскости. При этом необходимо обеспечить возможность работы системы при частичном выходе её компонентов из строя. Подобная система стыковки позволяет обеспечить скрытность выполнения операций, возможность их выполнения на значительном расстоянии от наземных баз, а также независимость от погодных условий.

Процесс приведения и стыковки начинается с большого расстояния и состоит из последовательности этапов:

1. Сближение
2. Дальнее приведение
3. Ближнее приведение
4. Стыковка

Этапы выбраны с учетом характеристик сенсоров, обеспечивающих различные диапазоны и точности определения положения.

Сближение производится по данным автономных навигационных систем АНПА. Дальнее приведение начинается с границы действия гидроакустической связи. Ближнее приведение осуществляется в зоне радиусом до 500 метров. На финальной стадии (стыковка) применяется оптико-телевизионный принцип определения положения, обеспечивающий высокую частоту и точность измерений. Наиболее эффективной схемой для оптического наведения является применение специальных активных световых маркеров. Такое решение обеспечивает предельную дальность наведения от 5 до 20 м.



Рисунок 1 — Световые маркеры

Факт стыковки определяется по срабатыванию концевых выключателей, по появлению связи по системе высокоскоростного оптического обмена либо по стабильному положению маркеров в изображениях от телевизионных камер.

Результаты получены в рамках выполнения государственного задания Минобрнауки России FNRG-2022-0025 1021101316168-7-2.2.2 № 075-01623-22-01 «Алгоритмы группового управления автономными необитаемыми подводными аппаратами в условиях ограниченной пропускной способности гидроакустических каналов связи».

*Н.А. Щур<sup>1</sup>, И.В. Митин<sup>2</sup>, Р.А. Коротаев<sup>2</sup>, В.И. Миронов<sup>2</sup>,  
В.Б. Казанцев<sup>1,2</sup>*

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ  
И ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ГИДРОДИНАМИКИ  
РЫБОПОДОБНОГО ПОДВОДНОГО РОБОТА**

*<sup>1</sup>ГНЦ РФ ЦНИИ РТК, Санкт-Петербург, [koliambos@mail.ru](mailto:koliambos@mail.ru);  
<sup>2</sup>Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского,  
Нижний Новгород*

*N.A. Tschur<sup>1</sup>, I.V. Mitin<sup>2</sup>, R.A. Korotaev<sup>2</sup>, V.I. Mironov<sup>2</sup>,  
V.B. Kazantsev<sup>1,2</sup>*

**EXPERIMENTAL STUDY AND NUMERICAL SIMULATION  
OF HYDRODYNAMICS FOR FISH-LIKE UNDERWATER  
VEHICLE**

*<sup>1</sup>Russian State Scientific Center for Robotics and Technical Cybernetics,  
St. Petersburg, [koliambos@mail.ru](mailto:koliambos@mail.ru); <sup>2</sup>National Research Lobachevsky State  
University of Nizhny Novgorod, Nizhny Novgorod*

В настоящей статье представлены результаты экспериментально-го и расчетного моделирования движения рыбоподобного подводного робота. Для исследования фундаментальных принципов локомоции рыб был разработан макет биоморфного подводного робота. При его проектировании в качестве референса была выбрана рыба семейства скумбриевые: тихоокеанский голубой тунец. По фотографиям была сконструирована 3D модель корпуса, которая затем была скорректирована (увеличена ширина поперечного сечения), для обеспечения требуемой вместительности под необходимое бортовое оборудование. Движитель робота имеет форму хвоста и состоит из гибкой пластины с закрепленным на ней хвостовым плавником. С двух сторон от гибкой пластины располагаются тяги, деформирующие ее при вращении сервопривода. Для придания дополнительной степени свободы хвостовой плавник устанавливается на подпружиненный шарнир. Данная модель позволяет исследовать биоморфное плавание с различными параметрами движения, а именно: амплитуда и частота взмахов задается управляющим сигналом сервопривода, угол между хвостовым плавником и упругой пластиной задается количеством и жесткостью пружин в шарнире.

Были проведены испытания разработанного макета. На дно бассейна помещалась пластина с нанесенной координатной сеткой с размером ячеек 100 × 100 мм. На каждом шаге эксперимента осуществлялся запуск макета с заданными (фиксированными в течении

одной итерации) управляющими параметрами амплитуды и частоты взмахов хвоста. После старта и набора скорости макет, движущийся на фоне координатной сетки, снимали на камеру. По полученным видеоданным определяли скорость и характер движения модели при различных параметрах амплитуды и частоты взмахов хвоста. В дальнейшем полученные экспериментальные данные использовались для оценки достоверности расчетной модели.



Рисунок 1 — Геометрия (а)экспериментальной и (б) расчетной моделей

Расчетная методика моделирования динамики биоморфных подводных роботов разработана в 911 лаб. ЦНИИ РТК и апробирована в работе [3]. Для моделирования динамики рыбоподобного робота разработан алгоритм деформации поверхности и сетки для рыбоподобной деформации, аналогичной той, что наблюдается в эксперименте. Уравнения динамики робота и динамики жидкости решаются совместно. Данный подход позволяет получить детальные данные о динамике движения рыбоподобного робота, такие как, амплитуда колебаний курса крена и дифферента, а также их осреднённые значения.

В геометрической модели робота для проведения расчетов сделан ряд упрощений. Отсутствуют тяги, идущие от сервопривода к хвостовому плавнику. Поверхность расчетной модели не имеет технологические отверстия под крепеж. Существенным моментом в эксперименте является провод, идущий от оператора к модели, на который прикреплены поплавки для поддержания его нейтральной плавучести. Данный провод, несмотря на малое сечение (три отдельные жилы диаметром 1 мм) может вносить существенный вклад в гидродинамическое сопротивление робота, однако возможность учесть этот фактор в расчетной модели отсутствует. В дальнейших экспериментах предполагается использование беспроводной модели с аккумулятором и радиопередатчиком.

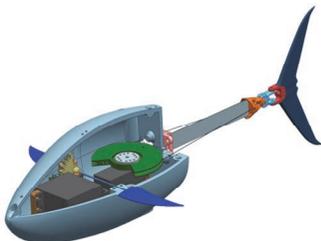


Рисунок 2 — Устройство экспериментальной модели.

Расчет предполагает, что деформация хвоста задается, как функция от времени, а движение робота полностью определяется параметрами заданной деформации. В экспериментальной модели в качестве «хвоста» использовалась упругая балка прямоугольного сечения с закрепленным на конце хвостовым плавником. Деформацию упругой балки можно описать формулой дуги окружности, а при небольших амплитудах формулой для параболы:

$$dz = A \cdot x^2 \cdot \sin(2\pi \cdot f \cdot t) \quad (1)$$

В соответствии с данной формулой задаётся боковое смещение  $dz$  для поверхности хвостовой балки и хвостового плавника в зависимости от продольной координаты  $x$  и времени  $t$ . Частота колебаний  $f=2.46$  Гц, а коэффициент  $A$  подбирается таким образом, что амплитуда колебаний кончика хвоста равна 12.6 см, что соответствует условиям эксперимента.

Полученная в расчете динамика движения рыбоподобного робота визуально хорошо согласуется с видеозаписью, сделанной во время эксперимента, что говорит о примерном совпадении амплитуды колебаний курса. Скорость робота в расчете также согласуется с экспериментальной с учетом сделанных геометрических упрощений.

Результаты получены в рамках выполнения государственного задания Минобрнауки России FNRG-2022-0013 1021060307689-7-1.2.1;2.2.2 № 075-01623-22-03 «Исследование путей создания и областей возможного применения биоморфных подводных роботов».

1. Guan, Zhenying & Gao, Weimin & Gu, Nong & Nahavandi, Saeid. (2011). 3D hydrodynamic analysis of a biomimetic robot fish. 11th International Conference on Control, Automation, Robotics and Vision, ICARCV 2010. 793 - 798. 10.1109/ICARCV.2010.5707359.

2. Marianela M. Macias, Igor F. Souza, Antonio C.P. Brasil Junior, Taygoara F. Oliveira, Three-dimensional viscous wake flow in fish

swimming - A CFD study, Mechanics Research Communications, Volume 107, 2020.

3. Щур Н. А., Глазунова Е. В. Опыт численного моделирования гидродинамики биоморфных подводных роботов, Робототехника и техническая кибернетика, 2022, том10, №2, С 104-112.

*Д.А. Фролов, С.А. Половко, Н.А. Щур*  
**ОТРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ СИНТЕЗА СИСТЕМЫ  
УПРАВЛЕНИЯ АНПА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ  
ЧИСЛЕННОЙ ГИДРОДИНАМИКИ И КИБЕРНЕТИЧЕСКИХ  
МОДЕЛЕЙ**

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

*D.A. Frolov, S.A. Polovko, N.A. Tschur*  
**DEVELOPMENT OF THE TECHNOLOGY FOR AUV  
CONTROL SYSTEM SYNTHESIS USING COMPUTATIONAL  
FLUID DYNAMICS AND CYBERNETIC MODELS**

*Russian State Scientific Center for Robotics And Technical Cybernetics,  
St. Petersburg, d.frolov@rtc.ru*

Синтез системы управления автономными необитаемыми подводными аппаратами – актуальная и достаточно сложная задача. Построение и использование моделей динамики автономных обитаемых подводных аппаратов (АНПА) с 6 степенями свободы на основе приближенных выражений для гидродинамических сил и моментов различного толка сопряжено с большим количеством трудностей, в т.ч. требует проведения идентификационных испытаний. В то же время, современные вычислительные мощности позволяют проводить совместное моделирование, используя методы численной гидродинамики для определения результирующей силы, которая затем подставляется в уравнения движения для твердого тела. Данные вычисления, однако, занимают достаточное время, и не позволяют удовлетворительно построить процесс разработки системы управления (СУ).

Нами и коллегами ранее в работах [1]–[3] была предложена технология использования упрощенных кибернетических моделей. Согласно данной методике, требуется на основе подробной модели получить параметры переходных процессов по степеням свободы АНПА и представить их в виде линейных звеньев. Затем данные

уравнения динамики можно дополнить уравнениями кинематической связи. С использованием данной методики был разработан моделирующий комплекс для отработки технологической операции посадки АНПА в контейнер донного базирования с использованием системы технического зрения [4] (Рис.1).

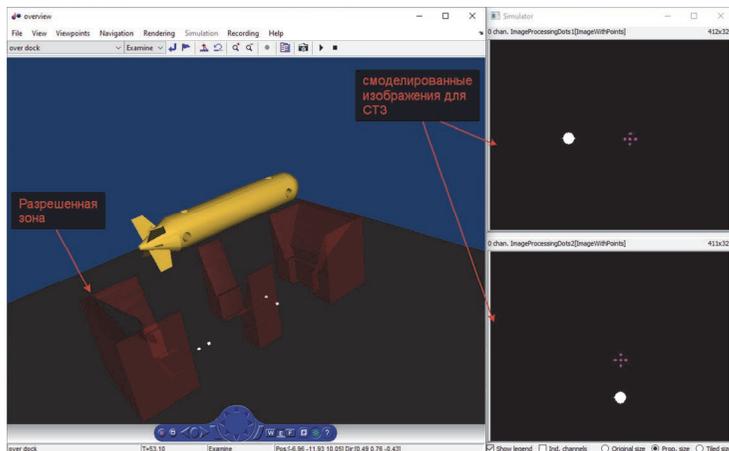


Рисунок 1 — Визуализация положения АНПА, разрешенной зоны и кадров СТЗ

В данной работе, в качестве финального этапа, разработанная на упрощенной модели СУ [4] была испытана для управления подробной гидродинамической моделью. Удалось показать, что система управления полностью выполняет поставленную задачу: провести достаточно быструю стыковку, удерживая при этом АНПА в пределах разрешенной зоны, размеры которой уменьшаются при приближении к терминальной точке (см. Рис.1). Сравнение показывает, что кибернетическая модель позволяет в первом приближении достоверно представить работу АНПА и его реакцию на управляющие и возмущающие воздействия. Данный результат завершает собой серию работ, посвященных технологии использования кибернетических моделей, и подтверждает удобство ее применения для разработки систем управления АНПА.

Результаты получены в рамках выполнения государственного задания Минобрнауки России FNRG-2022-0017 1021060307691-2-1.2.1;2.2.2 № 075-01623-22-00 «Развитие теории синтеза оптимального управления гиперизбыточными роботами подводного базирования в условиях непрогнозируемых нестационарных течений и потоков».

1. N. Tschur, S. Polovko, and A. Deulin, Robotics and Technical Cybernetics, vol. 8, no. 4, 2020, doi: 10.31776/rtcj.8405.
2. S. Polovko and D. Frolov, Robotics and Technical Cybernetics, vol. 8, no. 4, 2020, doi: 10.31776/rtcj.8403.
3. V. Goryunov, S. Polovko, and N. Tschur, Robotics and Technical Cybernetics, vol. 8, no. 4, 2020, doi: 10.31776/rtcj.8407.
4. D. Frolov and S. Polovko, in Journal of Physics: Conference Series, Dec. 2021, vol. 2131, no. 3. doi: 10.1088/1742-6596/2131/3/032068.

*К.К. Забелло, Н.А. Шур*

**РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ СОПРЯЖЕННЫХ РАСЧЁТОВ  
ДИНАМИКИ ТЕЛА, СОВЕРШАЮЩЕГО ВЗМАХОВЫЕ  
КОЛЕБАНИЯ, И ГИДРОДИНАМИКИ, ОБТЕКАЮЩЕЙ ЕГО  
ЖИДКОСТИ**

*ГНЦ РФ ЦНИИ РТК, Санкт-Петербург, kosnay@mail.ru, koliambos@mail.ru*

*K.K. Zabello, N.A. Shur*

**DEVELOPMENT OF A TECHNOLOGY FOR COUPLED  
CALCULATIONS OF THE DYNAMICS OF A BODY  
PERFORMING WAVE OSCILLATIONS AND  
HYDRODYNAMICS OF A FLUID FLOWING AROUND IT**

*Russian State Scientific Center for Robotics and Technical Cybernetics,  
St. Petersburg, kosnay@mail.ru, koliambos@mail.ru*

На сегодняшний день существует целый класс задач – задач биоморфного движения за счет крупномасштабной деформации частей тела или тела целиком. В данных задач изучается взаимодействие между движущимся (или деформирующимся) твердым телом (системой тел) и потоком жидкости или газа. Особый интерес представляет механика полета насекомых, плавания рыб. Для обоих случаев характерно наличие взмаховых колебаний крыльев, плавников, хвоста и т.д. Известно, что данный механизм движения обладает высоким КПД, достигающим до 80 %, что значительно превосходит существующие аналоги, так КПД винта в среднем имеет значение в 45 % [1]. Помимо этого, такой механизм движения позволяет определенным видам рыб развивать скорость более 100 км/ч, что значительно превосходит скорость существующих подводных аппаратов.

Таким образом, изучение данного вида движения является перспективным направлением развития как подводных, так и воздуш-

ных летательных аппаратов. С этой целью предлагается технология сопряжённого расчёта динамики жидкости или газа и твёрдого тела, совершающего взмаховые колебания.

Одной из основных сложностей решения данного класса задач является необходимость вести расчеты в области с изменяющейся и/или движущейся геометрией. Существует несколько подходов, учитывающих движение границ расчетной области. Метод накладываемых сеток предполагает решение сразу на двух сетках, где одна является неподвижной, а вторая, содержащая движущиеся границы, движется поверх другой. Однако, в этом случае возникает проблема переинтерполяции данных, которая может приводить к ухудшению качества решения. Аналогичная проблема имеется у другого метода адаптирующихся сеток, предполагающего построение новой сетки на каждом шаге по времени, что является ресурсоемкой операцией. Упомянутых выше недостатков лишен метод деформируемых сеток. Данный подход предполагает, что при движении границы сетка внутри расчетной области также смещается (деформируется). При этом количество ячеек и топология сетки остаются неизменными.

В данной работе используется алгебраический алгоритм деформации, устанавливающий явные соотношения между движением границ и деформацией сетки. Предлагаемый алгоритм является модернизацией способа деформации, предложенного Н.А. Шуром [2]. Новый алгоритм позволяет учитывать движения границ расчетной области при взмаховых колебаниях, кинетика которых соответствует предписанному движению. Реализация и расчёты проводятся с использованием коммерческого пакета ANSYS Fluent.

Апробация предложенной методики расчёта производится на задаче о полете комара в неподвижной среде. Постановка задачи полностью соответствует условиям эксперимента и CFD расчёта [3].

В настоящей работе приводятся распределения давления и положения вихрей на крыле, а также прочие поля течения вблизи машущих крыльев и в ближнем следе. Кроме того, получены характеристики силового воздействия со стороны жидкости на машущее крыло. Сравнение тягового усилия с весом насекомого показало хорошее соответствие данных величин.

Результаты получены в рамках выполнения государственного задания Минобрнауки России FNRG-2022-0013 1021060307689-7-1.2.1;2.2.2 № 075-01623-22-00 «Исследование путей создания и областей возможного применения биоморфных подводных роботов».

1. Д. Краснопевцев, А. Шапкин, Новые типы движителей для плавсредств. Журнал Физика, №1/2006 (2005).

2. Щур, Н. А. Численное исследование свободных и вынужденных колебаний тел в потоке / дис. : канд. физ.-мат. наук : 01.02.05 – СПб., 2008. – 105 с. библиогр. : 93-105.

3. Bomphrey, R., Nakata, T., Phillips, N. et al. Smart wing rotation and trailing-edge vortices enable high frequency mosquito flight. Nature 544, 92–95 (2017). <https://doi.org/10.1038/nature21727>.

*А.А. Иванов*

**К ВОПРОСУ ОБ УПРАВЛЯЕМОСТИ ГИПЕРИЗБЫТОЧНОГО  
РЕКОНФИГУРИРУЕМОГО НЕОБИТАЕМОГО  
ПОДВОДНОГО АППАРАТА**

*ЦНИИ РТК, Санкт-Петербург, al\_ivanov@rtc.ru*

*А.А. Ivanov*

**ON THE ISSUE OF CONTROLLABILITY  
OF A HYPER-REDUNDANT RECONFIGURABLE UNMANNED**

*Russian state scientific center for robotics and technical cybernetics,  
St. Petersburg, al\_ivanov@rtc.ru*

На примере предложенной концепции конструкции гиперизбыточного реконфигурируемого необитаемого подводного аппарата (ГРНПА) [1, 2] рассмотрены вопросы анализа управляемости в различных конфигурациях, определяемых как изменением формы внешнего корпуса аппарата, так изменением направления осей винтомоторных движителей. Проанализированные варианты конфигурации внешнего корпуса ГРНПА приведены на рисунке 1.



Рисунок 1 — Конфигурации ГРНПА

Вариант а) предполагает работу НПА в режиме дальнего пере-

мещения, вариант б) предполагается для маневрирования вблизи объектов внимания. В настоящем исследовании рассмотрены вопросы управляемости НПА с помощью стационарного и динамического изменения направлении осей винтомоторных движителей импеллерного типа.

Для выполнения анализа принято, что динамика движения свободного ГПМР ПК в конфигурации с зафиксированными положениями узлов модулей реконфигурации формы описывается системой шести дифференциальных уравнений динамики твёрдого тела. В форме Даламбера-Эйлера уравнение динамики твёрдого тела имеет вид (1)

$$-T_{control} + T = 0, \quad (1)$$

где  $T$ - главный вектор-торсёр относительно центра масс тела сил инерции и внешних объёмных и поверхностных статических и динамических сил

$$T = T_{volume} + T_{surface\_static} + T_{surface\_dynamic} + T_{inertial}, \quad (2)$$

а  $T_{control}$  - главный вектор-торсёр сил и моментов, создаваемых импеллерами, относительно центра масс. Каждый импеллер создаёт воздействие на среду эквивалентное торсёру относительно центра масс НПА

$$T_k = g_k F_k = ((e_k)^T, (dK_{mf} e_k + (r_k - r_c) \times e_k)^T)^T F_k. \quad (3)$$

Условие управляемости НПА как твёрдого тела воздействиями импеллеров состоит в возможности набора импеллеров сформировать реакцию на произвольное шести компонентное силомоментное воздействие, т.е. в однозначности связи  $F = \{F_k\}$  и  $T$ , которая может быть записана в виде

$$A \cdot F = T. \quad (4)$$

Условие управляемости НПА сводится к требованию полноты ранга матрицы  $A$  (rank=6), а решение определяется соотношением

$$F = A^+ \cdot T = A^T \cdot (A \cdot A^T)^{-1} \cdot T. \quad (5)$$

Псевдообратная матрица  $A^+ = A^T \cdot (A \cdot A^T)^{-1}$  имеет размерность  $n \times 6$  зависит от положения импеллеров, направлений осей рулевых колонок, коэффициента связности упора и момента импеллера, направления ориентации лопаток винта и положения центра масс НПА, т.е. для выбранного взаимного расположения и ориентации корпусов модулей – постоянна.

В докладе обсуждаются результаты исследования влияния выбора направления осей импеллеров на управляемость НПА в соответствии с моделью (1-5).

Результаты получены в рамках выполнения государственного задания Минобрнауки России FNRG-2022-0017 1021060307691-2-1.2.1;2.2.2 № 075-01623-22-00 «Развитие теории синтеза оптимального управления гиперизбыточных роботов подводного базирования в условиях непрогнозируемых нестационарных течений и потоков».

1. Иванов А.А., Шмаков О.А. Реконфигурируемый гиперизбыточный модульный необитаемый подводный аппарат// Сборник тезисов 32-й Международной научно-технической конференции «ЭКСТРЕМАЛЬНАЯ РОБОТОТЕХНИКА». – Санкт-Петербург: ООО «РА ФОРТУНА», 2021. С. 173-174.

2. Иванов А.А. Моделирование динамики движения необитаемого подводного аппарата при реконфигурации жидкой среде //Робототехника и техническая кибернетика. т. 9, №4, 2021. С. 271-279.

***Л.А. Мартынова, И.В. Пашкевич, Г.А. Подшивалов,  
Г.В. Конохов, Н.И. Горбачев, Т.А. Гриненкова, А.И. Стариков***  
**ПОДХОД К ИССЛЕДОВАНИЮ АЛГОРИТМОВ  
УПРАВЛЕНИЯ АНПА ПРИ ВОЗНИКНОВЕНИИ  
НЕИСПРАВНОСТЕЙ В ЕГО ОБОРУДОВАНИИ**

*АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор», Санкт-Петербург,  
martynowa999@bk.ru, iv@bk.ru, 930730@mail.ru, kongv1@yandex.ru,  
n1ck-g1@yandex.ru, t\_silina@bk.ru, alstarwar@yandex.ru*

***L.A. Martynova, I.V. Pashkevich, G.A. Podshivalov,  
G.V. Konyukhov, N.I. Gorbachev, T.A. Grinenkov, A.I. Starikov***  
**APPROACH TO THE STUDY OF AUV CONTROL  
ALGORITHMS IN THE EVENT OF FAULTS IN ITS  
EQUIPMENT**

*State Research Center of the Russian Federation Concern CSRI Elektropribor,  
JSC, St. Petersburg, martynowa999@bk.ru, iv@bk.ru, 930730@mail.ru,  
kongv1@yandex.ru, n1ck-g1@yandex.ru, t\_silina@bk.ru, alstarwar@yandex.ru*

Решается задача исследования работоспособности алгоритмов управления автономного необитаемого подводного аппарата (АНПА) [1, 2] на стенде моделирования [3] не только в штатных условиях его работы, но и в условиях возникновения неисправно-

стей оборудования подсистем АНПА.

Ввиду отсутствия применительно к АНПА готовых решений, связанных с формированием отказов без вмешательства в штатное программное обеспечение и нарушения штатного обмена информацией между подсистемами на стенде моделирования, в докладе предложен подход к организации исследований и необходимого набора средств симуляции неисправностей.

Для обеспечения возможности исследования алгоритмов управления в нештатных ситуациях по каждой подсистеме АНПА сформирован перечень возможных неисправностей его оборудования. Разработан алгоритм формирования неисправностей в АНПА: на первом этапе случайным образом разыгрывается момент времени появления неисправности, на втором этапе разыгрывается подсистема АНПА, в которой произошла неисправность, на третьем этапе разыгрывается случайное оборудование определенной ранее подсистемы, в котором произошла неисправность. Алгоритм формирования неисправностей программно реализован, разработан дружественный интерфейс программы задания режимов симуляции с возможностью задания исходных данных и отображения результатов моделирования неисправностей. Разработаны специальные протоколы информационно-технического взаимодействия программы задания режимов симуляции с имитатором каждой из подсистем АНПА, по которым передается сформированная в программе неисправность и ее тип. Приняв такое сообщение, имитатор оборудования выдает по штатному протоколу обмена в систему управления АНПА признак неисправности оборудования и параллельно имитирует процессы, сопровождающие неисправное состояние данного оборудования.

Реализация предложенного подхода в стенде моделирования разрабатываемого АНПА позволила провести тестирование предложенных алгоритмов по симуляции неисправностей оборудования АНПА, провести тестирование алгоритмов управления АНПА при возникновении неисправностей, провести анализ возможности замены неисправных устройств на дублирующие, а при отсутствии дублирования и резервирования неисправных устройств – возможность реконфигурации системы управления движением [4].

Результаты тестирования разработанных алгоритмов симуляции неисправностей и протоколов задания режимов симуляции показали правильность предложенного подхода.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ проект № 20-08-00130.

1. О возможности и необходимости создания сверхбольшого необитаемого подводного аппарата / Е.М. Апполлонов [и др.] // Сборник материалов XIII Всероссийской научно-практической конференции «Перспективные системы и задачи управления». Ростов-на-Дону – Таганрог, ЮФУ. 2018. С.34–42.

2. Алгоритмы, реализуемые интегрированной системой управления АНПА / Л.А. Мартынова [и др.] // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2015. – № 1 (162). – С. 50-58.

3. Стенд для отработки системы управления автономного необитаемого подводного аппарата / В.С. Быкова [и др.] // Материалы конференции «Управление в морских системах» (УМС-2020). СПб.: АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор». 2020. с. 42-44.

4. Мартынова Л.А., Розенгауз М.Б. Подход к реконфигурации системы управления движением автономного необитаемого подводного аппарата // Гироскопия и навигация. 2020. Т. 28. № 2 (109). С. 131-146.

*В.С. Быкова, А.И. Машошин, Г.А. Подшивалов, А.С. Смирнов*  
**ОПТИМИЗАЦИЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ПОИСКА ДОННОГО  
ОБЪЕКТА ПРИ ПОМОЩИ АНПА НА ОСНОВЕ  
ПРИМЕНЕНИЯ НЕЗАВИСИМЫХ КАНАЛОВ НАБЛЮДЕНИЯ**

*АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор, Санкт-Петербург,  
zvs.2011@yandex.ru, aimashoshn@mail.ru, 930730@mail.ru,  
elpribor012@mail.ru*

*V.S. Bykova, A.I. Mashoshin, G.A. Podshivalov, A.S. Smirnov*  
**OPTIMIZATION OF THE SOLUTION OF THE PROBLEM  
OF SEARCHING FOR A BOTTOM OBJECT USING AN UAV  
BASED ON THE USE OF INDEPENDENT OBSERVATION  
CHANNELS**

*Concern CSRI Electropribor, St. Petersburg, zvs.2011@yandex.ru,  
aimashoshn@mail.ru, 930730@mail.ru, elpribor012@mail.ru*

Задача поиска назначенных донных объектов (ДО) возникает:

- при поиске затонувших кораблей, подводных лодок, самолётов и других объектов, оказавшихся на дне;
- при поиске и нейтрализации донных мин;
- при инспекции подводных сооружений, добывающих платформ, подводных трубопроводов и кабелей.

Сложность решения этих задач состоит в том, что поиск назначенного объекта осуществляется путём его выявления (распознавания, идентификации) среди множества донных объектов естественного и искусственного происхождения. При этом для решения задачи используются средства мониторинга дна, работающие на разных физических принципах и имеющие ограниченные возможности. В частности:

- гидроакустические средства при движении АНПА позволяют просматривать достаточно широкую полосу (50-200 м), но имеют низкую разрешающую способность, как правило, не позволяющую достоверно идентифицировать обнаруженный объект. Кроме того, высокочастотные гидроакустические средства не позволяют обнаруживать объекты под слоем ила;

- электромагнитные средства позволяют обнаруживать объекты с большой массой металла, но не позволяют идентифицировать их;

- оптические средства обладают высоким разрешением, потенциально достаточным для идентификации объекта, но требуют приближения к объекту на расстояние в несколько метров и наличия подсветки. Кроме того, они бесполезны, если объект поиска находится под слоем ила.

Целью данной работы является попытка ответить на два вопроса:

- как осуществлять поиск назначенных донных объектов при помощи нескольких независимых каналов наблюдения на примере многолучевого эхолота и электромагнитного искателя;

- как распознавать обнаруженные донные объекты.

В результате проведённых исследований были получены следующие результаты:

- разработаны программные модели, реализующие имитацию мониторинга донной поверхности с помощью многолучевого эхолота и электромагнитного искателя;

- разработан алгоритм управления АНПА в рамках задачи поиска донных объектов, направленный на сокращение маршрута поиска назначенного донного объекта за счет поочередного и совместного использования многолучевого эхолота и электромагнитного искателя;

- разработано программное обеспечение моделирования процесса поиска донного объекта с использованием многолучевого эхолота и электромагнитного искателя;

- выполнено моделирование алгоритмов поиска и распознавания назначенных донных объектов, в ходе которого были определены границы применимости их использования, преимущества и недостатки.

1. Подводные робототехнические комплексы: системы, технологии, применение /А.В. Инзарцев [и др.] / [отв. ред. Л.В. Киселев]. Владивосток: Дальнаука. 2018. 368 с.
2. Chapple P.V. Unsupervised detection of mine-like objects in seabed imagery from autonomous underwater vehicles // Proc. IEEE Oceans Conf. Biloxi, Mississippi, USA. 2009.
3. Касаткин Б.А., Косарев Г.В. Результаты применения акустического профилографа для мониторинга морских акваторий с использованием алгоритмов синтезирования и фокусировки // Подводные исследования и робототехника. 2014. №1(17). С.33-38.
4. Модельное решение задачи инспекции объектов промышленного оборудования с помощью АНПА на базе методики видеораспознавания характерных точек / А.В. Инзарцев [и др.] // Подводные исследования и робототехника. 2021. №3 (37). С.23-35.

*А.В. Зуев, А.А. Протсенко, А.А. Тимошенко, Д.В. Копылов*  
**МЕТОД ПОСТРОЕНИЯ САМОНАСТРАИВАЮЩИХСЯ  
КОРРЕКТИРУЮЩИХ УСТРОЙСТВ ДЛЯ  
ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ ПОДВОДНЫХ МАНИПУЛЯТОРОВ,  
ИСПОЛЬЗУЮЩИХ БЕСКОЛЛЕКТОРНЫЕ ДВИГАТЕЛИ  
ПОСТОЯННОГО ТОКА**

*Дальневосточный федеральный университет, г. Владивосток; Институт  
проблем морских технологий ДВО РАН, г. Владивосток  
zuev.av@dvfu.ru, protsenkoAlAn@yandex.ru*

*A.V. Zuev, A.A. Protsenko, A.A. Timoshenko, D.V. Kopylov*  
**METHOD FOR CONSTRUCTION OF SELF-ADJUSTING  
CORRECTION DEVICES FOR ELECTRIC DRIVES OF  
UNDERWATER MANIPULATORS WITH BLDC MOTORS**

*Far Eastern Federal University, Vladivostok; Institute of Problems of Marine  
Technologies, FEB RAS, Vladivostok  
zuev.av@dvfu.ru, protsenkoAlAn@yandex.ru*

В докладе описан новый метод построения самонастраивающихся корректирующих устройств для управления электроприводами с бесколлекторными двигателями постоянного тока (БДПТ) [1], которые устанавливаются в сочленениях подводных манипуляторов (ПМ). При перемещениях ПМ на выходные валы этих электроприводов действуют неизвестные внешние моментные воздействия, обусловленные

влиянием вязкой среды [2]. Это приводит к значительному ухудшению показателей качества управления ПМ, а следовательно, к снижению качества выполняемых технологических операций.

Для решения этой проблемы обычно используют различные самонастраивающиеся корректирующие устройства (СКУ) [3], позволяющие стабилизировать динамические свойства приводов на номинальном уровне. Однако для реализации этих СКУ требуется точное определение в реальном времени величин действующих на приводы моментов. Для оценки этих величин могут быть использованы наблюдатели с переменной структурой (НПС) [4]. Но известные методы [5] рассматривают построение НПС только для электроприводов манипуляторов с коллекторными электродвигателями, оснащёнными датчиками тока, и не могут быть напрямую использованы для БДПТ.

Таким образом, в работе ставится задача создания метода построения СКУ для электроприводов ПМ на основе БДПТ, которые используют эффективные НПС для определения величин внешних моментных воздействий.

Предлагаемый метод состоит из двух этапов: 1) построение на основе редуцированной модели БДПТ легко реализуемых НПС, не использующих датчики тока, для оценки внешних моментов  $\tilde{M}_{вн}(t)$ , действующих в приводах ПМ; 2) формирование законов самонастройки  $U(t)$ , включающих полученные ранее оценки величин внешних моментов и учитывающих все особенности переключений управляющих напряжений на фазах электродвигателя. Полученные законы позволяют придать БДПТ желаемые динамические свойства.

Структурная схема созданной системы управления электроприводами ПМ показана на рис. 1.

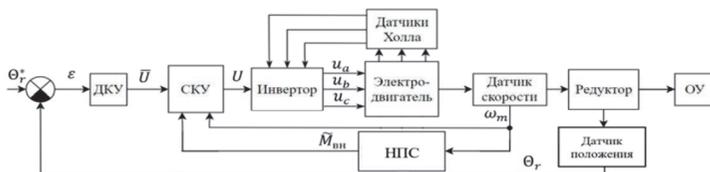


Рисунок 1 — Структурная схема электропривода ПМ: ДКУ – дополнительное корректирующее устройство; ОУ – объект управления

Для исследования работоспособности и эффективности предложенного метода было выполнено моделирование синтезированных СКУ для электроприводов трехступенного ПМ. Результаты показали, что использование предложенных СКУ с НПС позволяет уменьшить значение динамической ошибки движения рабочего

инструмента ПМ по пространственной траектории на 39 % (с 9.4 мм до 5.8 мм) по сравнению системой управления без СКУ.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда, проект № 22-29-01303.

1. Hernández-Guzmán V.M., Orrante-Sakanassi J. PID control of robot manipulators actuated by BLDC motors // International Journal of Control. – 2021. – P. 267-276.

2. Куафе Ф. Взаимодействие робота с внешней средой // М.: Мир. – 1985. – 285 с.

3. Филаретов В.Ф. Самонастраивающиеся системы управления приводами манипуляторов // Владивосток: изд. ДВГТУ. – 2000. – 304 с.

4. Edwards C., Spurgeon S., Patton R. Sliding mode observers for fault detection and isolation // Automatica. – Vol. 36. – 2000. – P. 541-553.

5. Зуев А.В., Жирабок А.Н., Проценко А.А. Система аккомодации к дефектам в электроприводах подводных манипуляторов // XII Всероссийская научно-техническая конференция «Робототехника и искусственный интеллект». – 2020. – С. 40-45.

***В.В. Чернышев<sup>1,2</sup>, В.В. Арыканцев<sup>1</sup>, Я.В. Калинин<sup>2</sup>,  
А.Х. Насари Задеган<sup>1</sup>, Н.Г. Шаронов<sup>1</sup>***  
**ОТРАБОТКА МЕТОДОВ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ  
ШАГАЮЩИХ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ  
ПЕРЕДВИГАЮЩИХСЯ ПО ДНУ**

<sup>1</sup>Волгоградский государственный технический университет, Волгоград;

<sup>2</sup>Всероссийский научно-исследовательский институт орошаемого  
земледелия, vad.chernyshev@mail.ru

***V.V. Chernyshev<sup>1,2</sup>, V.V. Arykantsev<sup>1</sup>, Ya.V. Kalinin<sup>2</sup>,  
A.H. Nasari Zadegan<sup>1</sup>, N.G. Sharonov<sup>1</sup>***  
**DEVELOPMENT OF METHODS FOR CONTROLLING THE  
MOVEMENT OF WALKING ROBOTIC SYSTEMS MOVING  
ALONG THE BOTTOM**

<sup>1</sup>Volgograd State Technical University, Volgograd, <sup>2</sup>All-Russian Research Institute  
of Irrigated Agriculture, vad.chernyshev@mail.ru

Робототехнические системы передвигающиеся по дну (подводные бульдозеры, кабелеукладчики, экскаваторы, донные самоходные добычные агрегаты и др.) имеют, как правило, гусеничный или

колесный движитель. Вместе с тем в условия морского дна, отличающегося сложным рельефом и низкой несущей способностью грунтов, традиционные типы движителей зачастую становятся неэффективными. Даже гусеничные машины могут работать под водой только на сравнительно ровных и достаточно плотных грунтах с небольшими уклонами дна. Причем и здесь они могут двигаться лишь на пределе сцепления. Маневренность гусеничных машин под водой так же ограничена — поворот с малыми радиусами реализуется по сцеплению не на всех грунтах.

Шагающие машины и роботы обладают более высокими тяговыми свойствами и проходимостью в сравнении с колесными и гусеничными машинами. С другой стороны, шагающие машины отличаются более сложным управлением. В докладе обсуждаются результаты подводных испытаний 6-ти ногого шагающего аппарата МАК-1 [1, 2]. Аппарат разработан в ВолгГТУ для исследования шагающего способа передвижения в подводных условиях. Испытания проводились на Белом море и озере Байкал (рис. 1).

Конструктивно аппарат МАК-1 включает в себя 2 шагающих модуля соединенных сменной рамой. Шагающие модули выполнены в виде балок, на которых установлены механизмы шагания и бортовой силовой привод. Механизмы шагания — циклового типа с возможностью корректировки программных движений ног. Бортовой привод — на базе асинхронных электродвигателей с частотным регулированием скорости вращения. Питание и управление осуществляется по кабелю. Цикловой движитель позволяет не заботиться о сохранении походки и устойчивости. В результате аппарат имеет всего лишь 2 управляемых привода и становится проще аналогов с адаптивным управлением ног. Например, у корейского 6-ти ногого подводного робота Crabster CR2000 шагающие движители адаптивного типа насчитывают 32 управляемых приводов [3].



Рисунок 1 — Подводные испытания шагающего аппарата

Основная задача подводных испытаний — отработка методов управления движением подводных шагающих роботов с учетом специфических особенностей подводных условий. Также исследовались возможности циклового шагающего движителя аппарата по

самоадаптации и самоуправлению в условиях неорганизованной поверхности морского дна.

Результаты работы могут быть востребованы при создании подводных роботов передвигающихся по дну, предназначенных для различного вида подводно-технических работ и для новых промышленных технологий освоения ресурсов морского дна.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФ и Администрации Волгоградской обл., проект № 22-21-20115.

1. Чернышев, В. В. МАК-1 — подводный шагающий робот / В. В. Чернышев, В. В. Арыканцев // Робототехника и техническая кибернетика. 2015. № 2. – С. 45-50.

2. Design and underwater tests of subsea walking hexapod MAK-1 / V. V. Chernyshev, V. V. Arykantsev, A. E. Gavrilov Y. V. Kalinin, N. G. Sharonov // Proc. of the ASME 2016 35th Int. Conf. on Ocean, Offshore and Arctic Engineering OMAE 2016. Busan, 2016. – 9 p.

3. Design of static gait algorithm for hexapod subsea walking robot Crabster / S.Y. Yoo, B.H. Jun, H. Shim // Transactions of the Korean Society of Mechanical Engineers. Vol. 38, Issue 9. 2014. P. 989–997.

***A.A. Kabanov, V.A. Kramar, D.A. Tokarev, M.M. Maystrishyn***  
**АРХИТЕКТУРА ПЛАТФОРМЫ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ**  
**МОРСКИХ РОБОТИЗИРОВАННЫХ АГЕНТОВ НА БАЗЕ**  
**МОРСКОГО ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ**

*Севастопольский государственный университет, г. Севастополь,  
kabanovaleksey@gmail.com*

***A.A. Kabanov, V.A. Kramar, D.A. Tokarev, M.M. Maystrishyn***  
**ARCHITECTURE OF THE PLATFORM FOR INTERACTION**  
**OF MARINE ROBOTIC AGENTS BASED ON THE MARINE**  
**INTERNET OF THINGS**

*Sevastopol State University, Sevastopol, kabanovaleksey@gmail.com*

Реализация концепции информационной сети физических предметов, оснащённых технологиями взаимодействия друг с другом и с внешней средой (концепция «Интернет вещей», Internet of Things, IoT) является устойчивым трендом развития современного общества и одним из значимых индикаторов трансформации мировой экономики к шестому технологическому укладу. Проецирование концеп-

ции IoT на морскую отрасль обеспечат радикальный рост и долгосрочное развитие перспективных морских технологических рынков.

Можно обозначить следующие основные возможные направления применения технологий IoT: научные, промышленные, военные и др. Научные приложения связаны с наблюдением за окружающей средой, то есть мониторингом геологических процессов на дне океана, характеристик воды и морской жизни. Технологии IoT позволяют внедрять новые модели подводных исследований в задачах подводной археологии, в задачах картографирования морского дна, в задачах поиска природных ископаемых и множестве других приложений.

Указанные выше сценарии применения в литературе относят, как правило, к технологиям «Интернет подводных вещей» (Internet of Underwater Things, IoUT, или Underwater Internet of Things, UIoT) [1]. Следует сказать, что кроме IoUT в литературе встречается понятие Internet of Things Ocean (IoTO) [2]. Саму технологию IoTO описывают как сеть взаимосвязанных интеллектуальных подводных объектов, рассматривая как перспективную технологию для систематического управления разнообразными морскими данными.

Отдельно стоит выделить сегмент морского судоходства, для которого в научной литературе широко распространено понятие Maritime Internet of Things (Maritime IoT) [3], подразумевающее то, что все устройства, связанные с надводными морскими объектами связаны информационной сетью для бесперебойного обслуживания по всему миру. Maritime IoT представляет собой распределенный программно-аппаратный комплекс передачи информационных данных от различных устройств надводных океанотехнических систем и объектов через информационную систему.

Отталкиваясь от рассматриваемых сфер применения и расширения из-за этого области обмена данными, включая в рассмотрение передачу информационных данных (сюда включаются в том числе видеоинформация, результаты измерений и др.) от роботизированных устройств и объектов, расположенные под водой и получения ими управляющих команд расширяется область применения IoT. По нашему представлению объединение Maritime IoT и IoUT приводит к рассмотрению группы технологий, которые мы называем Marine IoT.

Под Marine IoT (MIoT) будем понимать разнородную программно-аппаратную систему обмена информационными данными и управляющими командами между надводными и подводными роботизированными объектами. Для реализации технологии MIoT необходимо на начальном этапе определить идеологию архитектуры MIoT, в зависимости от целей решаемой задачи.

Так один из подходов основан на сетевой идеологии модели OSI и TCP/IP [1], которая состоит из 5 отдельных уровней: приложения, транспорта, сети, канала передачи данных и физического уровня. Как альтернатива TCP/IP активно используется подход, основанный на использовании устойчивой к задержкам сети (DTN), которая решает технические проблемы в гетерогенных сетях без постоянного подключения к сети. Другим подходом к построению МIoT является архитектура на основе сценария совместной передачи данных между развернутыми сенсорными узлами роботизированных объектов, где один сенсорный узел рассылает свои пакеты данных соседним узлам. Еще одним очевидным подходом является построение архитектуры МIoT на основе функциональности, выделяя три слоя, основные функциональные возможности которых можно представить уровнем восприятия, сетевым уровнем и прикладным уровнем.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России.

1. Jahanbakht, M.; Xiang, W.; Hanzo, L.; Rahimi Azghadi, M. Internet of Underwater Things and Big Marine Data Analytics—A Comprehensive Survey. *IEEE Commun. Surv. Tutorials* 2021, 23 (2), 904–956.

2. Salhaoui, M.; Molina-Molina, J. C.; Guerrero-González, A.; Arioua, M.; Ortiz, F. J. Autonomous Underwater Monitoring System for Detecting Life on the Seabed by Means of Computer Vision Cloud Services. *Remote Sensing* 2020, 12 (12), 1981.

3. T. Xia, M. M. Wang, J. Zhang, and L. Wang, «Maritime Internet of Things: Challenges and Solutions», *IEEE Wireless Commun.*, vol. 27, no. 2, pp. 188–196, Apr. 2020.

***В.К. Абросимов***

### **ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ ПОМОЩНИК ВОДОЛАЗА**

*Главный научно-исследовательский испытательный межвидовой Центр перспективного вооружения, Москва, avk787@yandex.ru*

***V.K. Abrosimov***

### **INTELLIGENT DIVER'S ASSISTANT**

*Federal state-owned institution «Main research and testing interspecific center for advanced weapons», Moscow, avk787@yandex.ru*

Водолазы зачастую работают в суровых и плохо контролируемых условиях, в которых малейшее неожиданное нарушение, тех-

ническая неисправность или невнимательность могут иметь катастрофические последствия. Они маневрируют в сложных трехмерных средах и несут громоздкое оборудование при решении своих задач. Воздействие подводной среды - течения, взвеси, темнота, затопленные неизвестные объекты- существенно снижают возможности водолаза.

Функционально водолаз наблюдает, распознает, идентифицирует, объекты, события, ситуации, принимает на основе своего опыта решения в подводной среде. Но по экспертным данным, Россия постепенно утрачивает свои компетенции и возможности для производства подводных работ водолазами. Численность водолазов, работающих в интересах развития экономики страны, за последние годы сократилась в разы. Количество водолазов, уровень их подготовки, оснащенность водолазным снаряжением и оборудованием, наличие водолазных судов и катеров уже не позволяют решать множество необходимых народно-хозяйственных задач.

Современные методы искусственного интеллекта с успехом решают аналогичные задачи с использованием систем технического зрения (наблюдение, обнаружение), процессов обучения, например, на сверточных нейронных сетях (распознавание, идентификация, классификация), использования баз знаний и прецедентов для поддержки принятия решения [1].

Предлагается придать водолазу в помощь соответствующим образом обученный автономный обитаемый подводный аппарат. Инновационность идеи состоит в создании единой среды ситуационной осведомленности водолаза и сопровождающего его подводного робота, который обучен решению задач, прежде всего, подводного мониторинга и должен в перспективе адаптироваться к когнитивному поведению и физическому состоянию водолаза. Полученная в результате киберфизическая система играет тройную роль, аналогичную той, которую должен иметь напарник-водолаз: а) напарник-«наблюдатель», который постоянно наблюдает за водолазом; б) напарник-«помощник», который является «активной рукой» водолаза для выполнения типовых операций («осмотреть», «сфотографировать», «осветить», «принести») и в) напарник-«гид», который ведет водолаза через сложную и возможно агрессивную подводную среду.

Обоснована необходимость разработки следующих элементов такой подводной киберфизической системы: База знаний водолаза, Модель ситуационной осведомленности водолаза, 3D-модель подводного пространства потенциально активных зон работы водола-

зов, автоматизированная разметка, обучающие выборки и Нейронная модель распознавания подводных ситуаций, «Синтезированные подводные объекты».

С точки зрения сравнения с зарубежными достижениями идея помощника водолаза носит догоняющий характер [2], но в перспективе она более чем актуальна.

1. Абросимов В.К., Пантелей Е., Мочалкин А.Н. Подготовка исходных данных для машинного обучения систем управления автономных необитаемых подводных аппаратов // Сборник тезисов XIV Всероссийской Мультиконференции по проблемам управления (МКПУ-2021, том 1 стр. 67-69.

2.N. Mišković et al., «CADDY project, year 3: The final validation trials», OCEANS 2017 - Aberdeen, 2017, pp. 1-5, doi: 10.1109/OCEANSE.2017.8084715.

***А.А. Яковлев, Д.С. Кудрявцев, Р.В. Сахабудинов, А.С. Голосий***  
**ОБЕСПЕЧЕНИЕ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ**  
**РОБОТОТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ «АВТОНОМНЫЙ**  
**ГЛУБОКОВОДНЫЙ АППАРАТ» В РЕЖИМЕ АКТИВНОЙ**  
**КОМПЕНСАЦИИ КАЧКИ**

*АО «КБ Арсенал им.М.В.Фрунзе», Санкт-Петербург, kbarsenal@kbarsenal.ru*

***A.A. Yakovlev, D.S. Kudryavtsev, R.V. Sakhabudinov, A.S. Golosiy***  
**HOW TO OPERATE THE ROBOTIC SYSTEM «AUTONOMOUS**  
**DEEPDIVING VEHICLE» IN THE DYNAMIC ROLLING**

*Arsenal Design Bureau JSK, St. Petersburg, kbarsenal@kbarsenal.ru*

При обеспечении подводно-технических работ требуется стабилизация вертикального положения автономного глубоководного аппарата (АГА), находящегося на подвесе у судна-носителя (СН). При возмущающем воздействии качки на АГА рассмотрено действие следующей динамической силы

$$F_{\text{дин}} = \rho_{\text{в}} \cdot V_{\text{АГА}} \cdot |a_{\text{прив}}| \cdot (1 + k_{\text{прис.массы}}) + C_{\text{у}} \cdot V_{\text{АГА}}^{\frac{2}{3}} \cdot \frac{\rho_{\text{в}} \cdot v_{\text{прив}}^2}{2}, (1)$$

где  $\rho_{\text{воды}}$  – плотность морской воды;  $V_{\text{АГА}}$  – объем АГА;  $a_{\text{прив}}$  – ускорение АГА;  $k_{\text{прис.массы}}$  – коэффициент присоединенной массы;  $C_{\text{у}}$  – коэффициент сопротивления АГА;  $v_{\text{прив}}$  – скорость АГА.

Разработан амортизатор динамических нагрузок (АДН), схема функционирования которого представлена на рисунке 1, и система управления.

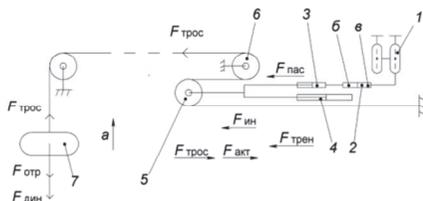


Рисунок 1 – Схема функционирования амортизатора динамических нагрузок при подъеме судна-носителя на волне

1 – блок баллонов; 2 – разделитель сред; 3 – пассивный амортизатор; 4 – активный компенсатор; 5, 6 – шкивы; 7 – АГА; б, в – полости гидроцилиндра активного компенсатора;  $F_{отр}$  – отрицательная плавучесть АГА; а – вертикальное ускорение СН при качке;  $F_{дин}$  – динамическое усилие, возникающее при качке;  $F_{тростр}$  – усилие натяжения троса;  $F_{трэн}$  – сила трения;  $F_{ин}$  – инерционная сила подвижных элементов АДН;  $F_{пасс}$  – усилие пассивного амортизатора;  $F_{акт}$  – усилие активного компенсатора.

При подъеме СН на волне основная расчетная зависимость АДН имеет вид

$$\begin{cases} F_{отр} + F_{дин} = F_{тростр} \\ 4F_{тростр} + F_{акт} = F_{ин} + F_{трэн} + F_{пасс} \end{cases} \quad (2)$$

Проведен анализ устойчивости исходной следящей системы, ее линеаризация, синтезирована система управления с П-регулятором (рис.2). Выполнено моделирование по самому неблагоприятному характеру возмущающего воздействия с двумя видами обратной связи: по ускорению и по силе натяжения каната. Исследованы вопросы повышения инвариантности системы управления.

В результате отладки системы управления получено, что динамика изменения давления в полостях гидроцилиндра исполнительного механизма обладает хорошим качеством, как при тривиальном, так и при сложном характере входного воздействия.

Проведено моделирование системы при различных массах АГА. Давления в полостях гидроцилиндров во всем диапазоне нагрузки удовлетворительны.

Исполнительный механизм спроектирован на отечественных гидравлических компонентах. Система автоматического управления и контроля - на основе программируемого логического контроллера

семейства Fastwel (ООО «Прософт-Системы») в качестве ядра и совокупности модулей ввода-вывода.

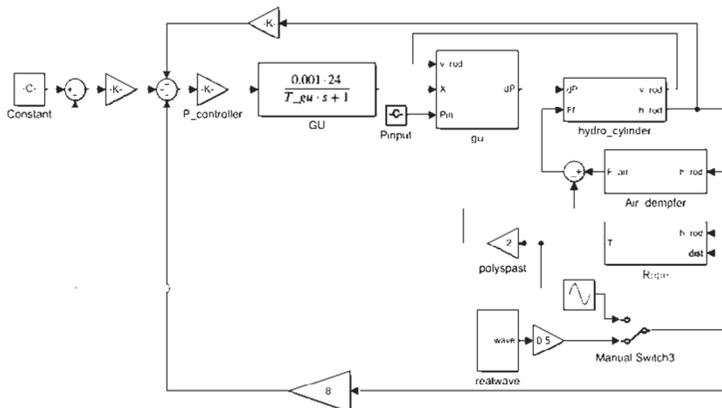


Рисунок 2 — Модель АДН с П-регулятором

*С.С. Кавтрев, Е.Ю. Смирнова, В.А. Леонтьев, А.С. Проценюк,  
М.Н. Плавинский*  
**МОДЕЛИ ПРИМЕНЕНИЯ ГРУППЫ НПА, ОРГАНИЗАЦИЯ  
СВЯЗИ И ВЫПОЛНЕНИЕ ОСНОВНЫХ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОПЕРАЦИЙ**

*ГНЦ РФ ЦНИИ РТК, Санкт-Петербург, s.kavtrev@rtc.ru*

*S.S. Kavtrev, E.Y. Smirnova, V.A. Leontiev, A.S. Procenyuk,  
M.N. Plavinskiy*  
**APPLICATION MODELS OF THE UUV GROUP,  
COMMUNICATION ISSUES AND EXECUTION OF COMMON  
TECHNOLOGICAL OPERATIONS**

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

При выполнении работ в подводной среде все большую роль играют робототехнические средства (РТС). Применение РТС позволяет снизить или исключить факторы риска, связанные с нахождением человека под водой, а также уменьшить стоимость работ. РТС широко применяются для решения двух классов задач: выполнение осмот-

рово-поисковых миссий с применением автономных необитаемых подводных аппаратов (НПА), и выполнение отдельных технологических операций с применением телеуправляемых НПА. Тем не менее, комплексные задачи решаются с применением водолазов, а РТС применяются на отдельных участках цепочки технологических операций.

Большой потенциал заключает в себе задача автоматизации целого комплекса операций. Для решения таких задач требуется уже группа роботов, каждый из которых наделен соответствующими функциональными возможностями.

Например, представляется перспективной задача автоматизации демонтажа и подъема крупных подводных конструкций, в которой задействованы осмотровые НПА, телеуправляемые НПА рабочего класса, средства подъема частей конструкции, средства связи с центром планирования операций. Осмотровые НПА определяют контуры объекта, выявляют места разъемных соединений и предпочтительные области реза исходя из конструкции объекта. Телеуправляемые НПА, оснащенные рабочим инструментом, выполняют демонтаж элементов конструкции.

Такая постановка вопроса требует уточненного анализа проводимых работ на предмет возможности и целесообразности исключения участия человека, и разработку модели применения для каждого класса задач.

Отдельную проблему представляет собой организация связи, обмена информацией между членами группы в условиях подводной среды.

В докладе будут рассмотрены модели применения группы НПА для выполнения различных работ, предложения по организации связи, примеры выполнения цепочек технологических операций группой роботов. Будут показаны особенности системы управления и конструкции НПА, продиктованные необходимостью взаимодействия в группе.

Результаты получены в рамках выполнения государственного задания Минобрнауки России FNRG-2022-0025 1021101316168-7-2.2.2 № 075-01623-22-01 «Алгоритмы группового управления автономными необитаемыми подводными аппаратами в условиях ограниченной пропускной способности гидроакустических каналов связи».

*Д.А. Юхимец<sup>1</sup>, С.В. Карманова<sup>2</sup>*

**РАЗРАБОТКА МЕТОДА СОПРЯЖЕНИЯ  
ПРЯМОЛИНЕЙНЫХ ГАЛСОВ С УЧЕТОМ  
ДИНАМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ АНПА И ОГРАНИЧЕНИЙ ИХ  
ДВИЖИТЕЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ**

*<sup>1</sup>Севастопольский государственный университет, Севастополь,  
yukhimets.da@dvfu.ru; <sup>2</sup>Институт автоматизации и процессов управления ДВО  
РАН, Владивосток, karmanova.svia@dvfu.ru*

*D.A. Yukhimets<sup>1</sup>, S.V. Karmanova<sup>2</sup>*

**DEVELOPMENT OF THE METHOD FOR FORMING SMOOTH  
TRAJECTORIES OF AUV MOTION BASED ON ITS DYNAMIC  
PROPERTIES AND CONSTRAINTS OF PROPULSION SYSTEM**

*<sup>1</sup>Sevastopol State University, Sevastopol, yukhimets.da@dvfu.ru; <sup>2</sup>Institute of  
Automation and Control Processes FEBRAS, Vladivostok,  
karmanova.svia@dvfu.ru*

В настоящее время область применения автономных необитаемых подводных аппаратов (АНПА) включает в себя задачи поиска и обследования различных подводных объектов, картографирования донной поверхности, экологический мониторинг и т.д. В процессе выполнения указанных задач АНПА должны перемещаться с заданной постоянной скоростью по траекториям, которые обеспечивают покрытие сенсорными системами АНПА заданной зоны. При этом миссии АНПА, описывающие выполнение указанных работ, состоят из совокупности прямолинейных траекторий (галсов), образующих типовые траектории для покрытия заданной области: меандр, зигзаг и т.д.

Для качественного выполнения миссий часто требуется равномерное движение АНПА вдоль заданных траекторий и плавные переходы между галсами исключают резкие изменения угла курса. Однако из-за ограничений тяг движителей АНПА и кинематических особенностей их движительных комплексов в процессе перехода с галса на галс происходят резкие изменения угловых координат, что приводит к увеличению негативных взаимовлияний между каналами управления этих АНПА и ко входу движителей АНПА в режим насыщения. В результате переход АНПА на следующий галс будет происходить с большими перерегулированиями и колебаниями, что может негативно сказаться на качестве получаемых данных.

Для того, чтобы избежать описанной проблемы, необходимо выполнять сопряжение прямолинейных галсов миссии АНПА гладкими

траекториями с учетом динамических свойств АНПА, кинематики их движительных комплексов и величины желаемой скорости движения.

В работе рассматривается АНПА, перемещающийся в горизонтальной плоскости, что является наиболее распространенным для большого количества миссий. Предполагается, что движительный комплекс АНПА состоит из двух движителей, которые формируют силу тяги в продольном направлении и момент по углу курса АНПА. При этом силы тяги, формируемые движителями, ограничены известными заранее величинами. Траектория движения АНПА задается последовательностью базовых точек  $W = \{W_1, W_2, \dots, W_n\}$ , соседние пары которых задают прямолинейные участки (галсы)  $L_p$  (где  $p = \overline{1, n-1}$ ). Движение АНПА по указанным прямолинейным участкам должно происходить с желаемой скоростью  $v^*$ , которая задается на этапе планирования миссии.

Сопряжение соседних галсов предлагается осуществлять с помощью дуг окружностей так чтобы при входе на дугу этой окружности не происходила бы резкая смена курса АНПА, что обеспечивает точную отработку бортовой системой управления АНПА сформированных траекторий. При этом параметры указанных окружностей формируются с учетом динамических характеристик АНПА и ограничений их движителей. Для этого на основе математической модели движения АНПА в горизонтальной плоскости были получены выражения, позволяющие оценить минимальный радиус поворота АНПА, движущегося с заданной скоростью, который приводит к выходу одного из движителей в преднасыщенное состояние. На основе полученных оценок радиуса дуги для сопряжения галсов в работе предложен метод расчета координат точек перехода с галсов на указанную дугу, а также предложены выражения для формирования программных сигналов движения АНПА по этой дуге.

Для проверки работоспособности разработанного метода было выполнено математическое моделирование. Результаты моделирования подтвердили, что указанный метод позволяет обеспечивать переход между заданными в миссии галсами по дугам окружностей с минимальными радиусами, которые не приводят ко входу движителей в насыщения, сходу АНПА с заданных траекторий и появлению колебаний в процессе перехода между галсами.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, Соглашение Минобрнауки РФ № 075-03-2022-104/1 от 31.01.2022, FEFM-2021-0014 № 121111600136-3».

*И.Ю. Липко, К.В. Дементьев*

**ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ МОДЕЛИ ПОДВОДНОГО  
АППАРАТА УПРОЩЁННОЙ ФОРМЫ НА ЕГО УГЛОВЫЕ  
КООРДИНАТЫ: ПРЯМОУГОЛЬНЫЙ ПАРАЛЛЕЛЕПИПЕД  
И ЦИЛИНДР**

*ФГАОУ ВО Севастопольский государственный университет, Севастополь,  
ivanlipko@yandex.ru*

*I.U. Lipko, K.V. Dementiev*

**THE INFLUENCE OF THE PARAMETERS OF THE  
SIMPLIFIED UNDERWATER VEHICLE MODEL ON ITS  
ANGULAR COORDINATES: A RECTANGULAR  
PARALLELEPIPED AND A CYLINDER**

*Sevastopol State University, Sevastopol, ivanlipko@yandex.ru*

Статья посвящена вопросу моделирования подводного аппарата (ПА), а именно влиянию измеряемых параметров, используемых при формировании модели, на результаты моделирования. Создание подводного аппарата, синтез системы управления тесно связаны с математической моделью. Актуальными вопросами являются адекватность модели реальному аппарату, выявление степени влияния параметров на адекватность модели.

При создании моделей применяются различные методы, начиная от физических и математических описаний до численных бассейнов [1,2,3]. Первые обычно более интерпретируемы, но менее точны, а вторые наоборот. Чем проще модель, тем легче получить конкретные числовые значения для изучаемого ПА, но хуже соответствие реальным экспериментам. Так или иначе реалистичное моделирование с помощью математических моделей необходимо, поскольку оно гораздо дешевле, чем испытание прототипов.

Основная мотивация исследования – это выяснить влияние измеряемых параметров модели на поведение аппарата. Если имеется реальный аппарат, для которого строится математическая модель, то следует знать, где проявить высокую точность измерений, а где можно сэкономить. Где можно воспользоваться модельными данными из САПР, а где необходимо точное измерение или проведение натуральных экспериментов? Предполагается, что, зная влияние параметров на поведение, можно построить стратегию проведения экспериментов.

Представленная статья содержит результаты моделирования подводного аппарата при варьировании измеряемых параметров

для призматической и цилиндрической форм, влияние на угловые координаты. Показаны примеры траекторий, указаны факторы влияющие на изменение траектории движения.

Симуляция проводится для известной модели ПА SF-30k [4]. Рассматриваются переходные процессы, траектории движения, отклонения от номинального движения.

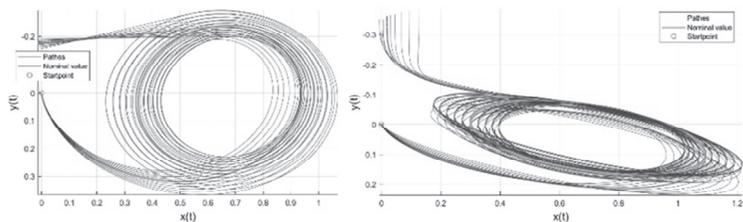


Рисунок 1 — Пучки траекторий подводного аппарата при вариации массы аппарата до 50%

В результате моделирования показано, что обе формы чувствительны к вариации параметров. При этом подводный аппарат цилиндрической формы обладает худшими гидродинамическими качествами в сравнении с прямоугольной (того же объема и длины), имея большее сопротивление при движении. В методе расчета динамики модели через площади проекций важно точно рассчитать площади для всех форм. Неточности в выборе центра плавучести одинаково влияют на обе рассматриваемые формы негативно, вызывая непредсказуемость отклонений при движении.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, Соглашение Минобрнауки РФ № 075-03-2021-092/5 от 29.09.2021, FEFM-2021-0014 №121111600136-3, а также Программа «Приоритет 2030».

1. Fossen T.I. Guidance and Control of Ocean Vehicles. John Wiley & Sons Ltd, 1994. ISBN. 0-471-94113-1.
2. Antonelli G. Underwater robots, 4th edition. Springer Tracts in Advanced Robotics, 2018. 374 p.
3. Kramar V. Investigation of changes and development of mathematical model for a drilling vessel. Annals of DAAAM and Proceedings of the International DAAAM Symposium, 2015. pp. 49-55.
4. O.A. Eidsvik, "Identification of hydrodynamic parameters for ROVs: master thesis", Trondheim, 185 p., 2015.

*К.В. Дементьев, А.А. Кабанов*  
**МЕТОД РАСЧЕТА ДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ  
ПОДВОДНОГО РОБОТА-МАНИПУЛЯТОРА И СИНТЕЗ  
SDRE РЕГУЛЯТОРА**

*ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»,  
Севастополь, mash.saigon.89@gmail.com*

*K.V. Dementiev, A.A. Kabanov*  
**DYNAMIC PARAMETERS CALCULATION METHOD OF THE  
UNDERWATER ROBOT MANIPULATOR AND SYNTHESIS OF  
THE SDRE CONTROLLER**

*Sevastopol state university, Sevastopol, mash.saigon.89@gmail.com*

Современность сложно представить без различных роботов в быту и промышленности. При этом сегодня наибольшие разновидности имеют манипуляционные роботы, которые применяются не только для выполнения технологических операций на производстве, но и в множестве подводных приложений [1]. Современные подводные манипуляторные роботы в большинстве случаев устанавливаются на автономные или телеуправляемые необитаемые подводные аппараты (НПА). С их помощью решаются задачи обследования морского дна, взятия различных проб, обслуживания подводных сооружений и многие другие [2].

Гидродинамические параметры манипулятора влияют на его поведение при работе в воде и оказывают существенное влияние на работу НПА. Знание этих параметров важно не только на этапе эксплуатации, но и на этапе проектирования, поскольку позволяет оптимизировать конструкцию, улучшить характеристики, синтезировать управление. В большинстве случаев теоретический вывод этих значений практически невозможен, а экспериментальные измерения, как правило, сложны и дороги [2].

В настоящей работе предложен метод идентификации гидродинамических параметров подводных манипуляторов, основанный на специальной расчетной процедуре, исходными данными для которой являются измеряемые физические и геометрические параметры манипулятора.

Предварительно стоит отметить ряд допущений, сделанных при разработке процедуры расчета динамических параметров модели манипулятора:

- каждое звено аппроксимируется цилиндрической формой;

- центры масс условно совпадают с центрами плавучести;
- все типы сил трения в расчет не включены;
- динамика рабочего органа и приводов не учитываются;
- не учитываются ограничения углов поворота.

Для предложенного метода расчета параметров динамической модели подводного манипулятора требуется выполнить ряд шагов:

- определение параметров Денавита-Хартенберга;
- расчет матриц трансформации для каждого звена;
- поиск координат центров масс звеньев относительно инерциальной системы;
- вычисление Якобианов скоростей для центров масс каждого звена;
- расчет присоединенных масс для каждого звена;
- расчет тензоров инерций и матрицы инерции (включая присоединенные массы);
- определение потенциальной энергии и матрицы сил гравитации/плавучести;
- расчет матрицы кориолисовых и центробежных сил.

В результате реализации указанных шагов на выходе получаем значения параметров, необходимых для построения модели динамики подводного манипулятора. Затем полученная модель может использоваться для синтеза системы управления.

Синтез систем управления движением таких манипуляторов возможно осуществить на основе различных подходов [1]. В настоящей работе в качестве основного метода синтеза управлений используется метод дифференциального уравнения Риккати, зависящего от состояния (state-dependent Riccati equation, SDRE), основанный на представлении нелинейной модели динамики манипулятора в линейной форме с параметрами, зависящими от состояния [3]. Это позволяет строить простые по конструкции (близкие к линейным) траекторные регуляторы для захватных модулей манипуляторов в форме обратной связи с помощью так называемого. В работе показан пример синтеза SDRE регулятора в задаче управления подводным манипулятором.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (FEFM-2021-0014 № 121111600136-3).

1. Bruno Siciliano and Oussama Khatib. Springer Handbook of Rob. Springer Berlin Heidelberg, 2008.

2. Fossen T.I. Handbook of Marine Craft Hydrodynamics and Motion Control. John Wiley & Sons, Ltd, 2021.

3. Aleksey A. Kabanov, Vadim A. Kramar. Cooperative Control of Underwater Manipulators Based on the SDRE Method. 2021 International Russian Automation Conference (RusAutoCon), 2021

*Д.И. Николаев*

**ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ КОМПЛЕКСОВ СВЯЗИ  
АВТОНОМНЫХ НЕОБИТАЕМЫХ ПОДВОДНЫХ  
АППАРАТОВ ПРИ ИХ ПЕРЕМЕННОЙ СТРУКТУРНОЙ  
ИЗБЫТОЧНОСТИ**

*НИЦ ТТ ВМФ, Санкт-Петербург, nikolaev.d.i@yandex.ru*

*D.I. Nikolaev*

**RELIABILITY ASSESSMENT OF COMMUNICATION  
COMPLEXES OF AUTONOMOUS UNMANNED  
UNDERWATER VEHICLES WITH THEIR VARIABLE  
STRUCTURAL REDUNDENESS**

*Research Center of the Naval Telecommunication Technology  
St. Petersburg, nikolaev.d.i@yandex.ru*

Эффективность практического использования любой сложной технической системы может быть сведена к минимуму, если она будет работать ненадежно. Для того, чтобы автономный необитаемый подводный аппарат был способен выполнять свои основные целевые задачи, необходим комплекс связи, имеющий надежность согласно установленным требованиям. Поэтому актуальной задачей является исследование способов оценки надежности таких систем, а также разработка рекомендаций, направленных на ее повышение.

Объект исследования – комплекс связи (КС) автономных необитаемых подводных аппаратов (АНПА), который рассматривается как совокупность взаимосвязанных средств связи, энергообеспечения, контроля, предназначенная для работы в  $N_K$  каналах связи [1].

Анализ существующих методик по оценке надежности сложных систем [2-7] показал, что они не способны корректно оценить время работоспособности КС АНПА в условия переменной структурной избыточности, а также при динамически изменяющихся вероятностях правильного приема сообщений в каналах связи. Под перемен-

ной структурной избыточностью понимается недоступность для эксплуатации определенных элементов комплекса связи в некоторые моменты времени. Например, при движении в подводном положении часть антенных устройств оказывается недоступной.

Цель работы – оценка надежности КС АНПА в условиях переменной структурной избыточности.

Перед разработкой методики оценки надежности функционирования КС, то есть способности в течение времени сохранять работоспособность, было определено понятие отказа КС. Под отказом КС понимается состояние, в котором он не способен обеспечить требуемую вероятность правильного приема сообщения.

Разрабатываемая методика оценки надежности основана на методе имитационного моделирования процесса функционирования комплекса. С помощью метода статистического моделирования, используя разработанную имитационную модель, находятся необходимые параметры надежности.

Метод статистического моделирования (или метод Монте-Карло) применяется для исследования поведения вероятностных систем в условиях, когда неизвестны в полной мере внутренние взаимодействия в этих системах. Этот метод заключается в воспроизведении исследуемого физического процесса при помощи вероятностной математической модели и вычислении характеристик этого процесса. Метод основан на многократных испытаниях построенной имитационной модели с последующей статистической обработкой полученных данных с целью определения числовых характеристик рассматриваемого процесса в виде статистических оценок его параметров.

Получив инструмент для оценки надежности КС АНПА была разработана методика, позволяющая за счет управления структурной избыточностью комплекса, существенно повысить время его работоспособности. На примере показано, что с помощью данной методики возможно увеличить время работоспособности КС АНПА на 32%.

Таким образом, в ходе работы была разработана методика, позволяющая оценить надежность КС АНПА при его переменной структурной избыточности. Даны ряд рекомендаций, позволяющих повысить время работоспособности КС АНПА за счет управления его структурной избыточностью.

1. Катанович А.А., Ершов В.Н. Комплексы и системы связи ВМФ. – СПб.: Судостроение, 2014. – 256 с.

2. Буренин В.В. Надежность технических систем объектов наземных комплексов: учеб. пособие //– М.: МАДИ, 2017. – 88 с.

3. Викторова В.С., Степанянц А.С. Модели и методы расчета надежности технических систем /. - Изд. 2-е, испр. - Москва : URSS : Ленанд, сор. 2016.

4. Андреев А.В. Теоретические основы надежности технических систем /учебное пособие/ А.В. Андреев, В. В. Яковлев, Т.Ю. Короткая. — СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2018. — 164 с.

5. Северцев Н. А. Теория надежности сложных систем в обработке и эксплуатации : Учебное пособие / Н. А. Северцев. – 2-е изд., пер. и доп. – Москва : Издательство Юрайт, 2019. – 435 с.

6. Строгонов А., Жданов В., Полесский С. Обзор программных комплексов по расчету надёжности сложных технических систем // Компоненты и технологии. - 2007. - № 5. - С. 183 - 190.

7. Конесев С. Г. Методы оценки показателей надежности сложных компонентов и систем / С. Г. Конесев, Р. Т. Хазиева // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 1-1. – С. 57.

***М.А. Шахраманьян<sup>1</sup>, Е.В. Павлов<sup>1</sup>, В.М. Битный-Шляхто<sup>2</sup>,  
П.К. Шубин<sup>2</sup>, М.В. Кулешова<sup>2</sup>, М.С. Крашенинников<sup>3</sup>***  
**РАЗВИТИЕ РОБОТИЗИРОВАННЫХ СРЕДСТВ ПОИСКОВО-  
СПАСАТЕЛЬНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ УСЛОВИЙ  
АРКТИКИ И КРАЙНЕГО СЕВЕРА**

*<sup>1</sup>ФГБУ ВНИИПО МЧС России, г. Балашиха, 7283763@mail.ru,  
pavlov-vp@mail.ru; <sup>2</sup>ГНЦ РФ ЦНИИ РТК, Санкт-Петербург, v\_bitny@rtc.ru,  
shubin@rtc.ru, kuleshova@rtc.ru; <sup>3</sup>ННГУ им. Н.И. Лобачевского,  
Нижний Новгород, maxim.krashennnikov@mail.ru*

***M.A. Shakhramanyan<sup>1</sup>, E.V. Pavlov<sup>1</sup>, V.M. Bitny-Shlyakhto<sup>2</sup>,  
P.K. Shubin<sup>2</sup>, M.V. Kuleshova<sup>2</sup>, M.S. Krashennnikov<sup>3</sup>***  
**DEVELOPMENT OF ROBOTIC MEANS OF SEARCH  
AND RESCUE SUPPORT FOR ARCTIC AND FAR NORTH  
CONDITIONS**

*<sup>1</sup>FGBU VNIPO EMERCOM of Russia, Balashikha, 7283763@mail.ru,  
pavlov-vp@mail.ru; <sup>2</sup>Russian State Scientific Center for Robotics and Technical  
Cybernetics, St. Petersburg, v\_bitny@rtc.ru, shubin@rtc.ru,  
kuleshova@rtc.ru; <sup>3</sup>Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod,  
maxim.krashennnikov@mail.ru*

Создание эффективных роботизированных комплексов для поиска и спасания людей, терпящих бедствие на море, является актуальной задачей [1]. Особенно актуальна эта задача для условий

Арктики, в которых поиск и спасание на море существенно осложняются тяжёлыми гидрометеорологическими условиями, сложной ледовой обстановкой и фактором низких температур.

Значительно повысить безопасность и выживаемость людей на морских территориях Арктического шельфа, Северного морского пути, в случае возникновения техногенных и природных чрезвычайных ситуаций, может внедрение роботизированных спасательных средств.

В ходе разработки проекта решены следующие ключевые научно-технические и прикладные задачи:

1. Разработан технический облик отдельных элементов наземного роботизированного комплекса универсальных спасательных средств (НРК УСС) [2].

2. Проведено компьютерное моделирование функционирования НРК УСС в типовых условиях эксплуатации.

3. Изготовлен экспериментальный образец УСС и проведены исследовательские испытания по оценке его эксплуатационных показателей [3].

4. Разработана унифицированная интеллектуальная система управления [4], обеспечивающая управление в автоматическом или супервизорном режиме

5. Разработана конструкция амфибийных транспортных модулей, способных перемещаться по воде, твёрдому грунту, ледовым/снежными полям, вести визуальный осмотр зоны аварии для поиска, спасения и эвакуации терпящих бедствие на значительные расстояния [5].

6. Разработана модель использования робототехнических средств (РТС) в сочетании со спасательными контейнерами при спасении (подборе) терпящих бедствие, потерявших физическую активность.

7. Проработана возможность авиатранспортировки и авиадесантирования входящих в состав НРК УСС РТС [6].

8. Проработан состав НРК УСС. Предлагаются к дальнейшей разработке следующие роботизированные УСС:

– амфибийное поисково-спасательное роботизированное средство (АПСРС), предназначенное для обеспечения работ по поиску и спасанию персонала аварийных объектов;

– амфибийное эвакуационно-спасательное роботизированное средство (АЭСРС);

– комплекс локальной воздушной разведки (КЛВР) на базе БЛА, обеспечивающий визуальную разведку, поиск пострадавших с

воздуха, сброс индивидуальных спасательных средств и средств обозначения местоположения терпящих бедствие, а также ретрансляцию связи с центром управления спасательной операцией.

Прогнозный расчет конкурентоспособности и экономического эффекта показал, что предлагаемый аэромобильный, амфибийный НРК УСС имеет значительные преимущества перед существующими и перспективными альтернативными спасательными комплексами.

НРК УСС является комплексом двойного назначения. Он применим как в мирное (спасение терпящих бедствие в ЧС), так и в военное время для эвакуации и спасения раненых и пораженных при ведении боевых действий в арктической зоне. Потенциальные потребители результатов проекта: Минобороны России, МЧС России, Минтранс России, Минэнерго России, ПАО «Газпром», ПАО «НК «Роснефть» и т.д.

Проект представлен на Всероссийский конкурс по поиску научных, инновационных, производственных групп или коллективов, способных к эффективной реализации перспективных проектов в интересах Вооруженных Сил Российской Федерации.

1. Лопота А.В., Шубин П.К. Концептуальные вопросы разработки роботизированных систем для поиска и спасания людей, терпящих бедствие, в условиях Арктики. // Робототехника и техническая кибернетика. 2018. № 1 (18) С. 45-50.

2. Куличенко А.Д. Шубин П.К. Перспективы применения беспилотных летательных аппаратов для решения обзорно-поисковых и поисково-спасательных задач на море // Робототехника и техническая кибернетика. 2017. № 1 (14) С. 45-50.

3. Крашенинников М.С., Кошурина А.А., Шмелев А.В. Универсальное коллективное спасательное средство с роторно-винтовым двигателем. // Актуальные вопросы машиноведения. сб. науч. тр. / Объедин. ин-т машиностроения НАН Беларуси (Минск). 2013. Вып. 2. С. 77-80.

4. Лопота А.В., Шубин П.К. Перспективы развития инновационных робототехнических средств для поиска и спасания на море // Труды XVII Всероссийской научно-практической конференции. Санкт-Петербург. НПО Специальных материалов. 2014. С. 139-149.

5. Кошурина А.А., Пальцев В.В., Шушкин М.А. Разработка концепции универсального спасательного средства для российского арктического шельфа // Монография. Нижегородский государственный педагогический университет имени Козьмы Минина. Нижний Новгород, 2018. 338 с.

6. Шубин П.К. Концептуальные вопросы создания роботизированных систем для поиска и спасания людей, терпящих бедствие на море // Вопросы оборонной техники. Серия 16. Технические средства противодействия терроризму, 2016. Вып. 11–12 (101-102) С. 141–146.

*Д.К. Серов*

**ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ УПРАВЛЕНИЯ  
ДВИЖЕНИЕМ НЕОБИТАЕМОГО ПОДВОДНОГО  
АППАРАТА В ВЕРТИКАЛЬНОЙ ПЛОСКОСТИ**

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

*D.K. Serov*

**STUDY OF UNMANNED UNDERWATER VEHICLE MOTION  
CONTROL ALGORITHMS IN THE VERTICAL PLANE**

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

В настоящее время область применения автономных необитаемых подводных аппаратов (АНПА) активно расширяется, и они находят применение для решения инженерных и исследовательских задач [1], при этом необходимо наличие эффективной системы управления, позволяющей аппарату передвигаться по заданной траектории с минимальными энергозатратами.

Для управления сложными динамическими системами существуют различные регуляторы, такие как PID [2], MPC [3] и LQR-регуляторы [4], а также различные регуляторы на основе эталонных моделей [5]. Однако выбор конкретного алгоритма управления осложняют нестационарность водной среды и математическая сложность создания адекватной модели ее поведения, оказывающие существенные влияния на качество управления.

В докладе представлены результаты численного моделирования динамики движения упрощенной модели АНПА при управлении различными регуляторами. В качестве упрощенной модели выбран объект цилиндрической формы, имеющий вертикальные подруливающие устройства и перемещающийся преимущественно в вертикальном направлении.

Для рассмотренных регуляторов проведено измерение показателей качества управления глубиной и дифферентом в условиях изменяющихся с погружением параметров системы. На основании

проведенных измерений выявлены факторы, оказывающие наибольшее влияние на качество управления, а также произведено сравнение рассмотренных регуляторов.

Результаты получены в рамках выполнения государственного задания Минобрнауки России FNRG-2022-0017 1021060307691-2-1.2.1;2.2.2 № 075-01623-22-00 «Развитие теории синтеза оптимального управления гиперизбыточных роботов подводного базирования в условиях непрогнозируемых нестационарных течений и потоков».

1. Бахарев С.А., Карасев В.В., Карасев А.В. Использование автономных необитаемых подводных аппаратов в процессе изучения Мирового океана // Научные труды Дальрыбвтуза. – т. 26 – 2022 – С. 63-72.

2. Y. Li, Y. Jiang, L. Wang, et al. Intelligent PID guidance control for AUV path tracking. // J. Cent. South Univ. – Vol. 22 – 2015 – pp. 3440–3449.

3. A. Afram, F. Janabi-Sharifi. Theory and applications of HVAC control systems – A review of model predictive control (MPC). // Building and Environment – Vol. 72 – 2014 – pp. 343-355.

4. S. Wang, H. Jin, L. Meng, G. Li. Optimize motion energy of AUV based on LQR control strategy. // 35th Chinese Control Conference (CCC), – 2016, – pp. 4615-4620.

5. Бойчук Л.М. Метод структурного анализа синтеза нелинейных систем автоматического управления, Москва: Энергия – 1971. – 112 с.

*С.А. Солнышкин*

**ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМА УПРАВЛЕНИЯ  
ДВИЖЕНИЕМ ГИПЕРИЗБЫТОЧНОГО АНПА ПРИ ЕГО  
РЕКОНФИГУРАЦИИ В ПРОЦЕССЕ ДВИЖЕНИЯ**

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

*S.A. Solnyshkin*

**STUDY OF MOTION CONTROL ALGORITHM FOR  
OVERACTUATED RECONFIGURABLE AUV**

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

В данной работе исследуется алгоритм управления движением трехзвенного гиперизбыточного АНПА, способного изменять кон-

фигурацию за счет вращения звеньев. На каждом звене расположено по 2 вращающихся движителя (см. рис. 1).

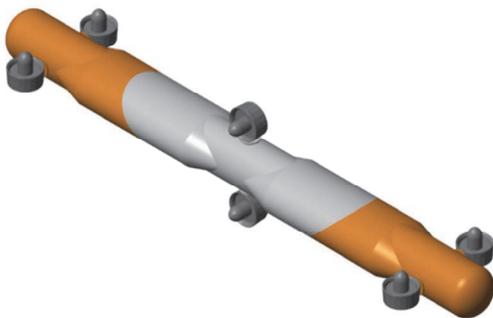


Рисунок 1 — Вид АНПА

Управление движением осуществляется с помощью метода формирования управляющих воздействий на основе конфигурационной матрицы движителей. Конфигурационная матрица несет в себе информацию об ориентации и расположении движителей относительно центра масс АНПА. Использование такого метода позволяет абстрагироваться от реального расположения движителей и формулировать управляющее задание в терминах степеней свободы АНПА (например, движение в направлении собственной оси  $X$ , вращение вокруг оси  $Z$  и любая их комбинация). Рассматриваемый метод обычно применяется для не реконфигурируемых надводных судов и подводных аппаратов, в случае которых конфигурационная матрица движителей постоянна во времени и закладывается в систему управления в виде константного параметра [1]. В данной работе рассматривается случай динамически изменяемой конфигурационной матрицы, которая зависит от текущего расположения звеньев АНПА.

На численных экспериментах показано, что рассматриваемый метод формирования управляющих воздействий обеспечивает (при отсутствии сопротивления) задаваемое движение, как при различных статичных конфигурациях, так и при реконфигурации в процессе движения.

Механическая модель дополнена моделью гидродинамических и гидростатических сил и моментов с целью моделирования передвижения АНПА в жидкости. Эксперименты в жидкости проведены для двух случаев:

– «идеальный» случай, в котором форма звеньев АНПА имеет вид круглых цилиндрических звеньев,

– приближенный к реальности случай, в котором АНПА имеет некоторую сложную обтекаемую форму, которая аппроксимируется цилиндрами различной длины и радиуса.

В результате численных экспериментов выявлено, что при некоторых конфигурациях АНПА движение становится неустойчивым. Это объясняется тем, что центр масс АНПА может не совпадать с точкой приложения результирующей силы сил сопротивления (далее точка сопротивления), что создает пару сил, разворачивающую АНПА. Рассчитать положение точки сопротивления для компенсации этого эффекта в реальности может быть затруднено или невозможно ввиду сложности формы АНПА (это также зависит от точности изготовления деталей, герметичности и т.д.).

Введение пропорциональной отрицательной обратной связи по скорости позволяет свести к нулю скорости по координатам, управление которыми в данный момент не осуществляется (т.е., которые в векторе текущего управляющего задания равны 0). В результате система вновь становится управляемой при любых конфигурациях, в том числе при реконфигурации в процессе движения. Кроме того, за счет обратной связи осуществляется динамическая стабилизация в точке пространства и автоматическое торможение.

Разработанная на данном этапе система управления может быть использована для упрощения ручного управления АНПА оператором, а также являться базой для построения автоматизированной системы управления.

Результаты получены в рамках выполнения государственного задания Минобрнауки России FNRG-2022-0017 1021060307691-2-1.2.1;2.2.2 № 075-01623-22-00 «Развитие теории синтеза оптимального управления гиперизбыточных роботов подводного базирования в условиях непрогнозируемых нестационарных течений и потоков».

1. Fossen T.I. Handbook of Marine Craft Hydrodynamics and Motion Control. – John Wiley & Sons, 2011.

***А.К. Голубев, В.А. Поздняков, М.В. Михайлов***  
**РАЗРАБОТКА КОМПЬЮТЕРНЫХ МОДЕЛЕЙ  
СПУСКО-ПОДЪЕМНОГО АГРЕГАТА**

*ГНЦ РФ ЦНИИ РТК, Санкт-Петербург, antohin\_989@mail.ru*

***A.K. Golubev, V.A. Pozdnyakov, M.V. Mikhailov***  
**DEVELOPMENT OF COMPUTER MODELS  
OF THE LOWERING AND LIFTING MECHANISM**

*Russian State Scientific Centre for Robotics and Technical Cybernetics,  
St. Petersburg, antohin\_989@mail.ru*

В настоящее время, благодаря стремительному развитию информационных технологий, компьютерное моделирование является неотъемлемой частью любого производственного процесса [1]. Невозможно представить современные комплексы подразделений без использования систем, предназначенных для выполнения самых разных моделей. Это и системы твердотельного моделирования, используемые конструкторами. И системы проектирования радиоэлектронных средств, что использую электроники. И другие, куда более своеобразные, системы моделирования, что используются инженерами по всему миру.

В результате моделирования получают данные, который затем конвертируют в соответствующую информацию. Например, прочностное моделирование изделия и его элементов способствует его дальнейшей модернизации или модификации с целью увеличения значений различных показателей, как эффективности, так и надёжности. Математическое моделирование [2] помогает рационализировать процесс подбора составных частей изделия. Имитационное моделирование может облегчить комплексное понимание происходящих в системе процессов и изменении её во времени.

Однако, при разработке компьютерных моделей вводится ряд допущений, упрощений и пренебрежений. Подобный подход оправдывается либо невозможностью моделирования каких-то факторов, либо сложностью принять их в расчет. Таким образом, каждая модель полна рядом абстракций и неточностей. Выявить и учесть их можно путем сравнения данных, полученных по результатам моделирования и проведенных испытаний на опытном образце. Так появляется задача верификации.

Целью данной работы является: разработка компьютерных моделей спуско-подъёмного агрегата для дальнейшего выполнения их верификации.

В рамках данной работы выполняются следующие задачи:

- Разработка математической модели асинхронного электропривода с векторным управлением в среде Simulink MATLAB;
- Разработка имитационной модели спуско-подъемного агрегата в программном комплексе Adams;
- Реализация возможности передачи управляющих воздействий между моделями;
- Сравнительный анализ данных, полученных по результатам работы моделей и стендовой установки;
- Верификация компьютерных моделей спуско-подъемного агрегата.

В результате выполнения поставленных задач были выявлены перспективные направления для дальнейшей модернизации моделей. Достижение цели исследования показало правильность выполненных задач. Исследование стало хорошей отправной точкой для значительного увеличения компетенций разработчиков.

1. ГОСТ Р 57412-2017. Компьютерные модели в процессах разработки, производства и эксплуатации изделий. Общие положения. – Введ. 01.07.2017. – М.: Стандартиформ, 2018. – 15 с.

2. Боргоякова Т.Г., Лоцицкая К.В. Математическое моделирование: определение, применяемость при построении образовательного процесса. Интернет журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 9, №2 (доступ свободный)

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

---

***В.А. Поминова, И.К. Петушок***  
**ПОДХОДЫ К ИССЛЕДОВАНИЮ МЕТОДОВ СОЗДАНИЯ  
ОТЛАДочно-МОДЕЛИРУЮЩИХ КОМПЛЕКСОВ  
ДЛЯ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО И ПОВЕДЕНЧЕСКОГО  
МОДЕЛИРОВАНИЯ РТК И ГРУПП РТК**

*ГНЦ РФ ЦНИИ РТК, Санкт-Петербург, v.pominova@rtc.ru*

***V.A. Pominova, I.K. Petushok***  
**APPROACHES TO THE STUDY OF METHODS  
FOR CREATING DEBUG AND MODELING COMPLEXES  
FOR FUNCTIONAL AND BEHAVIORAL MODELING  
OF RTC AND RTC GROUPS**

*Russian State Scientific Centre for Robotics and Technical Cybernetics,  
St. Peterburg, v.pominova@rtc.ru*

Современные роботизированные технологические комплексы (РТК) предназначены для автоматизации выполнения многократно повторяющихся заданий, тогда как роботизированные технологии будущего будут создаваться для выполнения большого количества заданий, повторяющихся по нескольку раз. Такой прогноз дает развитию роботизированных технологий Манфред Гундель (Manfred Gundel), генеральный директор KUKA Roboter (Германия) [1].

Поведенческое моделирование это относительно новый метод обучения навыкам межличностного общения и изменения установок. Метод учит конкретным навыкам и установкам, связанным с выполнением профессиональной деятельности, и предполагает выполнение следующих шагов:

- предъявление «поведенческой модели» профессионального поведения, которое предлагается освоить;
- практика обучающихся, при которой предлагается максимально точно воспроизвести предложенную «поведенческую модель»;
- обеспечение обратной связи и подкрепления, свидетельствующих о степени успешности овладения соответствующими моделями поведения.

Функциональное моделирование рассматривает отладочно-моделирующий комплекс как функцию (лат. *functio* — совершение, исполнение) или иными словами «черный ящик». В функциональ-

ной модели функция не имеет временной последовательности, а только точку входа и точку выхода.

В функциональной модели изначально известны точка входа и желаемый результат, а последовательность действий и является объектом разработки. При этом использование функциональных моделей как «черных ящиков» позволяет детализировать каждый этап по мере необходимости. А вся работа при моделировании направлена на поиск оптимального решения для достижения цели.

Целью создания отладочно-моделирующей комплекса является повышения эффективности производства за счет снижения затрат, унификация управленческих решений, и более качественная подготовке персонала РТК [2].

Разработка отладочно-моделирующего комплекса позволит:

- произвести перспективные исследования производственных площадок, по возможности и эффективности их разработки в различных природно-климатических зонах и метеоусловиях;
- произвести планирование и оптимизировать производственные процессы на реальных полигонах с целью снижения затрат и качественного управления ресурсами;
- более качественно подготовить специалистов к выполнению задач по управлению производственными объектами и техническими средствами, в том числе робототехническими;
- исследовать алгоритмы движения, выполнения технологических операций и систем технического зрения робототехнических средств.
- снизить затраты на испытания новой техники за счет системы моделирования виртуального окружения.

Использование отладочно-моделирующего комплекса должно способствовать повышению эффективности работы предприятия и проведению перспективных исследований в области управления сложными производственными системами с применением робототехнических средств.

Результаты получены в рамках выполнения государственного задания Минобрнауки России FNRG-2022-0008 1021051101732-4-1.2.1;2.2.2 № 075-01623-22-01 «Исследование методов и разработка технологий создания отладочно-моделирующих комплексов для функционального и поведенческого моделирования РТК и групп РТК».

1. Рыбальченко Д. Типовые решения робототизированных комплексов / Д. Рыбальченко // Control Engineering Россия. – 2013, 1(43). – С. 68-74. – Текст: непосредственный.

2. Игнатиади Е.К. Виртуальный полигон для морских робототехнических средств / Е.К. Игнатиади, И.К. Петушок // XVI Всероссийская научно-практическая конференция «Перспективные системы и задачи управления», 2021. – С. 18. – Текст: непосредственный.

*С.А. Коваленко, И.С. Фомин*

**ПРИМЕНЕНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКИХ АЛГОРИТМОВ В  
СВЕРТОЧНЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЯХ КЛАССИФИКАЦИИ  
ИЗОБРАЖЕНИЙ**

*ГНЦ РФ ЦНИИ РТК, Санкт-Петербург, s.kovalenko@rtc.ru, i.fomin@rtc.ru*

*S.A. Kovalenko, I.S. Fomin*

**APPLICATION OF GENETIC ALGORITHMS IN  
CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORKS FOR IMAGE  
CLASSIFICATION**

*Russian State Scientific Center for Robotics and Technical Cybernetics (RTC),  
St. Petersburg, s.kovalenko@rtc.ru, i.fomin@rtc.ru*

Современные сверточные нейронные сети обучаются путем изменения параметров – весовых коэффициентов. Для достижения корректной работы сети, необходимо получить некоторую комбинацию значений этих параметров. Наиболее распространенные и используемые методы достижения такого результата – алгоритмы на основе обратного распространения ошибки. Несмотря на то, что такой подход является основным при обучении нейросети и не раз доказывал свою пригодность, он имеет ряд недостатков: паралич сети – остановка обучения нейросети, вследствие уменьшения значения производно функции активации; локальные минимумы – попадание при градиентном спуске в локальный минимум, из которого сеть уже не сможет выбраться самостоятельно; выбор скорости обучения (шага) – размер шага определяется вручную и является гиперпараметром сети – параметром, не изменяемым во время обучения, если выбрать шаг слишком маленький – будет медленная сходимость алгоритма, если большой – может возникнуть паралич сети.

Одним из решений данных проблем является генетический алгоритм. Причем генетические алгоритмы могут применяться как для настройки гиперпараметров сети, так и непосредственно для ее обучения. Генетические алгоритмы применяют механизмы биологического естественного отбора в контексте машинного обучения.

Опираясь на эволюционную теорию естественного отбора наиболее приспособленных и сильных особей, генетические алгоритмы пытаются скопировать эволюционный отбор, таким образом, чтобы в итоге остались только лучшие модели.

В работе производится исследование применения генетических алгоритмов к сверточным нейронным сетям классификации изображений и сравнение полученных результатов с более классическими методами, например при подборе гиперпараметров алгоритм сравнивался с такими методами как поиск по сетке, случайный поиск и байесовская оптимизация. В частности, рассмотрено применение генетического алгоритма к следующим задачам: подбору гиперпараметров сети; обучения полностью необученной нейросети с нуля; финишного обучения (использование предобученной сети); подбор архитектуры нейросети.

Исследования, связанные по данной тематике проводились ранее, и есть достаточное количество материалов применения генетических алгоритмов к нейронным сетям, например генетические алгоритмы применяются для подбора архитектуры сети [1], или архитектуры и весов одновременно [2]. Также есть и сравнительные тесты, причем результаты являются различными, в частности исследования по применению генетических алгоритмов для обучения сети как подтверждают превосходство метода [3], так и опровергают его [4]. Но стоит отметить, что большинство исследований проводились не для сверточных нейросетей и нет результатов для современных архитектур и наборов данных.

Данная работа выполнялась с целью определения возможности применения генетических алгоритмах в сверточных нейросетях классификации изображений, а именно применения для обучения полностью необученной сети, настройки гиперпараметров модели, дообучения и подбора архитектуры сети. Исследование было проведено, так как генетические алгоритмы подходят для использования в нейронных сетях и в первом приближении их внедрение может оказаться перспективным, а исследований, которые четко подтверждают это или опровергают, найти не удалось.

Результаты получены в рамках выполнения государственного задания Минобрнауки России FNRG-2022-0015 1021060307687-9-1.2.1 № 075-01623-22-00 «Исследование методов создания самообучающихся систем видеонаблюдения и видеоаналитики на базе комплексов технологий пространственно-временной фильтрации видеопотока и нейронных сетей».

1. HK Lam, SH Ling, Frank HF Leung, and Peter Kwong-Shun Tam. Tuning of the structure and parameters of neural network using an improved genetic algorithm. In IECON'01. 27th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society (Cat. No. 37243), volume 1, pages 25–30. IEEE, 2001.
2. Najmeh Sadat Jaddi, Salwani Abdullah, and Abdul Razak Hamdan. A solution representation of genetic algorithm for neural network weights and structure. *Information Processing Letters*, 116(1):22–25, 2016.
3. A. R. M. Kattan, R. Abdullah, and R. A. Salam. Training feed-forward neural networks using a parallel genetic algorithm with the best must survive strategy. In 2010 International Conference on Intelligent Systems, Modelling and Simulation, pages 96–99, Jan 2010.
4. Zhen-Guo Che, Tzu-An Chiang, Zhen-Hua Che, et al. Feed-forward neural networks training: a comparison between genetic algorithm and back-propagation learning algorithm. *International Journal of Innovative Computing, Information and Control*, 7(10):5839–5850, 2011.

*Л.А. Станкевич<sup>1</sup>, А. Журавская<sup>2</sup>*  
**УПРАВЛЕНИЕ МОБИЛЬНЫМ РОБОТОМ НА ОСНОВЕ  
НЕЙРОИНТЕРФЕЙСА**

*<sup>1</sup>ГНЦ РФ ЦНИИ РТК, Санкт-Петербург, Stankevich\_lev@inbox.ru; <sup>2</sup>СПбПУ,  
Санкт-Петербург, hell94@mail.ru*

*L.A. Stankevich<sup>1</sup>, A. Zuravska<sup>2</sup>*  
**MOBILE ROBOT CONTROL BASED ON NEUROINTERFACE**

*<sup>1</sup>Russian state scientific center for robotics and technical cybernetics,  
St. Petersburg, Stankevich\_lev@inbox.ru; <sup>2</sup>SPbSPU, St. Petersburg,  
hella94@mail.ru*

В последние годы интерфейсы «мозг-компьютер» (ИМК) активно развиваются и используются, в частности, для бесконтактного управления различными роботизированными устройствами. С помощью ИМК люди с двигательными нарушениями могут управлять роботизированными протезами, инвалидными колясками и обслуживающими их мобильными роботами [1,2].

Интерес представляют, в первую очередь, неинвазивные ИМК, которые декодируют электроэнцефалографические (ЭЭГ) сигналы в

команды управления роботизированными устройствами. Главная задач таких ИМК – классификация ЭЭГ-паттернов воображаемых движений пользователя [3]. В данной статье рассматривается классификация ЭЭГ-паттернов воображаемых движений рук и ног, зарегистрированных с помощью аппаратуры NeuroPlay-8Cap. Для классификации используется алгоритм минимального риманова расстояния до среднего [4]. Классификаторы на римановой геометрии демонстрируют хорошие результаты, особенно при значительной вариативности сигналов ЭЭГ, за счет использования в качестве признаковой информации ковариационных матриц. В литературных источниках показано, что использование таких классификаторов для ЭЭГ-данных позволяет достичь средней точности в offline режиме  $85\pm 6\%$ , а в online режиме –  $75\pm 5\%$ . Такой точности, в принципе, достаточно для управления мобильными устройствами.

Эксперименты производились в виртуальной среде Gazebo. В эксперименте участвовали 5 здоровых испытуемых. Предварительно производилось обучение ИМК на распознавание ЭЭГ-паттернов воображаемых движений рук, кистей рук, ног и ступней ног отдельно для каждого из испытуемых. Сначала испытуемые в заданном ритме некоторое время выполняли реальные движения, а затем – только воображали движения в том же ритме. Все ЭЭГ-данные регистрировались и размечались метками, соответствующими начальным моментам воображения каждого из движений. Вся процедура обучения одного испытуемого занимала около часа. Далее проводились испытания обученного классификатора на распознавание каждого из 8-ми воображаемых движений. При этом была достигнута средняя точность классификации для offline режима 72%, а для online режима – 67%. По сравнению с литературными данными полученные результаты были хуже, но предполагается, что при тщательной настройке классификатора, они должны улучшиться.

Эксперимент по управлению моделью мобильного робота автомобильной схемы (задние колеса – ведущие, а передние – рулевые) проводился в среде Gazebo с использованием нейроинтерфейса на базе ИМК с предварительно обученным классификатором. Для управления был разработан программный модуль, преобразующий распознанные с помощью ИМК воображаемые движения в команды управления в соответствии с Таблицей 1. При управлении движениями: Вперед, Назад, Вправо, Влево было возможно выполнять воображение выбранного движения неоднократно для ускорения движения или уменьшения радиуса поворота мобильного робота. На этом этапе испытуемые некоторое время учились управлять

моделью робота, воображая движения, соответствующие командам. Первые попытки управления движением робота показали, что для уверенного прохождения трассы было недостаточно распознавания одной попытки воображения выбранного действия, и робот мог уйти в сторону от трассы. Это было связано с малой точностью распознавания. Далее удалось несколько улучшить результат прохождения трассы за счет усреднения трех попыток воображения выбранного движения.

Таблица 1 — Соответствие воображаемых движений и команд управления

| Номер команды | Воображаемые движения       | Команды управления |
|---------------|-----------------------------|--------------------|
| 1             | Подъем правой руки          | Вправо             |
| 2             | Подъем левой руки           | Влево              |
| 3             | Сжатие кисти правой руки    | Стоп вправо        |
| 4             | Сжатие кисти левой руки     | Стоп влево         |
| 5             | Подъем правой ноги          | Стоп вперед        |
| 6             | Подъем левой ноги           | Стоп назад         |
| 7             | Нажатие ступней правой ноги | Вперед             |
| 8             | Нажатие ступней левой ноги  | Назад              |

В соответствии с тестированием системы управления мобильным роботом, построенной на основе нейроинтерфейса с ИМК, классифицирующим ЭЭГ-паттерны воображаемых движений рук и ног на римановой геометрии, при регистрации ЭЭГ-сигналов с помощью прибора NeuroPlay-8Cap, получены результаты, свидетельствующие о возможности реализации такого управления. Показано, что достигнутой средней точности классификации воображаемых движений в online режиме 67% недостаточно для уверенного управления движением робота по трассе. Однако применение варианта управления с усреднением нескольких попыток воображения выбранного движения позволяет несколько улучшить управление. В дальнейшем предполагается выбрать оптимальные параметры настройки риманова классификатора с целью повышения его точности и реализации более уверенного управления движением мобильного робота по трассе.

Результаты получены в рамках выполнения государственного задания Минобрнауки России FNRG-2022-0016 1021060307690-3-1.2.1;2.2.2 № 075-01623-22-00 «Исследование и разработка биоподобной системы управления поведением мобильных роботов на

базе энергоэффективных программно-аппаратных нейроморфных средств».

1. Tariq, M., Trivailo, P. M., & Simic, M. (2018). EEG-Based BCI Control Schemes for Lower-Limb Assistive-Robots. *Frontiers in human neuroscience*, 12, 312. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2018.00312>.

2. Carlson, T., & Millan, J. D. R. (2013). Brain-controlled wheelchairs: a robotic architecture. *IEEE Robotics & Automation Magazine*, 20(1), 65-73. <https://doi.org/10.1109/MRA.2012.2229936J2>.

3. Капралов Н.В., Нагорнова Ж.В., Шемякина Н.В. (2021). Методы классификации ЭЭГ-паттернов воображаемых движений. *Информатика и автоматизация*. 20, 94-132. <https://doi.org/10.15622/ia.2021.20.1.4>.

4. Congedo M., Varachant A., Bhatia R. (2017). Riemannian geometry for EEG-based brain-computer interfaces: a primer and a review. *Brain-Computer Interfaces*. 4(3), 155-174. <https://doi.org/10.1080/2326263X.2017.1297192>.

5. Станкевич Л. А., Гунделах Ф. В. (2017). Управление роботом с использованием интерфейса «мозг-компьютер». *Робототехника и техническая кибернетика*. 2, 52-56.

*Е.А. Еременко<sup>1,2</sup>, А.М. Корсаков<sup>1</sup>, А.В. Бахшиев<sup>2</sup>*

**РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА СТРУКТУРНОГО ОБУЧЕНИЯ  
СЕГМЕНТНОЙ СПАЙКОВОЙ МОДЕЛИ НЕЙРОНА**

<sup>1</sup>ГНЦ РФ ЦНИИ РТК, Санкт-Петербург, [elizaveta.yeremenko@gmail.com](mailto:elizaveta.yeremenko@gmail.com),  
[a.korsakov@rtc.ru](mailto:a.korsakov@rtc.ru); <sup>2</sup>СПбПУ Петра Великого, Санкт-Петербург,  
[palexab@gmail.com](mailto:palexab@gmail.com)

*Е.А. Eremenko<sup>1,2</sup>, А.М. Korsakov<sup>1</sup>, А.В. Bakhshiev<sup>2</sup>*

**DEVELOPMENT OF LEARNING ALGORITHM  
OF COMPARTMENTAL SPIKING NEURON MODEL**

<sup>1</sup>*Russian state scientific center for robotics and technical cybernetics,  
St. Petersburg, [elizaveta.yeremenko@gmail.com](mailto:elizaveta.yeremenko@gmail.com), [a.korsakov@rtc.ru](mailto:a.korsakov@rtc.ru); <sup>2</sup>SPbSPU,  
St. Petersburg, [palexab@gmail.com](mailto:palexab@gmail.com)*

Сегментная спайковая модель нейрона (CSNM – Compartmental Spiking Neuron Model), предложенная авторами в [1], была разработана как элемент нейроморфных систем, предназначенных для систем управления и обработки информации. В настоящее время возможности применения модели ещё исследуются [2], однако опубли-

ликованные работы [3] уже сейчас показывают, что модель нейрона позволяет решать задачу классификации на малом количестве обучающих примеров. Данная особенность CSNM позволит использовать её в задачах с низкой доступностью обучающей выборки, высокой сложностью оценки состояния системы, или даже с отсутствием возможности такой оценки, например – в задачах аварийной диагностики сложных систем.

Настоящая работа посвящена разработке и исследованию нового алгоритма структурного обучения CSNM, который позволяет преодолеть ограничения предыдущей реализации такого алгоритма [4]: обучение нейрона только из исходного состояния, невозможность обучить модель другому примеру, невозможность обучить один нейрон нескольким обучающим примерам.

Для тестирования корректности и демонстрации возможностей нового алгоритма обучения использовались ранее разработанная авторами программная платформа [5] и датасет *Iris* [6]. В ходе эксперимента из датасета было выбрано 10 обучающих примеров из разных классов. В первой части эксперимента для каждого выбранного обучающего примера создавался свой собственный нейрон, обучавшийся данному примеру новым методом структурного обучения. На втором этапе эксперимента создавался лишь один нейрон, который последовательно обучался каждому из 10 выбранных примеров во всех возможных последовательностях. В результате серии таких тестов для каждого примера по завершении обучения зафиксирована тождественность приобретённой в ходе обучения новым методом структуры нейрона структуре нейрона, приобретённой в ходе обучения нейрона старым методом.

Необходимо отметить, что также показано значимое увеличение быстродействия при новом способе структурного обучения модели нейрона. Кроме того, новый алгоритм обучения позволит использовать нейронные сети, построенные на CSNM, не только при малом количестве обучающих примеров, но и адаптироваться к поступающим новым данным, т.е. осуществлять он-лайн обучение.

Результаты получены в рамках выполнения государственного задания Минобрнауки России FNRG-2022-0016 1021060307690-3-1.2.1;2.2.2 № 075-01623-22-00 «Исследование и разработка биоподобной системы управления поведением мобильных роботов на базе энергоэффективных программно-аппаратных нейроморфных средств».

1 Bakhshiev A.V., Gundelakh. F.V. 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.

2 Корсаков А. М. и др. Реализация поведенческих функций на спайковых нейронных сетях // Информатика и автоматизация. – 2021. – Т. 20. – №. 3. – С. 591-622.

3 Astarova L. A. et al. Compartmental spiking neuron model for pattern classification // Journal of Physics: Conference Series. – IOP Publishing, 2021. – Т. 2094. – №. 3. – С. 032032.

4 Бахшиев А. В. и др. Структурная адаптация сегментной спайковой модели нейрона // Нелинейная динамика в когнитивных исследованиях – Труды VII Всероссийской конференции, Нижний Новгород, 20–24 сентября 2021 года. – С. 30-33.

5 Bakhshiev A. V. et al. The architecture of a software platform for growing spiking neural networks simulator developing // Journal of Physics: Conference Series. – IOP Publishing, 2020. – Т. 1679. – №. 4. – С. 042001.

6 UCI Machine Learning Repository: Iris Data Set [Electronic resource]. - URL: <https://archive.ics.uci.edu/ml/datasets/iris>.

*А.А. Демчева<sup>1,2</sup>, А.М. Корсаков<sup>1</sup>, А.В. Бахшиев<sup>2</sup>*  
**МОДЕЛИРОВАНИЕ БОЛЕВЫХ ОЩУЩЕНИЙ НА ОСНОВЕ  
СЕГМЕНТНОЙ СПАЙКОВОЙ МОДЕЛИ НЕЙРОНА**

*<sup>1</sup>ГНЦ РФ ЦНИИ РТК, Санкт-Петербург, [a.demcheva@rtc.ru](mailto:a.demcheva@rtc.ru),  
[a.korsakov@rtc.ru](mailto:a.korsakov@rtc.ru); <sup>2</sup>ВШАуР, ИММуТ, СПбПУ Петра Великого,  
Санкт-Петербург, [palexab@gmail.com](mailto:palexab@gmail.com)*

*А.А. Demcheva<sup>1,2</sup>, А.М. Korsakov<sup>1</sup>, А.В. Bakhshiev<sup>2</sup>*  
**APPLICATION OF THE COMPARTMENTAL SPIKING  
NEURON MODEL FOR PAIN SENSATION IMPLEMENTATION**

*<sup>1</sup>Russian state scientific center for robotics and technical cybernetics,  
St. Petersburg, [a.demcheva@rtc.ru](mailto:a.demcheva@rtc.ru), [a.korsakov@rtc.ru](mailto:a.korsakov@rtc.ru); <sup>2</sup>Peter the Great  
St. Petersburg Polytechnic University (SPbPU), St. Petersburg,  
[palexab@gmail.com](mailto:palexab@gmail.com)*

Боль является важным механизмом защиты и саморегуляции биологического организма. Она служит сигналом о реальном или предполагаемом повреждении тканей, нарушении в работе нервной системы. Подобный механизм актуален и для технических систем.

Реализация модели болевых ощущений в нейроморфных системах может выполнять функции внутреннего контроля состояния и оповещения о внештатных ситуациях. В данной работе представлена модель боли, основанная на теории «Воротного контроля» [1].

В рамках работы использовалась сегментная спайковая модель нейрона [2]. Спайковые нейронные сети отличаются высокой помехоустойчивостью и энергоэффективностью, что достигается благодаря кодированию информации с помощью импульсов (спайков). В отличие от существующих спайковых моделей нейрона, использовавшаяся модель обладает способностью к структурной адаптации, обеспечивающей пластичность нейронной сети. Моделирование было выполнено с помощью средств программной платформы [3].

Предлагаемая модель болевых ощущений основана на теории Р. Мелзак и П.Д. Уолла [1], согласно которой желатинозная субстанция спинного мозга (ЖС) управляет сенсорным входом от периферических нервных волокон (см. рис. 1 Рисунок а). Активность афферентных волокон большого диаметра (L) тормозит передачу импульсов, стимулируя клетки желатинозной субстанции, в то время как активность волокон малого диаметра (S), напротив, облегчает их передачу, оказывая тормозящее воздействие на клетки желатинозной субстанции. Сама субстанция же тормозит передачу импульса на терминалях и тонких, и толстых волокон. Суммарное воздействие сигналов определяет выход передаточного нейрона (Т), который при достижении критического уровня активирует систему действия.

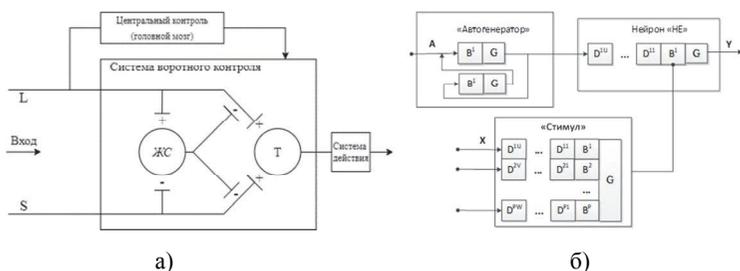


Рисунок 1 — Схема болевых ощущений: а) воротный механизм Р. Мелзак и П.Д. Уолла; б) предлагаемая модель

В предлагаемой схеме (см. рис. 1б) роль желатинозной субстанции выполняет обученный нейрон «Стимул». Выход такого нейрона определяется поступившим на вход паттерном импульсов и оказывает тормозящее воздействие на нейрон «НЕ», соответствующий передаточному нейрону (Т). Активность афферентных волокон

моделируется подачей импульсного сигнала на возбуждающий вход нейрона «HE». Штатной ситуацией считается поступление на вход паттерна, близкого к обучающему примеру — тогда реакция отсутствует. Тревожной ситуацией считается поступление на вход системы импульса, отличающегося от обучающего примера больше, чем на заданное значение, в этом случае схема генерирует предупреждающий сигнал.

Отличие предложенной модели от Воротного механизма состоит в отсутствии связей между активностью афферентных волокон и работой желатинозной субстанции, а также центрального контроля со стороны головного мозга. Предложенная схема может быть использована в дальнейшем для реализации поведенческих функций, а также в качестве логического отрицания или системы контроля в технических системах.

Результаты получены в рамках выполнения государственного задания Минобрнауки России FNRG-2022-0016 1021060307690-3-1.2.1;2.2.2 № 075-01623-22-00 «Исследование и разработка биоподобной системы управления поведением мобильных роботов на базе энергоэффективных программно-аппаратных нейроморфных средств».

1. Melzack R., Wall P.D. Pain mechanisms: a new theory//Survey of Anesthesiology. – 1967. – Vol. 11. – PAIN MECHANISMS. – No. 2. – P. 89-90.

2. Bakhshiev A., Gundelakh F. Mathematical Model of the Impulses Transformation Processes in Natural Neurons for Biologically Inspired Control Systems Development / A. Bakhshiev, F. Gundelakh // AIST. – 2015.

3. Bakhshiev A., Fomin I., Gundelakh F., Demcheva A., Korsakov A. The architecture of a software platform for growing spiking neural networks simulator developing//Journal of Physics: Conference Series. – 2020. – T. 1679. – C. 042001.

*С.Р. Орлова*

**РАЗРАБОТКА МОДУЛЯ ТРЕХМЕРНОЙ СЕГМЕНТАЦИИ  
ДЛЯ СИСТЕМЫ РАСПОЗНАВАНИЯ СЦЕНЫ  
МОБИЛЬНОГО РОБОТА**

*Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,  
Санкт-Петербург, orsveri@gmail.com*

*S.R. Orlova*

**DEVELOPMENT OF A 3D SEGMENTATION MODULE  
AS PART OF THE SCENE RECOGNITION SYSTEM  
FOR A MOBILE ROBOT**

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

Обсуждается задача распознавания сцены в мобильной робототехнике для замкнутых пространств. Рассматриваются задачи, которые необходимо решить для реализации высокоуровневого понимания окружающей среды. Основой здесь является понимание геометрии и семантики сцены, которое можно декомпозировать на подзадачи локализации робота, построения карты и семантического анализа.

По результатам обзоров литературных источников предложен метод трехмерного распознавания сцены для мобильного робота, действующего в замкнутом пространстве (см. рис. 1). Подход предполагает построение графа сцены, что перспективно для применения в системе управления роботом, и является инкрементальным, что позволяет интегрировать модули в единую систему и обрабатывать поступающие входные данные покадрово. Метод сочетает в себе модуль одновременной локализации и построения карты (SLAM), модуль трехмерной сегментации, модуль построения признакового описания сегментов и графовую нейронную сеть для предсказания графа сцены и может быть реализован как многосенсорная информационно-измерительная система (МИИС) [1]. Далее фокус обсуждения смещается к разработке модуля трехмерной сегментации.

Поскольку разрабатываемая МИИС является универсальной, т.е. не предполагает использования специфических сенсоров и не направлена на решение узких, специальных задач, предложен алгоритм трехмерной сегментации, который можно было бы затем адаптировать под условия конкретной прикладной задачи. Описана программная реализация модуля в среде ROS (Robot Operating System) [2], приведены экспериментальные исследования с использованием симулятора Gazebo [3].

Дальнейшее исследование предполагает продолжение работы над модулем трехмерной сегментации с целью повышения качества работы, проведение экспериментальных исследований в симулированной и реальной среде и оптимизацию вычислений для повышения скорости работы алгоритмов.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта No 20-37-90039.

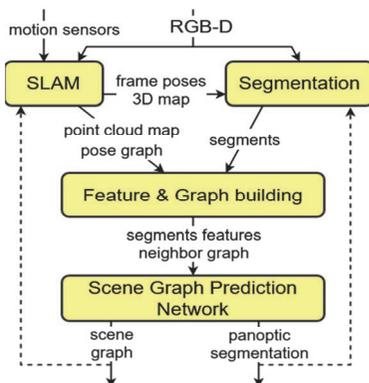


Рисунок 1 — Архитектура предлагаемого метода трехмерного распознавания сцены

1. Юревич Е. Сенсорные системы в робототехнике // СПб.: Изд-во Политехнического ун-та. — 2013.
2. ROS — Robot Operating System [Электронный ресурс] URL: <https://www.ros.org/>; дата обращения: 10.07.2022.
3. Gazebo website [Электронный ресурс] URL: <https://gazebosim.org/home>; дата обращения: 10.07.2022.

*И.Д. Горбенко, О.Б. Шагниева*  
**АДАПТИВНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ  
СВЕРЛЕНИЯ ПРИ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ СВОЙСТВ  
МАТЕРИАЛА ЗАГОТОВКИ**

*Санкт-Петербургский Политехнический университет Петра Великого,  
Санкт-Петербург, shagniev\_ob@spbstu.ru*

*I.D. Gorbenko, O.B. Shagniev*  
**ADAPTIVE DRILLING PROCESS CONTROL SYSTEM WITH  
UNCERTAINTY OF THE MATERIAL PROPERTIES OF THE  
WORKPIECE**

*Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg,  
shagniev\_ob@spbstu.ru*

Стремительно возрастающее многообразие новых материалов зачастую приводит к трудностям при их механообработке, в частности, при сверлении. Одной из распространённых проблем является неопределённость механических свойств заготовки [1], приводящая к неточности вычисления оптимальных параметров резания. Некорректный выбор параметров резания повышает вероятность возникновения нежелательных динамических эффектов вплоть до потери устойчивости системы. В докладе предлагается адаптивный алгоритм детектирования и подавления автоколебаний при изменении свойств обрабатываемого материала в процессе сверления на базе искусственных нейронных сетей. Использование искусственных нейронных сетей обусловлено сложностью нелинейных законов взаимодействия в зоне контакта инструмента с обрабатываемой поверхностью, затрудняющих применение стандартных методов диагностики [2-3].

Проведено обучение нейронной сети в соответствии с выбранным критерием оптимальности параметров сверления для выбранного набора свойств материалов. Критерием оптимальности выбрана экспертная оценка качества процессов сверления. Входом для обучения искусственной нейронной сети является вектор параметров, характеризующих процессы по собственным координатам инструмента, а выходами – оптимальные скорость вращения шпинделя и подача. Проведено математическое моделирование процессов сверления заготовок из материалов с различными механическими свойствами и продемонстрирована потеря устойчивости процесса сверления неверном выборе параметров резания [4-6]. Продемонстрирована возможность оценки оптимальных скорости вращения шпинделя и по-

дачи, соответствующих текущей динамике инструмента. Представлен алгоритм коррекции параметров сверления для подавления нежелательных колебательных процессов. Подтверждена работоспособность адаптивной системы управления на базе искусственной нейронной сети в условиях неопределенности.

1. Altintas Y., Eynian M., Onozuka H. Identification of dynamic cutting force coefficients and chatter stability with process damping // Annals of the CIRP. – 2008. – Vol. 57. – Iss. 1. – P. 371-374.

2. 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

3. Шагннев О.Б., Булов С.А. Алгоритм адаптации к износу инструмента при механообработке на базе искусственных нейронных сетей // Экстремальная робототехника. 2021. № 5. С. 251–257.

4. Шагннев О.Б., Шаньшин И.К., Бурдаков С.Ф. Управление регенеративными автоколебаниями в процессе фрезерования // Мехатроника. Автоматизация. Управление. 2019. № 5. С. 291-298.

5. Altintas Y. Metal cutting mechanics, machine tool vibrations, and CNC design. 2nd-ed. – Cambridge University press, 2012. – 382 p.

6. Tobias S.A. Machine tool vibration. – New York: Wiley, 1961. – 352 p.

***В.И. Петренко, Ф.Б. Тебуева, В.О. Антонов, А.В. Сакольчик***  
**РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАДАЧ В КЛАСТЕРИЗИРОВАННОМ**  
**ПОЛЕ ЦЕЛЕЙ ДЛЯ ГОМОГЕННЫХ И ГЕТЕРОГЕННЫХ**  
**ГРУПП БПЛА**

*Северо-Кавказский федеральный университет, Ставрополь,  
vloantonov@ncfu.ru*

***V.I. Petrenko, F.B. Tebueva, V.O. Antonov, A.V. Sakolchik***  
**DISTRIBUTION OF TASKS IN A CLUSTERED FIELD OF**  
**GOALS FOR HOMOGENEOUS AND HETEROGENEOUS UAV**  
**GROUPS**

*North Caucasian Federal University, Stavropol, vloantonov@ncfu.ru*

Данная работа посвящена вопросам распределения задач в группах беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) при условиях

значительного превышения количества задач над количеством агентов. Гетерогенные группы БПЛА состоят из агентов с различной аппаратной и программной реализациями, в то время как в гомогенных группах БПЛА данные характеристики являются одинаковыми [1].

Основными задачами, решаемыми БПЛА, являются: обзор и разведка территорий, обнаружение опасных объектов или мест возникновения чрезвычайных ситуаций, поиск пострадавших и т.п. [2]. Эффективность решения перечисленных выше задач достигается путем одновременного использования группы БПЛА, элементы (агенты) которой могут осуществлять параллельное выполнение задач по осмотру и сканированию различных областей пространства [2-4].

В настоящей статье рассматриваются результаты применения двух авторских методов распределения задач в кластеризованном поле задач для:

- гомогенных групп БПЛА [5];
- гетерогенных групп БПЛА.

В статье [5] предложен итеративный метод распределения задач в группе БПЛА при значительном превышении количества задач над количеством агентов (5-20 раз). Для проведения экспериментальных исследований имитационная модель группы БПЛА реализована в среде CoppeliaSim. По результатам 20 000 экспериментов сделан вывод о перспективности использования итеративного метода распределения задач из ближних кластеров для снижения затрат энергии агентами при выполнении задач в кластеризованном поле целей. Эффективность пройденного пути агентами составляет до 28% в зависимости от количества агентов и задач в кластере, что является научным приращением полученного результата исследования.

Предлагаемый метод для гетерогенных групп БПЛА базируется на двухэтапной процедуре распределения агентов разных специализаций по кластерам задач с учетом функции ценности агента. На первом этапе производится распределение базовой части агентов, оставшиеся агенты на втором этапе распределяются с целью усреднения пройденного пути каждым агентом. Выполнение задач внутри кластера реализуется методом имитации отжига. Для оценки эффективности вариантов метода произведено сравнение с жадным алгоритмом распределения задач и алгоритмом коллективного распределения целей. Рассматриваемые аналоги являются широко распространенным, универсальными и имеют высокую сходимость решения. Экспериментальные исследования проведены путем ком-

пьютерного моделирования, где проведено 2000 экспериментов при различном изменении количества агентов группы и генерации карты задач. Результаты показали высокую эффективность метода распределения задач в части снижения пройденного пути агентами группы БПЛА при выполнении задач в сравнении с аналогами.

1. Kanjanawanishkul K. Coordinated Path Following Control and Formation Control of Mobile Robots. Tübingen: Eberhard-Karls-Universität, 2010.

2. Каляев И.А., Гайдук А.Р., Капустян С.Г. Модели и алгоритмы коллективного управления в группах роботов. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2009. – 280 с.

3. Gayduk A.R., Kapustyan S.G., Merkulov V.I., Besklubova K.V. Gruppovoe upravlenie BLA [Group control UAV], Informatsionno-izmeritel'nye i upravlyayushchie sistemy [Informationmeasuring and control system], 2014, No. 11, pp. 24-36.

4. Franchi A., Secchi C., Ryll M., Bulthoff H.H. & Giordano P.R. Shared control: Balancing autonomy and human assistance with a group of quadrotor UAVs, Robotics & Automation Magazine, IEEE, 2012, Vol. 19 (3), pp. 57-68.

5. Iterative Method of Labor Division for Multi-Robotic Systems. Ryabtsev, S., Sakolchik, A., Antonov, V., Petrenko, V., Tebueva, F., Makarenko, S. Proceedings of International Conference on Artificial Life and Robotics, 2022, pp. 699-702.

***М.Ф. Степанов, А.М. Степанов, О.М. Степанова***  
**АСПЕКТЫ САМООРГАНИЗАЦИИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ  
СИСТЕМ ГРУППОВОГО УПРАВЛЕНИЯ**

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

***M.F. Stepanov, A.M. Stepanov, O.M. Stepanova***  
**SELF-ORGANIZING ASPECTS OF INTELLECTUAL  
GROUP CONTROL SYSTEMS**

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

С расширением сфер применения робототехнических комплексов обострилась проблема обеспечения автономности их функциониро-

вания в изменяющихся условиях. При этом под изменяющимися условиями понимается как изменение текущего состояния, параметров, характеристик собственно робота, неорганизованной или плохо организованной, недетерминированной внешней среды, противодействующие решению роботом задач для достижения текущих целей, так и динамического изменения самих целей функционирования системы в целом. Наиболее адекватное поведение в указанных условиях реализуют самоорганизующиеся системы.

Среди известных определений самоорганизации применительно к задачам управления наиболее корректным является определение, данное П.К.Анохиным [1]. Принципиальным отличием определения самоорганизации по П.К.Анохину является наличие главного компонента самоорганизации – цели, на достижение которой и направлен весь процесс самоорганизации. Несмотря на наличие многочисленных публикаций, рассматривающих вопросы самоорганизации применительно к техническим системам в целом и управлению группами роботов [2] в частности, вопросы построения механизмов самоорганизации остаются недостаточно проработанными.

В данной работе в развитие [1], [3], [4] предлагается подход к самоорганизации с использованием «самообучения», базирующийся на концепции автоматического создания функциональных структур, обеспечивающих решение текущей совокупности задач для достижения поставленной цели. Под функциональной структурой, создаваемой для решения конкретной задачи, понимается совокупность элементов (подсистем) самоорганизующейся системы управления, взаимодействующих (осуществляющих обмен сигналами, энергией, данными и т.д.) между собой в определенном хронологическом порядке. Взаимосвязи между компонентами создаваемых указанных функциональных структур могут быть установлены физически (как например, устанавливаемые связи между нейронами и мышцами биологических систем) или виртуально, что используется в технических системах при реализации в форме программы действия (программы решения задачи).

В технических системах набор элементарных действий (операций) предопределен конструктором системы и не может быть изменен в процессе функционирования. Поэтому создание функциональной системы для решения новой задачи осуществляется посредством построения программы действий с использованием имеющегося набора «умений робота», включающих как операции, так и процедуры - программы ранее уже решенных задач. Предлагаемый процесс «самообучения» сводится к расширению умений робота

новыми «операциями», представляющими собой «виртуальные функциональные структуры» решения уже известных задач. При этом для планирования действий предлагается использовать планирующие искусственные нейронные сети (ПИНС) [5]. Их отличительной особенностью является способность параллельно решать все подзадачи исходной задачи. В сочетании с автоматической настройкой на изменяемую базу «умений» ПИНС представляют собой эффективный механизм решения задач в самоорганизующихся системах. Формально процесс самоорганизации (построения функциональной системы) для решения новой задачи может быть описан в виде соотношения (1).

$$F(z) = P(U, z), \quad (1)$$

где  $F(z)$  - порождаемая функциональная система для решения задачи  $z$ ,  $P(U, z)$  - алгоритм построения  $F(z)$  на основе множества умений  $U$ .

1. Анохин, П. К. Философские аспекты теории функциональной системы / П. К. Анохин. — М.: Наука, 1978.

2. Каляев И.А., Гайдук А.Р., Капустян С.Г. Методы и модели коллективного управления в группах роботов. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2009. 280 с.

3. Степанов М.Ф. Интеллектуальные самоорганизующиеся системы автоматического управления.-Саратов: Сарат. гос. техн. ун-т, 2002.- 112 с.

4. Степанов М.Ф. Исследование алгоритмов функционирования интеллектуальной системы управления разведывательным робототехническим комплексом / М.Ф.Степанов, А.М.Степанов, Д.Ю.Петров, О.М.Степанова // Экстремальная робототехника.- 2021.-Т.1. №1.-С.136-142

5. Степанов М. Ф. Нейронные сети для планирования решения задач теории автоматического управления // Проблемы управления. 2004. № 2. С. 66-71.

***И.В. Степанян, М.А. Зидун, М.О. Савкин, Лю Дун***  
**СИНТЕТИЧЕСКАЯ ПАРАДИГМА ГЛУБОКОГО ОБУЧЕНИЯ  
ДЛЯ СИСТЕМ АДАПТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ**

*Российский Университет Дружбы Народов, Москва,  
neurocomp.pro@gmail.com*

***I.V. Stepanyan, M.A. Zidun, M.O. Savkin, Liu Dong***  
**SYNTHETIC PARADIGM OF DEEP LEARNING FOR  
ADAPTIVE CONTROL SYSTEMS**

*Peoples' Friendship University of Russia, Moscow, neurocomp.pro@gmail.com*

Под руководством В.Д. Цыганкова был разработан и применен нейрокомпьютер «Эмбрион» [1-2], который представляет собой электронную нейрофизиологическую модель мозга человека. Этот прибор реализует нейрофизиологический подход к нейрокомпьютерингу, который основан на теории функциональных систем академика П.К. Анохина и на трудах выдающихся отечественных физиологов А.А. Ухтомского, И.М. Сеченова, И.П. Павлова. Взаимодействие функциональных систем обеспечивает организму приспособление к окружающей среде, выживание и эволюцию. «Эмбрион» как техническая реализация функциональной системы Анохина представляет собой мультистабильную многомерную память, которая сохраняет след внешнего воздействия в течение некоторого интервала времени. Данную парадигму нейрокибернетики можно рассматривать как синтетическую, поскольку ассоциативная нейронная сеть, самоорганизующейся в виде реакции на входной сигнал повышает его размерность. Особенностью этой модели мозга является реализованный в ней нейрофизиологический «принцип экстренной мобилизуемости», известный из теории функциональных систем академика П.К. Анохина [3]. Это возможность быстрого, в реальном времени создания и перестройки сложной нейронной сети, состоящей из сотен тысяч и более виртуальных квазинейронов. Эволюция состояний по тактам дискретного времени имеет структуру нейронной сети, которая способна в реальном времени распознавать образы, управлять и осуществлять другие функции за счет высокой степени параллелизма при обработке сенсорной информации

Алгоритм синтеза биоморфной нейроподобной системы глубокого обучения состоит из этапа синтеза структуры подсети библиотеки фильтров для каждого поступающего образа и этапа синтеза сети распознавания соответствующего образа. Аналогичный алгоритм был разработан нами ранее в [4] для бинарных нейронных

сетей. Эти два этапа рекурсивно повторяются, генерируя слой за слоем пока не будет синтезирована сверточная нейронная сеть, обеспечивающая за счет своей структуры полное и помехоустойчивое распознавание всего множества заданных образов. При этом, образы могут быть как статическими, так и динамическими для систем автономного адаптивного управления.

1. Цыганков В.Д. К «Стандартной модели» физики частиц виртуального нейрокомпьютера «ЭМБРИОН». ПЕРО. М.:2019.

2. Цыганков В.Д. Интеллектуальный интерфейс ZENVAWE «Мозгнейрокомпьютер». ПЕРО. М.: 2021

3. Степанян И.В., Толоконников Г.К., Цыганков В.Д. Категорная модель для виртуального нейрокомпьютера «Эмбрион» — В сб: матер. XIV международного междисциплинарного конгресса «Нейронаука для медицины и психологии» Матер. конф.30 мая-10 июня 2018 г. Судак – С. 439. e-ISBN 978-5-317-05830-2, DOI: 10.29003/m124.ns2018-14,

4. Степанян И.В., Зиеп Н.Н. Растущие свёрточные нейроподобные структуры для задач распознавания статических образов // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. 2018. № 5. С. 4-11.

*А.В. Тимошенко<sup>1</sup>, М.Е. Бояров<sup>2</sup>, А.И. Назаров<sup>2</sup>*  
**АКТУАЛЬНОСТЬ ПОВЫШЕНИЯ АУТОНОМНОСТИ  
РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ  
В ТАКТИЧЕСКОМ ЗВЕНЕ И ОБЪЕДИНЕНИЕ ИХ В ОДНО  
ИНФОРМАЦИОННОЕ ПРОСТРАНСТВО  
С ДРУГОЙ ТЕХНИКОЙ ВВСТ**

<sup>1</sup>АО «РТИ им. А.Л. Минца», Москва; <sup>2</sup>АО «МТУ Сатурн» РТИ, Москва  
u567ku78@gmail.com, mboyarov@aorti.ru, arnazarov@aorti.ru

*A.V. Timoshenko<sup>1</sup>, M.E. Boyarov<sup>2</sup>, A.I. Nazarov<sup>2</sup>*  
**THE RELEVANCE OF INCREASING THE AUTONOMY  
OF ROBOTIC COMPLEXES IN TACTICAL LINK  
AND COMBINING THEM INTO ONE INFORMATION SPACE  
WITH ANOTHER VVST TECHNIQUE**

<sup>1</sup>JSC «RTI named after A.L. Mints, Moscow»; <sup>2</sup>JSC «MTU Saturn» RTI, Moscow  
u567ku78@gmail.com, mboyarov@aorti.ru, arnazarov@aorti.ru

Анализ опыта локальных конфликтов в Афганистане, Иране, Сирии, Нагорном Карабахе и специальной военной операции на

Украине показывает, что в ближайшей перспективе с быстрым технологическим развитием появляются новые технические средства и принципы ведения боевых действий.

В первую очередь это робототехнические комплексы (РТК) военного назначения (ВН) различного вида базирования (БпЛА, наземные РТК, морские РТК), новые информационные технологии (элементы искусственного интеллекта) и принципы сетецентризма.

Активными объектами в общевойсковом соединении становятся мобильные тактические группы, содержащие разнородные РТК.

Использование робототехнических комплексов, как автономных, так и дистанционно управляемых стало повсеместно применяться во всех сферах решения боевых задач. Использование РТК способно снизить потери личного состава.

Каждый РТК на поле боя является сенсором информации, которую необходимо обрабатывать и анализировать. Увеличение сенсоров приводит к увеличению объемов информации, и, следовательно, необходимо повышать мощности обрабатывающих устройств. Начинают применяться рои РТК, особенно в виде БпЛА. Увеличивается количество каналов связи и управления, так как в данный момент оператор управляет дистанционно, либо заранее ставит полетное задание. В случае постановки помех, боевых действий оператор может не успевать эффективно использовать все средства на поле боя.

За рубежом роботизированные комплексы рассматриваются как один из атрибутов военной техники будущего.

В США и других странах НАТО вопросы, связанные с межвидовым применением РТК и сокращением цикла боевого управления, решаются уже более 10 лет. Открыто множество работ, в том числе программы Конвергенция (Convergence), JAD2C, Squad X, Robotic Combat Vehicle (RCV), которые подразумевают повышение автономности, эффективности и снижение времени боя всеми силами и средствами от тактического до стратегического уровня (рис. 1).

Анализ подходов к построению систем управления показал, что существующие системы не обладают способностью к автономному поведению при выполнении боевых задач и как результат не обладают свойством самодостаточного поведения, гарантирующего выполнение боевых задач в составе человеко-машинных систем. Это обстоятельство требует развития интеллектуальной составляющей и как бортовых систем управления РТК, так и алгоритмов деятельности личного состава, использующего РТК.

Поэтому мы считаем актуальной задачей создания программно-аппаратного комплекса (ПАК), который будет интегрирован во все РТК, стоящие на вооружении и технику ВВСТ.



Рисунок 1 — Схематическое представления принципа сетецентризма

1. Афонин И.Е., Макаренко С.И., Петров С.В., Привалов А.А. Анализ опыта боевого применения групп беспилотных летательных аппаратов для поражения зенитно-ракетных комплексов системы противовоздушной обороны в военных конфликтах в Сирии, в Ливии и в Нагорном Карабахе // Системы управления, связи и безопасности. – 2020. - №4. - С. 163-191.

2. Project Convergence 2022. URL:  
<https://armyfuturescommand.com/convergence/> (дата обращения  
16.05.2022).

*А.В. Тимошенко<sup>1</sup>, М.Е. Бояров<sup>2</sup>, А.И. Назаров<sup>2</sup>*  
**АКТУАЛЬНОСТЬ РАЗРАБОТКИ ПАТТЕРНОВ ПОВЕДЕНИЯ  
РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ ПРИ  
ВЫПОЛНЕНИИ ЗАДАЧ В ДИНАМИЧЕСКОЙ СРЕДЕ**

<sup>1</sup>АО «РТИ им. А.Л. Минца», Москва; <sup>2</sup>АО «МТУ Сатурн» РТИ, Москва  
*u567ku78@gmail.com, mboyarov@aorti.ru, arnazarov@aorti.ru*

*A.V. Timoshenko<sup>1</sup>, M.E. Boyarov<sup>2</sup>, A.I. Nazarov<sup>2</sup>*  
**TECHNIQUE THE RELEVANCE OF DEVELOPING PATTERNS  
OF BEHAVIOR OF ROBOTIC COMPLEXES WHEN  
PERFORMING TASKS IN A DYNAMIC ENVIRONMENT**

<sup>1</sup>JSC «RTI named after A.L. Mints, Moscow; <sup>2</sup>JSC «MTU Saturn» RTI, Moscow  
*u567ku78@gmail.com, mboyarov@aorti.ru, arnazarov@aorti.ru*

При решении прикладных задач в динамической среде возникает ситуация недостаточной информации. Лицо принимающее решение (ЛПР) строит модель из предметной области, временно исходя из правдоподобных предпосылок [1]. По мере получения новых знаний о текущей ситуации ЛПР корректирует выполнение задач.

Развитие информационных технологий в настоящее время позволяет снизить, а в некоторых случаях и полностью заменить участие человека, оператора робототехнических комплексов (РТК) военного и двойного назначения. Повышение автономности РТК необходимо для снижения цикла боевого управления и повышения эффективности использования РТК, так как при повышении сенсоров на поле боя оператор не успевает обрабатывать и анализировать всю информацию.

При повышении автономности работы группой разнородных (воздушных, наземных, морских) РТК появляется ряд вопросов, которые должны быть решены:

- создание полноценных агрегированных данных, включающих большое количество проанализированных сценариев применения разнородных РТК;
- создание коммуникационного взаимодействия для работы в группе, которое будет в автоматически переходить в режим радиомолчания, а также использование помехоустойчивых и скрытных сигналов, и новых технологий (RFID);
- формирование правил и ограничений автономной работы разнородных РТК и определение места человека в системе;

– повышение когнитивности системы, за счет возможности дообучения на ситуациях, которые не были предусмотрены заранее.

В большинстве своем решение данных вопросов, мы предполагаем, будет решено за счет использования алгоритмов нечеткой логики, современных информационных технологий (нейронных сетей), определения взаимосвязей между нейронными сетями, а также формированием предложений по созданию правил и ограничений (этики) использования РТК в полностью автономном режиме.

При формировании баз данных, на которых будет обучаться нейронная сеть особое внимание следует уделить качеству и наполненности этих данных.

Для работы в группе РТК должны представлять все возможности (ТТХ) элементов своей группы. В случае однородных и одновидовых РТК эта задача упрощается. Но в задаче использования РТК всех видов базирования необходимо учитывать силу взаимодействия РТК в зависимости от их свойств (рис. 1).

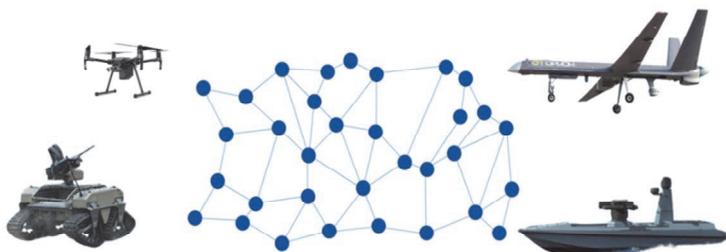


Рисунок 1 — Схематическое представление групповой связи разнородных РТК

Необходимо рассмотреть все возможные сценарии групповой работы, создать паттерны поведения РТК, на основе которых сформировать семантические правила и затем на них обучать систему.

1. Виноградов Г.П., Коныхов И.А., Прохоров А.А., Шепелев Г.А. Подход к проектированию программного обеспечения систем управления искусственными сущностями // Программные продукты и системы. – 2021. - №1. – С. 5-18.

***М.Е. Бояров, Ю.М. Черновол, А.И. Назаров***  
**МЕТОДОЛОГИЯ ФОРМАЛИЗАЦИИ ЗАДАЧ ПРИ  
РАЗРАБОТКИ ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩЕЙ  
СИСТЕМЫ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИМИ КОМПЛЕКСАМИ С  
ЭЛЕМЕНТАМИ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА**

*ОА «MTU Saturn» РТИ, Москва, mboyarov@aorti.ru, ychernovol@aorti.ru,  
arnazarov@aorti.ru*

***М.Е. Boyarov, Y.M. Chernovol, A.I. Nazarov***  
**METHODOLOGY OF FORMALIZATION OF TASKS FOR THE  
DEVELOPMENT OF AN INFORMATION-CONTROL SYSTEM  
BY ROBOTIC COMPLEXES WITH ARTIFICIAL  
INTELLIGENCE ELEMENTS**

*ОА «MTU Saturn» RTI, Moscow,  
mboyarov@aorti.ru, ychernovol@aorti.ru, arnazarov@aorti.ru*

На современном этапе информационно-управляющие системы (ИУС) робототехническими комплексами (РТК), функционирующие в реальном масштабе времени, все больше и больше используют элементы технологий искусственного интеллекта (ИИ).

Применение информационных технологий непосредственно подразумевает создание программного обеспечения (ПО), разработка которого зачастую является сложным многоступенчатым процессом [1].

Анализ создаваемых ИУС за последние 20 лет показывает, что методология их создания базируется с одной стороны на достижениях инструментария разработки ПО, а с другой стороны на вероятностных подходах построения дискретных моделей, процессов и алгоритмов. Практическая реализация таких систем недостаточно соответствуют заявляемым целевым функциям с использованием элементов и систем искусственного интеллекта.

В большинстве случаев структурные модели предметной области изначально рассматриваются, как необходимое целостное, системное представление модели, которое отражает все аспекты функционирования будущей информационной системы [2].

Одним из основных требований к моделям предметных областей предъявляется формализация, обеспечивающая однозначное описание структуры предметной области и далее функциональная полнота разрабатываемой интеллектуальной системы [2].

Этот общепринятый подход за частую уделяет большое внимание не философии познания предметной области в рамках её даль-

нейшей формализации, а рамках применения современных технологий проектирования ИС и методик обоснования эффективности их применения, содержания стадий и этапов проектирования интеллектуальных систем (ИС) и их особенностей при использовании различных технологий проектирования [2].

Наши исследования при разработке ИУС РТК показали, что необходимы новые подходы в методологии формализации задач на ранней стадии общепринятых подходов создания интеллектуальных систем. Основное внимание необходимо уделять на первом этапе проектирования анализу предметной области для полного набора парадигм, в рамках которых будет создаваться ИУС с элементами ИИ.

Прежде чем переходить к моделированию предметной области необходимо построить модель в центре, которой находится ИУС РТК, как некая интеллектуальная субстанция. Модель должна отражать интеллектуальные процессы, сущности и облики объектов, элементов, свойств и т.д.

Рассмотрим возможные внешние и внутренние связи сущностей, которые оказывают на ИУС РТК влияние такие как:

- мотивация: внутренняя (защитная), внешняя (целеуказания);
- этика использования ИИ: правила, законы, регламенты, инструкции;
- обеспечение информационным ресурсом: базы данных цифровых двойников, базы данных агрегированных знаний и т.д.

С другой стороны ИУС РТК формализуются объекты и процессы, на которые происходит воздействие.

Неотъемлемой составной частью этой первичной модели является иерархия интеллектуальных агентов (ИА), пронизывающие всю структуру ИУС РТК. При функционировании в реальном масштабе времени ИУС и РТК – интеллектуальные агенты отслеживают возникновения факторов угроз и воздействуют на действия РТК для их защиты.

1. Легалов А.И. О разработке программного обеспечения. Модельный взгляд. URL: <http://www.softcraft.ru/notes/devproc/>. (дата обращения: 07.04.2022 г.)

2. В.И. Грекул, Н.Л. Коровкина, Ю.В. Куприянов «Проектирование информационных систем». Национальный Открытый Университет «ИНТУИТ» 2012. — 187 с., ил. — (Серия «Основы информационных технологий»).

**В.В. Кореньков<sup>1,2</sup>, А.Г. Решетников<sup>2</sup>, С.В. Ульянов<sup>2</sup>,  
П.В. Зрелов<sup>1,2</sup>, Д.П. Зрелова<sup>2</sup>**

**ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЕ РОБОТИЗИРОВАННОЕ  
УПРАВЛЕНИЕ В ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ СИТУАЦИЯХ НА  
ОСНОВЕ КВАНТОВЫХ САМООРГАНИЗУЮЩИХСЯ  
КОНТРОЛЛЕРОВ**

<sup>1</sup>*Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова, Москва;*

<sup>2</sup>*Объединенный институт ядерных исследований, Лаборатория  
информационных технологий имени М.Г. Мецгерякова, Московская область,  
г. Дубна, ulyanovsv46\_46@mail.ru*

**V.V. Korenkov<sup>1,2</sup>, A.G. Reshetnikov<sup>2</sup>, S.V. Ulyanov<sup>2</sup>,  
P.V. Zrelov<sup>1,2</sup>, D.P. Zrelova<sup>2</sup>**

**INTELLIGENT ROBOTIC CONTROL IN HAZARD  
SITUATIONS BASED ON QUANTUM SELF-ORGANIZED  
CONTROLLERS**

<sup>1</sup>*Plekhanov Russian University of Economics, Moscow;* <sup>2</sup>*Joint Institute for Nuclear*

*Research, Meshcheryakov Laboratory of Information  
Technologies, Moscow region, Dubna, ulyanovsv46\_46@mail.ru*

Интеллектуальные задачи робастного управления в опасных / непредсказуемых средах и ситуациях управления рассматриваются в соответствии [1,2]. В задачах управления сохранение свойства надежности работы сложного слабоструктурированного (неопределенного) объекта управления (ОУ) в качестве робота за счет применения интеллектуальной системы управления (ИСУ) и инструментария квантовых интеллектуальных вычислений является необходимым условием для гарантированного достижения цели управления в условиях риска, опасности, непредвиденных обстоятельств или в неоптимальных ситуациях управления.

С алгоритмической точки зрения эффективное решение актуальной задачи обеспечения стабильной работы ОУ в условиях неопределенности и сохранения надежности ИСУ означает, что в применяемом алгоритме достижения цели управления выполняются следующие необходимые и достаточные (в общем случае антагонистические) условия [1,2]: (1) минимум исходной информации о внешней среде (или изменение внешних условий, воздействующих на ОУ); и (2) минимальные потери обобщенного полезного ресурса в ОУ и ИСУ. Поэтому разработка корректного алгоритма проектирования надежности ИСУ является одной из актуальных задач современной теории и систем управления. Эта задача относится к

сложной и слабо изученной области разработки ИСУ, способных эффективно и надежно работать в условиях риска, непредвиденных обстоятельств, непредсказуемых и опасных средах [1-3].

Целью данного доклада является разработка информационной технологии для проектирования надежных баз знаний для квантовых нечетких контроллеров с использованием эффектов квантовой самоорганизации [3-6] в непредсказуемых условиях управления и информационного риска. Продемонстрированы эффективные тесты роботизированного управления автономными роботами и роями роботов с обменом баз знаний в опасных ситуациях.

1. Ulyanov S.V., Litvintseva L.V. Design of self-organized intelligent control systems based on quantum fuzzy inference: Intelligent system of systems engineering approach. IEEE Intern. Conference on Systems, Man and Cybernetics, 2005, Hawaii, USA, 10 – 12 Oct. 2005, vol. 4, pp. 3835-3840.

2. Litvintseva L.V. et al. Quantum fuzzy inference for knowledge base design in robust intelligent controllers. J. of Computer and Systems Sciences International, 2007, vol. 46, no 6, pp. 908-961.

3. Litvintseva L.V., Ulyanov S.V. Intelligent control system. II. Design of Self-organized robust knowledge bases in contingency control situations. J. of Computer and Systems Sciences Intern., 2011, vol. 50, no 2, pp. 250-292.

4. Ulyanov S.V. System and method for control using quantum soft computing. US patent no 6,578,018B1, 2003.

5. Ulyanov S.V. Self-organizing quantum robust control methods and systems for situations with uncertainty and risk. Patent US 8788450 B2, 2014.

6. Кореньков В.В., Ульянов С.В., Шевченко А.А., Шевченко А.В. Интеллектуальная когнитивная робототехника. Часть 1: Технологии квантовых когнитивных вычислений. М.: КУРС, 2022.

*В.Я. Вилисов*

**ОБ УСКОРЕНИИ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ МОДЕЛИ  
РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЗАДАНИЙ В ГРУППЕ АВТОНОМНЫХ  
МОБИЛЬНЫХ РОБОТОВ**

*Академия ГПС МЧС России, Москва, vvib@yandex.ru*

*V.Ya. Vilisov*

**ON THE ACCELERATION OF MACHINE LEARNING OF THE  
MODEL OF DISTRIBUTION OF JOBS IN A GROUP OF  
AUTONOMOUS MOBILE ROBOTS**

*Academy of the State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations  
of Russia, Moscow, vvib@yandex.ru*

При ликвидации пожаров и чрезвычайных ситуаций (ЧС) все чаще возникает потребность в применении мультиагентных робототехнических систем (МРТС) высокой степени автономности [1]. Для эффективной работы таких групп роботов весьма актуальными становятся алгоритмы машинного обучения (МО) МРТС по данным их эксплуатации опытными операторами. В рамках данного направления (включающего комплекс нескольких оптимизационных моделей) важными являются модели и методы распределения заданий в группе роботов [2]. Для задач этого типа автором предложены машинообучаемые модели [3], построенные на основе транспортной задачи (ТЗ). Одним из важных показателей МО моделей является скорость обучения. Именно этому аспекту МО ТЗ посвящено данное исследование. Эффект сокращения времени обучения модели достигается за счет использования методов и подходов оптимального планирования эксперимента, особенностей структуры ТЗ и с учетом ограниченных возможностей лица, принимающего решения, (ЛПР) по обработке потока поступающих данных.

Особенность использования этих моделей для планирования операций в адаптивной (машинообучаемой) форме заключается в том, что параметры целевой функции оптимального распределения заданий априори неизвестны. Поэтому, в рамках предложенного подхода, «боевой» работе МРТС должна предшествовать стадия обучения роботов опытным оператором в условиях полигона или на компьютерном симуляторе.

На модельных примерах рассмотрена МРТС, состоящая из трех типов роботов  $R_j$ ,  $j = \overline{1, n}$  ( $n = 3$ ). Каждый робот должен выпол-

нять задания двух типов  $Z_i$ ,  $i = \overline{1, m}$  ( $m = 2$ ). Моделировалось несколько десятков циклограмм выполнения работ, в каждой из которых количество требуемых роботов того или иного типа (аналог спроса в ТЗ) варьировалось от 1 до 7, количество имеющихся в наличии роботов (аналог предложения в ТЗ) варьировалось в том же диапазоне. Коэффициенты платежной функции (элементы  $c_{ij}$  транспортной таблицы) имитировались с аддитивной нормально распределенной ошибкой ( $N(0; 0,1 \times c_{ij})$ ). Несмотря на ошибку измерения алгоритм продемонстрировал достаточно высокую скорость обучения модели.

Ускоренное обучение ТЗ (получение сведений о предпочтениях ЛПР - операторов роботов) выполняется на основе планирования активного и/или полуактивного эксперимента [3] на ЛПР в предъявляемых ему ситуациях выбора. Формирование выборки предъявляемых ситуаций построено на основе одного из принципов оптимального планирования эксперимента - композиционности последовательности планов. Это позволяет последовательно наращивать первоначальный план, добавляя новые эксперименты в исходный (минимальный) план, при этом свойство оптимальности плана сохраняется с каждым новым экспериментом.

В отличие от традиционных объектов планирования эксперимента, в контексте задач, рассматриваемых в работе, объект экспериментирования (опытный оператор МРТС) и среда (процессы распределения ресурсов МРТС на пожаре или в ЧС) специфичны. Тем не менее, основная концепция планирования эксперимента – сокращение числа наблюдений за счет оптимального варьирования независимых переменных – применима и к рассматриваемой ситуации.

Предложенные алгоритмы обучения модели (ТЗ) на основе композиционных планов эксперимента проиллюстрированы на модельных примерах и показали свою работоспособность и эффективность.

1. Тужиков Е. Н., Перевалов А. С., Рассохин М. А. Перспективы развития и применения робототехники в МЧС России // Техносферная безопасность. Вып. 2(23). 2019. С. 85-91.

2. Рыжова Т.П. Управление коллективом мобильных роботов // Экстремальная робототехника: Труды Международной научно-технической конференции. СПб. 2011. С. 281 – 287.

3. Топольский Н.Г., Вилисов В.Я. Методы, модели и алгоритмы в системах безопасности: машинное обучение, робототехника, страхование, риски, контроль. М.: РИОР. 2021. 475 с.

*А.Д. Московский, М.А. Ровбо, П.С. Сорокумов*  
**ПРЕДСКАЗАНИЕ ОПАСНЫХ СИТУАЦИЙ ПО ДАННЫМ  
СТЕРЕОКАМЕРЫ ПРИ ДВИЖЕНИИ МОБИЛЬНОГО  
РОБОТА ПО СЛОЖНОМУ ЛАНДШАФТУ**

*НИИ «Курчатовский Институт», Москва, moscowskyad@gmail.com*

*A.D. Moscowsky, M.A. Rovbo, P.S. Sorokoumov*  
**DANGEROUS SITUATIONS PREDICTION BY STEREO  
CAMERA DATA FOR MOBILE ROBOT MOTION ON A  
COMPLEX LANDSCAPE**

*National Research Center «Kurchatov Institute», Moscow,  
moscowskyad@gmail.com*

Задача движения мобильных роботов достаточно хорошо изучена для перемещения по ровной поверхности, например, внутри помещений. Обычно на основе сенсоров (лидаров и стереокамер) строится двумерная карта препятствий, по которой простая экстраполяция положения робота позволяет определить, не попадет ли он в опасную зону. Однако работа в уличной среде, изобилующей бордюрами, лестницами и пандусами, или на пересеченной местности связана с избеганием многочисленных опасностей наподобие падения при резком перепаде высот и опрокидывания при движении по склону. Существуют методы, позволяющие роботу двигаться по сложному ландшафту, например построение маршрутов на многограннике, приближающем реальную форму поверхности [1] или оптимизация с применением комбинированной меры проходимости точек на основе наклона, качества грунта, затрат энергии на движение [2] и других параметров. Однако на практике для их работы требуются достаточно полные априорно известные данные, например карта окружающей среды в виде трехмерной модели. Также их применимость зачастую ограничена; например, использование псевдотрехмерного представления окружения в виде карты высот не позволяет учесть сложные структуры, такие как арки, а также особенности динамики робота, позволяющие проезжать некоторые места лишь в определенном направлении.

Для реализации движения мобильного робота по заранее неизвестной среде требуется система, которая способна осуществить анализ траектории с учетом данных с сенсоров. Одним из доступных сенсоров, дающих хорошее представление о структуре окружающей среды, является стереокамера. Т.к. аналитически оценить траекторию робота на предмет опасностей сложно, то предлагается

обучить нейросетевую модель выдавать оценку ситуации по входным данным со стереокамеры и желаемой траектории. Архитектура сети показана на рис. 1 слева.

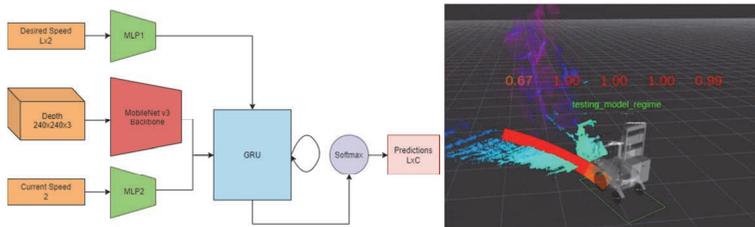


Рисунок 1 — Архитектура нейронной сети оценки опасности движения (слева), работа полученной системы (справа)

На вход сети поступают траектория робота в виде последовательности команд скоростей, предобработанная карта глубины со стереокамеры и текущая скорость робота. Входные данные обрабатываются своими блоками и поступают на вход рекуррентного элемента, проводящего оценку для каждой точки траектории. Указанная сеть выдает оценки ситуации по классам: безопасное движение, столкновение, падение и т.п.

Предложенная система тестировалась для реализации системы движения роботизированной инвалидной коляской, управляемой путём отслеживания взгляда [3]. Сбор данных для обучения проводился как в симуляторе Gazebo, так и на реальном устройстве. Полученная модель показала способность предсказывать опасные ситуации при движении в виртуальном и реальном мире (Рисунок справа); она может использоваться и для других типов роботов с развитой сенсорикой.

1. Putz S. et al. Continuous Shortest Path Vector Field Navigation on 3D Triangular Meshes for Mobile Robots // 2021 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA). IEEE, 2021. P. 2256–2263.

2. Wei M., Isler V. Energy-efficient Path Planning for Ground Robots by and Combining Air and Ground Measurements // 3rd Annual Conference on Robot Learning, CoRL 2019, Osaka, Japan, October 30 - November 1, 2019, Proceedings / ed. Kaelbling L.P., Kragic D., Sugiura K. PMLR, 2019. Vol. 100. P. 766–775.

3. Karpov V.E. et al. Architecture of a Wheelchair Control System for Disabled People: Towards Multifunctional Robotic Solution with Neurobiological Interfaces // Mod. Technol. Med. 2019. Vol. 11, № 1. P. 90–102.

*И.Л. Ермолов<sup>1</sup>, С.П. Хрипунов<sup>2</sup>*

**ВОЗМОЖНОСТИ СИНТЕЗА САМООБУЧАЮЩИХСЯ  
СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ  
КОМПЛЕКСОВ**

*<sup>1</sup>ИПМех РАН, Москва, ermolov@ipmnet.ru; <sup>2</sup>Научный совет по  
робототехнике и мехатронике РАН, Москва, hsp61@yandex.ru*

*I.L. Ermolov<sup>1</sup>, S.P. Khripunov<sup>2</sup>*

**STUDYING SELF-LEARNING CONTROL COMPONENTS  
IN UNMANNED SYSTEMS**

*<sup>1</sup>IPMech RAS, Moscow, ermolov@ipmnet.ru; <sup>2</sup>Scientific council on Robotics and  
Mechatronics of RAS, hsp61@yandex.ru*

Перспективным направлением развития современных робототехнических систем является повышение автономности роботов. Среди различных видов автономности *ситуационная автономность* [2] представляет наиболее значимый вызов для разработчиков.

Гибкое и устойчивое автономное функционирование робототехнических комплексов (РТК) в незнакомых, ранее не встречавшихся ситуациях обеспечивается реализацией процедур адаптации, а в пределе - самоорганизации (самообучения) в системах управления РТК.

Особенно остро потребность в адаптивных системах управления проявляется при автономных действиях в боевой обстановке, где среды являются высокодинамичными, а причинами неопределенностей ситуаций могут быть непредсказуемость поведения противника, несовершенство бортовых информационно-измерительных средств и алгоритмов, сложная помеховая обстановка и др. Ситуация усугубляется групповым применением роботов, при котором человек-оператор (или их группа) в силу ограниченных психофизиологических возможностей не в состоянии координировать работу множества роботов одновременно [3].

В таких условиях РТК может оказаться малоэффективным или даже бесполезным средством борьбы, не способным частично или в полном объеме выполнить поставленную задачу.

Приведенные обстоятельства вызывают настоятельную необходимость создания адаптивных (самообучающихся) систем управления РТК способных формировать рациональные, а в пределе - оптимальные с точки зрения успешного выполнения поставленной боевой задачи управленческие решения в неопределенных боевых ситуациях.

В докладе рассматривается один из возможных подходов к созданию самообучающихся, адаптивных в широком смысле слова систем управления РТК на основе технологий вывода решений по аналогии.

### ***Содержание предлагаемого подхода***

В большинстве своем действия РТК при решении военных задач будут происходить в высоко динамичной среде [1], под воздействием большого числа случайных факторов, свойственных реальной боевой обстановке, что предъявляет повышенные требования к системе управления РТК в части адаптации к изменяющимся, априори слабо предсказуемым условиям и явлениям.

Для самообучения системы управления РТК предлагается использовать метод, основанный на опыте прошлых ситуаций, получивший название логического вывода по аналогии. Вывод по аналогии представляет собой метод принятия решений, в котором используются знания о предыдущих ситуациях. В этом случае при появлении новой проблемы (ранее не встречавшейся, незнакомой ситуации) находится похожий прецедент в качестве аналога. При этом делается попытка использовать готовое решение, при необходимости адаптировав его к текущей ситуации, вместо того, чтобы заново искать решение. По результатам исполнения принятого решения (в случае положительного исхода) оно запоминается для последующего использования.

В целом схему самообучения можно представить в виде цепочки: опытные данные – обобщенные данные – эмпирический закон – теоретический закон (см. рис. 1).



Рисунок 1 — Схема самообучения

При этом организуется поиск сходного с этой ситуацией описания (набора фактов, характеризующих текущую ситуацию) среди хранящихся в памяти системы управления известных, ранее апробированных, эталонных ситуаций. Существо процедур установления соответствия (а в дальнейшем и различия) заключается в выявлении соответствия между наборами фактов, характеризующих текущую ситуацию, и наборами базовых фактов, характеризующих эталонную ситуацию. Наборы фактов представляют собой совокупность аргументов со своими значениями, для каждого из которых определены (эвристически) соответствующие весовые коэффициенты,

влияющие в конечном итоге на результат установления сходства (различия).

При достижении степени сходства, заданного для рассматриваемого класса эталонных ситуаций значения, вырабатывается аналогичная найденному описанию гипотеза поведения (схема или дерево вывода решения). Данная схема вывода реализуется, полученное при этом решение оценивается, и при удовлетворении результата оценивания заданной целевой функции (или критерию) управления, выдаётся в виде рекомендации для исполнения. Одновременно с этим производится модификация знаний, за счет сведений, содержащихся в описании незнакомой ситуации.

Модификация знаний заключается в изменении (перераспределении) значений весовых коэффициентов у аргументов, составляющих основу базовых фактов (например, на величину, пропорциональную частоте использования этих аргументов).

При неоднозначности результата поиска (обнаружения нескольких сходных описаний) первоначально производится выбор наиболее перспективной гипотезы поведения, который выполняется на основе сравнения результатов прогноза реализации всех возможных гипотез. После этого полученная гипотеза обрабатывается в соответствии с приведёнными выше процедурами.

В случае отсутствия возможности установления сходства, устанавливается степень различия между описанием незнакомой ситуации и имеющимися в системе сведениями (знаниями).

При нахождении описаний, степень различия которых с незнакомой ситуацией превышает заданное пороговое значение, соответствующие этим описаниям гипотезы поведения отвергаются как бесперспективные, а схемы вывода, соответствующие оставшимся описаниям, рассматриваются как возможные для исполнения. Последующее функционирование при этом организуется по аналогии с приведенной выше процедурой установления сходства.

Если в процессе анализа незнакомой ситуации отсутствует возможность установления строгого сходства или различия, то организуется установление приблизительного сходства (различия). При этом формируется так называемая приблизительная гипотеза, для которой разность текущего и порогового значения степени сходства (различия) не превышает некоторой заранее заданной величины. В качестве значения этой величины может использоваться, например, величина, пропорциональная разногласиям во взглядах экспертов, которые имели место при обсуждении и выработке стратегии поведения для рассматриваемого класса ситуаций.

При отсутствии возможности выработки приблизительной гипотезы, формируется нейтральная гипотеза поведения, то есть гипотеза, не вызывающая существенного изменения состояния объекта управления и не противоречащая имеющимся знаниям.

Результатом применения указанных процедур является автоматическая коррекция хранящихся в системе управления РТК знаний.

1. Хрипунов С.П. Основы ситуационного моделирования задач принятия решений при боевом применении авиационных прицельно-навигационных систем. Учебное пособие. - М.: ВВИА им. проф. Н.Е. Жуковского, 1995.

2. Ермолов И.Л., Робототехника: автономность роботов. Серия: Итоги науки и техники. Роботы и робототехнические устройства. М.: ВИНТИ, 2017.

3. Ермолов И. Л., Хрипунов С. П. Проблемы группового применения робототехнических комплексов и пути их решения // Экстремальная робототехника. — Т. 1. — Санкт-Петербург, 2018. — С. 279–285.

*Д.А. Анохин<sup>1</sup>, К.И. Кий<sup>2</sup>*

### **АНАЛИЗ НАМЕРЕНИЙ СОСЕДНИХ ВОДИТЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ**

*<sup>1</sup>Российский государственный гуманитарный университет, Москва, anodmitry@gmail.com; <sup>2</sup>Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт прикладной математики им. Келдыша Российской Академии Наук (ИПМ РАН), Москва, konst.i.kiy@gmail.com*

*D.A. Anokhin<sup>1</sup>, K.I. Kiy<sup>2</sup>*

### **COMPUTER VISION-BASED ANALYSIS OF THE BEHAVIOR OF ADJACENT DRIVERS**

*<sup>1</sup>Russian State University for Humanities, Moscow, anodmitry@gmail.com; <sup>2</sup>Keldysh Institute of applied mathematics of RAS, Moscow, konst.i.kiy@gmail.com*

При движении автомобиля в потоке очень важно анализировать намерения соседних водителей, чтобы избежать аварийных ситуаций. Это важно как при автономном движении автомобиля, так и при управлении автомобилем водителем. Система, которая может информировать, например, о начале торможения впереди идущего транспортного средства и выдать информацию о его продолжительности может предупредить утратившего внимание водителя

или систему управления автономного транспортного средства о необходимости действия, требующих мгновенной реакции.

Ввиду того, что лидар является дорогим устройством и дает информацию с некоторым запаздыванием, компьютерное зрение может быстрее дать более быстрое предупреждение на основании выявления момента начала торможения по анализу состояния сигнальных зон впередиидущего транспортного средства (сигнал торможения в сигнальных зонах). Устройство, основанное на компьютерном зрении, может применяться даже в дешевых системах помощи водителю, если компьютерные алгоритмы могут быть реализованы в реальном времени на недорогих устройствах типа мобильных телефонов.

Отслеживание сигнальных зон впередиидущего транспорта позволяет также предупреждать об опасном сближении с ним на основе анализа изменения расстояния между левой и правой частью его сигнальной зоны. Это может быть полезно, даже если просто разность скоростей машин ощутимая, торможение впередиидущего транспортного средства отсутствует (нет включения сигналов), а водитель просто отвлекся. Поэтому такой компьютерный анализ может найти важное применение в советующих системах предупреждения водителя даже в достаточно бюджетных автомобилях.

В настоящем докладе на основе метода геометризованных гистограмм [1] предлагаются алгоритмы для решения указанных выше задач. В работе [2] описаны методы комплексного анализа дорожных сцен в реальном времени на основе работы со сжатым содержательным описанием дорожной сцены в виде графа цветовых сгустков.

В настоящей работе используется анализ последовательностей графов цветовых сгустков для анализа изменения сцены на кадрах видеопоследовательностей, снятых при движении транспортного средства. Каждый граф цветовых сгустков дает описание состояния сигнальных зон впередиидущего транспортного средства. Соответственно, когда меняют яркость и интенсивность части сигнальных зон, это находит свое отражение в соответствующем графе цветовых сгустков. Каждая сигнальная зона описывается набором цветовых сгустков с указанием их размеров и яркостно-цветовых параметров. Появление в составе цветовых сгустков элементов с возросшей полутоновой интенсивностью и насыщением, их локализация и их сохранение на последовательности кадров и длительность этого сохранения позволяют выявить момент начала торможения и его длительность. Также отслеживание сигнальных зон позволяет находить видимые пиксельные расстояния между левой и правой

частями сигнальных зон. В работе рассматриваются результаты, полученные для кадров реальных видеопоследовательностей, снятых на различных дорогах в Российской Федерации.

1. К.И. Кий, Д.А. Анохин, А.В. Подопросветов, Программная система обработки изображений с параллельными вычислениями, // Программирование. 2020. № 6. 38-50.

2. К.И. Кий, Д.А. Анохин, Р.В. Досаев, Комплексный анализ состояния дорожных сцен, //Труды международной научно-технической конференции «Экстремальная робототехника ЭР-2020». 2020. 28-33.

*С.А. Матвеев, М.И. Надежин*  
**СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПОДХОДОВ  
К ДИАГНОСТИКЕ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ  
ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ МЕТОДАМИ  
МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ**

*БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова, Санкт-Петербург,  
mikhailn131@gmail.com*

*S.A. Matveev, M.I. Nadezhin*  
**COMPARATIVE ANALYSIS OF APPROACHES  
TO THE DIAGNOSIS OF THE ACTUATOR ELEMENTS  
OF ELECTROMECHANICAL SYSTEMS BY MACHINE  
LEARNING METHODS**

*Baltic State Technical University «VOENMEH», St. Petersburg,  
mikhailn131@gmail.com*

Исследования являются частью актуальных работ, проводимых в БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д. Ф. Устинова при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации по проектированию и созданию высокоресурсных электронасосных агрегатов для авиационной, транспортной и космической техники.

Эффективным способом увеличения срока службы электромеханических подсистем космических аппаратов является диагностика их технического состояния с последующей корректировкой режимов работы и методов управления.

В настоящее время для решения прикладных инженерных задач, – например, диагностики технического состояния электромеханиче-

ских систем (ЭМС), – с получением эффективного результата используют подходы, основанные на применении методов машинного обучения.

В работе рассмотрено 3 различных подхода, основанных на методах машинного обучения, для диагностики электронасосного агрегата системы терморегулирования космического аппарата: анализ годографа фазных токов сверточной нейронной сетью, анализ временных сигналов фазных токов исполнительного двигателя и вибраций корпуса рекуррентной нейронной сетью, выделение признаков из временных и спектральных сигналов и их анализ нейронной сетью прямого распространения.

Подходы исследовались применительно к данным, полученным в результате исследований лабораторного образца электронасосного агрегата. Получены сравнительные оценки точности и быстродействия предложенных подходов к диагностике исполнительных элементов ЭМС методами машинного обучения. Даны рекомендации по алгоритмическому обеспечению бортовых систем диагностики.

С точки зрения точности диагностики при минимальном количестве задействованной памяти вычислительного устройства для систем диагностики бортового назначения рекомендуется использовать нейронную сеть прямого распространения.

***В.И. Безбородов<sup>1</sup>, С.Е. Симанов<sup>2</sup>, Р.В. Мещеряков<sup>3</sup>***  
**ПОЛИГОН ДЛЯ РАЗВИТИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ  
СИСТЕМЫ ЗАЩИТЫ ОБЪЕКТОВ НЕФТЕГАЗОВОЙ  
ОТРАСЛИ, В ТОМ ЧИСЛЕ С ПРИМЕНЕНИЕМ РТК**

*<sup>1</sup>Оренбургский филиал ФГБУ ВНИИПО МЧС России, Оренбург; <sup>2</sup>ФГБУ ВНИИПО МЧС России, г. Балашиха; <sup>3</sup>ИПУ РАН, Москва  
mrv@ipu.ru, of@vniipo.ru, vniipo@vniipo.ru*

***V.I. Bezborodov<sup>1</sup>, S.E. Simanov<sup>2</sup>, R.V. Meshcheryakov<sup>3</sup>***  
**LANDFILL FOR THE DEVELOPMENT OF AN INTELLIGENT  
SYSTEM FOR THE PROTECTION OF OIL AND GAS  
INDUSTRY FACILITIES, INCLUDING WITH THE USE RTK**

*<sup>1</sup>Orenburg branches FGBU VNIPO of EMERCOM of Russia, Orenburg; <sup>2</sup>FGBU VNIPO of EMERCOM of Russia, Balashikha; <sup>3</sup>ICS RAS, Moscow  
mrv@ipu.ru, of@vniipo.ru, vniipo@vniipo.ru*

Развитие средств автоматизации и роботизации в настоящее время требует совершенствования механизмов апробации, тестирования и

внедрения на ранних этапах производственного процесса. Используемые в настоящее время подходы ориентированы на использовании формализованных стандартизированных методик, ориентированных на ранее разработанные технологии и технику, прошедших апробацию и полигонные испытания, как правило, в конце XX столетия.

Объекты нефтегазовой отрасли относятся одновременно к технически сложным, критически важным и потенциально опасным объектам, оснащаемым многоступенчатой системой автоматизации технологических процессов, интегрированными системами безопасности, в основу которых заложены известные алгоритмы управления, как в автоматическом режиме, так и с участием оператора. К примеру, при выходе любого механизма за рамки нормальной работы (инцидент), оператор технологического процесса или средства управления будет проинформирован. Дальнейшее управление инцидентом реализуется по запрограммированному алгоритму управляемого процесса, который запускается или автоматически, или дистанционно из операторной. При этом вопрос, какие именно процессы должны быть автоматически управляемыми, а какие дистанционно, остается открытым. Это не позволяет в полной мере использовать потенциал развивающихся и уже известных технологий обработки информации.

Учитывая стратегическое развитие России, основанное на развитии новых энергоресурсов (развитие внутреннего рынка сжиженного природного газа), углубленной переработке углеводородов, с целью получения конечного продукта производства, в ближайшие годы ожидается интенсификация производств (строительство новых производственных объектов различной сложности и инфраструктуры). При этом главной задачей в существующих реалиях является создание условий полной независимости в сырье и ресурсах. Важно обеспечить стабильную работу всех предприятий, задействованных в технологических цепочках производства. Это означает, что основными задачами системы предупреждения и реагирования на различные типы инцидентов, является свести к минимуму вероятность их проявления и максимально снизить тяжесть их последствий.

Вопросы нормативно-технического регулирования роботизации и внедрения интеллектуальных систем управления пожарной безопасностью объектов защиты в России, по некоторым направлениям только начинает развиваться, а в большинстве своем отсутствует. На данном этапе развития роботизации и интеллектуализации управления пожарной безопасностью необходимо сфокусироваться над частным производственным циклом, под которым понимается, к примеру, работа конкретного насоса по перекачки нефти, процесс налива

топлива в цистерну или работа каких-либо горелок, предназначенных для нагрева продукта и т.п. В этом случае число событий (процессов) может иметь размерность, которая превышает вычислительные возможности средств обработки информации. Для этого необходимо использование средств интеллектуализации и идеологии киберфизических систем за счет встраивания вычислительной системы в физическую и техническую среды за счет внедрения сенсоров датчиков и контроллеров.

Используя получаемые сигналы, передаваемые датчиками (сенсорами) киберфизические системы, важно научиться понимать процесс не только на уровне пороговых значений, но и на уровне прогнозирования развития процессов. Это является существенным инструментом предотвращения каскадных типов инцидентов и аварий характерных для объектов нефтегазохимической промышленности.

Рассмотрим, как развивается типовая авария на предприятиях: в результате вибрации, коррозии или иного события происходит утечка жидкости, сначала происходит растекание, горение может произойти сразу от к/з или отложенное воспламенением с созданием облака ТВС, которое взрывается. Если рассматриваем утечку газа, также возгорание сразу в результате статического напряжения, либо загазованность и отложенное воспламенение, взрыв облака ТВС. Стандартно загазованность определяется датчиками, которые настроены на сигнализирование при достижении пороговых значений взрывных концентраций.

Обучение интеллектуальных киберфизических систем возможно только на основе многочисленного ряда однотипных событий, формирующих базу знаний для алгоритмов искусственного интеллекта. При этом существенно, что используются не синтетические данные, к которым в настоящее время привлекают все больше внимания, а измеренные натурные данные в реальных условиях. Это возможно реализовать только на специализированных площадках, одной из которых является Испытательный учебно-тренировочный полигон Оренбургского филиала ФГБУ ВНИИПО МЧС России, на котором на регулярной основе проводятся испытания и апробация, как технологий тушения пожара, так и изучение физических основ его развития на объектах нефтегазохимической отрасли. На рисунке 1 показаны типовые испытания и тренировки реализуемые на базе полигона.

Целью предлагаемого подхода является создание «безлюдных технологий» для противопожарной защиты объектов нефтегазохимической промышленности с использованием современных техно-

логий. Предлагаемый подход, например, предполагает, что при разливе камерами видеонаблюдения на базе вычислителей будет определено, что разлилось потенциально опасное вещество и принудительно проинформирует оператора об изменении контролируемой поверхности, который примет меры, или же камера сама даст сигнал исполнительным механизмам в защищаемой зоне.



Рисунок 1 — Испытания на Полигоне ВНИИПО МЧС России

Таким образом, планируется изменение основ ППЗ объектов нефтегазохимической отрасли, с учетом «критических особенностей» объектов защиты и развития технологий интеллектуальных, киберфизических систем. Исследования в данном направлении носят мультидисциплинарный характер, требуют привлечения широкого круга специалистов, и могут иметь практическую значимость в различных отраслях экономики и безопасности страны.

*Д.С. Яговитов*

**ГЕНЕРАТИВНЫЙ ПОДХОД К МОДЕЛИРОВАНИЮ  
ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ РЕШЕНИЯ  
ЗАДАЧИ ПРЕДСКАЗАНИЯ НАГРУЗКИ В СЕТЯХ СВЯЗИ  
ВОЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

*Военная академия связи им. Маршала Советского Союза С.М. Буденного,  
Санкт-Петербург, danila.yagovitev@mail.ru*

*D.S. Yagovitev*

**GENERATIVE APPROACH TO MODELLING ARTIFICIAL  
NEURAL NETWORKS FOR SOLVING THE PROBLEM OF  
LOAD PREDICTION IN MILITARY COMMUNICATION  
NETWORKS**

*Military Academy of communications named after Marshal of the Soviet Union  
S.M. Budyonny, St. Petersburg, danila.yagovitev@mail.ru*

В докладе рассмотрены классы задач, возлагаемых на управление трафиком (инжиниринг трафика, *traffic engineering*) в сетях связи военного назначения, дополнена ранее изученная классификация методических подходов к оптимизации совместного управления трафиком и пропускной способностью программно-конфигурируемой инфокоммуникационной сети военного назначения (ПКИКС ВН) [1] на оперативные и упреждающие.

Приведена модель ПКИКС ВН как совокупности трех взаимодействующих логических плоскостей: плоскости передачи данных (англ. *data plane*), плоскости виртуализации сетевых функций (англ. *Network Functions Virtualization, NFV*) и плоскости управления сетью (англ. *control plane*). В виду наличия ряда фундаментальных ограничений и недостатков оперативных методов [2] предлагается осуществить качественный переход к упреждающим методам решения оптимизационной задачи совместного управления потоками данных и каналным ресурсом в ПКИКС ВН посредством применения математического аппарата искусственных нейронных сетей (ИНС).

Отражены особенности генеративного моделирования искусственных нейронных сетей, изложены его особенности и отличия от дискриминативного. В качестве практической реализации непосредственно генеративной модели приведен пример рекуррентной нейронной сети (РНС), содержащей два рекуррентных слоя с долгой краткосрочной памятью (англ. *Long-Short Term Memory, LSTM*) и интегрированным механизмом внимания. Архитектура указанной

РНС приведена на рисунке 1, а предсказательная точность модели по генерированию нагрузки (отчетов пропускной способности канала связи между двумя узлами) на ПКИКС ВН составила 93,6%.

В качестве генеративно-сопоставительной модели ИНС в докладе приведена совокупность двух РНС, обучающихся попеременно – генератора и дискриминатора – с целью предсказания профиля нагрузки на ПКИКС ВН по трем взаимосвязанным параметрам: пропускной способности, задержкам распространения пакетов и их джиттера.

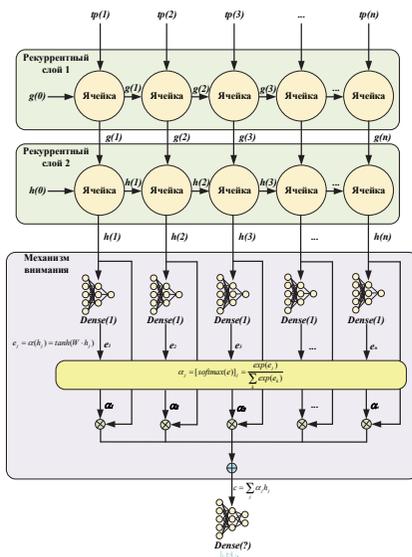


Рисунок 1 — Архитектура РНС типа *LSTM* с механизмом внимания

Сделаны выводы о потенциальности применения генеративного подхода к моделированию РНС с целью решения задачи предсказания нагрузки в сетях связи военного назначения.

1. Долматов Е. А., Трубников Д. О., Яговитов Д. С. Методические подходы к решению задачи проактивного управления функционированием программно-конфигурируемой инфокоммуникационной сети специального назначения // Экстремальная робототехника. – 2021. – Т. 1. – № 1. – С. 216-227. – EDN ARIFJL;

2. Одоевский С.М., Григорчук А.Н., Яговитов Д.С., Ясинский С.А. Обобщенная методика оптимизации совместного управления трафиком и пропускной способностью мультисервисной системы

связи // Информация и космос. – 2021. – № 2. – С. 37-44. – EDN  
NERFZE.

*А.Ю. Алейников, Д.И. Ушаков, С.А. Рачинский, О.Г. Худасова,  
Д.С. Агафонов, И.В. Швалев*

**БЕСПИЛОТНОЕ АВТОНОМНОЕ ЛЕТАТЕЛЬНОЕ  
СРЕДСТВО С ФУНКЦИЕЙ СКАНИРОВАНИЯ ЗАДАННОГО  
ПЕРИМЕТРА НА НАЛИЧИЕ ОБЪЕКТОВ С ТРЕБУЕМЫМИ  
СВОЙСТВАМИ, С СИСТЕМОЙ ВЫСОКОТОЧНОГО  
ГЕОПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ И КОМПОНЕНТАМИ  
ДОПОЛНЕННОЙ РЕАЛЬНОСТИ**

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

*A.Yu. Aleynikov, D.I. Ushakov, S.A. Rachinsky, O.G. Khudasova,  
D.S. Agaphonov, I.V. Shvalev*

**UNMANNED AUTONOMOUS AIRCRAFT WITH FUNCTION  
OF SCANNING OF SPECIFIED PERIMETER FOR PRESENCE  
OF OBJECTS WITH REQUIRED PROPERTIES, WITH HIGH-  
PRECISION GEO-POSITIONING SYSTEM AND AUGMENTED  
REALITY COMPONENTS**

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

В настоящее время наблюдается повышенный интерес к автономным системам, предназначенным для выполнения задач по поиску объектов с заданными свойствами и точной регистрации их местоположения в условиях, когда участие человека в данном процессе является нежелательным.

Для решения поставленной задачи, связанной с выполнением поиска объектов, регистрации их местоположения с последующей визуализацией с использованием AR технологии был создан комплекс аппаратных и программных средств.

В качестве автономного летательного средства был использован квадрокоптер с приводами RS2212, с полетным контроллером на основе микроконтроллера STM32H750, IMU BMX055 и точным лидарным модулем для определения высоты, конструктивно совмещенный с мультислотным металлоискателем. Для изготовления рамных элементов конструкции использовалась FDM 3D печать.

С целью регистрации местоположения использовался мультисистемный (одновременно работает с четырьмя навигационными системами) модуль геопозиционирования F9P от компании ublox, работающий в качестве ровера (Rover), и расположенный непосредственно в квадрокоптере, взаимодействующий с базовой станцией на основе аналогичного модуля, расположенной на земле, и получающий от нее необходимую корректирующую информацию в режиме реального времени через сеть интернет. (соединение ровера и базовой станции к точке доступа осуществлялось через WiFi). Предельно достижимая точность геопозиционирования составила единицы сантиметров.

Сканирование местности осуществлялось в рамках заданного периметра.(по четырем точкам). Координаты целевых обнаруженных зон регистрировались и сохранялись в энергонезависимой памяти 25W128 с QSPI интерфейсом.

Для визуализации объектов с привязкой к местности использовалась система GoogleMaps.

Компоненты дополненной реальности с целью визуализации найденных объектов в заданных координатах поверх изображения местности (на данном этапе в виде простых геометрических фигур) были реализованы с использованием пакета ARKIT (на платформе Apple). Был использован планшет IPAD. Разработка программного обеспечения осуществлялась в IDE Xcode на языке Swift.

Работа была выполнена в студенческом конструкторском бюро проблем робототехники и мехатроники НИУ «БелГУ».

1. ZED F9P. Integration manual. U-blox high precision GNSS module. www.ublox.com. Technical manual.

2. R. Wenderlich. Apple Augmented Reality by Tutorials (Second Edition): Create AR Experiences with ARKit, RealityKit & Reality Composer. Razeware LLC (February 22, 2022), 399p.

3. Усов Василий Александрович, Swift. Основы разработки приложений под iOS, iPadOS и macOS. 6-е изд. дополненное и переработанное. изд. Питер. СПб, 2022 г.

*О.Г. Худасова, Ю.Г. Худасова, А.И. Тымкив,  
М.И. Нудель, А.А. Пахольюк*

## АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА КОНТРОЛЯ И ПОДДЕРЖАНИЯ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ УМНОГО УЛЬЯ

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

*O.G. Hudasova, Yu.G. Hudasova, A.I. Tymkiv,  
M.I. Nudel, A.A. Pakholyuk*

### AUTOMATED SYSTEM FOR MONITORING AND SUPPORTING THE LIFE OF A SMART HIVE

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

В современном мире пчеловодство является одной из важнейших отраслей сельского хозяйства, характеризующая широкими масштабами внедрения промышленных методов производства меда и других продуктов пчеловодства. В последнее время наблюдается повышение спроса на мед как на диетический и лечебный продукт, как биологические активные вещества, используемые в медицине и косметике. Самым важным фактором, способствующим ускорению прогресса в данной отрасли, является возрастающая роль медоносных пчел для перекрестного опыления сельскохозяйственных растений.

На рисунке 1 представлен действующий образец умного улья с возможностью удаленной регистрации исследовательских данных и активации «раздражителей».

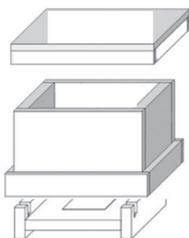


Рисунок 1 — Действующий образец умного улья с возможностью удаленной регистрации исследовательских данных и активации «раздражителей»

Главная проблема пчеловодства - высокая гибель пчелиных семей, это связано с отравлением пчел пестицидами. Токсичными для пчел являются пестициды из группы неоникотиноидов, т.к. ими обрабатываются не только посевы, но и семена сельскохозяйствен-

ных культур, в результате чего нектар и пыльца этих растений становится опасными для пчел. Для решения данной проблемы предлагается аппаратно-программная платформа пчелиного улья, пригодная для выполнения разнообразных исследовательских задач в области функционирования пчелосемьи в течение года, с выдачей данных в общий доступ.

Готовое изделие: материал корпуса улья – экструдированный пенополистирол, дерево, пластик; напряжение питания -12/24 вольта; измеряемые физические величины – влажность, температуры (многозонная), вибрации, звук, магнитные характеристики и др.; интерфейс для связи с пользователем – проводной (LAN) и беспроводной; наличие web сервера, потребляемая мощность (без учета исполнительного устройства моделирования ситуаций и нагревательного элемента) - не более 50 Вт; архитектура системы управления – распределенная; количество измерения температуры – не менее трех; функция измерения веса, функция поддержания температуры посредством нагревательного элемента, функция принудительной вентиляции, функция архивирования данных, функция подачи раздражителя, функция вибрации, функция генерации запаха, протокол обмена данными – собственный.

Технический результат заключается в возможности тиражирования «умного улья», показывающего натурное моделирование возникающих в жизни пчел ситуаций по принципу «здесь и сейчас»; совмещение аппаратно-программной части и «дома для пчел» с учетом их взаимного влияния и соблюдения принципа «не навреди». Данный улей имеет высокую степень полезности, поможет проработать новые методы, пригодные для пчеловодства, обнаружить множество неучтенных внешних факторов, губительных для пчел, способствует популяризации пчеловодства среди молодежи.

1. Г.Н., Котова 500 вопросов и ответов по пчеловодству / Г.Н., Котова, И.Д., Лысов, В.П., Королев. - М.: Прометей, 1992. - 128 с.

2. Дьяков, И.А. «Схемотехника: Учебное пособие.» // Тамбов: Изд-во ТГТУ, — 2001 — С 84 .

***А.И. Калинин***  
**ОБУЧЕНИЕ С ПОДКРЕПЛЕНИЕМ В МОБИЛЬНОЙ  
РОБОТОТЕХНИКЕ**

*ЦИТМ «Экспонента», Москва, alexey.kalinin@exponenta.ru*

*A.I. Kalinin*

## REINFORCEMENT LEARNING FOR MOBILE ROBOTS

*ETMC Exponenta, Moscow, alexey.kalinin@exponenta.ru*

В настоящее время технологии обучения с подкреплением активно применяются во многих сферах от ритейла до атомных транспортных средств. Может быть лучше: основной сложностью этого подхода является отсутствие размеченных данных, и к сожалению, нет формализованного подхода как данные могут быть размечены для этой задачи. Другая сложность — это формализация функции вознаграждения. От удачного ее выбора, зависит конечный успех настройки алгоритма управления. За последние несколько лет был сделан внушительный прорыв в данном направлении[1], что позволило перейти от простых задач к исследованию сложных сред, например таких как окружение робота.

Алгоритмы обучения с подкреплением определяют действия  $a_t$  агента в выбранной среде для максимизации функции награды  $r$ . Среда, таким образом, задаёт функцию перехода между состояниями и функция награды. Поскольку решается задача максимизации функции награды то именно формулировка этой функции определяет задачу, решаемую алгоритмом.

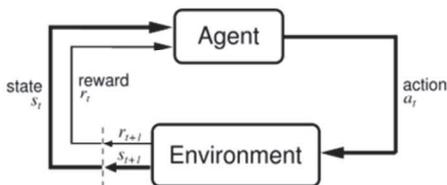


Рисунок 1 — Схема взаимодействия алгоритма со средой

В данной работе было проведен сравнительный анализ и выбор лучших алгоритмов обучения с подкреплением в задачах избегания столкновения и навигации мобильного робота MIT RACECAR, оснащенного лидаром. Среди рассмотренных алгоритмов были DQN[2], A3C[3], DDPG[4] с различными нейросетями в качестве политик агента.

Для симуляции движения робота и работы датчиков был использован симулятор Gazebo[5].

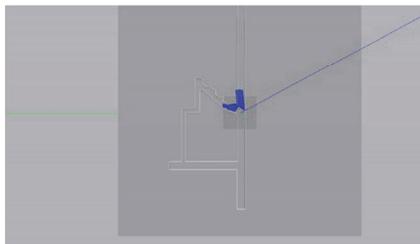


Рисунок 2 — Пример симуляции робота в Gazebo.

1. Mnih V. et al. Playing atari with deep reinforcement learning //arXiv preprint arXiv:1312.5602. – 2013.
2. Mnih V. et al. Human-level control through deep reinforcement learning //nature. – 2015. – Т. 518. – №. 7540. – С. 529-533.
3. <https://arxiv.org/abs/1602.01783>
4. <https://arxiv.org/abs/1509.02971>
5. N. Koenig and A. Howard, «Design and use paradigms for Gazebo, an open-source multi-robot simulator», 2004 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS) (IEEE Cat. No.04CH37566), 2004, pp. 2149-2154 vol.3, doi: 10.1109/IROS.2004.1389727.

***В.В. Варлашин***

**АЛГОРИТМ УСТРАНЕНИЯ ИСКАЖЕНИЙ НА  
ИЗОБРАЖЕНИЯХ, ПОЛУЧЕННЫХ С ВИДЕОКАМЕР СО  
СВЕРХШИРОКОУГОЛЬНЫМИ ОБЪЕКТИВАМИ**

*ФГАОУ ВО СПбПУ Петра Великого, Санкт-Петербург  
botanic-8@yandex.ru*

***V.V. Varlashin***

**AN ALGORITHM FOR CORRECTING DISTORTION IN  
IMAGES OBTAINED WITH FISHEYE LENS CAMERA**

*Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University (SPbPU), St. Petersburg,  
botanic-8@yandex.ru*

Для калибровки камер со сверхширокоугольными объективами используются различные аппроксимационные модели камер [1-4]. Существующие библиотеки компьютерного зрения имеют функции для калибровки камер и устранения искажений в соответствии с

аппроксимационными моделями, однако применимы только для центральной части изображения, в то время как для решения задач стереосопоставления пары ортогонально ориентированных камер с пересекающимися оптическими осями [5] необходимо осуществить преобразование боковой части. В работе [6] описан подобный способ, применимый для идеальных схем проекции. По аналогии с ним разработан собственный алгоритм преобразования изображения в области сильных искажений. Схема преобразования представлена на рисунке 1.

В основе алгоритма лежит принцип нахождения соответствий между пикселями исходного изображения и выходного изображения. Для схемы на рисунке 1 выходное изображение интерпретируется как захваченное с «виртуальной» камеры-обскуры, имеющей углы обзора  $90^\circ$  по вертикали и по горизонтали, и повернутой вокруг оси  $X_c$  на  $45^\circ$ . Для нахождения соответствий выполняются следующие действия:

1. Каждому пикселу «виртуальной» камеры ставится в соответствие точка в системе координат исходной камеры

$$(x_c, y_c, z_c)^T = z_c \left( \frac{u}{f}, \frac{v}{f}, 1 \right)^T,$$

где  $[x_c, y_c, z_c]^T$  – точка в пространстве в системе координат исходной камеры,  $u$  и  $v$  – пиксельные координаты,  $f$  – фокусное расстояние.

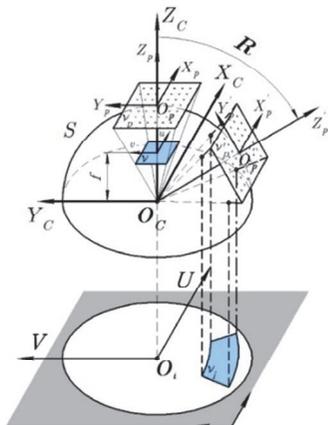


Рисунок 1 — Схема устранения искажений

2. Координаты точек областей  $v_p$  и  $v'_p$  связаны преобразованием поворота  $R$

$$(X_c, Y_c, Z_c)^T = R \cdot [x_c, y_c, z_c]^T,$$

3. Каждой точке области  $v'_p$  с использованием обратной проекции в соответствии с моделью [5] ставится в соответствие точка область  $v_i$  исходного изображения. Модель [5] связывает точки на исходном изображении с точкой в пространстве в системе координат камеры по формуле

$$\begin{pmatrix} X_c \\ Y_c \\ Z_c \end{pmatrix} = \lambda \begin{pmatrix} U \\ V \\ a_0 + a_2\rho^2 + a_3\rho^3 + a_4\rho^4 \end{pmatrix}, \quad (1)$$

где  $a_0...a_4$  – коэффициенты, описывающие радиальные искажения,  $\lambda$  – масштабный коэффициент,  $\rho = \sqrt{U^2 + V^2}$  – расстояние от оптического центра исходного изображения до пикселя с координатами  $U$  и  $V$ .

Для каждой точки  $(u, v)$  выходного изображения решается система уравнений с неизвестными  $(U, V, \lambda)$ . В общем случае ориентация области  $v_p$ , относительно  $v'_p$  связана преобразованием поворота  $R$ , которое может быть задано углами Эйлера. Для каждой камеры стереопары поворот выполняется в зависимости от ориентации оптических осей камер пары. Отметим, что в предложенном алгоритме модель камеры (1) может быть заменена.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-38-90094 «Исследование методов оценки расстояний до объектов окружающей среды с использованием системы кругового обзора мобильных роботов»

1. Kannala, J.. A generic camera model and calibration method for conventional, wide-angle, and fish-eye lenses / J. Kannala, S.S. Brandt // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. 2006. Vol. 28, no. 8. P. 1335–1340.

2. Mei, Christopher. Single view point omnidirectional camera calibration from planar grids / Christopher Mei, Patrick Rives // Proceedings 2007 IEEE International Conference on Robotics and Automation. 2007. P. 3945–3950.

3. Scaramuzza, D.. A flexible technique for accurate omnidirectional camera calibration and structure from motion / D. Scaramuzza, A. Martinelli, R. Siegwart // Fourth IEEE International Conference on Computer Vision Systems (ICVS'06). 2006. P. 45–45.

4. Vladyslav, Usenko. The double sphere camera model / Usenko Vladyslav, Demmel Nikolaus, Cremers Daniel // CoRR. 2018. Vol. abs/1807.08957. arXiv : 1807.08957.

5. Pan, J., Mueller, M., Lahlou, T., Bovik, A.C. Orthogonally-divergent fisheye stereo // International Conference on Advanced Concepts for Intelligent Vision Systems. – Springer, Cham, 2018. – P. 112-124.

6. Clapa, J.; Blasinski, H.; Grabowski, K. & Sekalski, P. (2014), A fisheye distortion correction algorithm optimized for hardware implementations., in 'MIXDES', IEEE, pp. 415-419.

***И.А. Ляпцев, В.В. Варлашин, И.Б. Прямыцын***  
**СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КЛАССА ДЕТАЛИ ПО ЕЕ  
ТРЕХМЕРНОЙ МОДЕЛИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ  
ИСКУССТВЕННОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ**

*ГНЦ РФ ЦНИИ РТК, Санкт-Петербург, v.varlashin@rtc.ru*

***I.A. Lyapcev, V.V. Varlashin, I.B. Pryamitsyn***  
**METHOD FOR IDENTIFICATION OF THE ITEM CLASS BY ITS  
THREE-DIMENSIONAL MODEL USING AN ARTIFICIAL  
NEURAL NETWORK**

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

Оформление конструкторских документов в соответствии с требованиями [1] устанавливает структуру обозначения изделия и основного конструкторского документа вида XXXX.YYYYYY.ZZZ, где XXXX – код организации разработчика, YYYYYY – код классификационной характеристики, ZZZ – порядковый регистрационный номер. В настоящий момент существующие САПР имеют встроенные возможности для автоматизации назначения кодов организации разработчика и порядковых регистрационных номеров, тогда как код классификационной характеристики назначается конструктором в соответствии с ОК 012-93 «Классификатор ЕСКД» с использованием документа «Иллюстрированный определитель деталей». Код классификационной характеристики имеет вид AA B C D E, где AA – класс, B – подкласс, C – группа, D – подгруппа, E – вид.

Автоматизация процесса назначения кода классификационной характеристики является актуальной задачей и требует применения современных методов для ее решения. Существующие системы классификации [2] представляют собой экспертные системы для присвоения кода проектируемой детали. Альтернативой экспертным системам

может выступать интеллектуальная система классификации, основанная на применении искусственных нейронных сетей (ИНС).

Одним из наиболее стабильных и объективных признаков при описании детали является ее геометрическая форма, характеризующая деталь независимо от ее функции и принадлежности к другим изделиям. При этом признаками, выделяемыми в процессе назначения кода, являются конструктивные характеристики отдельных элементов детали и их взаимное расположение, что конкретизирует геометрическую форму. Использование данных признаков требует анализа трехмерной модели изделия.

Современные форматы описания трехмерных моделей можно разделить на две группы: универсальные, которые используются во всех САПР (STL, STEP), и собственные форматы, которые используются только в определенных САПР (SLDPRT, 3DS). Для обеспечения кроссплатформенности разрабатываемого ПО предлагается использование универсальных форматов с последующим их преобразованием в воксельное представление.

Воксел представляет собой прямой аналог пиксела растровых изображений в трехмерном пространстве, а значит и подходы, используемые в ИНС, работающих с двумерными изображениями, могут быть расширены на трехмерное пространство.

Известны работы [2, 3], в которых подобный подход применяется для классификации объектов окружающей среды на основе их воксельного представления. В работе [4] представлено сравнение точности классификации различных вариантов нейронных сетей. Для реализации ПО выбрана архитектура 3DDescriptorNet [4] как наилучшая по точности классификации.

Для обучения ИНС подготовлен набор данных, состоящий из 280 уникальных деталей, представленных моделями в формате .vox, при этом каждая модель описывается по следующим правилам:

- размер воксельного представления – 128x128x128 элементов;
- масштаб воксельного представления рассчитывается исходя из того, что наибольший размер детали по одной из координат масштабируется до размера 128 вокселей.

Это позволяет использовать данные одинаковой размерности как для обучения, так и для последующей классификации элементов. Увеличение обучающей выборки в 16 раз относительно набора данных осуществляется за счет поворотов каждой детали вокруг ортогональных осей на углы, равные 90°. Обучающая выборка размечена на классы с 71 по 75 в соответствии с ЕСКД. В результате тестов получены следующие значения точности работы ИНС (таблица 1).

Таблица 1 — Результаты оценки точности работы ИНС

| Класс | Точность, %       |                  |
|-------|-------------------|------------------|
|       | Обучающая выборка | Тестовая выборка |
| 71    | 89,7              | 57,0             |
| 72    | 87,1              | 56,3             |
| 73    | 94,6              | 56,6             |
| 74    | 82,9              | 58,0             |
| 75    | 89,8              | 57,3             |

Низкая точность классификации связана с большим количеством сложных моделей, принадлежащих разным классам, внешне мало отличающихся друг от друга. Пример моделей для классов 71 и 72, на которых ИНС выдала ошибочный результат, показан на рисунке 1. Ошибка связана с наличием резьбового соединения в модели 72 класса, утерянной в результате преобразования в воксельное представление.

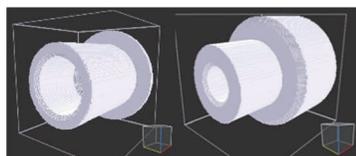


Рисунок 1 — Сложный случай для 71 (слева) и 72 (справа) классов

Несмотря на наличие сложных деталей, в каждом классе существуют модели, однозначно классифицируемые ИНС, например, пружины 75 класса (рисунок 2).

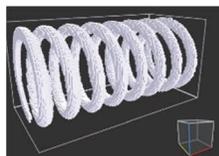


Рисунок 2 — Однозначно классифицируемая модель 75 класса

Дальнейшая работа по повышению точности распознавания требует увеличения как обучающей выборки, так и размера воксельного представления деталей.

1. ГОСТ 2.201-80 «Единая система конструкторской документации (ЕСКД). Обозначение изделий и конструкторских документов».

2. Официальный сайт ООО «АСКОН - Системы проектирования» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://kompas.ru/kompas-3d/application/machinery/classifier-eskd/> (дата обращения: 20.04.2022).

3. Wang C., Cheng M., Sohel F., Bennamoun M., Li J. NormalNet: NormalNet: A voxel-based CNN for 3D object classification and retrieval // Neurocomputing. – 2019. – Т. 323. – С. 139-147.

4. Maturana D., Scherer S. Voxnet: A 3d convolutional neural network for real-time object recognition // 2015 IEEE/RSJ international conference on intelligent robots and systems (IROS). – IEEE, 2015. – С. 922-928.

5. Xie J. et al. Learning descriptor networks for 3d shape synthesis and analysis // Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition. – 2018. – С. 8629-8638.

*М.Г. Фиков, В.В. Варлашин*

## **ПРЕДОТВРАЩЕНИЕ СТОЛКНОВЕНИЙ МАНИПУЛЯТОРОВ С ПОМОЩЬЮ ОГРАНИЧИВАЮЩИХ РАМОК В СРЕДЕ UNITY**

*ГНЦ РФ ЦНИИ ПТК, Санкт-Петербург, mixail.fikov@gmail.com*

*M.G. Fikov, V.V. Varlashin*

## **MAIPULATORS COLLISION AVOIDANCE USING BOUNDING BOXES IN UNITY**

*Russian State Scientific Center for Robotics and Technical Cybernetics,  
St. Petersburg, mixail.fikov@gmail.com*

Предотвращение столкновений для безопасного выполнения действий группой манипуляторов в процессе их работы в режиме автоматического и телевизионного управления является одним из актуальных направлений робототехники. Выделяют две группы задач обнаружения и предотвращения столкновений звеньев группы манипуляторов:

1. задачи, связанные с взаимодействием манипуляторов с внешними объектами среды;

2. задачи, связанные с взаимодействием как манипуляторов друг с другом, так и звеньев одного из манипуляторов между собой.

Рассматривается вторая задача на примере управления движением двух манипуляторов.

На текущий момент нет единого подхода к прогнозированию и определению столкновений работающих манипуляторов. Одним из путей решения задачи является использование симуляторов, предназначенных для моделирования физических законов реального мира с той или иной степенью аппроксимации. В общем случае симуляторы можно разделить на два типа:

1. работающие в режиме реального времени с низкой физической точностью;
2. работающие с высокой точностью, при этом скорость вычислений в таких симуляторах не играет роли.

Для решения задачи предотвращения столкновений манипуляторов выбрана кроссплатформенная интегрированная среда разработки (англ. IDE) Unity со встроенным физическим движком (англ. physics engine) Nvidia PhysX. Для детектирования столкновения объекты представляются в виде комбинаций геометрических примитивов. В зависимости от их форм используются разные подходы [1, 2]. Наиболее распространённым методом представления является OBB (англ. Oriented Bounding Box) [3].

Виртуальная сцена симулятора включает в себя модели двух манипуляторов UR5e ф. Universal Robots. Каждое звено манипулятора включает в себя как графический примитив в виде ориентированной ограничивающей рамки, так и детализированную 3D-CAD модель. Реализованное программное обеспечение включает в себя модуль для получения информации о пространственном положении звеньев пары реальных манипуляторов.

На рисунке 1 представлена визуализация процесса столкновения пары звеньев двух манипуляторов. Обнаружение столкновения осуществляется отдельной подпрограммой на этапе пересечения ориентированных ограничивающих рамок (рисунок 1 в центре), при этом пользователь получает уведомление о предотвращении столкновения, а подпрограмма отправляет сигнал манипуляторам для прекращения движения. Пользователь имеет возможность оперировать размерами ограничивающих рамок для настройки контура управления в зависимости от скоростей движения манипуляторов.

Реализованный подход позволяет использовать подсистему детектирования столкновений в системе управления группой манипуляторов, имеющих различную кинематику, а также дает возможность дополнить рабочую зону другими объектами среды.

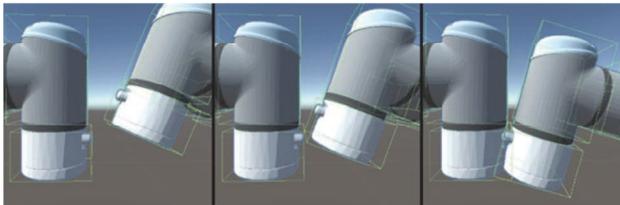


Рисунок 1 — Визуализация процесса столкновения звеньев пары манипуляторов в Unity. Слева направо: нет пересечения, пересечение ограничивающих рамок, столкновение манипуляторов

Результаты получены в рамках выполнения государственного задания Минобрнауки России FNRG-2022-0012 1021051302301-9-2.2.2 № 075-01623-22-03 «Разработка коллаборативного робота с ассистирующей двурукой антропоморфной манипуляционной системой для работы в пространствах малого объема».

1. Fares C., Hamam Y. Collision detection for rigid bodies: A state of the art review // GraphiCon 2005. – 2005.
2. Zhang Z. et al. Fpga-Based high-Performance collision Detection: an enabling Technique for image-guided robotic surgery //Frontiers in Robotics and AI. – 2016. – Т. 3. – С. 51.
3. D. Eberly. Dynamic Collision Detection using Oriented Bounding Boxes // Geometric Tools, Inc – 2008. – P.40.

***В.В. Варлашин, О.А. Шмаков***

## **ПОДХОДЫ К ОРГАНИЗАЦИИ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ АКТИВНОГО ПРОМЫШЛЕННОГО ЭКСОСКЕЛЕТА**

*ГНЦ РФ ЦНИИ РТК, Санкт-Петербург, v.varlashin@rtc.ru*

***V.V. Varlashin, O.A. Shmakov***

## **APPROACHES TO THE ORGANIZATION OF CONTROL SYSTEM FOR ACTIVE INDUSTRIAL EXOSKELETON**

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

Применение активных экзоскелетов на производстве для разгрузки как верхних, так и нижних конечностей тела работника требует применения современных подходов с точки зрения систем управления. Анализ литературы [1, 2] позволяет сделать вывод о

необходимости применения иерархической структуры системы управления с тремя уровнями (рисунок 1):

1. стратегическим уровнем (англ. high-level), определяющим режим работы устройством в целом. Выделяют следующие подходы: ручной ввод команд управления, использование информации, поступающей с нейрокомпьютерных интерфейсов, распознавание действий датчиками, закрепленными на теле оператора или применяемыми в составе экзоскелета, а также методы на основе анализа окружающей среды системами технического зрения. Обычно в составе экзоскелета применяются несколько подходов с возможностью переключения между ними;

2. тактическим уровнем (англ. mid-level), на котором реализуется два подуровня:

– подуровень детектирование действий оператора и синхронизации системы с оператором в соответствии с режимом работы, определенном на стратегическом уровне. Для решения задачи применяются методы машинного обучения, в том числе с применением нейронных сетей, метод опорных векторов, нечеткая логика, конечные автоматы;

– подуровень действия экзоскелета, на котором формируется управляющее воздействие для оперативного уровня. Этот подуровень характеризуется наибольшим разнообразием применяемых методов и моделей: формирование траекторий движения для позиционного управления приводами, необходимых моментов для удержания элементов экзоскелета в нужном положении (например, в режиме импедансного управления или усиления мышечной активности путем преобразования ЭМГ в моменты на приводах). К этому подуровню также относятся методы управления, обеспечивающие сохранение равновесия в процессе ходьбы.

3. оперативным уровнем (англ. low-level), реализующим движения приводных систем в режиме позиционного/скоростного управления или в режиме силомоментного управления, при этом реализуются такие варианты контуров управления как управления силой/моментом с использованием обратных связей и без них, циклические режимы управления силой/моментом (в установившемся режиме, например, в процессе ходьбы).

Формирование итогового контура управления осуществляется путем комбинирования методов, реализуемых на каждом из уровней управления в зависимости от задач, решаемых промышленным экзоскелетом.

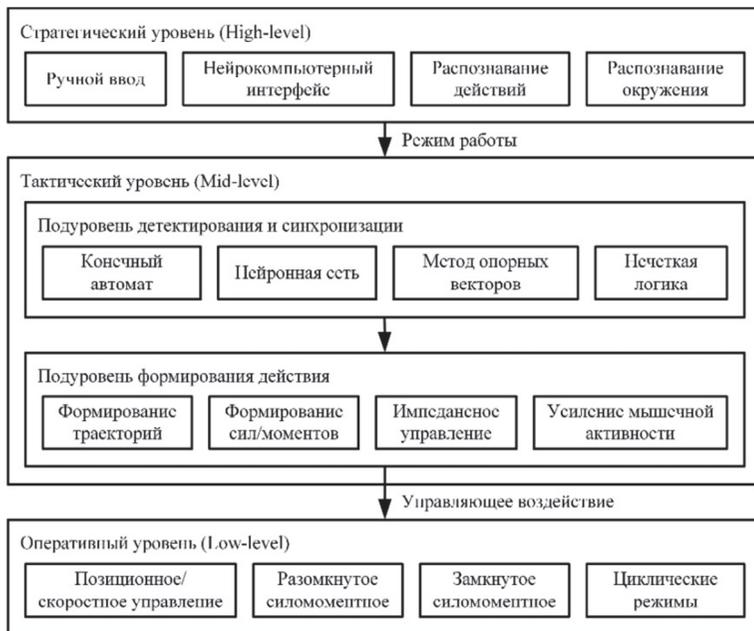


Рисунок 1 — Блок-схема иерархической структуры системы управления

Результаты получены в рамках выполнения государственного задания Минобрнауки России FNRG-2022-0020 1021101316102-1-2.2.2 № 075-01623-22-03 «Промышленный экзоскелетный комплекс с активными приводами и пассивными элементами разгрузки для повышения функциональных возможностей оператора при работе с тяжелым инструментом».

1. Baud R. et al. Review of control strategies for lower-limb exoskeletons to assist gait // Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation. – 2021. – Т. 18. – №. 1. – С. 1-34.

2. Gull M. A., Bai S., Bak T. A review on design of upper limb exoskeletons // Robotics. – 2020. – Т. 9. – №. 1. – С. 16.

*А.И. Жаринов<sup>1,2</sup>, Д.П. Курганов<sup>1</sup>, И.А. Потанов<sup>1</sup>, М.А. Хоружко<sup>1</sup>,  
В.Б. Казанцев<sup>1,3</sup>, С.А. Лобов<sup>1,2</sup>*

## НЕЙРОМОРФНЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ РОБОТА-РЫБЫ НА ОСНОВЕ ЦЕНТРАЛЬНЫХ ГЕНЕРАТОРОВ РИТМА

<sup>1</sup>ННГУ им. Лобачевского, Нижний Новгород; <sup>2</sup>БФУ им. И. Канта,  
Калининград; <sup>3</sup>ГНЦ РФ ЦНИИ РТК, Санкт-Петербург  
zharinov@neuro.nnov.ru, dmi21v@gmail.com, kazantsev@neuro.nnov.ru,  
losa99@yandex.ru

*A.I. Zharinov<sup>1,2</sup>, D.P. Kurganov<sup>1</sup>, I.A. Potapov<sup>1</sup>, M.A. Khoruzhko<sup>1</sup>,  
V.B. Kazantsev<sup>1,3</sup>, S.A. Lobov<sup>1,2</sup>*

## NEUROMORPHOUS CONTROL SYSTEMS OF A ROBOT-FISH BASED ON CENTRAL RHYTHM GENERATORS

<sup>1</sup>National Research Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod, Nizhny  
Novgorod; <sup>2</sup>Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad; <sup>3</sup>Russian state  
scientific center for robotics and technical cybernetics, St. Petersburg  
zharinov@neuro.nnov.ru, dmi21v@gmail.com,  
kazantsev@neuro.nnov.ru, losa99@yandex.ru

Позвоночные животные способны к выполнению различных типов ритмической двигательной активности. Локомоторные паттерны создаются циклической скоординированной работой мышц скелетной мускулатуры. За организацию такой системы в живых организмах отвечают сети взаимосвязанных популяций нейронов, способных к формированию ритмической активности – центральные генераторы ритма (ЦГР). Экспериментально установлено, что ЦГР является ключевым механизмом, вызывающим адаптивную и разностороннюю локомоцию у животных. Использование в качестве контроллера для робототехнических устройств системы, построенной по биологическим принципам, позволит избежать многих проблем, которые присутствуют в стандартных управляющих контурах. В частности, становится возможным не только правдоподобное моделирование и изучение особенностей локомоций животных, но и реализация плавных переключений между различными типами активности в зависимости от условий внешней среды, т.е. создание автономных адаптирующихся систем.

Работа проводилась в программе-нейросимуляторе NeuroNet, позволяющей моделировать спайковые (импульсные) нейронные сети. Связи между нейронами проявляют свойства кратковременной и долговременной синаптической пластичности, которая моделируется с помощью экспериментально обнаруженной STDP-пластичности

(англ. Spike-Timing-Dependent Plasticity – пластичность, зависящая от соотношения времени спайков).

NeuroNet позволяет использовать модельную нейронную сеть для управления виртуальными и реальными роботами различных типов. Нами были реализованы виртуальные роботы двух видов: модель рыбы-тунца (туниформный тип плавания) и рыбы-щуки (карангиформный тип). Структура обоих роботов состоит из сегментов, связанных между собой подвижными узлами. Робот-тунец содержал 1 узел в хвостовой части, робот-щука – 8 узлов.

Моделируемый ЦГР робота-тунца состоял из двух полуцентров, каждый из которых включал возбуждающий и тормозный спайковый нейрон. В модели была реализована специализированная топология связей и способ взаимного торможения полуцентров. Была предложена схема сопряжения активности нейронной сети с движением корпуса робота-рыбы, при котором шарнир поворачивается на угол, пропорциональный уровню выходного синаптического сигнала (нейромедиатора) соответствующего мотонейрона. Работоспособность системы продемонстрирована наглядно с использованием виртуального робота-тунца.

Отдельной частью работы стало исследование возможности самоорганизации ЦГР на основе формирования замкнутых нейронных контуров в сети с адаптивными связями. Моделирование активности в модульных нейронных сетях с однонаправленными связями выявило усиление межмодульных связей, приводящее к циркулирующей динамике. В случае с двунаправленными связями, соединяющими модули, сеть демонстрировала разнообразные динамические паттерны нейронной активности. Использование самоорганизующейся ЦГР в контуре управления виртуальным роботом-щукой показало постепенное формирование локомоторного паттерна по мере структурно-функциональной перестройки («обучения») нейронной сети.

На следующих этапах планируется исследовать возможность контроля процессов самоорганизации ЦГР в модульных сетях с двунаправленными пластичными связями за счет стимуляции отдельных модулей сенсорным сигналом, зависящим от взаимного расположения сегментов корпуса робота-рыбы.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского Научного Фонда (проект 21-12-00246), Российского Фонда Фундаментальных Исследований (проект 20-01-00368) и Гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки ведущих научных школ (грант НШ-2256.2022.1.2.).

**КРУГЛЫЙ СТОЛ «РОБОТИЗАЦИЯ АТОМНОЙ ОТРАСЛИ»**

---

***В.В. Тинин***

**РОБОТОТЕХНИКА, ПРИМЕНЯЕМАЯ НА МОДУЛЕ  
ФАБРИКАЦИИ И РЕФАБРИКАЦИИ ПЛОТНОГО  
СМЕШАННОГО УРАН-ПЛУТОНИЕВОГО ТОПЛИВА  
ОПЫТНО-ДЕМОНСТРАЦИОННОГО ЭНЕРГОКОМПЛЕКСА  
АО «СХК». ВЫВОД ИЗ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЯРОО  
КАК ДРАЙВЕР РЫНКА РОБОТОТЕХНИКИ В РОССИИ  
И В МИРЕ**

*АО «Сибирский химический комбинат», г. Северск, Томская область,  
shk@atomsib.ru*

***V.V. Tinin***

**ROBOTICS APPLIED IN THE MODULE FOR FABRICATION  
AND REFABRICATION OF DENSE MIXED URANIUM-  
PLUTONIUM FUEL OF THE PILOT DEMONSTRATION  
ENERGY COMPLEX OF «SCP» JSC. DECOMMISSIONING  
OF NUCLEAR AND RADIATION HAZARDOUS FACILITIES AS  
A DRIVER OF RUSSIA'S AND WORLD ROBOTICS MARKETS**

*«Siberian Chemical Plant» Joint Stock Company, Seversk, shk@atomsib.ru*

Модуль фабрикации и пусковой комплекс рефабрикации плотного смешанного уран-плутониевого топлива (МФР) – объект пристанционного ядерного топливного цикла опытно-демонстрационного энергокомплекса с реакторной установкой БРЕСТ-ОД-300, создаваемый на промплощадке АО «СХК».

Цель создания МФР – фабрикация стартовой загрузки, первых перегрузок активной зоны и рефабрикация топлива для последующих перегрузок активной зоны реакторной установки БРЕСТ-ОД-300.

На МФР нашли свое применение следующие роботы и роботизированные комплексы:

1. Робот-манипулятор KUKA KR 60-3 HA. Данный робот-манипулятор заменяет ручные операции при производстве тепловыделяющих сборок (ТВС).

2. Робот-манипулятор KUKA KR 180 R2900 в составе роботизированного технологического комплекса. Предназначен для выполнения операций с низкоактивными твердыми радиоактивными отходами (ТРО), тем самым обеспечивая снижение воздействия ионизирующего излучения на персонал, исключая ручные операции.

3. Манипулятор Walischmiller A100 NEL. Предназначен для проведения дистанционных операций с ТРО в боксе сортировки низкоактивных отходов. Основная цель – уменьшение воздействия ионизирующего излучения на персонал.

4. Система автоматизированного перемещения контейнеров с РАО. Применение в технологическом процессе – осуществление транспортно-технологических операций с невозвратными защитными контейнерами (НЗК).

2. Тележки передаточные. Применяются в составе комплекса автоматизированной транспортной системы МФР для перемещения транспортных упаковочных комплектов, контейнеров с ЯМ и РАО, а также оборудования, комплектующих для сборки твэлов и ТВС.

Общий тренд вовлечения специализированных РТК в мире также наблюдается и в процессе вывода из эксплуатации (ВЭ) ядерно и радиационно опасных объектов (ЯРОО) с последующим снижением доли занятых в данных операциях людей.

Крупнейшие мировые игроки в области back-end ведут активную работу по созданию цифровых робототехнических решений по ВЭ ЯРОО для повышения безопасности, эффективности реализации проектов и снижения совокупных затрат. Основными конкурентами Госкорпорации «Росатом» на международном рынке ВЭ объектов использования атомной энергии (ОИАЭ) являются: Orano (Франция), EnergySolutions (США), АЕСОМ (США), Studsvik (Швеция), CN2MHILL (США).

По данным АО «ТВЭЛ» из указанных компаний только Orano (Франция) имеет собственные разработки по робототехническим комплексам (РТК) в части выполнения работ по демонтажу и дезактивации. Остальные конкуренты на рынке ВЭ ОИАЭ преимущественно используют дистанционно-управляемые машины.

В марте 2020 года на основе маркетинговых исследований действующих и перспективных контрактов по ВЭ ОИАЭ за рубежом, а также потребности в РТК по ВЭ ОИАЭ Госкорпорации «Росатом» была сформирована линейка РТК, актуальность которой для международного рынка подтверждена Nukem Technologies GmbH. Для разработки и производства сформированной линейки РТК был инициирован комплексный научно-технический проект полного инновационного цикла (КНТП РТК), исполнителями которого были определены Госкорпорация «Росатом» и Министерство образования и науки РФ при участии АО «ТВЭЛ» и ЦНИИ РТК.

В рамках КНТП РТК планируется создать конкурентоспособные на мировом рынке робототехнические технологии и технологиче-

ские решения для осуществления всех стадий ВЭ ОИАЭ на базе робототехнических комплексов: комплексного инженерного и радиационного обследования, демонтажа и фрагментации радиационно-загрязненного оборудования, дезактивации фрагментов, компактизации и транспортировки радиоактивных отходов.

Запланированные результаты КНТП РТК соответствуют целям и основным задачам научно-технологического развития РФ, выполнение которых необходимо для устойчивого, динамичного и сбалансированного развития России на долгосрочный период.

*И.Ю. Даляев<sup>1</sup>, В.М. Копылов<sup>1</sup>, А.А. Трутс<sup>1</sup>, Ю.П. Зайков<sup>2</sup>,  
В.А. Кобров<sup>2</sup>, А.С. Холкина<sup>2</sup>*

### **РОБОТИЗАЦИЯ ПИРОХИМИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ ОЯТ**

*<sup>1</sup>ГНЦ РФ ЦНИИ РТК, Санкт-Петербург, igor@rtc.ru; <sup>2</sup>Институт  
высокотемпературной электрохимии УрО РАН, г. Екатеринбург*

*I.Yu. Dallyaev<sup>1</sup>, V.M. Kopylov<sup>1</sup>, A.A. Truts<sup>1</sup>, Yu.P. Zaikov<sup>2</sup>,  
V.F. Kobrov<sup>2</sup>, A.S. Kholkina<sup>2</sup>*

### **PYROCHEMICAL TECHNOLOGY OF SPENT FUEL PROCESSING ROBOTIZATION**

*<sup>1</sup>The Russian State Scientific Center for Robotics and Technical Cybernetic,  
St. Petersburg, igor@rtc.ru; <sup>2</sup>Institute of High Temperature Electrochemistry, Ural  
Branch of RAS, Yekaterinburg*

Развитие ядерной энергетики невозможно без развития и внедрения современных технологий. Создание основ крупномасштабной ядерной энергетики при замыкании ядерного топливного цикла (ЯТЦ) на базе реакторов на быстрых нейтронах занимается проектное направление (ПН) «Прорыв», одним из направлений которого является пирохимическая технология переработки отработанного ядерного топлива (ОЯТ). Пирохимическая технология позволяет обеспечить короткие времена внешнего топливного цикла, а значит приступить к переработке ОЯТ без длительного периода выдержки [1].

При реализации чисто пирохимической технологии переработки ОЯТ после операции электролитического рафинирования катодный осадок подвергают потенциостатическому электролизу с растворимым анодом для полного разделения делящихся материалов и минорных актинидов. Полученный катодный продукт подвергается

очистке от электролита и направляется на рефабрикацию. При этом одна из основных особенностей пирохимической технологии – работа непосредственно с ОЯТ короткой выдержки и, как следствие – при сверхкритических уровнях ионизирующего излучения, что накладывает определённые ограничения на подходы к использованию средств механизации или роботизации. Второй особенностью является работа в специальной атмосфере инертных камер.

Технологический процесс пирохимического передела подразумевает передачу материала из одного аппарата в другой, а также обслуживание (включая замену блоков) самих аппаратов.

С целью реализации возможности технологического обслуживания аппаратов, предлагается использование специализированного внутрикамерного манипулятора с вынесенными приводами, чтобы обеспечить высокую радиационную стойкость принимаемых технических решений. Сервисная зона такого манипулятора имеет цилиндрическую форму и должна перекрывать практически весь объем инертной камеры. Основными задачами манипулятора будет обслуживание аппаратов в части передачи материала между ними, а также работа с шлюзовой системой для передачи контейнеров с материалом между камерами.

С целью роботизации пирохимической технологии, наряду с созданием макетов аппаратов и отработки самой технологии пирохимической переработки ОЯТ в ИВТЭ УрО РАН, в 2021 году в ЦНИИ РТК был разработан внутрикамерный манипулятор. Основными задачами на 2022-2023 года является изготовление манипулятора и отработка его системы управления для последующей интеграции в инертные камеры для проведения экспериментальной отработки с макетами аппаратов.

1. Белая книга ядерной энергетики. Замкнутый ЯТЦ с быстрыми реакторами / под общ. ред. Проф. Е.О. Адамова. – М.: Изд-во АО «НИКИЭТ», 2020. – 502 с.

**В.А. Кожемякин<sup>1</sup>, С.В. Прибылев<sup>1</sup>, С.В. Литвинов<sup>2</sup>**  
**АППАРАТУРА РАДИАЦИОННОГО КОНТРОЛЯ ДЛЯ**  
**ДИСТАНЦИОННО УПРАВЛЯЕМОГО БЕСПИЛОТНОГО**  
**ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА «ЭЛЕКТРОН-7»**

<sup>1</sup>Научно-производственное унитарное предприятие «АТОМТЕХ»,  
Республика Беларусь, г. Минск; <sup>2</sup>ООО «ЮВР», холдинг UGC, Республика  
Беларусь, г. Минск, Belarus  
niupfp@bsu.by, info@atomtex.com, ls@uvr.aero

**V.A. Kozhemyakin<sup>1</sup>, S.V. Pribylev<sup>1</sup>, S.V. Litvinov<sup>2</sup>**  
**RADIATION MONITORING EQUIPMENT FOR REMOTELY**  
**CONTROLLED UNMANNED AERIAL VEHICLE ELECTRON-7**

<sup>1</sup>ATOMTEX Scientific and Production enterprise Minsk, Republic of Belarus;  
<sup>2</sup>UVR LLC, UGC Holding, Minsk, Republic of Belarus  
niupfp@bsu.by, info@atomtex.com, ls@uvr.aero

Беспилотные летательные аппараты широко используются для решения различных задач мониторинга окружающей среды, включая контроль в зонах влияния радиационно-опасных объектов.

Предприятием «АТОМТЕХ» разработан ряд интеллектуальных блоков детектирования гамма-излучения, которые могут быть использованы для обнаружения источников ионизирующего излучения, измерения мощности дозы гамма-излучения на высоте полета с последующим приведением полученных данных к уровню 1 м от поверхности объекта, идентификации радионуклидного состава, а также оценки плотности загрязнения радионуклидом Cs-137 [1-3].

В настоящее время предприятием «АТОМТЕХ» совместно с компанией «ЮВР» проводятся работы по интеграции блоков детектирования БДКГ-11М и БДКГ-04 с бортовым оборудованием беспилотного летательного аппарата «Электрон-7» разработки и производства компании «ЮВР» (см. рис. 1).

С центрального бортового вычислителя БПЛА «Электрон-7» на аппаратуру радиационного контроля поступают значения высоты полета, температуры и давления на высоте полета, времени и координат. Измеренные на высоте ведения разведки значения мощности дозы и ее значения, пересчитанные аппаратурой на уровень 1 м от поверхности земли, вместе с данными о времени и координатах точек измерения возвращаются в центральный бортовой вычислитель для записи в бортовое запоминающее устройство и возможной передачи на наземный пункт управления. Работа аппаратуры полностью автоматизирована и автономна.

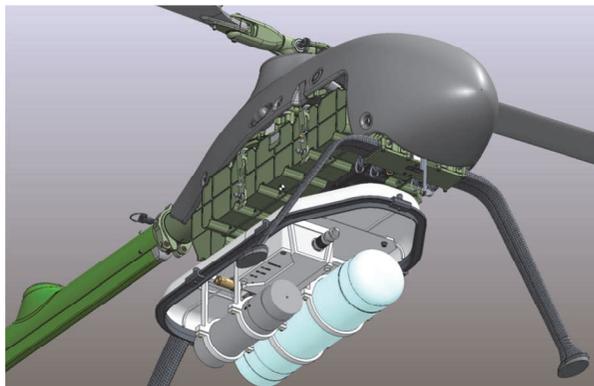


Рисунок 1 — Размещение аппаратуры радиационного мониторинга в грузовом контейнере БПЛА «Электрон-7»

В докладе приведены цели и задачи дистанционного радиационного контроля местности, основные технические характеристики используемых интеллектуальных блоков детектирования гамма-излучения, особенности использования их в составе с беспилотным летательным аппаратом, сфера применения разрабатываемого изделия.

1. Кожемякин, В.А. Блоки детектирования гамма-излучения для использования в составе дистанционно управляемых беспилотных средств радиационного мониторинга / В.А. Кожемякин // Международная научно-техническая конференция «Экстремальная робототехника», г. Санкт-Петербург, 2–3 ноября 2017 г.: сб. тезисов / Авторская ред. – Санкт-Петербург, 2017. – С. 206–207.

2. Кожемякин, В.А. Аппаратура радиационного контроля для дистанционно управляемых беспилотных летательных аппаратов и оценка достоверности результатов аэрогамма-съемки / В. А. Кожемякин //30-я Международная научно-техническая конференция «Экстремальная робототехника», г. Санкт-Петербург, 13–15 июня 2019 г.: сб. тезисов / ЦНИИ робототехники и технической кибернетики. – Санкт-Петербург, 2019. – С. 363.

3. Kozhemyakin, V. A. Modern aero-gamma survey facilities and validation of received data / V.A. Kozhemyakin // LXIX International conference «Nucleus-2019» on nuclear spectroscopy and nuclear structure «Fundamental Problems of Nuclear at Borders of Nucleon Stability, High Technologies», Dubna, 1–5 Jul. 2019: Book of Abstracts / Ed. by V. V. Samarin and M. A. Naumenko. – Dubna: JINR, 2019. – P. 321.

*А.Н. Новик<sup>1,2</sup>, В.А. Кожемякин<sup>1</sup>, Е.В. Быстров<sup>1</sup>,  
П.В. Кучинский<sup>2</sup>, Г.И. Хилько<sup>2</sup>*

**СОВМЕЩЕННАЯ АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА  
РАДИАЦИОННО-МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО  
И ПОЖАРНОГО МОНИТОРИНГА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ**

*<sup>1</sup> Научно-производственное унитарное предприятие «АТОМТЕХ», г. Минск, Республика Беларусь; <sup>2</sup> Научно-исследовательское учреждение «Институт прикладных физических проблем имени А. Н. Севченко» Белорусского государственного университета, г. Минск, Республика Беларусь  
info@atomtex.com, niipfp@bsu.by*

*A.N. Novik<sup>1,2</sup>, V.A. Kozhemyakin<sup>1</sup>, E.V. Bystrov<sup>1</sup>,  
P.V. Kuchinsky<sup>2</sup>, G.I. Khilko<sup>2</sup>*

**COMBINATION AUTOMATED SYSTEM FOR RADIATION,  
METEOROLOGICAL AND FIRE MONITORING  
OF ENVIRONMENT**

*<sup>1</sup> ATOMTEX Scientific and Production enterprise Minsk, Republic of Belarus;  
<sup>2</sup> A.N. Sevchenko Institute of Applied Physical Problems, Minsk, Republic  
of Belarus  
info@atomtex.com, niipfp@bsu.by*

Для автоматизации процесса мониторинга радиационной, метео и пожарной обстановки разработана и запущена в опытную эксплуатацию автоматизированная система радиационно-метеорологического, видео и пожарного контроля с автономным питанием на территории Полесского государственного радиационно-экологического заповедника (далее ПГРЭЗ), созданного для контроля радиоактивного загрязнения в результате аварии на Чернобыльской АЭС.

Назначение системы - надежный, достоверный, непрерывный автоматизированный контроль радиационной и пожарной обстановки для раннего обнаружения и оперативного принятия решения при возникновении чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера.

В состав системы (см. рис. 1) входит 31 пункт радиационного, метеорологического и видео контроля (далее ПРМВК). Оборудование каждого из ПРМВК включает блок видеоканала, блок радиационного мониторинга и управления работой оборудования ПРМВК, блок питания на основе фотоэлектрических электростанций.

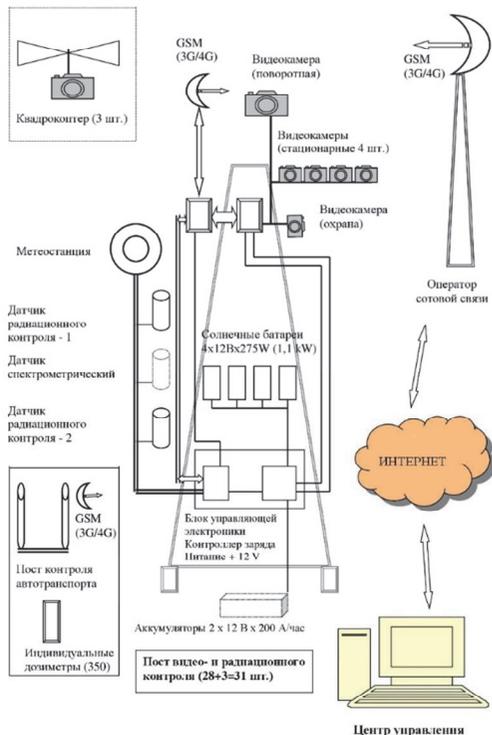


Рисунок 1 — Общая структура системы

На каждом ПРМВК блок видеоканала состоит из поворотной и стационарных видеокамер, охранной видеокамеры, маршрутизаторов и GSM-модема. Блок радиационного мониторинга и управления работой оборудования состоит из модуля управляющей электроники, дозиметрического блока детектирования БДКГ-224, блока детектирования спектрометрического БДКГ-211М и метеостанции. Блок питания на основе фотоэлектрических электростанций состоит из солнечных поликристаллических модулей 275W, контроллера солнечного заряда 40A и двух аккумуляторных батарей 12V 200 A\*h.

Антенна GSM-модема на ПРМВК установлена на верху вышки на высоте 30-35 м.

Центр реагирования (ЦР) собирает информацию со всех ПРМВК по сети Интернет. Оборудование ЦР обеспечивает запрос, прием, накопление, обработку и отображение информации.

Целью доклада является описание структуры и особенностей реализации аппаратно-программных средств совмещенной автоматизированной системы радиационно-метеорологического и пожарного мониторинга окружающей среды.

Развертывание системы позволило автоматизировать радиационный и пожарный мониторинг на территории ПГРЭЗ.

*И.Э. Новиков*

**УСОВЕРШЕНСТВОВАННЫЙ МЕТОД ОБНАРУЖЕНИЯ  
ЛОКАЛЬНЫХ ИСТОЧНИКОВ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ  
ПРИМЕНИМЫЙ ДЛЯ ПРЕДЕЛЬНЫХ ВЫСОТ  
СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ АВИАЦИОННОГО  
РАДИАЦИОННОГО КОНТРОЛЯ ПОВЕРХНОСТИ ЗЕМЛИ**

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

*I.E. Novikov*

**AN ADVANCED METHOD FOR DETECTING LOCAL GAMMA  
RADIATION SOURCES APPLICABLE FOR LIMITING  
HEIGHTS OF SPECTROMETRIC MEASUREMENTS  
OF 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 применяемых методов АРК [1,2,3]. После распада СССР и особенно после 2001 г. в связи необходимостью преодоления потенциальной угрозы ядерного терроризма появилась потребность в обеспечении эффективного обнаружения локальных источников (ЛИ) гамма-излучения средствами АРК для всего диапазона высот спектрометрических измерений, включая предельные, (обычно до 250 м.), что требует оптимизации использования всей полезной спектрометрической информации, полученной в процессе поиска ЛИ.

Задача обнаружения ЛИ малой мощности сводится к проверке статистической гипотезы о наличии в серии измерений полезного сигнала известной формы против альтернативной гипотезы о про-

явлении статистической флуктуации от естественного радиационного фона [2,3]. В настоящее время в известной литературе не достаточно освещен вопрос об оптимизации процесса обнаружения ЛИ малой мощности. В ЦНИИ РТК существует определенный задел для решения таких вопросов, но для обычных (не дистанционных измерений). Для измерений АРК в целом, и особенно для предельных высот спектрометрических измерений помимо быстрого ослабления уровня полезного сигнала от ЛИ с увеличением расстояния характерно наличие существенного вклада от рассеянного в воздушной среде излучения [1], который быстро возрастает с увеличением высоты и становится абсолютно доминирующим для предельных высот спектрометрических измерений. Корректный учет рассеянного в воздушной среде гамма-излучения, как правило требует применения специальных методов физического или математического моделирования повышенной сложности [1].

Специалистами ЦНИИ РТК разработан усовершенствованный метод дистанционного обнаружения локальных источников гамма-излучения, использующий временные и энергетические спектральные отличия полезного сигнала от фона на базе оптимального (или реализуемого субоптимального) решающего правила для пуассоновского потока случайных событий и полного математического моделирования полезного сигнала. Также реализован способ оценки предельных обнаружительных характеристик аппаратуры АРК на базе статистического моделирования информационных процессов для тестирования и оптимизации выбранного метода обнаружения ЛИ.

Результаты работы использованы в аппаратно-программных комплексах и приборах АРК и наземного дистанционного радиационного контроля ЦНИИ РТК.

1. Новиков, И.Э. Специальные методы, алгоритмическое и программное обеспечение математического моделирования процессов переноса и регистрации гамма-излучения для авиационного радиационного контроля поверхности Земли / И.Э. Новиков // Труды 32-й Международной научно-технической конференции «ЭКСТРЕМАЛЬНАЯ РОБОТОТЕХНИКА» 2-4 июня 2021 года, Санкт-Петербург – 352 с. – С. 46-56.

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. 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.

***П.В. Семенихин, В.Е. Соловьев, И.Э. Новиков, М.В. Ремизов***  
**ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ПОВЫШЕНИЯ СТОЙКОСТИ  
К НЕЙТРОННОМУ ИЗЛУЧЕНИЮ ГАММА-  
СПЕКТРОМЕТРОВ ВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ НА  
ОСНОВЕ КРИСТАЛЛОВ ОЧГ**

*ГНЦ РФ ЦНИИ РТК, Санкт-Петербург p.semenihin@rtc.ru,  
v.solovyev@rtc.ru, Novikov@rtc.ru, m.remizov@rtc.ru*

***P.V. Semenikhin, V.E. Solovyev, I.E. Novikov, M.V. Remizov***  
**INVESTIGATION OF METHODS FOR INCREASING  
NEUTRON RADIATION RESISTANCE TO OF HIGH-  
RESOLUTION GAMMA-RAY SPECTROMETERS BASED ON  
HPG CRYSTALS**

*Russian State Scientific Center for Robotics and Technical Cybernetics,  
St. Petersburg, p.semenihin@rtc.ru, v.solovyev@rtc.ru, Novikov@rtc.ru,  
m.remizov@rtc.ru*

Применение полупроводниковых детекторов при разработке перспективных образцов высокоточной спектрометрической аппаратуры нового поколения особенно актуально благодаря их высокому энергетическому разрешению, обеспечивающему возможность анализа сложных спектров излучения, в том числе при ликвидации последствий радиационных аварий, контроле ядерно-технических установок и оценке радиоактивного загрязнения космической техники.

Отличительной чертой полупроводниковых детекторов является быстрая деградация регистрирующего кристалла германия под действием нейтронного излучения, присутствующего при работе с ядерными материалами.

На поиск путей повышения стойкости полупроводниковых детекторов на основе особо чистого германия (ОЧГ) к нейтронному излучению и было направлено представленное исследование.

В ходе исследования методов повышения стойкости к нейтронному излучению гамма-спектрометров высокого разрешения на основе кристаллов из ОЧГ были рассмотрены следующие вопросы:

- оценка стойкости к нейтронному излучению собственно материала ОЧГ детектора;
- оценка степени влияния спектра и интенсивности потока нейтронного излучения на деградацию детекторов из ОЧГ;
- подбор фильтров и экранов для нейтронного излучения;
- оценка влияния активационных особенностей, применяемых защитных и конструкционных материалов, на фоновые характеристики гамма-спектрометра;
- определение методов восстановления германиевых детекторов после воздействия нейтронного излучения.

На основе информационно-аналитического поиска было установлено, что быстрые нейтроны (от 0,1 до 15 МэВ) при взаимодействии с веществом детектора приводят к образованию структурных радиационных дефектов, в основном, в результате упругого взаимодействия с ядрами атомов вещества. Данные дефекты разделяют на две группы, первичных и вторичных структурных дефектов в материалах при облучении быстрыми нейтронами [1].

В целях оценки эффективности экранов нейтронного излучения, с целью их дальнейшего применения в качестве защиты спектрометрической аппаратуры, были проведены расчетные исследования методами математического моделирования Монте-Карло.

Анализ существующих методических приемов по восстановлению требуемых характеристик германиевых детекторов после воздействия нейтронного излучения [2] показал возможность применения отжига для восстановления кристалла от структурных дефектов.

Решение задач, направленных на повышение стойкости к нейтронному излучению детекторов на основе ОЧГ, позволит сформировать научно-технический задел по созданию перспективных образцов высокоточной спектрометрической аппаратуры, соответствующей приоритетному направлению «Энергоэффективность, энергосбережение, ядерная энергетика» реализуемой Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации.

Результаты получены в рамках выполнения государственного задания Минобрнауки России FNRG-2022-0018 1021063012570-0-1.3.4 № 075-01623-22-00 «Исследование методов повышения стойкости к нейтронному излучению гамма-спектрометров высокого разрешения на основе кристаллов из особо чистого германия».

1. Кулаков В. М. Действие проникающей радиации на изделия электронной техники/ В.М. Кулаков, Е.А. Ладыгин, В.И. Шаховцов и др.; под ред. Е.А. Ладыгина. – М.: Сов. радио, 1980.–224 с.

2. Вопросы радиационной технологии полупроводников [Текст] / В. В. Болотов [и др.]; ред. Л. С. Смирнов; Институт физики полупроводников СО АН СССР. - Новосибирск : Наука, 1980. - 294 с. : ил. - Библиогр. в конце глав.

*А.А. Волошкин, Л.А. Рыбак, Д.И. Малышев, В.В. Черкасов*  
**РОБОТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА НА БАЗЕ ДЕЛЬТА  
МАНИПУЛЯТОРА ДЛЯ АЛИКВОТИРОВАНИЯ  
В ЗАКРЫТЫХ КАМЕРАХ И БОКСАХ**

*Белгородский государственный технологический университет  
им. В.Г. Шухова, Белгород, voloshkin.artem.a@gmail.com*

*A.A. Voloshkin, L.A. Rybak, D.I. Malyshev, V.V. Cherkasov*  
**ROBOTIC SYSTEM BASED ON A DELTA MANIPULATOR  
FOR ALIQUATION IN CLOSED CHAMBERS AND BOXES**

*Belgorod State Technological University V.G. Shukhov, Belgorod,  
voloshkin.artem.a@gmail.com*

В настоящее время потребность в создании роботизированных средств помощи людям в средах неблагоприятных для здоровья неуклонно растет, однако существуют среды, в которых затруднительна работа и манипулятора. Один из способов работы манипулятора в неблагоприятной среде — это вынести движители за пределы защищенного бокса.

Конструкция робота Delta хорошо известна и рассмотрена в ряде работ [1-5].

Представлен обзор устройств для аликвотирования жидкости, а также описаны направления развития автоматизации этого процесса.

Delta-робот представляет собой параллельный манипулятор, состоящий из платформы и трех опор, каждая из которых является последовательной кинематической цепью типа P(SS)2 (рис. 1). Предложена схема delta-робота с вынесенными движителями ползунов и выходного звена за пределы бокса. Это позволяет защитить двигатели от негативного воздействия радиоактивной среды и обеспечить более длительную работу манипулятора.

Для оснащения выходного звена delta-робота, было разработано дозирующее устройство, которое позволяет роботизированной системе производить аликвотирование (разделение на доли целого объема) в закрытом боксе. В отличие от известных аналогов, предложенное дозирующее устройство позволяет осуществлять забор жидкости и смены наконечников используя один приводной вал. Это было достигнуто за счет использования кулачкового зубчатого колеса, которое в определенный момент вращения осуществляет поступательное движение вместо дополнительного привода. Это техническое решение позволяет вынести движитель дозирующей головки за пределы бокса.

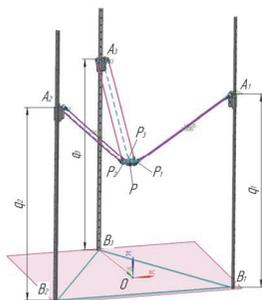


Рисунок 1 — Архитектура дельта-робота с призматическими шарнирами

С использованием САПР системы NX создана динамическая модель delta манипулятора, включающая дозирующее устройство. Результаты симуляции позволили определить требуемый момент на приводных валах движителей для компенсации инерции манипулятора при движении.

По результатам симуляции динамики движения манипулятора определены пределы скорости и ускорения выходного звена в зависимости от мощности приводов. Сделаны вывод, что предложенный манипулятор с установленным дозирующим устройством и вынесенными за пределы бокса движителями, позволит выполнять аликвотирование жидкости со сменой наконечников в неблагоприятной среде, что является весомым преимуществом относительно роботов последовательной структуры, движители которых находятся в боксе и подвергаются воздействию негативной среды.

Работа выполнена при поддержке государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации по гранту FZWN-2020-0017.

1. Clavel, R.: Delta, a fast robot with parallel geometry. In: Proceedings of the 18th International Symposium on Industrial Robots, 1988. P. 91–100.
2. Zhao, Y.: Singularity, isotropy, and velocity transmission evaluation of a three translational degrees-of-freedom parallel robot. *Robotica* 31(2), P. 193–202 (2013).
3. Biagiotti, L. Melchiorri, C.: *Trajectory Planning for Automatic Machines and Robots*. Springer, Heidelberg (2010)
4. López, M., Castillo, E., García, G., Bashir, A.: Delta robot: inverse, direct, and intermediate Jacobians. *Proc. Inst. Mech. Eng. Part C J. Mech. Eng. Sci.* 220(1), 103–109 (2006)
5. Zhao, Y.: Singularity, isotropy, and velocity transmission evaluation of a three translational degrees-of-freedom parallel robot. *Robotica* 31(2), 193–202 (2013)

*А.Н. Бирюков, С.А. Вольнов, А.В. Жмакин,  
А.А. Подосинников, Н.М. Сидоров*

#### **ТЕХНОЛОГИЯ ДЕМОНТАЖА РЕАКТОРОВ РБМК-1000**

*АО «НИКИЭТ», Москва, volnov@nikiet.ru*

*A.N. Birukov, S.A. Volnov, A.V. Zhmakin,  
A.A. Podosinnikov, N.M. Sidorov*

#### **DISMANTLING TECHNOLOGY FOR RBMK-1000 REACTORS**

*JSC «NIKIET», Moscow, volnov@nikiet.ru*

В развитие работ, выполненных на промышленных уран-графитовых реакторах и реакторах АМБ, а также с учётом опыта, полученного за период эксплуатации АЭС с РБМК-1000 (выполнение работ по управлению ресурсными характеристиками элементов активной зоны), разработка технических решений по демонтажу технологических каналов, металлоконструкций и загрязнённых крупногабаритных элементов контура многократной принудительной циркуляции ведётся с широким применением дистанционно-управляемых робототехнических комплексов (РТК) [1].

Подобный подход зарекомендовал себя в ранее выполненных работах по управлению ресурсными характеристиками графитовой кладки как позволяющий существенно снизить дозовую нагрузку на персонал АЭС и отвечающий современным требованиям безопасности.

В разрабатываемой технологии демонтажа графитовой кладки и металлоконструкций РБМК в пределах шахты реактора РТК является основной единицей широкого спектра оборудования, обеспечивающие минимизацию дозовых нагрузок на персонал и нераспространение радиоактивного загрязнения. Концептуальный проект реализации технологии представлен на рис. 1.

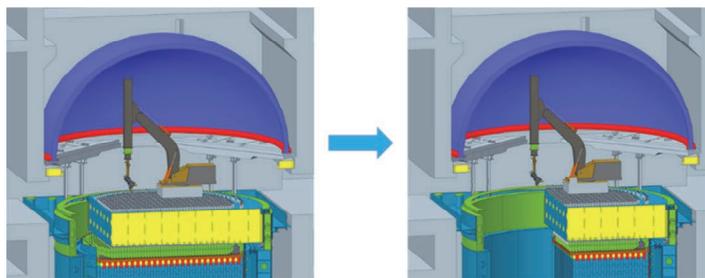


Рисунок 1 — Пример реализации технологии дистанционного демонтажа основного реакторного оборудования РБМК-1000

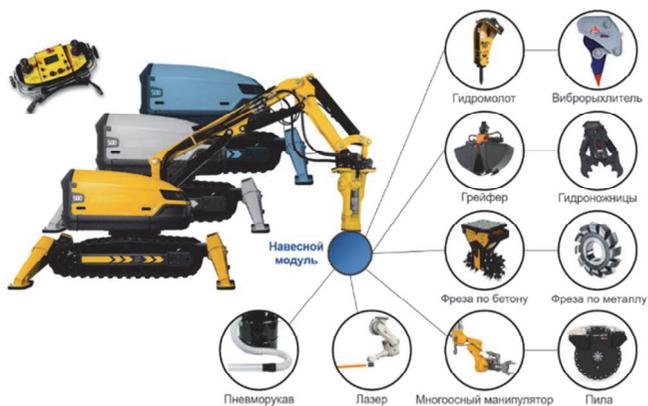


Рисунок 2 — Концепция РТК с перечнем сменного оборудования, предполагаемого к использованию в рамках проведения работ по демонтажу

Концепция технологии дистанционного демонтажа основного реакторного оборудования подразумевает разработку мобильного манипулятора с дистанционным управлением, размещаемого в пространстве шахты реактора, и сменного навесного оборудования для разных видов работ (см. рис. 2).

Создание указанной технологии позволит выработать комплексный подход и реализовать технологию, позволяющую выполнять дистанционные операции с крупногабаритными элементами реакторного оборудования и конструкций с высокой степенью активации или загрязнения радиоактивными веществами.

Применение технологии в дальнейшем планируется распространить на все выводимые из эксплуатации энергоблоки с РУ РБМК-1000. Возможно использовать существующий потенциал применения технологических решений и при ВЭ АЭС с реакторами ВВЭР в части обращения с высокоактивированными внутрикорпусными устройствами.

1. Слободчиков А.В., Андреева Л.А., Ермошин Ф.Е., Бирюков А.Н. Разработка проекта ВЭ энергоблоков РБМК-1000 // Журнал «РЭА». – М., 2021. - №6. - С. 46-49.

*И.Ф. Гуцин<sup>1</sup>, В.В. Приходько<sup>1</sup>, В.В. Сапунов<sup>1</sup>, Е.М. Чавкин<sup>1</sup>,  
К.И. Ильин<sup>2</sup>, В.В. Левщанов<sup>1</sup>, А.Н. Лещинский<sup>1</sup>, Д.О. Мусич<sup>1</sup>,  
А.Н. Фомин<sup>1</sup>, П.П. Хвостенко<sup>3</sup>*

**РАЗРАБОТКА ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ  
РОБОТОТЕХНИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА  
ДЛЯ ОБСЛУЖИВАНИЯ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ ТОКАМАКОВ**

*<sup>1</sup>Научно-исследовательский технологический институт им. С.П. Капицы  
Ульяновского государственного университета, г. Ульяновск; <sup>2</sup>АО «ГНЦ РФ  
Троицкий институт инновационных и термоядерных исследований»,  
г. Троицк; <sup>3</sup>НИЦ «Курчатовский институт», Москва  
vp@ulsu.tech, liner@trinit.ru, khvostenko\_pp@nrcki.ru*

*I.F. Gushchin<sup>1</sup>, V.V. Prikhodko<sup>1</sup>, V.V. Sapunov<sup>1</sup>, E.M. Chavkin<sup>1</sup>,  
K.I. Ilyin<sup>2</sup>, V.V. Levschanov<sup>1</sup>, A.N. Leschinskiy<sup>1</sup>, D.O. Musich<sup>1</sup>,  
A.N. Fomin<sup>1</sup>, P.P. Khvostenko<sup>3</sup>*

**DEVELOPMENT OF THE SIMULATION MODEL  
OF A ROBOTIC COMPLEX FOR THE MAINTENANCE  
OF DOMESTIC TOKAMAKS**

*<sup>1</sup>S.P. Kapitsa Research Institute of Technology of Ulyanovsk State University,  
Ulyanovsk; <sup>2</sup>TRINITI JSC, Troitsk; <sup>3</sup>NRC «Kurchatov Institute», Moscow,  
vp@ulsu.tech, liner@trinit.ru, khvostenko\_pp@nrcki.ru*

Токамаки представляют из себя большие исследовательские установки, предназначенные для обеспечения управляемого термо-

ядерного синтеза. Обслуживание современных токамаков обязательно предусматривает применение робототехнических комплексов, которые облегчают выполнение таких задач как внутрикамерная инспекция, диагностика и ремонт, замена пластин blankets и модулей дивертора, управление исследовательским оборудованием и др. Целесообразность применения робототехнических средств с возможностью дистанционного управления обусловлена также такими факторами как высокая температура плазмы в камере, токсичная атмосфера и остаточная радиация, которые создают риск для здоровья персонала, обслуживающего токамак.

Наиболее масштабным и передовым примером роботизации больших исследовательских установок является проект создания Международного экспериментального термоядерного реактора ITER. В настоящее время на завершающем этапе находятся работы по созданию комплекса дистанционного обслуживания реактора, который включает 7 роботизированных систем: система обслуживания blankets, система обслуживания дивертора, система внутрикамерной инспекции, многоцелевой доставщик, система транспортных контейнеров, робот для настройки и калибровки оборудования.

Многие инженерно-технические решения, заложенные в ITER, были протестированы ранее на других европейских токамаках, в первую очередь, JET и Tora Supra (в настоящее время WEST).

В конструкциях роботов для токамаков используются различные подходы. Наиболее распространенной компоновкой является конструкция многозвенного манипулятора, которая в различных модификациях встречается в системе внутрикамерной телеинспекции [1-3], двуруких роботах MASCOT (токамак JET) [4] и MPD (ITER) [5,6], универсальном роботе SMOR (токамак CFETR) [7] и пр.

Наряду с разработкой и исследованием инженерно-конструкторских решений, в литературе внимание уделяется программному обеспечению для управления упомянутыми робототехническими комплексами. Одним из интересных направлений является использование технологий виртуальной реальности для целей удаленного визуального контроля и управления манипулятором [8-10].

В России также ведутся работы по модернизации существующей инфраструктуры токамаков. В настоящее время завершается модернизация токамака T-15MD в НИЦ «Курчатовский институт», запущен проект по модернизации термоядерной установки «Токамак с сильным полем» (ТСП) на базе АО «ГНЦ РФ ТРИНИТИ». К сожалению, в отличие от таких токамаков как JET и ITER, при проектировании отечественных токамаков изначально не предусматрива-

лась возможность роботизации, что ограничивает спектр решений, которые могут быть применены в ходе модернизации.

В настоящей работе на основе анализа преимуществ и ограничений существующих решений предложена конструкция робототехнического комплекса, способного выполнять ряд задач по обслуживанию таких токамаков как Т-15МД и ТСП. К возможным функциям робототехнического комплекса можно отнести следующие:

- телеинспекция и диагностика состояния внутренней поверхности камеры;
- удаление пыли и иных отложений (литий, углерод, пр.) на внутренней поверхности камеры;
- проверка герметичности водяного контура и локализация утечек;
- детритизация стенок камеры при помощи лазерной абляции;
- иные виды работ по обслуживанию камеры токамака, требующих умеренной грузоподъемности.

Разработаны эскизный проект робототехнического комплекса, его имитационная модель, и выполнены кинематические, динамические и прочностные расчеты. РТК включает в свой состав следующие аппаратные элементы:

- манипуляционная система, в том числе: манипулятор, насадка система технического зрения, система очистки, соединительные кабели, основание;
- шкаф управления и электропитания;
- пульт системы управления (компьютер с управляющим программным обеспечением).

В основе конструкции робота лежит многозвенный роботизированный манипулятор с избыточным количеством степеней свободы. Такая избыточность, с одной стороны, предъявляет более строгие требования к системе управления, но, с другой стороны, повышает гибкость, которая необходима для ввода манипулятора в камеру через узкий экваториальный патрубок и осуществление операций телеинспекции и механической очистки внутренней поверхности камеры в ручном и супервизорном режимах.

Управление роботом возможно как в автоматическом, так и в ручном режимах с использованием различных устройств управления, в том числе – на основе технологий виртуальной реальности. Для демонстрации возможностей последнего варианта разработан человеко-машинный интерфейс.

1. Neri et al. The laser in vessel viewing system (IVVS) for ITER:

present status and new developments of the control processing and data visualization systems // 10th ICALEPCS Int. Conf. on Accelerator & Large Expt. Physics Control Systems. Geneva, 10 - 14 Oct 2005, PO1.004-1 (2005).

2. Cordier, J.J., Gargiulo, L., Grisolia, C., Samaille, F., Friconneau, J.P., Perrot, Y., & Palmer, J.D. (2003). Articulated inspection arm for ITER, a demonstration in the Tore Supra tokamak. 20 IEEE/NPSS symposium on fusion engineering (SOFE2003), France.

3. Keller, Delphine & Perrot, Yann & Gargiulo, Laurent & Friconneau, J-P & Bruno, Vincent & Le, Ricardo & Soler, Bea & Itchah, M. & Ponsort, D. & Chambaud, P. & Bonnemason, J. & Lamy, Suroor & Measson, Yvan. (2008). Demonstration of an ITER relevant remote handling equipment for Tokamak close inspection // 2008 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, 2008, pp. 1495-1500.

4. L. Galbiati, T. Raimondi, P. Garetti and G. Costi. Control and operational aspects of the Mascot 4 force feedback servomanipulator of JET // [Proceedings] The 14th IEEE/NPSS Symposium Fusion Engineering, 1991, pp. 563-566.

5. Choi et al, Multi-purpose deployer for ITER in-vessel maintenance // Fusion Engineering and Design 98–99 (2015) 1448–1452.

6. Manuelraj et al, Structural analysis of ITER multi-purpose deployer // Fusion Engineering and Design 109–111 (2016) 1296–1301.

7. Yao, Z., Cheng, Y., Pan, H. et al. Optimal Design of CFETR Multipurpose Overload Robot Based on Advantage Posture. J Fusion Energ 41, 2 (2022).

8. Naveen Rastogi, Amit Kumar Srivastava, Control system design for tokamak remote maintenance operations using assisted virtual reality and haptic feedback // Fusion Engineering and Design 139 (2019) 47–54.

9. A.C. Rolfé. Operational aspects of the JET remote handling system // Fusion Engineering and Design 10 (1989) 501-507.

10. S. Sanders, A.C. Rolfé. The use of virtual reality for preparation and implementation of JET remote handling operations // Fusion Engineering and Design 69 (2003) 157-161.

*С.В. Кулешов, Б.В. Соколов, А.Н. Павлов, А.А. Зайцева,  
А.И. Савельев*

**КОНЦЕПТУАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ И ПРОЕКТ МЕТОДИК  
РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ СБОРА И ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ  
ДЛЯ НАЗЕМНЫХ НРТК**

*СПб ФИЦ РАН, Санкт-Петербург, kuleshov@iias.spb.su*

*S.V. Kuleshov, B.V. Sokolov, A.N. Pavlov, A.A. Zaytseva,  
A.I. Savelyev*

**CONCEPTUAL MODEL AND DRAFT METHODOLOGIES  
FOR SOLVING THE PROBLEMS OF COLLECTING  
AND PROCESSING INFORMATION FOR GROUND-BASED  
ROBOTIC COMPLEX**

*SPC RAS, St. Petersburg, kuleshov@iias.spb.su*

При проведении работ в неблагоприятных условиях окружающей среды (в частности при выводе из эксплуатации объектов использования атомной энергии) требуется оперативно решать разнородные задачи со множественными ограничениями: исключение нахождения людей в неблагоприятных условиях, минимизация времени работ, обеспечение условий безопасности, повышение экономической эффективности и ряд других.

В качестве варианта решения подобной задачи может быть предложено использование наземного робототехнического комплекса (НРТК), состоящего из линейки робототехнических средств с различной полезной нагрузкой (инструменты, манипуляторы, транспортные, вспомогательные и др.) на унифицированной платформе НРТК.

Структура системы сбора и обработки информации для подобного НРТК включает: модуль сбора информации; модуль обработки информации; модуль хранения информации; интеграционный модуль.

При этом система должна в режиме реального времени решать задачу оценки технического состояния НРТК, технических средств и полезной нагрузки НРТК, обеспечивая проактивное планирование и управление всеми элементами системы, а также работать как «черный ящик» - обеспечивать накопление и хранение информации.

Для этого требуется наличие следующих функций системы:

– автоматическое ведение протокола действий, выполняемых элементами НРТК;

- прогнозирование остаточного ресурса НРТК, его технических средств и полезной нагрузки;
- выработка рекомендаций по времени проведения работ по техническому обслуживанию НРТК, их технических средств и полезной нагрузки;
- осуществление накопления информации с синхронизацией по времени;
- определение рисков исчерпания остаточного ресурса НРТК и выработка рекомендаций для снижения рисков;
- хранение накопленной информации на энергонезависимых носителях.

При выборе методологических и методических основ решения задач сбора и обработки информации для НРТК авторы доклада ориентировались на фундаментальные и прикладные результаты, полученные к настоящему времени в рамках развиваемой ими теории проактивного управления структурной динамикой сложных технических объектов, к числу которых относятся и рассматриваемые НРТК [1].

К настоящему времени разработаны и реализованы на программном уровне статическая и динамическая модели синтеза технологий и программ управления информационными процессами, которые обеспечивают устойчивое функционирование рассматриваемой группировки НРТК. Также разработаны методики решения многокритериальной большеразмерных задач линейного программирования, а также многокритериальных задач оптимального управления информационными процессами, к которым сводятся исходные задачи структурно-функционального синтеза создаваемой системы сбора и обработки информации (ССОИ) для группировки НРТК. В рамках реализации предлагаемой концепции комплексного моделирования группировки НРТК были предложены различные сценарии ее функционирования в условиях воздействия внутренних и внешних возмущающих факторов, а также методики оценивания соответствующих показателей надежности, живучести и эффективности. Для учета указанных факторов были разработано полимодельное описание и комбинированные методы, базирующиеся на вероятностно-статистическом и нечетко-возможностном подходах к решению рассматриваемых задач синтеза ССОИ [2].

1. Охтилев М.Ю., Соколов Б.В., Юсупов Р.М. Интеллектуальные технологии мониторинга и управления структурной динамикой сложных технических объектов. М.: Наука, 2006. 410 с.

2. Кулаков А.Ю., Кулаков Ф.М., Павлов А.Н., Потрясаев С.А., Соколов Б.В. Модельно-алгоритмическое обеспечение планирования реконфигурации бортовой аппаратуры маломассоразмерных космических аппаратов // Информационные технологии в управлении (ИТУ-2018): материалы конференции (Санкт-Петербург, 02-04 октября 2018 г.). СПб.: АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор», 2018. С. 123-130.

*В.В. Кондратьев, Б.В. Соколов*

**КОМБИНИРОВАННЫЙ ПОДХОД К ОПРЕДЕЛЕНИЮ  
СОСТОЯНИЯ И МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ НАЗЕМНОГО  
РОБОТОТЕХНИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА**

*СПб ФИЦ РАН, Санкт-Петербург, sokol@iias.spb.su*

*V.V. Kondratev, B.V. Sokolov*

**COMBINED APPROACH TO DETERMINING THE STATE  
AND LOCATION OF A GROUND ROBOT COMPLEX**

*Saint Petersburg FRC RAS, Saint Petersburg, sokol@iias.spb.su*

В настоящее время разнообразные отходы техногенного характера создают непосредственную угрозу жизни и здоровью постоянно увеличивающегося населения Земли. Особую опасность представляют ядерные отходы, из-за радиоактивного излучения которых возможно существенное негативное воздействие на жизнь и здоровье живых существ, а также на функционирование техники, особенно электронных устройств. Опасность ядерных отходов состоит также в радиоактивном заражении почвы, воды и воздуха, а также, как следствие, нанесении непоправимого вреда сельскому хозяйству и производству продовольствия.

В современных условиях, несмотря на широкое использование компьютерного управления и роботизированных систем в области ядерной энергетики, значительная часть работ осуществляется людьми. В частности, решения часто принимаются на основании опыта соответствующих специалистов и регламентных документов, которые имеют тенденцию устаревать. Вместе с тем, во всех инженерно-технических предметных областях наблюдается повсеместное внедрение новых поколений информационно-вычислительных систем (ИВС) и датчиков, обеспечивающих не только выполнение измерительных операций, но и обработку полученных данных, принятие

управленческих решений и коммуникацию с другими датчиками (последние получили название киберфизических систем КФС) [1-2].

Поэтому в настоящее время проблема управления процессом утилизации ядерных отходов, как и любая проблема управления сложными объектами (СЛО) в любой другой предметной области, сводится не только к управлению материальными и энергетическими процессами, но и к управлению соответствующими информационными процессами. Объемы поступающих данных, которые становятся информацией после некоторой обработки, огромны. Ещё более затратными становятся задачи анализа полученной таким образом информации. Конечным результатом должно стать принятие объективного управленческого решения и строгий контроль его исполнения. В настоящее время для решения такого рода задач, как правило, используются различные классы информационных систем (ИС) [3-4]. В докладе показано как предлагаемые технологии могут быть использованы для производства работ на радиационно-опасных предприятиях с использованием наземных робототехнических комплексов (НРТК), обеспечивающих при их совместном функционировании радикальное снижение дозовой нагрузки на персонал при решении задач демонтажа ядерно- и радиационно-опасных объектов.

В качестве конкретного примера в докладе обоснована целесообразность комбинированного подхода к повышению достоверности и точности определения состояния и местоположения НРТК, с использованием соответствующих комплексов сбора и обработки данных о производственной и окружающей обстановке. В докладе показано, что при групповом управлении НРТК за счет использования дополнительных каналов, обеспечивающих одновременное автономное решение как задач мониторинга их состояния, так и задач позиционирования на основе комбинированного использования технологий RFID, Zig-Bee и GPS/Глонасс (на открытых промплощадках) удастся повысить оперативность и точность местоположения НРТК. В докладе на основе предложенной системно-кибернетической интерпретации процессов сбора и обработки данных о местоположении НРТК разработан комплекс моделей и алгоритм динамического планирования сбора и обработки указанных данных.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда №22-19-00767.

1. Beilei Sun Xi Li, Bo Wan, Chao Wang, Xuehai Zhou, Xianglan Chen. Definitions of Predictability for Cyber Physical Systems // Journal of Systems Architecture. 2016. DOI: 10.1016/j.sysarc.2016.01.007.

2. Merlino Giovanni, Arkoulis Stamatis, Distefano Salvatore, Papianni Chrysta, Puliafito Antonio, Papavassiliou Symeon. Mobile crowdsensing as a service: A platform for applications on top of sensing Clouds // Future Generation Computer Systems. 2016. #56. P.623–639. DOI:10.1016/j.future.2015.09.017.

3. Охтилев М.Ю., Соколов Б.В., Юсупов Р.М. Интеллектуальные технологии мониторинга и управления структурной динамикой сложных технических объектов. М.: Наука, 2006. 410 с.

4. Соколов Б.В., Юсупов Р.М. Концептуальные основы оценивания и анализа качества моделей и полимодельных комплексов // Теория и системы управления. 2004. №6. С. 5–16.

*И.Ю. Даляев<sup>1</sup>, А.А. Трутс<sup>1</sup>, А.Н. Белозуб<sup>1</sup>, А.А. Жеребцов<sup>2</sup>*  
**ПРИМЕНЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ  
ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССА СОРТИРОВКИ  
РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ**

*<sup>1</sup>ГНЦ РФ ЦНИИ РТК, Санкт-Петербург, igor@rtc.ru; <sup>2</sup>АО «Прорыв»,  
Москва*

*I.Yu. Dalyaev<sup>1</sup>, A.A. Truts<sup>1</sup>, A.N. Belozub<sup>1</sup>, A.A. Zherebtsov<sup>2</sup>*  
**APPLICATION OF MODERN TECHNICAL SYSTEMS  
FOR AUTOMATION OF RADIOACTIVE WASTE SORTING  
PROCESS**

*<sup>1</sup>Russian State Scientific Centre for Robotics and Technical Cybernetics,  
St. Petersburg, igor@rtc.ru; <sup>2</sup>JTC Proryv, Moscow*

Радиоактивные отходы (РАО) - не подлежащие дальнейшему использованию материалы и вещества, а также оборудование, изделия (в том числе отработавшие источники ионизирующего излучения), содержание радионуклидов в которых превышает требуемые уровни.

При функционировании предприятия ядерного топливного цикла образующиеся радиоактивные отходы (РАО) подлежат регламентированной переработке и кондиционированию в зависимости от их вида [1]. На данный момент в большинстве случаев сортировка производится в ручном режиме. Общемировые тенденции по исключению влияния человеческого фактора, снижению вредного воздействия на организм человека требует принципиально новых подходов в вопросах сортировки – применению современных способов автоматизации технологических процессов. Особенно актуальным этот вопрос видится при увеличении объемов РАО, обра-

зующихся при выводе из эксплуатации объектов использования атомной энергии (ВЭ ОИАЭ).

Для решения этих задач предлагается создать автоматизированную установку на базе манипуляционной системы, оборудованной магазином сменного инструмента для захвата фрагментов РАО. Объединяя робототехническую часть с системой технического зрения (СТЗ), способную определять морфологический состав фрагментов РАО и их положение и передавая эту информацию в общую систему управления, возможно создать автоматизированную установку по сортировке РАО. Дополнив установку необходимым сенсорным оборудованием на базе сцинтилляционных детекторов или детекторов на базе кристаллов особо чистого германия (ОЧГ-детекторов), впоследствии возможна сортировка по уровню активности РАО и их радионуклидному составу, а также потенциально – последующая паспортизация.

В большинстве случаев видится возможным уменьшить общий объем РАО.

Результаты получены в рамках выполнения государственного задания Минобрнауки России FNRG-2022-0014 1021051302488-7-2.2.2;2.3.5 № 075-01623-22-01 «Исследование программных и аппаратных способов безопасной и эффективной сортировки радиоактивных отходов по морфологии и активности».

1. СП 2.6.6.1168-02 Санитарные правила обращения с радиоактивными отходами (СПОРО-2002). – М.: Центрмг, 2019. – 61с.

***И.В. Войнов, Б.А. Морозов, М.В. Носиков***  
**МОБИЛЬНЫЙ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС**  
**МРК-65 ДЛЯ РАБОТ НА ОБЪЕКТАХ АТОМНОЙ**  
**ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

*Филиал ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)» в г. Миассе, г. Миасс, Челябинской обл.,  
voinoviv@susu.ru, morozov.b@mail.ru, nosikovmv@susu.ru*

***I.V. Voinov, B.A. Morozov, M.V. Nosikov***  
**MOBILE ROBOT MRK-65 FOR NUCLEAR INDUSTRY TASKS**

*Miass branch of South Ural State University (National Research University),  
Miass, voinoviv@susu.ru, morozov.b@mail.ru, nosikovmv@susu.ru*

В настоящее время на предприятиях Госкорпорации «Росатом» при выполнении задач измерения значений радиационного фона в

выведенных из эксплуатации зданиях и сооружениях, а также выполнения операций манипулирования объектами различной массы и габаритных размеров в условиях радиационных полей, требуется широкий спектр мобильных робототехнических комплексов, оснащенных необходимым перечнем основного и дополнительного оборудования.

Используя опыт разработки, изготовления и ввода в эксплуатацию радиационно-стойких мобильных робототехнических комплексов серии «Мустанг», филиалом ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)» в г. Миассе в рамках опытно-конструкторской работы спроектирован и изготовлен мобильный робототехнический комплекс МРК–65, предназначенный для:

- проведения визуальной разведки;
- обнаружения источников радиоактивного излучения, их перемещения либо экранирования;
- манипулирования (захвата, перемещения) объектов массой не более 30 кг;
- транспортирования объектов и сменного дополнительного оборудования, располагаемых на корпусе МРК;
- визуального наблюдения с помощью телекамер (с возможностью их углового разворота по двум осям) предметов размерами от 0,1 м на дистанции от 1 до 20 м;
- резка различных материалов, работа перфоратором для взятия проб.

В состав РТК МРК–65 входят:

- подвижный аппарат (ПА), оснащенный четырьмя гусеничными движителями, способный изменять геометрию ходовой части (базу и дорожный просвет), в том числе в режиме автоматического горизонтирования платформы ПА;
- пост управления, содержащий съемный переносной пульт управления, аккумуляторную батарею, управляющие бортовые вычислители, мониторы для вывода видеоинформации, антенну радиоканала.

На ПА установлены шестистепенной манипулятор грузоподъемностью 30 кг, автоматический кабелеукладчик с 500 м дублированного оптоволоконного кабеля, 4 видеокамеры оптического диапазона, размещенные на манипуляторе и шасси. На ПА дополнительно может быть установлен гамма-визор.

В приборном контейнере, размещенном на шасси ПА, расположена система управления (бортовая часть) и аккумуляторные батареи. ПА управляется оператором от поста управления через оптово-

локонный кабель или через радиоканал (на дистанции до 1 км при прямой видимости). При подготовительных операциях на коротких расстояниях оператор может управлять ПА через технологический кабель.

В рамках работы сформирована распределенная информационно-управляющая среда, компоненты которой функционируют на ПА и вычислительных средствах пульта управления. Применение на вычислительных средствах 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.

На рисунке 1, 2 приведен внешний вид подвижного аппарата и его пульта управления.

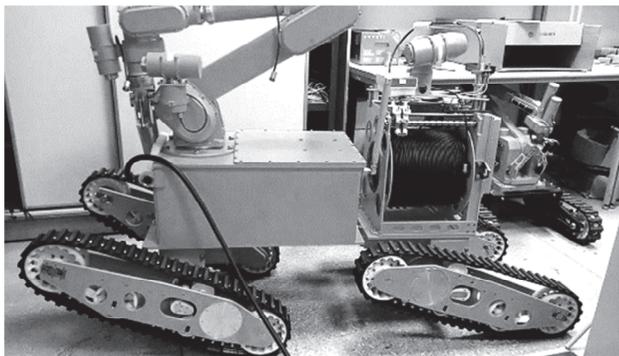


Рисунок 1 — Внешний вид ПА МРК

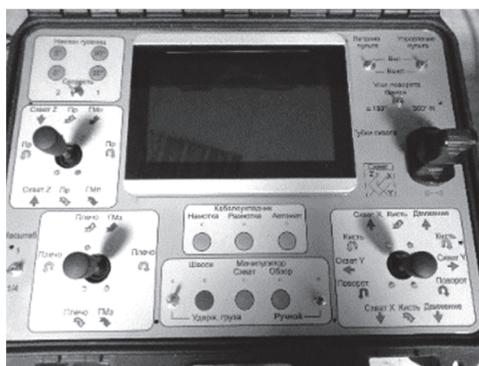


Рисунок 2 — Внешний вид пульта оператора

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.

*П.С. Григорьев, А.А. Трутс, П.А. Лошицкий,  
Е.А. Смирнов, Д.С. Костромин*

**О РЕЗУЛЬТАТАХ АПРОБИРОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ  
РЕШЕНИЙ В ОБЛАСТИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ РАДИАЦИОННОЙ  
СТОЙКОСТИ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

*ГНЦ РФ ЦНИИ РТК, Санкт-Петербург, p.grigorev@rtc.ru*

*P.S. Grigorev, A.A. Truts, P.A. Loshitskiy,  
E.A. Smirnov, D.S. Kostromin*

**THE RESULTS OF TECHNICAL SOLUTIONS TESTING IN  
THE FIELD OF ROBOTIC SYSTEMS RADIATION  
RESISTANCE ASSURANCE**

*Russian State Scientific Centre for Robotics and Technical Cybernetics,  
St. Peterburg, grigorev@rtc.ru*

Развитие технологий использования ядерного топлива открывает доступ к созданию источников доступной экологически безопасной электроэнергии. В то же время, возникают дополнительные требования к обеспечению безопасности при работе с ядерными материалами, а также с продуктами их переработки. Применение имеющихся на рынке технических решений не позволяет полностью обеспечить желаемый уровень автоматизации и роботизации технологических линий производства и переработки ядерных материалов необходимой производительности. Особенности действующих производств и требуемые уровни безопасности обслуживающего персонала создают ограничения для повышения производительности технологических линий. Одним из ключевых элементов в комплексе технических средств, обеспечивающих точное соблюдение технологического процесса, при условии обеспечения безопас-

ности персонала, являются радиационно-стойкие робототехнические системы (далее – РТС).

В настоящей работе приведены результаты анализа способов обеспечения радиационной стойкости РТС [1, 2], а также имеющиеся разработки по радиационно-стойким РТС [3], представлены результаты разработки радстойкого манипулятора (далее – РСМ), его характеристики, результаты испытаний РСМ, в том числе на стойкость к воздействию ионизирующего излучения.

ЦНИИ РТК разработан РСМ, преимуществами которого являются:

- обеспечение сложных траекторных режимов работы,
- высокая точность позиционирования – до 0,25 мм (определяется точностью датчика положения и геометрией РСМ),
- применение отечественной компонентной базы в шарнирах РСМ,
- применение отечественных электрорадиоизделий (далее – ЭРИ) в контроллерах управления шарнирами,
- подтверждённая испытаниями стойкость к ионизирующему излучению, максимальная интегральная поглощённая доза 50 000 рад.

Характеристики РСМ подтверждены в ходе проведения исследовательских испытаний [5,6], также выявлены наиболее чувствительные к ионизирующему излучению компоненты системы управления РТС, подтверждена стойкость электромеханической части и измерительных устройств РСМ к интегральной поглощённой дозе ионизирующего излучения, определены фактические уровни стойкости ЭРИ, смазочных и уплотнительных материалов к ионизирующему излучению. Испытания на стойкость к ионизирующему излучению проводились на аттестованной установке К-120000 с источником типа  $\text{Co}^{60}$  с использованием поверенных средств дозиметрии.

По результатам исследования сформулированы рекомендации по применению РСМ в составе радиационно-стойких РТС. Дальнейшими направлениями работы являются изготовление опытного образца РСМ, его испытания и применение в составе перспективных радиационно-стойких РТС, как, например:

- системы дистанционного обслуживания комплексов переработки радиоактивных отходов (сортировка, фрагментация, утилизация), в том числе, системы с внедрением технологий виртуальной реальности,
- системы автоматического обследования объектов ядерной энергетики,

– системы автоматического и дистанционного обслуживания реакторных установок.

Результаты получены в рамках выполнения государственного задания Минобрнауки России FNRG-2022-0024 1021101316166-9-2.2.2 № 075-01623-22-03 «Разработка приводного модуля повышенной радиационной стойкости с изменяемым передаточным числом и использованием электромагнитной муфты».

1. Радиационные эффекты в космосе. Часть 2. Воздействие космической радиации на электротехнические материалы / И. П. Безродных, А. П. Тютнев, В. Т. Семёнов. – М.: АО «Корпорация «ВНИИЭМ», 2016. – 122 с.

2. Радиационные эффекты в космосе. Часть 3. Влияние ионизирующего излучения на изделия электронной техники / И. П. Безродных, А. П. Тютнев, В. Т. Семёнов. – М.: АО «Корпорация «ВНИИЭМ», 2017. – 64 с.

3. Отчёт о патентных исследованиях. разработка многофункционального манипулятора для применения в условиях с повышенным радиационным фоном. Этап 2021 г. (промежуточный, этап 1).

4. Отчет о научно-исследовательской и опытно-конструкторской работе разработка многофункционального манипулятора для применения в условиях с повышенным радиационным фоном. Этап 2021 г. (заключительный, этап 2).

5. Протокол № 2НТО-13-5 испытаний макетов ключевых узлов манипулятора КПТВ.Э02.020.

6. Протокол № 2НТО-13-5/2 исследовательских испытаний макетов ключевых узлов манипулятора КПТВ.Э02.020.

**КРУГЛЫЙ СТОЛ «МЕДИЦИНСКАЯ РОБОТОТЕХНИКА»**

---

***Д.Б. Смирнов<sup>1</sup>, А.А. Воротников<sup>1</sup>, Ю.В. Подураев<sup>2</sup>***  
**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ**  
**ОТРАЖЕННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ЛАЗЕРА ДЛЯ**  
**МЕДИЦИНСКОГО РОБОТА**

*<sup>1</sup>МГТУ «СТАНКИН», Москва, smirnov2000.dmitry@yandex.ru, aavorotnikov90@gmail.com; <sup>2</sup>МГМСУ им. А.И. Евдокимова Минздрава России*

***D.B. Smirnov<sup>1</sup>, A.A. Vorotnikov<sup>1</sup>, Y.V. Poduraev<sup>2</sup>***  
**EXPERIMENTAL EVALUATION OF THE REFLECTED LASER**  
**EMISSION FOR A MEDICAL ROBOT**

*<sup>1</sup>Moscow State University of Technology «STANKIN», Moscow, smirnov2000.dmitry@yandex.ru, aavorotnikov90@gmail.com; <sup>2</sup>A.I. Evdokimov Moscow State University of Medicine and Dentistry, Moscow*

В настоящее время использование лазеров в медицине становится все более популярным, и для повышения качества проведения операций различными исследователями осуществляются попытки совмещения лазеров с роботизированными системами. Волоконные лазеры имеют высокий потенциал для совмещения благодаря тому, что оптоволокно достаточно гибкое и позволяет без значительных потерь доставлять излучение к оперируемым тканям. Исследования роботизированных систем с медицинскими лазерами показывают, что результаты их работы не уступают, а в большинстве случаев и превосходят традиционные мануальные методы проведения операций по таким показателям как точность прохода по траектории [5], поддержание требуемой скорости резанья [2,4] и требуемого расстояния от торца волновода до оперируемой ткани [1], высокая повторяемость при проходе по одним и тем же траекториям [3].

Настоящая работа направлена на проведение экспериментальных исследований отражённого оптического излучения лазера и анализ его показаний для медицинского робота и последующих с ним применений, в ходе которых, были решены сопутствующие задачи: определены зависимости показаний отраженного сигнала от расстояния до облучаемой поверхности (эксперименты проводились на моторизированной скамье TESA TPS 500 (см. рис. 1)), определена разница в полученных зависимостях на различных материалах, проверены полученные результаты на роботеманипуляторе KUKA.

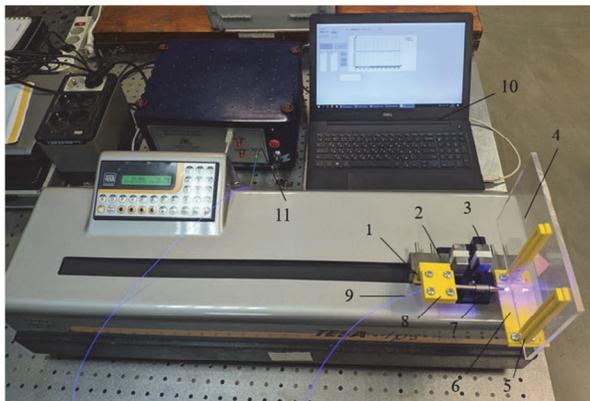


Рисунок 1 — Экспериментальная установка

1. Andrey A. Chunikhin, Ernest A. Bazikyan, Yury V. Poduraev, Andrey A. Vorotnikov, Daniil D. Klimov. «Comparative Experimental Assessment Of The Accuracy Of Nanosecond Laser Surgery Of The Oral Cavity When The Instrument Is Moved By A Robotic Complex And A Surgeon» // Russian Open Medical Journal.2019 Vol. 8 Issue 3.

2. A.A. Vorotnikov, D.D. Klimov, E.V. Romash, O.S. Bashevskaya, Yu. V. Poduraev, E.A. Bazykyan and A.A.Chunihin. «Cutting velocity accuracy as a criterion for comparing robot trajectories and manual movements for medical industry» // Mechanics & Industry 2017 Vol. 18, No. 7.

3. Andrei A. Vorotnikov, Maxim A. Buinov, Semen V. Bushuev and Yuri V. Poduraev. «Standard Deviation from the Average Cutting Velocity as a Criterion for Comparing Robot Trajectories and Manual Movements of a Doctor for Performing Surgical Operations in Maxillo-facial Surgery»// International Journal of Mech. Eng. and Robotics Research. 2018 Vol. 7, No. 3, 319-323.

4. Andrei A. Vorotnikov, Daniil D. Klimov, Elena A. Melnichenko and Yuri V. Poduraev. «Criteria for Comparison of Robot Movement Trajectories and Manual Movements of a Doctor for Performing Maxillo-facial Surgeries»// International Journal of Mechanical Engineering and Robotics Research. 2018 Vol. 7, No.4.

5. Chunikhin, Yu. V. Poduraev, A. A. Vorotnikov, D. D. Klimov, M. Y. Sahakyan, E. A. Bazikyan.»Efficiency Assessment of Nanosecond Laser Robotic Maxillofacial Area Surgery in Experiment»//Современные технологии в медицине. 2017 vol.9. No.4. 123-128.

*Т.Р. Тагиров, Л.А. Камышникова, О.Г. Худасова,  
Д.К. Колупаев, А. Мохсин*  
**АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС  
ДЛЯ РАЗРАБОТКИ КИСТИ РУКИ С БИОЛОГИЧЕСКОЙ  
ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ**

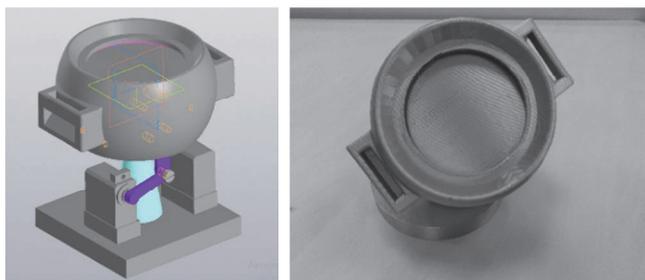
*НИУ «БелГУ», Белгород, tagirov.timur25.03@gmail.com*

*T.R. Tagirov, L.A. Kamishnikova, O.G. Hudasova,  
D.K. Kolupaev, A. Moshin*  
**HARDWARE AND SOFTWARE COMPLEX FOR HAND  
MECHANOTHERAPY WITH BIOLOGICAL FEEDBACK**

*Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education «Belgorod  
National Research University», Belgorod, tagirov.timur25.03@gmail.com*

Разработка отечественных аппаратно – программных систем, предназначенных, предназначенных для использования в реабилитационной медицине [1,2] является актуальной задачей. При отсутствии должных процедур возможно образование контрактур, и возникновение иных отрицательных последствий, потенциально приводящих к инвалидизации пациента.

В работе предложена реализация системы для активной разработки кисти руки человека посредством механотерапии после повреждений как травматического, так и нетравматического генеза. 3d модель и прототип представлены на рис. 1а, 1б.



а)

б)

Рисунок 1 — АПК для разработки кисти руки

Основой конструкции является платформа, предназначенная для закрепления кисти руки посредством ремешков, удерживаемая на основании посредством шарнирного соединения. Посредством двух

ортогонально расположенных сервоприводов платформа имеет возможность наклоняться на угол до 45 градусов относительно центральной оси в любом направлении, тем самым осуществляя механотерапию конечности. Посредством двух тензорезистивных датчиков, расположенных на тягах от сервоприводов осуществляется контроль усилий, прилагаемых к кисти руки от системы, и обратная реакция от кисти к системе, посредством чего реализуется биологическая обратная связь. Механическая часть системы выполнена преимущественно с использованием FDM 3D печати. Управление осуществляется от платформы ардуино. Питание осуществляется от аккумуляторной батареи 18650, работающей совместно со step-ур преобразователем напряжения.

1. Епифанов, В. А. Лечебная физическая культура и спортивная медицина. — М. : Медицина, 1999. — 304 с.
2. Улащик, В. С. Лечебная физическая культура // Физиотерапия : Универсальная медицинская энциклопедия. — Мн. : Книжный дом, 2008. — С. 308—315. — 640 с.

*Е.С. Белицкий<sup>1</sup>, М.А. Соловьёв<sup>1</sup>, В.М. Ковальский<sup>2</sup>,  
А.А. Воротников<sup>2</sup>, А.Ю. Кордонский<sup>3</sup>, А.А. Гринь<sup>1,3,4</sup>,  
В.В. Крылов<sup>1,3,5</sup>*

**КОНЦЕПЦИЯ МЕХАТРОННОГО УСТРОЙСТВА  
ЛИНЕЙНОГО ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ  
ПОВЕРХНОСТЕЙ СЛОЖНОЙ ФОРМЫ  
С ВОЗМОЖНОСТЬЮ ИЗМЕРЕНИЯ СИЛЫ**

<sup>1</sup>МГМСУ им. А.И. Евдокимова Минздрава России, Москва; <sup>2</sup>МГТУ «СТАНКИН», Москва; <sup>3</sup>НИИ скорой помощи им. Н.В. Склифосовского, Москва; <sup>4</sup>Департамент здравоохранения города Москвы, Москва; <sup>5</sup>Министерство здравоохранения Российской Федерации, Москва  
*platinum.2000@yandex.ru, mihaelsolovyev@gmail.com,  
aavorotnikov90@gmail.com, kordonskii.anton@rambler.ru, aagreen@yandex.ru,  
krylov@neurosklif.ru*

*E.S. Belitsky<sup>1</sup>, M.A. Solovyev<sup>1</sup>, V.M. Kovalsky<sup>2</sup>, A.A. Vorotnikov<sup>2</sup>,  
A.Y. Kordonsky<sup>3</sup>, A.A. Grin<sup>1,3,4</sup>, V.V. Krylov<sup>1,3,5</sup>*  
**CONCEPT OF MECHATRONIC LINEAR MOVEMENT DEVICE  
FOR CONSTRUCTING SURFACES OF COMPLEX SHAPES  
WITH THE POSSIBILITY OF FORCE MEASUREMENT**

<sup>1</sup>A.I. Evdokimov Moscow State University of Medicine and Dentistry, Moscow,  
<sup>2</sup>Moscow State University of Technology «STANKIN», Moscow; <sup>3</sup>Sklifosovsky  
Research Institute of Emergency Medicine, Moscow; <sup>4</sup>Moscow Healthcare  
Department, Moscow; <sup>5</sup>Ministry of Health of the Russian Federation, Moscow  
platinum.2000@yandex.ru, mihaelsolovyev@gmail.com,  
aavorotnikov90@gmail.com, kordonskii.anton@rambler.ru, aagreen@yandex.ru,  
krylov@neurosklif.ru

Задача построения поверхностей всё чаще становится перед пользователями различных сфер деятельности, яркими примерами выступают сферы автоматизации производств, развлечений, медицины, а также любые другие потенциальные отрасли, в которых так или иначе затрагивается тема задания поверхностей сложной формы для задач взаимодействия с объектами и/или их позиционирование.

Для одной из сфер применения уже существует некоторое количество разработок, этой сферой является технология VR и AR, где высоко ценятся устройства, повышающие степень погружения в процесс игры, работы, или разработки проектов (см. рис. 1).

inFORM – устройство формирования очертаний объектов и поверхностей для повышения удобства взаимодействия пользователя и компьютера [1].

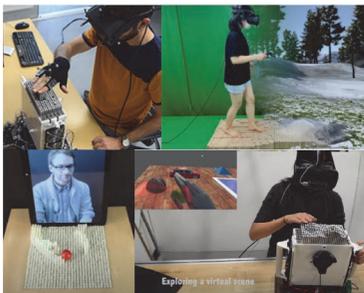


Рисунок 1 — Устройства, формирующие плоскости для задач AR и VR: shapeShift, Elevate, inFORM.

Авторы следующего проекта [2] изучают взаимодействия, обеспечиваемые двумерными пространственными манипуляциями. Чтобы изучить эти взаимодействия, ими и был разработан shapeShift, компактный мобильный настольный дисплей с высоким разрешением.

Так же отличилось устройство азиатских разработчиков [3], конструкционная задача которого была решена отличным от остальных путём. Elevate - динамичный и удобный для ходьбы пол с массивом штифтов, на котором пользователи могут увидеть не только большие

вариации поверхностей, но и детали лежащего под ними ландшафта. Система достигает этого за счет упаковки 1200 штифтов, расположенных на платформе размером 1,80 × 0,60 м, в которой каждый штифт может приводиться в действие на одном из десяти уровней высоты. Концепт мехатронного устройства, представленного в данном докладе, представляет собой изделие, снабженное мощным вычислительным логическим устройством, драйверами двигателей, АЦП высокого разрешения, энкодерами обратной связи, несколькими интерфейсами для связи с управляющими блоками, механической силовой частью, для перемещений под нагрузкой. Для задания поверхностей, модули объединяются в единую сеть с управляющим устройством, представляя собой двумерную матрицу, каждой точкой которой можно управлять по отдельности.

1. InFORM: Dynamic Physical Affordances and Constraints through Shape and Object Actuation / Follmer Sean, Leithinger Daniel, Olwal Alex [и др.]. — Текст: непосредственный // ACM. — 2013. — № 13. — С. 417-426.

2. shapeShift: 2D Spatial Manipulation and Self-Actuation of Tabletop Shape Displays for Tangible and Haptic Interaction / F. S. Alexa, J. G. Eric, Yuan Shenli [и др.]. — Текст: непосредственный // CHI. — 2018. — № 291. — С. 1-13.

3. Elevate: A Walkable Pin-Array for Large Shape-Changing Terrains / Je Seungwoo, Lim Hyunseung, Moon Kongpyung [и др.]. — Текст: непосредственный // ACM. — 2021. — № 127. — С. 1-11.

*С.М. Берро, А.Н. Тимофеев*

### **ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ МАНИПУЛИРОВАНИЯ ПРОТЕЗАМИ РУК**

*Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,  
Санкт-Петербург, berro.somar@gmail.com*

*S.M. Berro, A.N. Timofeev*

### **IMPROVING THE ACCURACY OF MANIPULATING PROSTHETIC HANDS**

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

При выполнении операций с повышенной точностью (порядка 0,1...0,3 мм) здоровый человек обычно перемещает инструмент

скоординированным движением пальцев относительно кисти, опертой на неподвижное основание. Но самые совершенные бионические протезы лицам без кисти (ЛБК) этих возможностей не предоставляют [1]. Практически достижимое количество и качество каналов управления с помощью электромиографических датчиков или электродов, вживленных в нервные окончания, примерно на порядок хуже, чем у кисти человека [2]. Проблема повышения точности может быть кардинально решена оснащением протеза дополнительным микроманипулятором с адаптивной опорой на неподвижные объекты окружающей среды. На рисунке 1 приведена 3D-модель такого рабочего протеза.

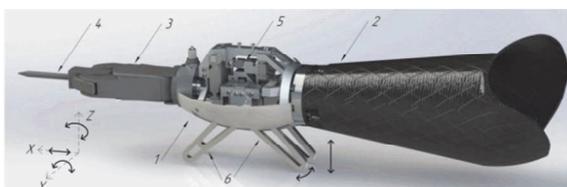


Рисунок 1 — 3D-модель протеза

Корпус 1 (рис.1) протеза несет культеприемную гильзу 2, захватное устройство 3 и сменный инструмент 4. На нем установлен трехступенчатый манипулятор 5, на выходе которого имеется адаптивная опора в виде четырех независимых рычагов 6 с управляемым по команде фиксирующим механизмом. В исходном состоянии рычаги 6 зафиксированы в верхнем положении. ЛБК культей переносит протез и подводит с требуемой ориентацией инструмент 4 к месту выполнения операции с повышенной точностью. По команде фиксирующий механизм отпускает и под действием веса независимо друг от друга рычаги 6 опускаются до касания стола или иных неподвижных объектов. Затем рычаги 6 вновь фиксируются. Микроманипулятор 5 посредством электрических винтовых актуаторов перемещает адаптивную опору вдоль продольной оси X протеза и поворачивает ее на малые углы относительно ортогональных осей Y и Z. Таким образом, инструмент 4 может выводиться в целевое положение с погрешностью порядка 0,1 мм и менее.

Сформирована математическая модель функционирования такой системы человек-протез. Механическая модель культи основана на модели Войта [2], содержащей три параметра импеданса: массу, демпфирование и жесткость культи соответственно. Силовой датчик представлен эквивалентной константой жесткости. Также, не жесткое соединение между рычагами (покрыты противо-

скользящим материалом) и рабочим столом представлена эквивалентной константой жесткости. Остальные упругие соединения в протезах считаются идеальными механическими парами.

Посредством этой математической модели исследована погрешность манипулирования, в качестве которой рассматривается отклонение от цели позиционирования инструмента при повторных перемещениях между двумя заданными в пространстве точками. Система управления предлагаемым протезом представляет систему человек-машина, в которой ЛБК интегрирован в контур обратной связи. Он визуально оценивает расстояние инструмента от желаемой позиции и вначале выбирает максимальную скорость, а затем замедляется вплоть до остановки. При исследовании пренебрегались ошибки зрения, задержки реакции и неопытность ЛБК. Результаты моделирования показывают способность предлагаемой системы позиционировать инструмент относительно целевого положения с погрешностью менее 0,1 мм.

1. Ottobock «Michelangelo prosthetic hand»: сайт. – URL:<https://www.ottobockus.com/prosthetics/upper-limb-prosthetics/solution-overview/michelangelo-prosthetic-hand/> (дата обращения: 17.04.2022). – Текст: электронный.

2. Puzi, A. A. Mechanical Impedance Modeling of Human Arm: A survey / A. A. Puzi, S. N. Sidek, F. Sado // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. – 2017. – Вып. 184. – № 012041.

***В.О. Наумов<sup>1</sup>, Е.А. Трофимов<sup>2</sup>, О.А. Тельминов<sup>2</sup>, Е.С. Горнев<sup>2</sup>***  
**ИССЛЕДОВАНИЕ РЕКУРРЕНТНЫХ НЕЙРОСЕТЕЙ  
И АППАРАТНОЙ РЕАЛИЗАЦИИ ДЛЯ ОБРАБОТКИ  
СИГНАЛОВ И УПРАВЛЕНИЯ ЭКЗОСКЕЛЕТОМ РУКИ**

*<sup>1</sup>АО «НИИМЭ», Москва, [naumov.vo@phystech.edu](mailto:naumov.vo@phystech.edu); <sup>2</sup>АО «НИИМЭ»,  
Зеленоград, [trofimov.ea@phystech.edu](mailto:trofimov.ea@phystech.edu), [otelminov@niime.ru](mailto:otelminov@niime.ru), [egornev@niime.ru](mailto:egornev@niime.ru)*

***V.O. Naumov<sup>1</sup>, E.A. Trofimov<sup>2</sup>, O.A. Telminov<sup>2</sup>, E.S. Gornev<sup>2</sup>***  
**RECURRENT NEURAL NETWORKS AND HARDWARE  
IMPLEMENTATION STUDY FOR SIGNAL PROCESSING AND  
HAND EXOSKELETON CONTROL APPLICATION**

*<sup>1</sup>JSC «NIIME», Moscow, [naumov.vo@phystech.edu](mailto:naumov.vo@phystech.edu); <sup>2</sup>JSC «NIIME», Zelenograd,  
[trofimov.ea@phystech.edu](mailto:trofimov.ea@phystech.edu), [otelminov@niime.ru](mailto:otelminov@niime.ru), [egornev@niime.ru](mailto:egornev@niime.ru)*

Анализ современного состояния экзоскелетов показывает, что

их управление до сих пор осуществляется с помощью кнопок на пульте управления. Активный экзоскелет [1] крепится поверх конечности и позволяет как перемещать частично атрофированную руку или ногу, так и увеличивать прилагаемое усилие здоровой конечности за счет сервоприводов – например, для облегчения поднятия грузов.

В работе предлагается решение указанной проблемы управления с помощью включения в состав экзоруки неинвазивных датчиков желаемого положения руки с последующей нейросетевой обработкой и выдачей управляющих воздействий. В аппаратную часть также входят датчики текущего положения, нейросетевой процессор, блоки сопряжения и коммуникации, сервоприводы. В разработанном динамическом прототипе выявлены наиболее подходящие местоположения датчиков желаемого и текущего положения.

Исследованы электромиографические сигналы с датчиков желаемого положения, а также возможность применения для их обработки технологий машинного обучения, в частности, глубокой рекуррентной нейронной сети. Распределены роли слоев нейросети [2-4] для преобразования входных сигналов желаемого положения в спектрограммы, их последующей комплексной обработке с сигналами текущего положения и выдаче воздействия на актуаторы.

Именно замкнутый цикл управления с обратной связью является отличительной чертой нашей работы, в то время как в существующих решениях используются лишь классификация движений экзоскелета руки [4-5].

Проведен анализ существующего аппаратного и программного ландшафта для реализации нейросетей, особое внимание уделено обеспечению импортонезависимости [6].

Получены оценки значений потребительских характеристик макета экзоруки, основной из которых является время реакции нейросети при реализации на краевом нейросетевом процессоре.

1. Красников Г.Я. Возрождение наукоемких отраслей промышленности: реальность или фантазия? // в сборнике: Пути стабилизации экономики России. Москва, 1999. С.162-174.

2. Bu, N., Fukuda, O. & Tsuji, T. EMG-Based Motion Discrimination Using a Novel Recurrent Neural Network. *Journal of Intelligent Information Systems* 21, 113–126 (2003).

3. Miguel Simão, Pedro Neto, Olivier Gibaru, EMG-based online classification of gestures with recurrent neural networks, *Pattern Recognition Letters*, Volume 128, 2019, Pages 45-51, ISSN 0167-8655.

4. Reza Bagherian Azhiri, Mohammad Esmacili, Mehrdad Nourani, Real-Time EMG Signal Classification via Recurrent Neural Networks, 13 Sep 2021, arXiv:2109.05674v1.

5. Josie A. Elwell, George S. Athwal, Ryan Willing, Development and Application of a Novel Metric to Characterize Comprehensive Range of Motion of Reverse Total Shoulder Arthroplasty, 07 November 2019.

6. О.А. Тельминов, Е.С. Горнев. Отечественная элементная база и программное обеспечение для реализации нейросетевых решений. Материалы III Международной конференции МММЭК-2021. с 157-159.

*Г.А. Карнуп<sup>1</sup>, О.А. Тельминов<sup>2</sup>, Е.С. Горнев<sup>2</sup>*  
**ИССЛЕДОВАНИЕ ВАРИАЦИОННОГО АВТОЭНКОДЕРА  
ДЛЯ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ МЫШЦ И УПРАВЛЕНИЯ  
ЭКЗОСКЕЛЕТОМ РУКИ**

<sup>1</sup>АО «НИИМЭ», Москва, [karnup.ga@phystech.edu](mailto:karnup.ga@phystech.edu); <sup>2</sup>АО «НИИМЭ»,  
з. Зеленоград, Московская обл., [otelminov@niime.ru](mailto:otelminov@niime.ru), [egornev@niime.ru](mailto:egornev@niime.ru)

*G.A. Karnup<sup>1</sup>, O.A. Telminov<sup>2</sup>, E.S. Gornev<sup>2</sup>*  
**VARIATIONAL AUTOENCODER TESTING REGARDING  
MUSCLE SIGNAL PROCESSING AND HAND EXOSKELETON  
CONTROL APPLICATION**

<sup>1</sup>JSC «NIIME», Moscow, [karnup.ga@phystech.edu](mailto:karnup.ga@phystech.edu); <sup>2</sup>JSC «NIIME», Zelenograd,  
Moscow region, [otelminov@niime.ru](mailto:otelminov@niime.ru), [egornev@niime.ru](mailto:egornev@niime.ru)

В современном мире всё чаще возникает потребность в экзоскелетах [1], достаточно мобильных для применения в различных областях. За 2021 г. в России насчитывалось около 200 тыс. случаев инсульта, и 600 тыс. случаев травм шейного отдела позвоночника. В большинстве случаев требуется прохождение курса реабилитации для восстановления двигательной активности. На данный момент существует острая необходимость в автоматизированной реабилитации, отсутствие которой сужает поток пациентов о 5000 человек в год. Основная причина отсутствия решения заключается в отсутствии в настоящее время управляющих алгоритмов, сравнимых по вариативности и мобильности с человеческими. В работе предлагается использование нейросетевых методов для генерации траекторий движения экзоскелета. На основании анализа отрасли были

сформулированы критерии пригодности предлагаемого решения, а именно, допустимое время реакции экзоскелета менее 1 секунды, допустимая точность движений не менее 70%.

Основная идея алгоритма заключается в обработке данных фактического положения руки и данных электромиографических (ЭМГ) сигналов мышц [2]. Во время выполнения движения пользователем идет регистрация указанных данных и формируется обучающая выборка. На основе полученных данных предлагается обучать нейросеть предсказывать наиболее вероятную дальнейшую траекторию руки. Ранее нейросетевые методы хорошо зарекомендовали себя в решении задачи классификации движений [3]. В качестве типа нейросети была построена архитектура на основе вариационного автоэнкодера [4]. Для сбора первичных данных было разработано считывающее устройство (см. рис. 1) и сняты данные как со здоровых пациентов, так и с пациентов реабилитационного центра «Три сестры» имеющих различные степени инсульта и повреждения шейного отдела позвоночника.



Рисунок 1 — 3D модель устройства, считывающего данные фактического положения руки

В ходе исследования был сформирован набор данных для обучения и предложена архитектура нейросетевого управляющего алгоритма. По окончании исследований планируется задействовать данную разработку в сфере реабилитаций, главным образом после инсультов и при травмах шейного отдела позвоночника.

1. Красников Г.Я. Возрождение наукоемких отраслей промышленности: реальность или фантазия? // в сборнике: Пути стабилизации экономики России. Москва, 1999. С.162-174
2. Rechy-Ramirez, Ericka Janet and Huosheng Hu. «CES-513 Stages for Developing Control Systems using EMG and EEG Signals: A survey». (2011).
3. Xiaolong Zhai. Self-Recalibrating Surface EMG Pattern Recognition for Neuroprosthesis Control Based on Convolutional Neural Network Front. Neurosci., 2017.
4. Kingma, Diederik P. and Max Welling. «An Introduction to Variational Autoencoders». Found. Trends Mach. Learn. 12 (2019): 307-392.

*И.В. Самсонов*

**АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС  
РЕГИСТРАЦИИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СОСТОЯНИЯ  
ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ПАССИВНОГО ЭКЗОСКЕЛЕТА НИЖНИХ  
КОНЕЧНОСТЕЙ**

*Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр РАН,  
Санкт-Петербург, gniiivm.s@ya.ru*

*I.V. Samsonov*

**HARDWARE-SOFTWARE COMPLEX FOR REGISTRATION  
OF THE INDICATOR OF THE STATE OF THE USER  
OF THE PASSIVE EXOSKELETON OF THE LOWER LIMB**

*St. Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences,  
St. Petersburg, gniiivm.s@ya.ru*

Совершенствование и разработка экзоскелетных систем требуют учета характеристик пользователей таких систем [1, 2]. Для этого необходима регистрация медико-биологических показателей состояния человека – пользователя экзоскелета [3-5]. С этой целью разработан аппаратно-программный комплекс (АПК) регистрации показателей состояния пользователя пассивного экзоскелета нижних конечностей (рис. 1).

В состав АПК входят: носимый модуль, обеспечивающий получение и передачу медико-биологических показателей с датчиков на вычислитель; вычислитель, выполняющий обработку и регистрацию полученных данных; внешнее приложение для удаленного доступа.

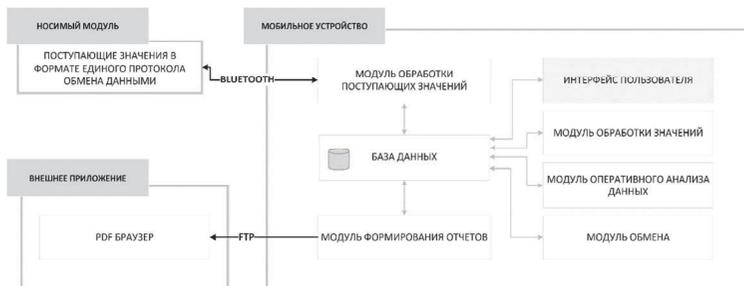


Рисунок 1 — Структурная схема АПК

Архитектура АПК позволяет реализовать модульно-наращиваемую систему регистрации медико-биологических показателей активности пользователя экзоскелета. Обеспечена возможность накопления регистрируемых показателей в базу данных как для ретроспективной обработки, так и анализа в режиме реального времени.

Получены результаты вычислительных экспериментов и сравнения результатов измерений, полученных с использованием разработанного АПК и сертифицированными медицинскими приборами: портативным электрокардиографом и инфракрасным бесконтактным термометром. Сравнение точности регистрации частоты пульса и значений температуры поверхности кожи с помощью отдельных приборов и с помощью разработанного АПК показало удовлетворительное совпадение результатов.

Применение разработанного АПК обеспечивает учет показателей состояния пользователя при разработке и совершенствовании экзоскелетов, а также позволяет распознавать потенциально опасные нарушения состояния пользователя экзоскелета в реальном времени.

Работа выполнена при поддержке гранта Президента РФ по государственной поддержке ведущих научных школ РФ (грант НШ-122.2022.1.6).

1. Бухтияров И.В., Герегей А.М., Никитина Е.И. Промышленные экзоскелеты как перспективные средства защиты от тяжести труда // Охрана труда и социальное страхование. 2021. № 8. С. 38-46.

2. Яцун С.Ф., Мальчиков А.В., Тентюк Д.А. Экспериментальное исследование измерительной манжеты активного экзоскелета // Труды XVI Международной конференции по электромеханике и робототехнике. Санкт-Петербург, 2021. С. 288-292.

3. Larkin E.V., Akimenko T.A., Bogomolov A.V. Modeling the reliability of the onboard equipment of a mobile robot // Izvestiya of Saratov University. New Series. Series: Mathematics. Mechanics. Informatics. 2021. Vol. 21. No. 3. Pp. 390-399.

4. Ушаков И.Б., Богомолов А.В. Диагностика функциональных состояний человека в приоритетных исследованиях отечественных физиологических школ // Медико-биологические и социально-психологические проблемы безопасности в чрезвычайных ситуациях. 2021. № 3. С. 91-100.

5. Авдзейко В.И., Карнышев В.И., Мещеряков Р.В., Парнюк Л.В. Прогнозирование тенденций развития и выявление перспективных технологий в области преобразовательной техники // Известия высших учебных заведений. Электромеханика. 2017. Т. 60. № 2. С. 51-56.

*Д. Диб, Р.Б. Гарсия, И.В. Меркурьев*  
**РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ СТАБИЛИЗАЦИИ  
ВЕРТИКАЛЬНОГО ПОЛОЖЕНИЯ АКТИВНОГО  
МЕДИЦИНСКОГО ЭКСОСКЕЛЕТА ЧЕЛОВЕКА**

*ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ», Москва, MerkuryevIV@mpei.ru*

*D. Deeb, R.B. Garcia, I.V. Merkuryev*  
**DEVELOPMENT OF METHODS FOR STABILIZING THE  
VERTICAL POSITION OF THE HUMAN ACTIVE MEDICAL  
EXOSKELETON**

*Moscow Power Engineering Institute, Moscow, MerkuryevIV@mpei.ru*

Рассматривается новый активный медицинский экзоскелет человека, предназначенный для реабилитации пациентов, перенесших тяжёлые операции. Актуальным направлением развития и исследований активных экзоскелетов человека является создание высокомоментных, быстродействующих двигателей, обеспечивающих безопасное и комфортное движение человека. Также актуальной является разработка алгоритмов оптимального по энергозатратам управления движением в виде обратной связи по оценке состояния системы.

Поддержание вертикального положения тела у человека представляет собой очень сложную задачу из-за механической неустойчивости многосуставного тела человека, большого числа степеней

свободы и необходимости удерживать проекцию центра масс тела внутри небольшого опорного контура.

Оптимизация энергозатрат при управлении движением позволяет повысить время автономного движения экзоскелета человека. Управление в виде обратной связи обеспечивает безопасность и комфортабельность перемещения человека, позволяет разгрузить медицинский персонал от необходимости поддержания и сопровождения пациента.

В докладе предлагаются новые схемотехнические и алгоритмические решения активного медицинского экзоскелета человека, обеспечивающие оптимальное по энергозатратам перемещение корпуса человека с нарушением вестибулярного и опорно-двигательного аппарата.

Сенсорное обеспечение перемещения обеспечивается за счет комплексной обработки датчиков инерциальной информации, дублирующих измерительные функции вестибулярного аппарата человека, а также оптико-электронной, дальномерной, тензометрической и силовой позиционной информации, дополнительно расширяющей возможности всей системы.

Информация о местной вертикали формируется в микромеханическом измерительном модуле, особенностью которого является значительный уровень случайных помех в первичных измерительных сигналах микромеханических гироскопов и акселерометров.

В докладе обсуждаются предложенные алгоритмы калмановской фильтрации и совместной комплексной обработки первичной сенсорной информации активного экзоскелета человека.

Силовой контур активного экзоскелета полностью электрифицирован и является автономным. В докладе рассматриваются конкурсные варианты управления движением активного экзоскелета на базе электрических сервоприводов и поворотных гидродвигателей, размещенных в суставах внешнего силового каркаса экзоскелета. Обсуждаются математические модели приводов и сенсоров системы, применяемых для управления движением активного экзоскелета человека.

Построенная новая математическая модель движения активного экзоскелета человека описывает пространственное движение человеко-машинной системы, управляемой приводной частью системы.

Рассматривается частный случай движения системы в малой окрестности вертикального неустойчивого положения равновесия системы. Движение системы происходит в сагиттальной и фронтальной плоскостях.

тальной плоскости в процессе управляемого опирания на горизонтальное шероховатое основание.

При построении оптимального по энергозатратам управления угловым положением звеньев экзоскелета применен принцип максимума Понтрягина. Получено аналитическое решение гамильтоновой системы для частного тестового случая движения системы.

Проведено комплексное математическое моделирование движения и взаимодействия подсистем активного экзоскелета человека. Проведена оценка точности автоматической стабилизации вертикального положения человека в активном экзоскелете в зависимости от погрешностей датчиков сенсорной части системы.

*И.С. Барынкин<sup>1</sup>, А.С. Смирнов<sup>1,2</sup>*  
**ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ НОВОЙ  
КОНСТРУКЦИИ АКТИВНОГО ЭКЗОСКЕЛЕТА НИЖНИХ  
КОНЕЧНОСТЕЙ**

<sup>1</sup>*Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург, ivan.barynkin08@gmail.com;* <sup>2</sup>*Институт проблем машиноведения Российской академии наук, Санкт-Петербург, smirnov.alexey.1994@gmail.com*

*I.S. Barynkin<sup>1</sup>, A.S. Smirnov<sup>1,2</sup>*  
**DESIGN AND RESEARCH OF A NEW CONSTRUCTION  
OF THE LOWER LIMB ACTIVE EXOSKELETON**

<sup>1</sup>*Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg, ivan.barynkin08@gmail.com;* <sup>2</sup>*Institute of Problems of Mechanical Engineering of the Russian Academy of Sciences, St. Petersburg, smirnov.alexey.1994@gmail.com*

В настоящей работе обсуждаются механические и бионические процессы ходьбы человека с целью создания теоретической базы для конструирования активного экзоскелета нижних конечностей. Дается описание конструкции (рис. 1а, рис. 1б) прототипа экзоскелета и приводится общая расчетная схема системы, которая состоит из человека, интегрированного с экзоскелетом.

Данная расчетная схема представляет собой сложную стержневую конструкцию, которая обладает большим количеством степеней свободы. На основе наблюдений за ходьбой человека отбрасывается ряд несущественных степеней свободы и составляется упрощенная расчетная схема, учитывающая лишь три основные

степени свободы. При помощи уравнений Лагранжа второго рода записываются уравнения движения системы в стандартной матричной форме с учетом управляющих моментов, создаваемых приводами в шарнирных сочленениях [1].

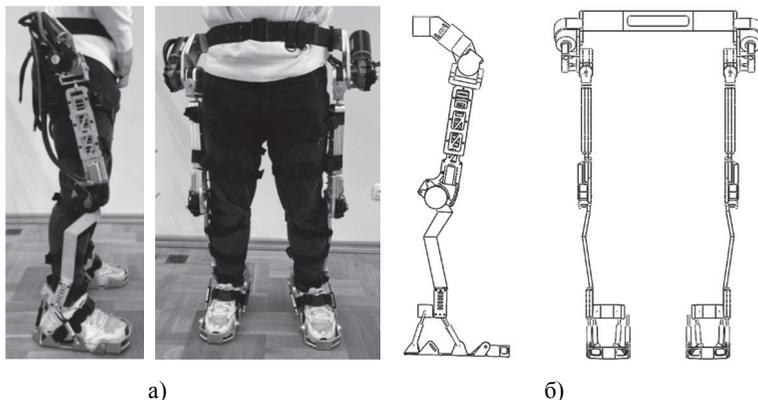


Рисунок 1 – Экзоскелет Natsune: а) реальная конструкция; б) эскиз в двух проекциях

Кроме того, приводится описание основных электрических компонентов системы. Также приводится обзор основных тазовых и бедренных мышечных групп человека и рассматривается их работа при сгибании и разгибании суставов [2]. Анализ работы мышц-антагонистов позволяет сделать вывод о двойственности работы мускулатуры.

В качестве основного бионического интерфейса в экзоскелете используются миографические датчики. Дается описание процесса работы с ними и алгоритма обработки сигналов с них, а также рассматривается случай одновременной работы мышц-антагонистов. Составляется алгоритм минимизации ошибки, который служит основной идеей управления устройством. Вводится критерий качества алгоритма управления, который основан на бионических особенностях работы мускулатуры человека.

Также приводятся скриншоты программно-информационного обеспечения, которое необходимо для вывода на экран данных с сенсоров и для отрисовки конфигурации экзоскелета в реальном времени в виде упрощенной 3D модели.

В заключение делаются выводы по проделанной работе, а именно, открываются новые задачи для анализа и учета каких-либо сто-

ронних эффектов, связанных с особенностями использования миографических сенсоров. Наконец, приводятся идеи, касающиеся модернизации механической, электрической и вычислительной систем экзоскелета.

1. Лавровский Э.К., Письменная Е.В., Комаров П.А. О задаче организации ходьбы экзоскелетона нижних конечностей при помощи управления в коленных шарнирах // *Российский журнал биомеханики*. 2015. Т. 19. № 2. С. 158-176.

2. Пивченко П.Г., Трушель Н.А. *Анатомия опорно-двигательного аппарата*. Минск: Новое знание, 2014. 271 с.

*Д.Р. Хашев, Е.А. Лукьянов*  
**РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА АНАЛИЗА КУЛЬТИ  
ПАЦИЕНТА**

*Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону,  
marden9407@gmail.com, lukevgan@gmail.com*

*D.R. Khashev, E.A. Lykianov*  
**DEVELOPMENT OF A DEVICE FOR ANALYSIS OF THE  
PATIENT'S UPPER LIMB STOP**

*Don State Technical University, Rostov-on-Don, marden9407@gmail.com,  
lukevgan@gmail.com*

Согласно данным Всемирной Организации Здравоохранения (ВОЗ) за 2017 год, в мире насчитывается 40 миллионов человек с ампутированными конечностями [3]. При этом, только 5% людей с ампутированными конечностями имеют доступ к адекватной помощи в области протезирования. Однако, по результатам исследования, даже обладающие хорошими, технологичными протезами люди испытывают значительные неудобства при их эксплуатации.

Основная проблема, с которой сталкиваются люди, использующие протезы конечностей – травмирование кожного покрова культи. CAD/CAM системы и 3Д-печать могут поднять процесс изготовления гильзы на новый уровень, улучшив скорость и добротность изготовления [1].

Для снижения затрат и увеличения качества культеприёмной гильзы было разработано устройство – автоматизированный анализатор [2]. Одной из возможностей данного устройства сканировать

форму культы и передача этих данных в виде облака точек, по которым создается 3д модель культы пациента, что дает информацию для построения гильзы.

В рамках работы были рассмотрены следующие элементы научной новизны и практической значимости:

1. Разработан метод комплексного определения физиологических параметров верхней культы пациента. Данный метод позволяет реализовать конструкцию культеприемной части протеза из разных материалов с учетом индивидуальных особенностей пациента. А также метод позволяет вывести конструкционный и технологический процесс изготовления протеза в цифровое пространство и сократить сроки изготовления гильзы с 3 дней до 1,5 дня.

2. Предложен алгоритм сбора и обработки данных с измерительных мехатронных модулей для учета индивидуальных особенностей пациента. Алгоритм позволяет учесть при разработке гильзы расположение мышечных жировых и костных тканей.

3. Создано программное обеспечение реализующее работу системы построения культеприемной гильзы верхних конечностей человека с учетом его индивидуальных физиологических особенностей (см. рис. 1).

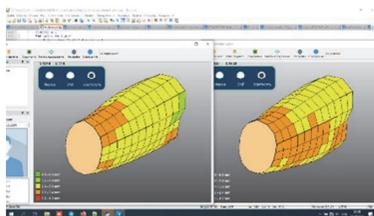


Рисунок 1 — Программное обеспечение для построения

4. Построен экспериментальный образец устройства анализа верхних конечностей человека, который позволяет проводить исследования точности построения культеприемной гильзы. Проведенные испытания системы построения гильзы доказали работоспособность предложенных алгоритмов управления.

5. Разработана математическая модель динамических процессов и силовых взаимодействий гильзы и культы при выполнении различных действий и движений (см. рис. 2).

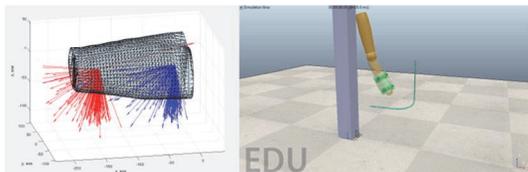


Рисунок 2 — Математическая модель динамических процессов силовых взаимодействий гильзы и культи

1. Martin Marino et al. Access to prosthetic devices in developing countries: Pathways and challenges. Conference paper from Global Humanitarian Technology Conference, 2015 IEEE. DOI: 10.1109/GHTC.2015.7343953

2. Лысенко, А.Ф. Разработка системы анализа культи пациента и построения 3d модели с использованием метода конечных элементов для последующего усовершенствования культеприёмной гильзы / А.Ф. Лысенко, Д.Р. Хашев, А.Д. Бабичев - Ганага // МЕРИДИАН. – 2020. – № 3. – С. 435-437

3. Erwin C. Baars. Prosthesis satisfaction in lower limb amputees: A systematic review of associated factors and questionnaires / Erwin C. Baars, Ernst Schrier, Pieter U. Dijkstra, Jan H.B. Geertzen // Medicine. – Vol. 97. – Issue 39. – e12296

*А.В. Синегуб<sup>1</sup>, А.В. Лопота<sup>2</sup>*

### **КИБЕРПРОТЕЗИРОВАНИЕ. ИНТЕГРАЦИЯ ПРОТЕЗА В ТЕЛО ЧЕЛОВЕКА**

<sup>1</sup>СПбПУ, Санкт-Петербург, *a.sinegub@yandex.ru*; <sup>2</sup>ГНЦ РФ ЦНИИ РТК,  
Санкт-Петербург, *rtc@rtc.ru*

*A.V. Sinegub<sup>1</sup>, A.V. Lopota<sup>2</sup>*

### **CYBERPROSTHETICS. INTEGRATION OF THE PROSTHESIS INTO THE HUMAN BODY**

<sup>1</sup>SPbSPU, St. Petersburg, *a.sinegub@yandex.ru*; <sup>2</sup>Russian state scientific center  
for robotics and technical cybernetics, St. Petersburg, *rtc@rtc.ru*

Проблемой современного протезостроения остается отсутствие прочного механического соединения протеза с опорно-двигательной системой пациента и эффективной прямой и обратной

биологической связи с нервной системой, обеспечивающей сложное управление мехатронными протезами.

Будущее в протезостроении за киберпротезированием, где киберпротез – мехатронный протез, интегрированный в опорно-двигательный аппарат и соединенный с нервной системой человека [1].

Такой протез теоретически может полностью восполнить функции утраченной конечности, и даже усовершенствовать.

Киберпротез состоит из трех частей: мехатронного протеза; системы управления, связанной с нейро-мышечной системой; остеointеграционной системы.

Авторским коллективом разработана остеointеграционная система протеза бедра (рис. 2).

Структурно остеointеграционная система экзопротезирования бедра состоит из двух частей: эндочасти и переходника.

Эндочасть – система имплантов, имплантируемая в остаточные кости культи, и выходящая чрескожно наружу из тела человека. Через 3-6 месяцев после имплантации эндочасть остеointегрируется в кость, тем самым образуя прочную механическую связь и создавая опорную базу для присоединения протеза [2].

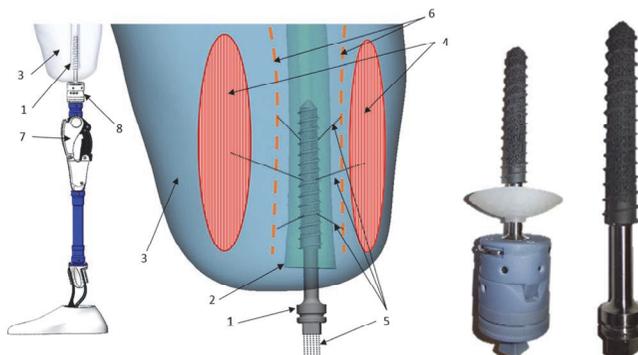


Рисунок 1 — Остеointеграционная система протеза бедра: 1 – эндочасть; 2 – бедренная кость; 3 – культя; 4 – мышцы; 5 – электроды нейромышечной системы управления, имплантированные в мышцы и нервы; 6 – нервные волокна; 7 – экзопротез; 8 – переходник

Переходник – устройство, предназначенное для соединения экзопротеза и остеointеграционного имплантата, позволяющее снимать/одевать протез, защищать от чрезмерных ударных и циклических нагрузок при ходьбе.

Экзопротезирование конечностей при помощи остеоинтеграции известно во всем мире уже более 30 лет, но в России нет ни одной зарегистрированной системы. Создание базовой технологии остеоинтеграционной системы протеза позволит сделать шаг в направлении киберпротезирования.

Работа выполнялась при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-38-90091.

1. Ortiz-Catalan M., Håkansson B., Brånemark R. An osseointegrated human-machine gateway for long-term sensory feedback and motor control of artificial limbs //Science translational medicine. – 2014. – Т. 6. – №. 257. – С. 257-257.

2. Thesleff A. et al. Biomechanical characterisation of bone-anchored implant systems for amputation limb prostheses: a systematic review //Annals of biomedical engineering. – 2018. – Т. 46. – №. 3. – С. 377-391.

*А.И. Хадж, А.Ю. Алейников, Ю.С. Павлова,  
С.Д. Иванов, Х. Камаль*

**АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС  
ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ЛОКТЕВОГО СУСТАВА С ФУНКЦИЕЙ  
БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗИ**

*Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования «Белгородский государственный национальный  
исследовательский университет», Белгород, Brahimht995@gmail.com*

*B. Y. Hadj, A. Yu. Aleynikov, Yu. S. Pavlova, S. D. Ivanov, H. Kamal.*  
**HARDWARE-SOFTWARE COMPLEX FOR DEVELOPING THE  
ELBOW JOINT WITH A FUNCTION OF BIOFEEDBACK**

*Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education «Belgorod  
National Research University», Belgorod, Brahimht995@gmail.com*

В настоящее время вопрос разработки методов реабилитации верхних конечностей у пациентов после перенесенного острого нарушения мозгового кровообращения, является важной медико-социальной проблемой. Одним из самых частых последствий инсульта является нарушение двигательной функции в виде спастичности мышц. Следует отметить, что спастичность развивается неравномерная и имеет следующую закономерность: наиболее высокая степень спастичности отмечается в аддукторах плеча, сгибате-

лях руки, пронаторах предплечья. При отсутствии ранних постоянных реабилитационных мероприятий формируются мышечные контрактуры, которые приводят к возникновению стереотипного устойчивого положения верхней конечности с потерей функции.[1]

Роботизированные методы механотерапии, с использованием механизмов обратной связи, позволяют восстановить биомеханические и функциональные возможности верхней конечности. При разработке локтевого сустава необходимо использование датчиков усилия и ЭМГ для создания механизма обратной связи, так как для коррекции контрактуры необходим контроль качества исполнения задания для формирования адекватного моторного ответа как со стороны периферии, то есть мышечного аппарата руки, так и со стороны центральных механизмов управления движением — двигательных зон в коре головного мозга, с учетом процессов реорганизации в ишемизированных участках мозгового вещества.[2] Необходимо создавать плавные движения в локтевом суставе, постепенно повышая амплитуду и скорость сгибания, чтобы не повредить спазмированные мышечные волокна и не усилить болевой синдром.

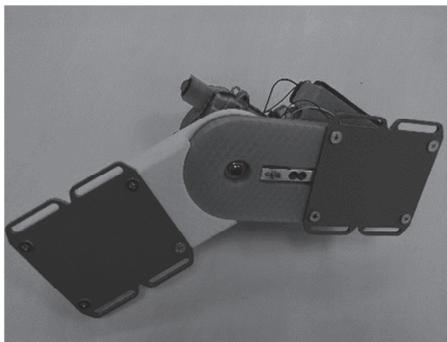


Рисунок 1 – Прототип устройства

Предложенное устройство (рис. 1), удовлетворяющее медицинским требованиям, предназначено для выполнения циклических вращательных в пределах заданных углов процедур в области локтевого сустава пациента верхней конечности человека. Крепится к телу посредством четырех ремней. В обычном режиме имеется возможность задавать рабочий угол вращения, стартовую позицию и скорость углового перемещения. В smart режиме контролируется усилие «помощи» и «сопротивления» между устройством и верхней конечностью тела пациента посредством тензомоста. В качестве

рабочего привода использован бесщеточный двигатель с предустановленным драйвером с возможностью управления скоростью вращения посредством внешнего ШИМ сигнала, а также направлением вращения.

Для задачи абсолютного контроля углового перемещения используется 12 битный магнитный энкодер AS5600. В механизме биологической обратной связи кроме усилия также используется ЭМГ сигнал.

Система управления построена на основе микроконтроллера Atmega328. Питание осуществляется от двух элементов 18650, соединенных последовательно. При изготовлении корпуса используются фрезерная обработка с ЧПУ и 3d печать.

1. Bower C, Taheri H, Wolbrecht E. Adaptive Control with StateDependent Modeling of Patient Impairment for Robotic Movement Therapy. IEEE Int Conf Rehabil Robot. 2013;2013:6650460.

2. Kim CY, Lee JS, Lee JH, Kim YG, Shin AR, Shim YH. Effect of spatial target reaching training based on visual biofeedback on the upper extremity function of hemiplegic stroke patients. J Phys Ther Sci. 2015;27(4):1091-1096.

*А.А. Зеленский, Т.Х. Абдуллин, Ю.В. Илюхин*  
**СГЛАЖИВАНИЕ КУСОЧНО-ЛИНЕЙНОЙ ТРАЕКТОРИИ  
ПРИ ПЯТИОСЕВОЙ НЕПРЕРЫВНОЙ КОНТУРНОЙ  
ОБРАБОТКЕ**

*МГТУ «СТАНКИН», Москва, zelenskyaa@gmail.com,  
everestultimate@yandex.ru, ilyv-2@mail.ru*

*A.A. Zelensky, T.Kh. Abdullin, Y.V. Ilyukhin*  
**SMOOTHING A PIECEWISE LINEAR PATH DURING  
FIVE-AXIS CONTINUOUS CONTOUR MACHINING**

*MSTU Stankin, Moscow, zelenskyaa@gmail.com, everestultimate@yandex.ru,  
ilyv-2@mail.ru*

Пятиосевая непрерывная контурная обработка на сегодняшний день наиболее широко используется при изготовлении различных деталей оборонной и гражданской промышленности, которые могут включать в себя как канонические поверхности, так и поверхности свободной формы [1]. Их обработка требует решения ряда проблем,

связанных с системами управления станков и промышленных роботов.

Данные поверхности изначально обрабатываются системой автоматизированного проектирования (по англ. Computer-Aided Manufacturing), где в зависимости от выбранной стратегии обработки формируется определённый набор данных описания траектории (по англ. Cutter Location Data), включающий информацию о положении и ориентации режущей кромки центра инструмента. В дальнейшем с помощью постпроцессора файл преобразуется в управляющую программу, пригодную для чтения в системе управления, которая обычно состоит из множества линейных сегментов очень малой длины [2,3]. В случае отсутствия в системе управления дополнительного функционала в виде сглаживания геометрии траектории локальным или глобальным методом [4], будет происходить падение производительности обработки, из-за постоянных периодических разгонов-торможений вдоль каждого сегмента траектории. Прохождение инструмента с постоянно заданной скоростью подачи вдоль кусочно-линейной траектории может приводить к проблемам с точностью отработки контура, превышению заданных кинематических ограничений каждой оси мехатронного оборудования и ограничений, действующих в замкнутом контуре сервоусилителей [5,6].

Сглаживание траектории инструмента позволяет решить указанные проблемы с производительностью и поднять среднюю контурную скорость подачи. Однако глобальные методы сглаживания сплайнами могут демонстрировать значительные геометрические отклонения между аппроксимирующей кривой и заданной траекторией. Данный недостаток возможно устранить за счёт рассмотрения в алгоритме сглаживания метрики Хаусдорфа [4,7] между кривыми, учитывая при этом допустимый предел заданной ошибки. Тем не менее, сама по себе сплайн-аппроксимация является довольно сложной вычислительной задачей, если даже в алгоритме метрика Хаусдорфа не учитывается. В работах [7,8] сплайн-аппроксимация представляет собой итерационный процесс, в котором определение контрольных точек аппроксимирующего B-сплайна основано на методе наименьших квадратов. При увеличении порядка сплайна и количества его контрольных точек с одной стороны точность аппроксимации будет улучшаться, а с другой в области плотного расположения точек управляющей программы возможна генерация кривых некорректной осциллирующей формы. Кроме того, определённые алгоритмы [9] могут формировать смешанную линейно-сплайновую траекторию, проходящую непосредственно через точки управляющей

программы, в которой сплайны описываются кривыми Безье четвертого порядка.

Локальные методы сглаживания в большей степени подходят для контуров, состоящих из длинных линейных сегментов. Главное преимущество локальных методов заключается в возможности контролировать ошибку аппроксимации аналитически, а также более простой реализации алгоритма на практике, в том числе и в режиме реального времени. Траектория с применением локальных методов сглаживания в среднем обладает большей кривизной по сравнению с глобальными методами. Как следствие, локальные методы демонстрируют худшие показатели производительности обработки.

Применение мехатронного оборудования со сложной кинематикой, в частности обрабатывающих центров с пятью степенями подвижности, включающего три поступательные и две вращательные кинематические пары, требует рассмотрения углового допуска аппроксимации вставленного сплайна ориентации инструмента в системе координат (СК) вращательного движения и допуска сглаживания для траектории кривой положения режущей кромки резца инструмента в СК поступательного движения, что в целом усложняет реализацию алгоритма сглаживания относительно двух или трёхкоординатных станков.

Работа посвящена пятиосевым локальным методам сглаживания, достоинством которых является простота и возможность аналитического контроля ошибок аппроксимации. Алгоритм формирования движения звеньев в таком случае можно реализовать тремя различными стратегиями, в которых сглаживание, планирование скоростей подач и интерполяция может осуществляться в СК детали [10], обобщённой системе координат [11] или одновременно в обеих СК [12]. Каждая стратегия включает в себя следующие основные программные модули: блок кинематических преобразований, решающий прямую и обратную задачи кинематики, геометрический модуль сглаживания, динамический модуль разгона/торможения, в задачу которого входит расчёт допустимых скоростей подач на стыке сегментов, и интерполяционный модуль, реализующий алгоритмы линейной и параметрической интерполяции. Поскольку нелинейные кинематические преобразования не влияют на непрерывность вставленных параметрических кривых для контуров положения режущей кромки и ориентации инструмента, то блок кинематических преобразований может выполняться как до, так и после сглаживания.

В данной работе исследуется пятиосевой локальный метод сглаживания, который упрощает контроль ошибки аппроксимации, ре-

лизуя его непосредственно в СК детали независимо от кинематики мехатронного оборудования. Однако планирование скоростей подачи здесь учитывает только контурные кинематические ограничения в СК детали в виде нормальных и тангенциальных составляющих скорости, ускорения и рывка, игнорируя при этом аналогичные ограничения, действующие в каждом звене механизма.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России в рамках выполнения государственного задания (FSFS-2021-0004).

1. Brecher C. NURBS based ultra-precision free-form machining / C. Brecher, S. Lange, M. Merz, F. Niehaus, C. Wenzel, M. Winter-schladen // CIRP Annals. 2006, Vol. 55 (1), P. 547–550.

2. Зеленский А.А. Особенности построения в реальном времени s-образной кривой разгона/торможения при кусочно-линейной интерполяции поверхностей сложной формы / А.А. Зеленский, Т.Х. Абдуллин, А.В. Алепко // 2021, Робототехника и техническая кибернетика, том 9, № 3, с. 186–195.

3. Зеленский А.А. Повышение производительности контурной механической обработки путём сглаживания пространственной кусочно-линейной траектории и квазиоптимального планирования подачи / А.А. Зеленский, Т.Х. Абдуллин, А.В. Алепко, Ю.В. Илюхин // 2022, Известия высших учебных заведений. Машиностроение, № 2, с. 3-17.

4. 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), P. 1-16.

5. Зеленский А.А. Исследование методов параметрической интерполяции для сглаживания кусочно-линейной траектории движения инструмента / Зеленский А.А., Абдуллин Т.Х., Дубовсков В.В., Илюхин Ю.В. // 2021, "Дифференциальные уравнения и процессы управления", №4, с. 51-68.

6. Зеленский А.А. Локальное сглаживание кусочно-линейной траектории инструмента в системе ЧПУ для высокоскоростной обработки / А.А. Зеленский, Т.Х. Абдуллин, В.В. Дубовсков, В.Р. Купцов // 2022, Сборка в машиностроении, приборостроении, № 4, с. 172-187.

7. Yang Z. Y. Curve Fitting and Optimal Interpolation for CNC Machining under Confined Error using Quadratic B-splines / Z. Y. Yang, L.

Y. Shen, C. M. Yuan, X. S. Gao. // 2015, Computer-Aided Design, Vol. 66, Issue C, P. 62–72.

8. Piegl L. The NURBS Book, second ed. / L. Piegl, W. Tiller // 1997, Springer, Berlin, Heidelberg.

9. Fan W. A real-time curvature-smooth interpolation scheme and motion planning for CNC machining of short line segments / W. Fan, C-H. Lee, J-H. Chen // 2015, International Journal of Machine Tools and Manufacture, Vol. 96, P. 27-46.

10. Huang J. Real-time local smoothing for five-axis linear toolpath considering smoothing error constraints / J. Huang, X. Du, L-M Zhu // 2018, International Journal of Machine Tools and Manufacture, vol. 124, P. 67-79.

11. Bi Q-Z Analytical curvature-continuous dual-Bézier corner transition for five-axis linear tool path / Q-Z Bi, J. Shi, Y-H. Wang, L-M Zhu, H. Ding // 2015, International Journal of Machine Tools & Manufacture, vol. 91, P 96-108.

12. Hu Q. A Real-Time C3 Continuous Tool Path Smoothing and Interpolation Algorithm for Five-Axis Machine Tools / Q. Hu, Y. Chen, X. Jin, J. Yang // 2020, Journal of Manufacturing Science and Engineering, vol. 142, PP. 1-43.

**КРУГЛЫЙ СТОЛ «КОСМИЧЕСКАЯ РОБОТОТЕХНИКА»**

---

*Е.Б. Коротков<sup>1</sup>, Н.С. Слободзян<sup>1</sup>, Ю.А. Жуков<sup>1</sup>,  
А.А. Киселев<sup>1</sup>, В.Г. Порпылев<sup>2</sup>*

**ТРАЕКТОРНОЕ УПРАВЛЕНИЕ  
МЕХАНИЗМОМ ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ**

*<sup>1</sup>БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова, Санкт-Петербург; <sup>2</sup>АО «ИСС»  
имени академика М.Ф. Решетнёва», г. Железногорск, Красноярский край  
ebkorotkov@yandex.ru, ja-nikita@mail.ru, zh\_kv@mail.ru,  
porpylevvg@iss-reshetnev.ru*

*Е.В. Korotkov<sup>1</sup>, N.S. Slobodzyan<sup>1</sup>, Yu.A. Zhukov<sup>1</sup>,  
A.A. Kiselev<sup>1</sup>, V.G. Porpylev<sup>2</sup>*

**TRAJECTORY TRACKING CONTROL  
OF A PARALLEL STRUCTURE MECHANISM**

*<sup>1</sup>Baltic State Technical University «VOENMEH», St. Petersburg; <sup>2</sup>JSC «ISS  
Reshetnev Company», Zheleznogorsk, Krasnoyarskiy kray,  
ebkorotkov@yandex.ru, ja-nikita@mail.ru, zh\_kv@mail.ru,  
porpylevvg@iss-reshetnev.ru*

Механизмы параллельной структуры (МПС) находят широкое применение при решении задач высокоточного наведения и ориентирования в экстремальных условиях космического пространства.

Помимо стойкости к специфичным воздействиям космического вакуума, радиации и широкого диапазона температур, к МПС также предъявляются жесткие требования к динамическим характеристикам движения объекта управления. Так, устройство наведения главного зеркала и контррефлектора отечественной обсерватории «Миллиметр» должно обеспечивать особые динамические режимы работы с учетом больших моментов инерции телескопа, низких частот собственных колебаний его конструкции, а также высоких требований к точности наведения [1]. Вместе с тем, должны обеспечиваться малая длительность переходных процессов и воздействие на объект управления и несущую платформу космического аппарата с минимальными динамическими возмущениями. Такое ограничение моментов и усилий, воздействующих на нагрузку со стороны МПС, обуславливается как стремлением уменьшить потребляемую мощность, так и обезопасить чувствительную полезную нагрузку и космический аппарат от нежелательных возмущений выше допустимых. Кроме того, в связи с ограниченной производительностью систем терморегулирования, необходимо стре-

миться минимизировать тепловыделение электромеханических приводов.

При решении космической обсерваторией «Миллиметрон» таких глобальных научных задач, как изучение чёрных дыр, кротовых нор и реликтового излучения, основным режимом работы является наведение телескопа на источник излучения и периодическая коррекция его положения и угловой ориентации. С учетом указанных требований, авторами предлагается применение специальных алгоритмов планирования траектории движения подвижной платформы МПС с объектом управления в позиционном режиме [2, 3].

Поскольку рассматриваемый в работе механизм предназначен для функционирования с небольшими скоростями и ускорениями в условиях отсутствия гравитационных сил, предложен вариант системы управления МПС в пространстве обобщенных координат приводов.

Задача траекторного управления МПС решается поэтапно. На первом – для заданных динамических ограничений на движение объекта управления (скорости, ускорения и рывки) выполняется вычисление траектории движения платформы по соответствующей координате в декартовом пространстве. На втором – с помощью решения обратной задачи кинематики МПС вычисляются траектории движения каждого из приводов механизма в пространстве обобщенных координат. Наконец – в режиме реального времени с заданным периодом квантования точки траекторий приводов передаются как задающие воздействия в систему программного управления линейными приводами механизма параллельной структуры.

Для анализа качества разработанной системы управления МПС в пространстве обобщенных координат приводов, разработана имитационная модель и выполнено моделирование работы механизма с крупногабаритным объектом управления для различных траекторий движения и соответствующих динамических ограничений.

Результаты моделирования динамики МПС в условиях отсутствия сил гравитации и небольших скоростей движения показывают, что при сравнительной простоте построения системы управления МПС в пространстве обобщенных координат приводов, обеспечивается высокое качество работы механизма с малыми значениями статических и динамических ошибок по всем координатам подвижной платформы.

1. Артеменко Ю.Н. Многофункциональное использование манипулятора наведения космического телескопа «Миллиметрон» //

Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. 2011. № 4-2. С. 44-46.

2. Жуков Ю.А., Лычагин Ю.В., Слободзян Н.С. Решение задач кинематики гексапода в реальном времени // Материалы III Всероссийской научно-технической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов. Научный редактор А.Т. Барабанов. 2017. С. 87-91.

3. Слободзян Н.С. Позиционное управление линейным приводом мехатронного устройства с параллельной кинематикой // Вопросы радиоэлектроники. 2020. № 9. С. 6-13.

***А.С. Перхов, Р.С. Зверев, Т.О. Козлова, М.Л. Литвак***  
**ЛУНА-27. ГРУНТОЗАБОРНОЕ УСТРОЙСТВО**

*ИКИ РАН, Москва, perhov-alexandr@mai.ru, radiy\_zv@mail.ru,  
kozlova.t@rssi.ru, litvak@iki.rssi.ru*

***A.S. Perkhov, R.S. Zverev, T.O. Kozlova, M.L. Litvak***  
**LUNA-27. SOIL-SAMPLING TOOL**

*IKI RAS, Moscow, perhov-alexandr@mai.ru, radiy\_zv@mail.ru,  
kozlova.t@rssi.ru, litvak@iki.rssi.ru*

Луна-27 – посадочная лунная миссия, для которой основной научной задачей является анализ свойств полярного лунного реголита, прежде всего включая поиск в нем летучих веществ и водяного льда. Для этого, в ходе работы на лунной поверхности, планируется взятие образцов грунта с такой глубины, где грунт изолирован от внешних условий. Место посадки КА будет выбрано в окрестности южного полюса Луны, где картографирование с орбиты Луны показывает возможное присутствие подповерхностного водяного льда. С этой целью на аппарате планируется установить грунтозаборное устройство бурового типа (ГЗУ). Желаемая глубина забора образцов – от 0,5 до 2 м. В настоящий момент разрабатывается несколько вариантов конфигураций ГЗУ. На рисунке 1 представлен один из вариантов устройства, способного брать образцы лунной породы с глубин до 1,3 м.

В данной конфигурации предполагается, что образцы лунного грунта, взятые с глубины, будут выгружены с помощью перегрузочной воронки в приемное устройство лунного манипуляторного комплекса (ЛМК). Далее манипулятор выполняет доставку образцов в следующие научные приборы: аналитический комплекс, со-

стоящий из приборов ТА-Л (термоанализатор с пиролитическими ячейками), ГХ-Л (газовый хроматограф) и НГМС (газовый масс-спектрометр) и лазерный масс-спектрометр ЛАЗМА-ЛР. Прообраз борник данного ГЗУ способен брать образцы объемом до  $9 \text{ см}^3$ .

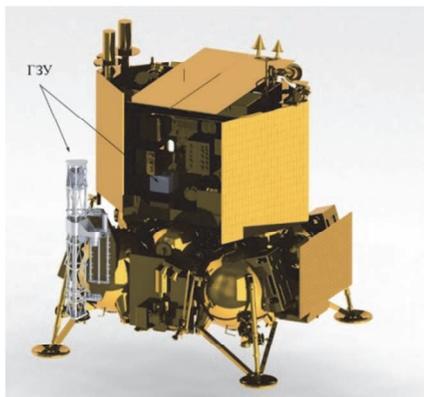


Рисунок 1 — ГЗУ на КА Луна-27



Рисунок 2 — Макет ЭП ГЗУ

Для отработки способа бурения и взятия образцов с глубины в ИКИ РАН был разработан, изготовлен и испытан макет бурового устройства – в рамках эскизного проектирования для миссии «Луна-Рерус-1» (см. рисунок 2). Было испытано несколько вариантов бурового шнека. Для имитации процесса бурения ГЕОХИ РАН специально создал аналог лунного грунта, повторяющий его механиче-

ские свойства. Испытания проходили в нормальных климатических условиях с измерением мощности, тока и других параметров на приводах макета ГЗУ. В результате был выбран самый экономичный по затратам мощности вид бурового инструмента, позволяющий проникать на максимальную глубину.

В докладе также будут представлены и другие варианты конфигурации ГЗУ для лунных посадочных миссий. Они характеризуются меньшими массой и габаритами, но при этом позволяют брать пробы лунного грунта с глубины более 50 см. В основных выводах доклада будет приведено сравнение всех вариантов ГЗУ, их преимущества и недостатки.

***В.А. Яковлев, И.В. Докучаев, Р.С. Зверев,  
Т.О. Козлова, М.Л. Литвак***

**ЛУНА-25. ЛУННЫЙ МАНИПУЛЯТОРНЫЙ КОМПЛЕКС**

*ИКИ РАН, Москва, yakovlev@rssi.ru, olga\_igor@mail.ru, litvak@iki.rssi.ru,  
radiy\_zv@mail.ru, kozlova.t@rssi.ru*

***V.A. Yakovlev, I.V. Dokuchaev, R.S. Zverev,  
T.O. Kozlova, M.L. Litvak***

**LUNA-25. ROBOTIC ARM**

*IKI RAS, Moscow, yakovlev@rssi.ru, olga\_igor@mail.ru, litvak@iki.rssi.ru,  
radiy\_zv@mail.ru, kozlova.t@rssi.ru*

Луна-25 – первая российская лунная миссия, на которой будет установлен лунный манипуляторный комплекс (ЛМК) (см. рис. 1), предназначенный для забора образцов лунного реголита (с глубин до 25 см) и их последующей доставки в аналитические приборы. Манипуляторный комплекс отбирает пробу лунного грунта и транспортирует его в лазерный ионизационный масс-спектрометр ЛАЗМА-ЛР для анализа химического состава на борту.

В докладе будет представлена конструкция манипуляторного комплекса, который имеет четыре привода, обеспечивающие забор грунта в достаточно широкой рабочей зоне на поверхности с заданной глубины. Установленный на манипуляторном комплексе ковш раскапывает траншею для удаления поверхностного слоя грунта за пределы рабочей зоны, а грунтозаборник обеспечивает отбор образцов реголита с объемом до 5 см<sup>3</sup>.



Рисунок 1 — Лунный манипуляторный комплекс

Помимо механических приводов и узлов в состав ЛМК входит блок управления, обеспечивающий полностью автоматическое управление манипулятором. Созданная на Земле циклограмма, состоящая из последовательности команд, обеспечивает управление приводами, а также систему защиты для безопасного взаимодействия с грунтом и транспортировки образца. Кроме того, на грунтозаборнике установлена система датчиков, позволяющая контролировать касание с поверхностью, определять наличие камней на поверхности и судить о механических свойствах реголита.

ЛМК прошёл серию функциональных испытаний, которые обеспечили проверку и уточнение циклограмм работы в различных условиях.

Испытания в криовакуумном стенде в псевдолунных условиях определили возможности копания и отбора пробы аналога лунного реголита, охлажденного до температур ниже минус 100°C, с различным содержанием воды в количестве до 1.5% по весу.

Сложные тепловые условия, в которых работает и хранится манипуляторный комплекс – полностью освещенный солнцем лунным днем и без подогрева основных узлов лунной ночью привели к необходимости использовать в конструкции радиаторы с переменной площадью. Испытания в термовакуумной камере горизонтального типа (в НПО «Молния») проводились и использованием имитатора солнца. В результате испытаний были определены меры по улучшению тепловых характеристик манипуляторного комплекса, в частности определены площади и поверхности радиаторов, а также определена комплексная циклограмма выживания ЛМК на лунной поверхности. Она подразумевает постоянное слежение ЛМК за

положением Солнца в условиях лунного дня и использование специальной ночной парковки в период лунной ночи.

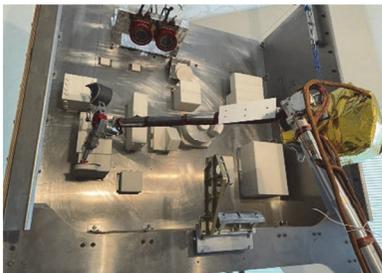


Рисунок 2 — Доставка пробы грунта в прибор ЛАЗМА в ходе испытаний

Серия комплексных испытаний проводилась в ИКИ РАН с участием всего комплекса научной аппаратуры, включая ЛМК. В ходе таких испытаний проверялось одновременное управление всеми научными приборами в течение одного лунного дня. Для отработки ЛМК это была прежде всего совместная работа с ЛИС-ТВ-РПМ (инфракрасный спектрометр и стереокамера, установленные на самом манипуляторе) и со стереокамерами СТС-Л (стационарно установлены в верхней части космического аппарата). В поле зрения стереокамер находится зона поверхности грунта перед космическим аппаратом, где ЛМК должен забирать образцы грунта, а также приемное отверстие для загрузки грунта в прибор ЛАЗМА-ЛР. Совместная работа указанных выше приборов позволяет выбирать наиболее интересные места на лунной поверхности для забора образцов, и обеспечивает наведение инфракрасного спектрометра для проведения минералогического анализа грунта и поиска водяного льда и наведение грунтозаборника для выгрузки образца в прибор ЛАЗМА-ЛР. (см. рис. 2).

***А.В. Леканов, В.Г. Порпылев, Р.А. Пряничников***  
**ЗАДАЧИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ КИНЕМАТИЧЕСКИХ  
ПЕРЕДАЧ ДЛЯ КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ**

*АО «ИСС», г. Железногорск, Красноярского край, lekan@iss-reshetnev.ru,  
porpylevvg@iss-reshetnev.ru, pryanichnikovra@iss-reshetnev.ru*

***A.V. Lekanov, V.G. Porpylev, R.A. Pryanichnikov***  
**TASKS OF IMPROVING KINEMATIC TRANSMISSIONS  
FOR SPACE TECHNOLOGY**

*JSC «ISS-Reshetnev Company», Zheleznogorsk, Krasnoyarskiy kray,  
lekan@iss-reshetnev.ru, porpylevvg@iss-reshetnev.ru,  
pryanichnikovra@iss-reshetnev.ru*

АО «ИСС» имеет богатый опыт разработки, изготовления и использования передач для устройств исполнительной автоматики предназначенной для космической техники. Основные виды передач, изготавливаемые в АО «ИСС»:

– волновая зубчатая передача. Достоинством передачи является высокая кинематическая точность, жесткость. Широко применяется в электромеханических модулях входящих в состав системы наведения антенн и устройств поворота двигателей коррекции с высокими требованиями к точности наведения;

– линейные передачи. Разработанные линейные передачи обеспечивают высокую точность линейных перемещений. Разработана шариковинтовая и роликовинтовая передачи с кинематической погрешностью не более  $\pm 0,005$  мм, винтовая передача нашла применение при разработке гексапода;

– цилиндрические и планетарные зубчатые передачи. Достоинством передачи является долговечность, высокая нагрузочная способность, габариты, технологичность. Получили распространение в малогабаритных приводах раскрытия и в высокоресурсных редукторах устройств поворота батареи солнечной;

– циклоидальные передачи. Достоинством передачи является высокая нагрузочная способность, габариты. Применяются в приводах раскрытия с высокими требованиями к развиваемым моментам.

Передачи являются основой для создания конструктивно завершённых блоков (электромеханических модулей), в состав которых входят электродвигатели и датчики углового положения.

Устройства, изготовленные на базе данных электромеханических модулей, имеют лётную квалификацию и успешно выполняют поставленную задачу в составе систем космического аппарата.

Основными задачами совершенствования передач для космической техники являются:

- увеличение ресурса передач за счёт использования специальных профилей для обеспечения минимальных удельных скольжений, расширения спектра применения консистентных и твердых смазок, повышения износостойкости рабочих поверхностей пар трения, расширения номенклатуры подшипников космического применения;

- увеличение плавности работы устройств для минимизации воздействия на космический аппарат за счёт повышения кинематической точности передач, разработки специализированных алгоритмов управления;

- увеличение жесткости (микрожесткости) передач при сохранении массогабаритных характеристик;

- повышение точности линейных передач.

В настоящее время имеется необходимость в раскрытии на орбите все более крупногабаритных конструкций. Традиционные методы трансформации не позволяют значительно увеличить габариты конструкции при сохранении размеров в сложенном состоянии. Данную задачу способен решить роботизированный манипулятор, построенный на базе электромеханических модулей и обеспечивающий сборку крупногабаритных элементов космического аппарата непосредственно на орбите, что позволит собирать значительно более масштабные конструкции, чем самораскрывающиеся.

Решение поставленных задач позволит повысить характеристики космической техники.

**А.С. Дмитриев<sup>1</sup>, А.А. Жуков<sup>2</sup>, А.А. Никитин<sup>2</sup>**  
**ОБ ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИИ ШАГАЮЩЕГО**  
**КОСМИЧЕСКОГО МИКРОРОБОТА**

<sup>1</sup>*Национальный исследовательский университет «МЭИ», Москва;*

<sup>2</sup>*Московский авиационный институт (Национальный исследовательский университет), Москва*

*asdmiriev@mail.ru, and\_zhukov@mail.ru*

**A.S. Dmitriev<sup>1</sup>, A.A. Zhukov<sup>2</sup>, A.A. Nikitin<sup>2</sup>**  
**ABOUT THE ENERGY SUPPLY OF A WALKING SPACE**  
**MICRO ROBOT**

<sup>1</sup>*National Research University MPEI, Moscow;* <sup>2</sup>*Moscow Aviation Institute*

*(National Research University), Moscow*

*asdmiriev@mail.ru, and\_zhukov@mail.ru*

Работа посвящена анализу систем эффективного энергообеспечения шагающих космических микророботов-инспекторов, предназначенных для наружного осмотра и фиксации повреждений, иных особенностей обшивки и приборных модулей космических аппаратов различного назначения. Решение поставленной проблемы составляет одну из важнейших задач освоения космоса, как при орбитальных полетах, так и в длительных пилотируемых и беспилотных космических экспедициях. До последнего времени отмеченной проблеме уделялось недостаточное внимание, хотя были сделаны различные предложения по системам энергообеспечения наземных микророботов и дронов [1-6]. Однако условия и особенности функционирования микророботов в космическом пространстве поставили новые нерешенные задачи для систем энергообеспечения. Космический микроробот-инспектор представляет собой роботизированное микроустройство, имеющее размеры в несколько миллиметров, содержащие в своей конструкции несущую платформу, как системы передвижения по корпусу космического аппарата, так и перемещения по поверхности аппарата [7]. Помимо этого, микроробот включает в свой состав камеры визуального оптического и инфракрасного слежения, термоактюаторы для ходьбы, источник питания, микромодуль беспроводного приема и передачи данных, внешнюю антенну микромодуля беспроводного приема и передачи данных, микромодуль управления перемещением, микроблоки технического зрения, содержащие излучатели ИК сигнала и приемники отраженного ИК сигнала, видеокамеру для распознавания дефектов поверхности и некоторые другие.

Одной из важнейших задач является выбор эффективной системы энергообеспечения такого микроробота, причем в условиях высокого вакуума, воздействия факторов космического пространства, в частности, низких температур, что определяет актуальность работы.

В данном исследовании проведен анализ возможных современных и перспективных пассивных и активных систем энергообеспечения, включая системы хранения тепловой и электрической энергии, в частности, на основе наноматериалов и двумерных материалов, а также активные системы на базе солнечной фотовольтаики, термофотовольтаики, генерации тепла и пара солнечным излучением, радиоизотопных источников, систем лазерного и СВЧ энергообеспечения, топливных микроячеек и водородных энергетических ячеек, а также солнечного термоэлектрического преобразования. Разработаны методики, модели, проведены расчеты и построены кривые эффективности различных систем; показано, что возможны различные варианты энергообеспечения, выбор которых связан с дополнительными параметрами работы шагающего микроробота-инспектора в космическом пространстве. Приведены технологические особенности создания систем энергообеспечения, а также перечислены современные возможности для их реализации.

1. P. Bhushan and C. Tomlin. An Insect-scale Untethered Laser-powered Jumping Microrobot. arXiv:1908.03282v1. 8 Aug 2019.

2. T. Nugent, and J. Kare. Laser power beaming for defense and security applications. Proc. SPIE 8045. pp. 804 514–804 514–8, 2011.

3. T. Ozaki, N. Ohta, T. Jimbo and K. Hamaguchi. A wireless radiofrequency-powered insect-scale flapping-wing aerial vehicle. Nature Electronics. V. 4. November 2021. 845–852.

4. Helbling E. F. & Wood R. J. A review of propulsion, power, and control architectures for insect-scale flapping-wing vehicles. ASME. Appl. Mech. Rev. 70, 010801 (2018).

A. Le, L. Truong, T. Quyen, C. Nguyen, M. Nguyen. Wireless Power Transfer Near-field Technologies for Unmanned Aerial Vehicles (UAVs): A Review. EAI Endorsed Transactions on Industrial Networks and Intelligent Systems. 10. 2019 - 01 2020. | V. 7. Issue 22. e5.

5. Y. Yan, W. Shi and X. Zhang. Design of UAV wireless power transmission system based on coupling coil structure optimization. EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking (2020) 2020:67.

6. Н.Н. Болотник, В.Г. Градецкий, А.А. Жуков, Д.В. Козлов, И.П. Смирнов, В.Г. Чашухин. Мобильный микроробот космическо-

го назначения: концепция и перспективы использования // Космические исследования. Т. 57. № 2. 2019. С. 132–138.

***О.М. Капустина, А.И. Кобрин, К.А. Компанеев***  
**МЕТОД КОНТРОЛЯ МАНИПУЛЯТИВНОСТИ РОБОТА**

*ФГБОУВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ»,  
Москва, kapustinaOM@mpei.ru*

***О.М. Kapustina, A.I. Kobrin, K.A. Kompaneyets***  
**THE METHOD OF MANIPULABILITY CONTROL  
OF A ROBOT**

*National Research University «Moscow Power Engineering Institute», Moscow,  
kapustinaOM@mpei.ru*

В работе представлены результаты численного эксперимента, демонстрирующего эффективность описанного алгоритма, в задаче о сближении рабочего органа космического манипулятора Канадарм2, имеющего семь степеней свободы (одна избыточная обобщённая координата), с объектом, движущимся по известной траектории.

Построены с помощью системы компьютерной алгебры Mathematica иллюстрации в виде трёхмерной анимации, полученной на основе численного интегрирования уравнений управляемого движения манипулятора и объекта.

Попадание в сингулярные конфигурации должно быть исключено при планировании движений и управлении роботом в реальном времени [1,2]. Манипулятивность [3,4]

$$w = \sqrt{\mathbf{J} \cdot \mathbf{J}^T},$$

$\mathbf{J}$  – матрица Якоби,  $T$  – знак транспонирования, положительная в не-сингулярных конфигурациях, в сингулярных конфигурациях обращается в ноль. Поэтому  $w$  можно рассматривать как метрику, «расстояние» до сингулярной конфигурации, стремясь поддерживать её числовое значение достаточно большим в процессе движения.

Предлагается следующий закон управления манипулятивностью

$$\dot{w} = \begin{cases} 0, & w \geq w^*, \\ a > 0, & w < w^*, \end{cases} \quad (1)$$

$w^*$ - минимально допустимое значение  $w$ ,  $a$  – скорость увеличения  $w$ , точка сверху обозначает производную по времени.

Уравнения (1) налагают дополнительные ограничения на движение манипулятора и в случае одной избыточной степени свободы позволяют замкнуть систему уравнений кинематики

$$\dot{\mathbf{X}} = \mathbf{J} \cdot \dot{\mathbf{Q}},$$

$\mathbf{X}$  – вектор размерности  $6 \times 1$  параметров, определяющих положение и ориентацию схвата в абсолютном пространстве,  $\mathbf{Q}$  - вектор размерности  $n \times 1$  обобщённых координат манипулятора.

Исследование выполнено при частичной финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 22-21-00831.

1. L. Jin, S. Li, H. M. La and X. Luo, «Manipulability Optimization of Redundant Manipulators Using Dynamic Neural Networks», in IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 64, no. 6, pp. 4710-4720, June 2017, doi: 10.1109/TIE.2017.2674624.

2. H. Su, S. Li, J. Manivannan, L. Bascetta, G. Ferrigno and E. D. Momi, «Manipulability Optimization Control of a Serial Redundant Robot for Robot-assisted Minimally Invasive Surgery», 2019 International Conference on Robotics and Automation (ICRA), 2019, pp. 1323-1328, doi: 10.1109/ICRA.2019.8793676.

3. Зенкевич С.Л., Ющенко А.С. Основы управления манипуляционными роботами // М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2004. – 478 с.

4. Springer Handbook of Robotics // ed. by Siciliano B., Khatib O., Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2008. LIX, 1611 p. — ISBN: 978-3-540-23957.

*А.И. Быков, А.В. Артемьев*  
**РЕЗУЛЬТАТЫ АНАЛИЗА ЗАВИСИМОСТИ МОЩНОСТИ  
ПРИВОДА МОТОР-КОЛЕС ПЕРСПЕКТИВНЫХ  
ПЛАНЕТОХОДОВ ОТ НАГРУЗКИ НА КОЛЕСО**

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

*A.I. Bykov, A.V. Artemev*  
**THE DEPENDENCE OF THE PROMISING PLANETARY  
ROVERS' MOTOR WHEELS' DRIVE POWER ON THE LOAD  
ON THE WHEEL THE ANALYSIS RESULTS**

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

Начиная с марсохода «Соджорнер» у всех научно-исследовательских планетоходов, которые эксплуатировались на поверхности космических объектов, шасси базировалось на подвеске Rocker-bogie [1]. Опыт эксплуатации данной подвески показал её эффективность в экспедициях, требующих передвижения по сложному рельефу. Однако целесообразность применения шасси на базе подвески Rocker-bogie для перспективных экспедиций по подготовке площадки, развертыванию и обслуживанию научно-исследовательских баз на поверхности космических объектов требует отдельной оценки.

Для эксплуатации на перспективной научно-исследовательской базе на космическом объекте рассматриваются планетоходы легкого, среднего и тяжелого класса [2]. Одним из критериев оценки при выборе конструкции шасси может являться требуемая мощность привода мотор-колеса планетохода. Мощность привода мотор-колеса напрямую зависит от нагрузки на колесо, а, следовательно, от массы планетохода, колесной формулы и типа подвески [3].

Результаты сравнительного анализа зависимости мощности привода мотор-колеса от нагрузки на колесо позволят на ранних этапах проектирования произвести обоснованный выбор требуемой мощности приводов для конкретной конструкции шасси легкого, среднего или тяжелого планетохода.

1. Маленков М.И., Волов В.А., Гусева Н.К., Лазарев Е.А. Анализ подвижности марсоходов для разработки систем передвижения и алгоритмов управления планетоходами нового поколения // Известия ЮФУ. Технические науки. 2015. №1 (162). С. 82-95.

2. Bodrova J.S., Karabadzhak G.F., Raykunov K.G. Space robotics mobile vehicle platforms, their priority tasks and potential usage scenarios to support Russian manned moon exploration program // EXTREME ROBOTICS.2019. №1. P.343-352.

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

*Е.В. Власенков, Н.М. Хамидуллина*  
**ОЦЕНКА РАДИАЦИОННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ  
НА ДАТЧИКИ ЭФФЕКТА ХОЛЛА  
В ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯХ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ  
СИСТЕМ ДЛЯ РАБОТЫ В СОСТАВЕ ЛУНОХОДОВ  
И НА ВНЕШНЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ПЕРСПЕКТИВНОЙ  
РОССИЙСКОЙ ОРБИТАЛЬНОЙ СЛУЖЕБНОЙ СТАНЦИИ**

*АО «НПО им. С.А. Лавочкина», Московская область, г. Химки,  
veb@laspace.ru*

*E.V. Vlasenkov, N.M. Khamidullina*  
**ESTIMATION OF RADIATION IMPACT ON HALL EFFECT  
SENSORS IN ELECTRIC MOTORS OF ROBOTIC SYSTEMS  
FOR OPERATION AS PART OF MOON ROVER AND  
ON THE EXTERNAL SURFACE OF THE PROSPECTIVE  
RUSSIAN ORBITAL SERVICE STATION**

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

В докладе представлен подход обеспечения требований по стойкости к дозовым эффектам электродвигателей в робототехнических системах и приводах перспективного российского лунохода «Геолога-разведчика» на примере испытанного на стойкость к дозовым эффектам электродвигателя ЕС-max22 фирмы “Maxon motor” (Швейцария). Также, проведена оценка дозовой нагрузки на электродвигатели антропоморфного робота нового поколения, предназначенного для работы в открытом космосе на внешней поверхности перспективной российской орбитальной служебной станции (РОСС).

В России, Китае и других странах разрабатываются программы исследования и освоения Луны, включая строительство обитаемых лунных научных станций. Начальным этапом изучения мест предполагаемого размещения лунной станции является проведение по-

исково-разведочных работ с применением среднего автоматического лунохода «Геолога-разведчика». Проект данного лунохода, разрабатываемый в АО «НПО им. С.А. Лавочкина», предполагает в своем составе роботизированные устройства, приводимые в движение электродвигателями.

Предполагается в приводах направленной антенны, системы технического зрения и манипулятора использовать бесколлекторные электродвигатели имеющие в своем составе датчики положения ротора на основе эффекта Холла (в дальнейшем – датчик Холла). Одним из лидеров в производстве электродвигателей для применения в космосе является швейцарская фирма “Maxon motor”, и опыт разработки приводных систем основан на применении электродвигателя ЕС-max22 этой фирмы. Основываясь на результатах проведенных радиационных испытаний на стойкость к дозовым эффектам данного электродвигателя можно сделать выводы, что стойкость электродвигателя определяется стойкостью датчика Холла. Таким образом, для определения допустимости применения электродвигателя, имеющего в своем составе такой датчик, необходимо корректно определить дозовую нагрузку в месте расположения электродвигателей за время его функционирования.

Современные условия развития российской космонавтики ускорили создание РОСС и антропоморфного робота нового поколения, созданного из российских комплектующих, имеющих высокую стойкость к факторам космического пространства. На предполагаемой орбите РОСС будут повышенные радиационные нагрузки на КА по сравнению с орбитой МКС, что требует более обстоятельного подхода в определении дозового воздействия на электродвигатели и датчики положения ротора, на системы антропоморфного робота нового поколения, работающего на внешней поверхности РОСС.

В докладе приведены результаты расчета локальных поглощенных доз в местах расположения датчиков Холла электродвигателей приводных и роботизированных систем лунохода от всех видов излучений (ионизирующие излучения космического пространства и бортовых радионуклидных источников тепла и электроэнергии), а также определены требования к минимальным уровням стойкости данных датчиков в условиях работы на внешней поверхности РОСС.

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

**ВЛИЯНИЕ ПРЕЦЕССИИ УЗЛОВ ОРБИТ РАЗНОВЫСОТНЫХ  
КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ  
ПРИМЕНЕНИЯ КОСМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ  
НАБЛЮДЕНИЯ ЗА МОРСКИМИ ОБЪЕКТАМИ**

*<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*

*M.I. Kalinov<sup>1</sup>, V.A. Rodionov<sup>1, 2</sup>*

**INFLUENCE OF PRECESSION OF NODES OF ORBITS OF  
DIFFERENT-ALTITUDE SPACECRAFT ON THE  
EFFECTIVENESS OF THE USE OF A SPACE SYSTEM FOR  
OBSERVING MARINE OBJECTS**

*<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*

В состав космической системы наблюдения за морскими объектами (КСНМО) могут входить космические аппараты (КА), имеющие разные высоты орбит. При этом возникает эффект вращения плоскости орбиты КА с одной высотой относительно плоскости орбиты КА с другой высотой. Это вращение связано с различными скоростями прецессий узлов орбит разновысотных КА [1]. Поскольку такая разность скоростей прецессий узлов орбит сравнительно невелика, то она начинает сказываться на результатах применения КСНМО при достаточно большом времени начала интервала оценки (десятки и сотни суток с момента создания системы).

Поэтому более корректными являются оценки эффективности применения КСНМО, учитывающие такое влияние. Для получения искомых оценок разработана соответствующая методика, детализирующая правила сценарно-временного метода оценки эффективности применения КСНМО [2]. Графическое представление результатов оценки эффективности применения системы (3 КА с высотой орбиты 1000 км и 3 КА – 500 км, наклонение орбиты 67 градусов, ширина полосы обзора 500-1500 км) приведено на рисунке.



Рисунок — Графическое представление результатов оценки эффективности применения КСНМО (вариант)

Анализ результатов оценки эффективности применения КСНМО для различных времен начала интервала оценки показал, что при увеличении угла между плоскостями орбит (из-за прецессии узлов орбит КА) от нуля до 144-216 градусов (201-301-е сутки существования системы) в районе Северо-Восточной Атлантики значения показателей эффективности возрастают на 20-30%. При компланарном построении орбитальных группировок (ширина полосы обзора КА 1500 км) вероятность слежения за объектами в этом районе составляет 0,66 и морские объекты (в среднем) обнаруживаются ежедневно. Равномерное распределение долгот восходящих узлов КА в орбитальной группировке повышает вероятность слежения за морскими объектами до 0,88, при этом резко (в 3-5 раз) сокращается максимальный интервал между обнаружениями объектов. В районе Средиземного моря такой эффект не обнаружен и показатели эффективности имеют (в среднем) в 2-3 раза худшие значения, чем в районе Северо-Восточной Атлантики.

Результаты выполненных исследований целесообразно учитывать при оценке эффективности применения космических систем наблюдения за морскими объектами в различные периоды их функционирования.

1. Основы теории полета космических аппаратов. Под ред. Нариманова Г.С., Тихонравова М.К. — М.: «Машиностроение», 1972.

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

**Ю.Ф. Голубев<sup>1</sup>, В.М. Мирхайдаров<sup>2</sup>, А.В. Яскевич<sup>2</sup>**  
**ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ВИЗУАЛИЗАЦИЯ СБОРОЧНЫХ**  
**ОПЕРАЦИЙ, ВЫПОЛНЯЕМЫХ МАНИПУЛЯТОРОМ ERA**

<sup>1</sup>ИПМ им. М.В. Келдыша РАН, Москва, [golubev@keldysh.ru](mailto:golubev@keldysh.ru); <sup>2</sup>ПАО «ПКК «Энергия», г. Королев, Московская обл., [Andrey.Yaskevich@rsce.ru](mailto:Andrey.Yaskevich@rsce.ru)

**Yu.F. Golubev<sup>1</sup>, V.M. Mirhydarov<sup>2</sup>, A.V. Yaskевич<sup>2</sup>**  
**ADDITIONAL VISUALIZATION OF ASSEMBLY OPERATION**  
**EXECUTING BY ERA ARM**

<sup>1</sup>*Keldysh Institute of Applied Mathematic (Russian Academy of Sciences), Moscow, [golubev@keldysh.ru](mailto:golubev@keldysh.ru); <sup>2</sup>RSC Energia, Korolev city, Moscow region, [Andrey.Yaskevich@rsce.ru](mailto:Andrey.Yaskevich@rsce.ru)*

На внешней поверхности модуля «Наука» российского сегмента международной космической станции (РС МКС), установлен европейский космический манипулятор ERA. Обмен данными между управляющим компьютером ERA и управляющим компьютером оператора осуществляется по шине данных в соответствии со стандартом MIL-1553 (рис. 1). Этот обмен инициируется управляющим компьютером РС МКС. При выполнении сборочных операций манипулятор управляется в супервизорном режиме оператором, находящимся внутри станции. Основным источником визуальной информации для него являются расположенные на внешней поверхности станции обзорные телекамеры, изображения с которых с помощью системы управления бортовым комплексом (СУБК) РС МКС передаются на мониторы 1 – 3. Механические устройства для соединения объектов имеют небольшие размеры и практически не видны на экранах мониторов. На математическом стенде реального времени [1] РКК «Энергия» моделируется выполнение контактной фазы сборочных операций [2, 3], уточняются параметры команд управления, осуществляется тренировка операторов. При работе на этом стенде оператор ERA для облегчения наведения использует дополнительные каркасные графические модели контактного взаимодействия устройств соединения.

В докладе рассматривается возможность применения дополнительных графических моделей при реальном выполнении сборочных операций. Разработанная программа обеспечивает получение в режиме монитора шины значений углов в шарнирах манипулятора, передаваемых управляющим компьютером ERA. По этим данным на основе решения прямой кинематической выполняется расчет относительного положения соединяемых устройств и их графическое отображение на экране дополнительного бортового компьютера на рабочем месте оператора (рис. 1).

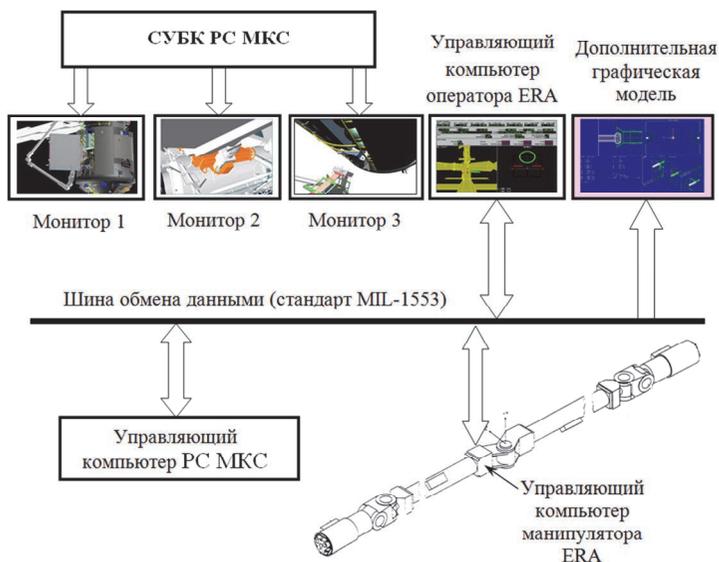


Рисунок 1 — Упрощенная функциональная схема системы визуализации сборочных операций выполняемых на МКС манипулятором ERA

1. Яскевич А.В., Лесков А.Г., Чернышев И.Е., Мирхайдаров В.М., Илларионов В.В., Морошкин. 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).

2. Голубев Ю.Ф., Яскевич А.В., Мирхайдаров В.М. Оценка динамики причаливания на компьютерном стенде моделирования в реальном времени. // Препринты ИПМ им. М.В. Келдыша. 2020. № 84. 24 с.

3. Яскевич А.В., Мирхайдаров В.М., О.С. Андреев. Моделирование в реальном времени сборочных операций, выполняемых на МКС манипулятором ERA. // Труды 32-й международной научно-технической конференции «Экстремальная робототехника». 2-4 июня 2021г. Санкт-Петербург. – 352 с. (с. 19-29). – er.rtc.ru.

*М.И. Маленков<sup>1</sup>, В.А. Волов<sup>1</sup>, А.Н. Богачёв<sup>1</sup>, Н.К. Гусева<sup>1</sup>,  
Е.А. Лазарев<sup>1</sup>, Гао Хайбо<sup>2</sup>, Дэн Цзунчуань<sup>2</sup>*  
**О КОНЦЕПЦИИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ МОБИЛЬНЫХ  
ПЛАТФОРМ МЕЖДУНАРОДНОЙ ЛУННОЙ НАУЧНОЙ  
СТАНЦИИ**

*<sup>1</sup>АО НТЦ РОКАД, Санкт-Петербург, m.i.malenkov@gmail.com; <sup>2</sup>Харбинский политехнический университет, Харбин, Китай, jiawc911@sina.com*

*M.I. Malenkov<sup>1</sup>, V.A. Volov<sup>1</sup>, A.N. Bogachev<sup>1</sup>, N.K. Guseva<sup>1</sup>,  
E.A. Lazarev<sup>1</sup>, Gao Haibo<sup>2</sup>, Deng Zongquan<sup>2</sup>*  
**ON THE CONCEPT OF INTELLIGENT MOBILE PLATFORMS  
OF THE INTERNATIONAL LUNAR RESEARCH STATION**

*<sup>1</sup>JS Co STC ROCAD, St. Petersburg, m.i.malenkov@gmail.com; <sup>2</sup>HIT, Harbin, China, jiawc911@sina.com*

В июне 2021 года в Санкт-Петербурге состоялась конференция Global Space Exploration Conference (GLEXP 2021), на которой руководители Роскосмоса и Национальной космической администрации Китая презентовали дорожную карту совместного проекта Международной лунной научной станции (МЛНС). Карта определяет научные задачи проекта, этапы и сроки реализации, а также принципы привлечения международных партнеров.

Строительство МЛНС в формате посещаемой лунной станции предполагается в 2025-2035 годах. Поэтому тема «Лунная интеллектуальная робототехника» в дорожной карте вписана в числе одной из шести ключевых областей технических исследований. Ведь к 2025 году нужно иметь «в железе», как минимум, ходовые макеты луноходов. Строительство МЛНС не начнётся до полевого обследования территории для уточнения строительного плана.

В общих чертах концепция и проектный облик лунной базы, по поручению С.П. Королёва, были проработаны в Государственном союзном конструкторском бюро Специального машиностроения (ГСКБ Спецмаш) под руководством В.П. Бармина ещё в 60-х – 70-х годах прошлого века. Актуальна, в частности, предложенная в то

время концепция «лунных поездов», включающих «тягач, жилой вагончик, энергоустановку и буровую станцию» [1].

В современной терминологии это мобильные лунные робототехнические комплексы (ЛРТК) переменной структуры. Однако, на наш взгляд, все структурные звенья такого комплекса должны быть самоходными, способными к самостоятельным действиям и максимально унифицированными.

Поскольку практически все задачи строительства и эксплуатации МЛНС требуют реализации транспортной функции, в качестве базового компонента комплекса можно использовать полноприводные четырёх колесные интеллектуальные мобильные платформы (ИМП) с адаптивной подвеской.

Главное отличие ИМП от самоходных шасси советских и китайских луноходов – это наличие носовых и кормовых автоматических стыковочных устройств, предназначенных для оперативного изменения структуры лунных поездов и индивидуальной эксплуатации отдельных платформ. Стыковочные устройства должны обеспечивать свободу поворота каждого ИМП относительно трёх осей (рис. 1).

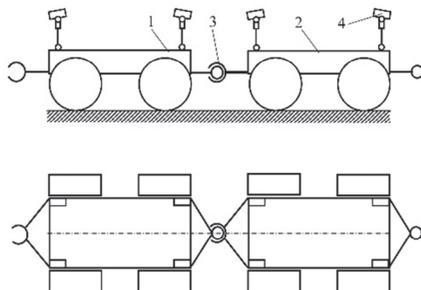


Рисунок 1 — Схема комплекса из двух ИМП. 1,2- мобильные платформы; 3-стыковое автоматическое устройство, 4-навигационные камеры

Второе отличие – более высокий уровень роботизации и интеллекта. При индивидуальном использовании ИМП должны обеспечивать возможность управления пилотом, дистанционного и автономного управления, включая операции стыковки-расстыковки в заданном порядке. При работе в связке каждая ИМП должна обеспечивать оптимальный режим движения всего комплекса.

Ориентируясь на модули МКС, для расчетной оценки геометрических параметров ИМП в докладе рассматривается сценарий транспортировки по поверхности Луны груза цилиндрической формы диаметром 4м, длиной 8 м и массой 18 т, который соответствует

жилому или лабораторному модулю в полном сборе. Для перемещения такого модуля от места посадки к месту строительства МЛНС достаточно двухзвенного комплекса, при диаметре колёс ИМП около метра. Однако при этом несущая способность лунного реголита должна быть увеличена (относительно естественного залегания) примерно в 2 раза, до 46 кПа [2]. Радиус колёс можно определить по формуле

$$r = \sqrt{\frac{N}{kq \sin(2 \arcsin(f))}} ,$$

где  $N$  – нагрузка на колесо,  $q$  – несущая способность грунта,  $f$  – коэффициент сопротивления качению колеса,  $k=b/r$  – коэффициент отношения ширины колеса  $b$  к его радиусу  $r$ .

Это значит, что на трассе «лунный космодром – МЛНС» должны быть выполнены необходимые дорожно-строительные работы, включающие разравнивание, засыпание ям, уплотнение грунта статическими и вибрационными методами. Соответствующие рабочие органы – бульдозерные отвалы, ковши и т.п. являются одним из типов навесного оборудования ИМП. В качестве иного автономного навесного оборудования можно назвать герметичные кабины космонавтов, энергоустановки различных типов, буровые установки, технологические модули для производства компонентов жизнеобеспечения и т.п.

Принимая, что 80% трассы будет выровнено, а максимальный угол подъёма оставшихся 20% трассы составит не более  $10^\circ$ , и заданная скорость грузового движения 0,4 км/час, можно рассчитать требуемую мощность тягового двигателя – около 450 Вт. Потребное энергопотребление тяговых приводов ИМП составит примерно 4,5 кВт·час на 1 км пути. В порожнем рейсе можно двигаться со скоростью до 1,5 км/час, благодаря встроенным в тяговые приводы коробкам передач.

Проектные параметры  $L$  (колёсная база) =  $B$  (колея) = 3140 мм,  $r = 550$  мм позволяют ИМП в транспортировочном положении вписаться в диаметр обтекателя ракеты – носителя равный 5 м.

Предложенная проектная концепция позволяет минимизировать расходы, т.к., после отработки конструкции, включая узлы автоматического сопряжения с навесным оборудованием, изготовление ИМП может быть поставлено на конвейер. Становятся понятными технические требования к навесному оборудованию, определяющему специализацию данного звена, чётко распределяется ответ-

ственность, улучшается возможность планирования процесса развития МЛНС.

Что касается концепции собственно ИМП, то здесь авторы опираются на научно – технический задел, полученный в процессе создания систем передвижения советских и китайских луноходов, ходовых макетов луноходов и марсоходов, ориентированных на повышение проходимости и других ходовых качеств [3].

1. Мержанов А. И. Лунная база «Барминград». Воздушно-космическая сфера. 2018. № 2. С. 107-117.

2. А. Т. Basilevsky, М. I. Malenkov, V. A. Volov et. al. Estimation of the Strength of the Lunar Soil by the Depth of the Lunar Rover Wheel Tracks. Solar System Research. 2021. Vol. 55, No. 4. P. 283–306.

3. Маленков М.И., Богачев А.Н., Волов В.А. и др. Новые проектно-компоновочные решения по манипуляционной системе, системам передвижения и навигации для повышения подвижности планетоходов. Известия ЮФУ. Технич. науки. Ростов на Дону. 2017. №1-2. С. 42 – 54.

*М.Е. Баркова<sup>1</sup>, В.О. Кузнецова<sup>2</sup>*

**К ВОПРОСУ О РОЛИ МАТЕРИАЛОВ КОСМИЧЕСКИХ  
ОБЪЕКТОВ И КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ В  
РАЗРАБОТКЕ РОБОТИЗИРОВАННОГО КОСМИЧЕСКОГО  
АППАРАТА ДЛЯ СБОРА КОСМИЧЕСКОГО МУСОРА**

<sup>1</sup>Акционерное общество «Российские космические системы», Москва, [Altaira@yandex.ru](mailto:Altaira@yandex.ru); <sup>2</sup> Тульский государственный университет, г. Тула, [kuznecova\\_violetta@mai.ru](mailto:kuznecova_violetta@mai.ru)

*М.Е. Barkova<sup>1</sup>, V.O. Kuznetsova<sup>2</sup>*

**TO THE QUESTION OF THE ROLE OF MATERIALS OF  
SPACE OBJECTS AND SPACE VEHICLES IN THE  
DEVELOPMENT OF A ROBOTIC SPACE VEHICLE FOR  
COLLECTING SPACE DEBRIS**

<sup>1</sup>Joint-Stock Company Russian Space Systems, Moscow, [Altaira@yandex.ru](mailto:Altaira@yandex.ru);  
<sup>2</sup>Tula State University, Tula, [kuznecova\\_violetta@mai.ru](mailto:kuznecova_violetta@mai.ru)

В настоящее время спутниковые технологии развиваются в основном по трем направлениям:

– космические комплексы по сбору информации, представляющие собой системы связи, комплексы для получения метеороло-

гической, навигационной информации и информации о природных ресурсах;

- специализированные космические системы, предназначенные для научных исследований и экспериментов;
- внедрение космических технологий в целях развития промышленности [1].

Представлена классификация самих искусственных спутников Земли (см. рис. 1).



Рисунок 1 — Классификация ИСЗ

Космический аппарат для утилизации космического мусора включает в себя ловушку для космического мусора, выполненную в виде сети на тросах, и систему утилизации космического мусора в псевдожидкое топливо для двигателей КА.

Псевдожидкое топливо (или его компонент) состоит из порошкообразных веществ, которые можно флюидизировать газом (для окислителя – кислород, а для горючего – водород) по методу кипящего слоя и подавать в камеру сгорания ракетного двигателя аналогично жидкому компоненту.

Для переработки объектов космического мусора в топливо необходимо произвести учет влияния наведенной разноспротивляемости материалов, меняющейся во времени. Это является актуальной задачей современной механики, так как разрушение элементов конструкций происходит при совместном воздействии нагрузки и среды, представляющей собой комплекс физико-химических процессов, возникающих на поверхности и в объеме исследуемых конструктивных элементов.

1. Kuznetsova, V., Barkova, M., Zhukov, A., Kartsan, I. Analysis and Assessment of the Effects of Corrosive Hydrogen Media on the

Stress-Strain State of a Spherical Titanium Alloy Shell Materials Science  
Forum ISSN: 1662-9752, Vol. 1049, pp. 85-95 Trans Tech Publications  
Ltd, Switzerland.

*А.В. Мандрик, А.А. Алисвьяк*  
**ПРИКЛАДНОЕ ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ  
НАНОСПУТНИКОВ В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ**

*СПбПУ, Санкт-Петербург, mandryk.av@spbstu.ru, Andrew-tsansa@mail.ru*

*A.V. Mandrik, A.A. Alisvyak*  
**APPLIED APPLICATION OF NANOSATELLITE  
TECHNOLOGIES/TECHNIQUE IN THE EDUCATIONAL  
PROCESS**

*SPbPU, St. Peterburg, mandryk.av@spbstu.ru, Andrew-tsansa@mail.ru*

Сегодня сложились благоприятные условия для создания и учебных запусков сверхмалых космических аппаратов. Этому способствует развитие Commercial Off-The-Shelf (COTS) технологий, обладающих малой себестоимостью и сравнительно высокой надежностью. Обилие доступных для подключения датчиков, модулей, блочная структура, широкая доступность учебных и справочных материалов позволяют применять наноспутники для решения многих, актуально востребованных задач. Наноспутники позволяют решать задачи экологического мониторинга и исследования геофизических полей, проводить астрономические наблюдения или выступать демонстратором технологий, поэтому их развитие перспективно. Очевидна актуальность внедрения данной тематики в образовательные программы университетов. Это позволит наглядно изучить принципы действия, способы проектирования и реализации таких систем, методы анализа их функционирования и управления.

В докладе рассматриваются современные проблемы организации дистанционного образования и внедрения дистанционных лабораторий. Предлагается собственный подход к решению задач технологического оснащения и организации дистанционных лабораторий с помощью COTS технологий, применяемых в сверхмалых космических аппаратах. Отдельное внимание уделяется надежности схемотехнических решений наноспутников и обеспечению их отказоустойчивости.

В работе представлен обзор технических решений для развития сети дистанционно управляемых наземных лабораторных стендов, связанных УКВ связью с исследовательскими наноспутниками.

Рассматриваются предпосылки для развития дистанционных лабораторных и методических пособий в соответствии с современными тенденциями микроэлектроники и информатики. Проводится анализ возможных направлений развития курсов дистанционных занятий.

1. Алисьвяк А.А., Новиков Д.Ю., Новиков Ю.Н. Создание универсальной микроконтроллерной платформы - основы систем дистанционного мониторинга данных и управления. В сборнике неделя науки ИФНИТ. Сборник материалов всероссийской конференции. Санкт-Петербург. 2020. с. 44-47.

2. Алисьвяк А.А., Новиков Ю.Н. Модель системы дистанционного мониторинга объектов со встроенными микроконтроллерами. В сборнике: Неделя науки СПбПУ. Материалы научной конференции с международным участием. Институт физики, нанотехнологий и телекоммуникаций. Санкт-Петербург. 2018. с. 131-134.

3. Алисьвяк А.А., Новиков Ю.Н. Интернет-мониторинг объектов со встроенными микроконтроллерами: модель системы. В сборнике: Неделя Науки СПбПУ. Материалы научной конференции с международным участием. Лучшие доклады. Санкт-Петербург. 2018. с. 159-162.

***A.V. Vasiliev, I.V. Shardyko, V.A. Goldberg, V.M. Kopylov***  
**ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ МОДУЛЬНЫХ**  
**МАНИПУЛЯТОРОВ В КОСМИЧЕСКОЙ РОБОТОТЕХНИКЕ**

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

***A.V. Vasiliev, I.V. Shardyko, V.A. Goldberg, V.M. Kopylov***  
**PROSPECTS FOR APPLICATION OF MODULAR**  
**MANIPULATORS IN SPACE ROBOTICS**

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

Наращивание интенсивности исследований и освоения космического пространства требует создания целого комплекса новых орбитальных и напланетных космических аппаратов, а также средств

их робототехнического обслуживания. Широкое привлечение робототехники в ходе реализации космических программ обещает как общее повышение их эффективности, так и существенное расширение технологических возможностей будущих миссий и создаваемых для их реализации космических средств.

Одним из примеров области возможного применения роботов в открытом космическом пространстве являются задачи развёртывания на борту космических аппаратов (КА) крупногабаритных конструкций, варианты которых показаны на рисунке 1. Схожие задачи построения крупногабаритных ферменных конструкций ожидаются в будущем при построении наповерхностных станций и объектов научной, жилой и промышленной инфраструктуры на Луне и других планетах [1].

Всё это потребует привлечения широкого спектра манипуляционных робототехнических систем (РТС), необходимых для выполнения работ по автоматизированному возведению крупногабаритных пространственных конструкций как в открытом космическом пространстве, так и на поверхности небесных тел, обслуживания собственных систем КА и др. Одним из проблемных вопросов в этой связи становится задача обеспечения долговременного надёжного функционирования таких РТС, в том числе, за счёт осуществления их ремонта в космосе. Такой ремонт может производиться как с привлечением космонавтов (что само по себе является достаточно затратной и опасной задачей), так и полностью автономно – с помощью другой РТС, берущей на себя роль ремонтного робота. Поэтому вопрос исследования путей создания ремонтпригодных космических манипуляторов является актуальной научно-технической задачей.

Решать вопрос ремонтпригодности манипуляторов в космосе наиболее рационально на основе модульного принципа их построения. В этом случае под ремонтом манипулятора понимается замена вышедшего из строя модуля. Конструктивно-функциональное разбиение манипулятора на модули производится исходя из анализа и группировки его составных частей по принципу обеспечения сопоставимых значений прогнозируемого ресурса их работы. Сама же задача обеспечения ремонта манипулятора в космосе в широком смысле требует разработки целого комплекса организационно-технических и технологических средств.

Для решения поставленной задачи в настоящей работе на начальном этапе производится поиск и анализ существующих решений модульных манипуляторов для наземного и космического

применений, оценивается опыт их создания, в том числе, собственный опыт ЦНИИ РТК в области разработки и создания манипуляторов космического назначения [2-5], делаются выводы о наиболее перспективных тенденциях, которые могут быть полезны для таких манипуляторов, предлагаются основные принципы построения ремонтнопригодного модульного космического манипулятора.

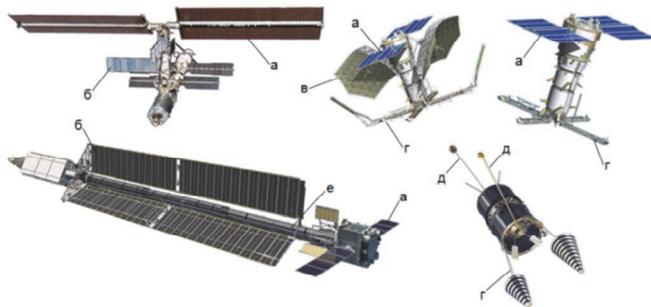


Рисунок 1 — Варианты применения крупногабаритных трансформируемых конструкций в составе КА: а – солнечные батареи; б – радиаторные фермы; в – антенны радиодиапазона; г – фермы и стержни для размещения массивов малогабаритной аппаратуры; д – штанги гравитационной стабилизации; е – фермы отодвижения для аппаратов с ядерным источником энергии (космических буксиров)

Рассматриваемые манипуляционные РТС могут найти применение в ходе решения задач по построению объектов научного и промышленно-технологического назначения на орбите Земли и на поверхности Луны.

Результаты получены в рамках выполнения государственного задания Минобрнауки России FNRG-2022-0007 1021060307686-0-2.2.2 №075-01623-22-00 «Исследование методов и технологий сборки крупногабаритных конструкций в космическом пространстве».

1. Разработка предложений по проектному облику и основным характеристикам робототехнических систем для напланетной деятельности, в обеспечение реализации сценариев пилотируемых миссий, включая разработку предложений по развитию технологий для их создания: отчёт о НИР (закл.ит.) / ЦНИИ РТК; рук. И.Ю. Даляев; исполн.: В.М. Копылов [и др.]. – СПб., 2020. – 422 с. – Библиогр.: с. 389-419.

2. Конструктивные особенности мобильного робота для работы на внешней поверхности МКС / И.Ю. Даляев, Р.А. Чижевский,

А.А. Трутс, А.В. Сергеев // Пилотируемые полёты в космос: Мат. XII Междунар. науч.-практ. конф. – г. Звёздный городок: Изд-во «НИИ ЦПК им. Ю.А. Гагарина», 2017. – С.197-199.

3. Разработка технического (проектного) облика робототехнической системы с оучувствленными по усилию манипуляторами в составе сервисного космического аппарата: отчёт о НИР (промежуточный.) / ЦНИИ РТК; рук. А.С. Кондратьев; исполн.: И.Ю. Даляев [и др.]. – СПб., 2016. – 130 с.

4. Модульный манипулятор для обслуживания космических аппаратов / А.В. Полин, С.А. Половко, В.И. Юдин // Экстремальная робототехника: Материалы XIII научно-технической конференции. – СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2003. – С.116-119.

5. Titov V., Shardyko I., Isaenko S. Force-Torque Control Implementation for 2 DoF Manipulator // Procedia Engineering 69 (2014): Proceedings of the 24th DAAAM International Symposium (2013). – pp.1232-1241. – DOI:10.1016/j.proeng.2014.03.114

*К.А. Волняков, В.М. Копылов, В.В. Титов*

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАНИПУЛЯТОРА, ОУЧУВСТВЛЕННОГО  
ПО УСИЛИЮ, ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫХ  
ОРГАНОВ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ  
КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ**

*ГНЦ РФ ЦНИИ РТК, Санкт-Петербург, v.kopylov@rtc.ru*

*K.A. Volnyakov, V.M. Kopylov, V.V. Titov*

**THE USE OF A FORCE-SENSITIVE MANIPULATOR FOR  
TESTING THE ACTUATING DEVICES OF SPACECRAFT  
MOTION CONTROL SYSTEMS**

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

Испытания системы управления движением (СУД) космического аппарата (КА) являются неотъемлемой частью комплексной программы экспериментальной наземной отработки КА. Наиболее распространены комплексные испытания систем СУД с использованием различных имитаторов на наземных стендах, представляющих собой частично или полностью собранный КА [1]. Такой подход не позволяет подтвердить правильность функционирования алгоритмов управления движением КА, и для оценки их работы использу-

ются математические имитационные модели [2]. Недостатком таких моделей является риск неполноты учета особенностей работы конкретной физической системы. Для исключения таких рисков разрабатываются различные стенды натуральных испытаний с использованием имитации невесомости [3]. Естественным ограничением применения таких стендов является высокая масса КА. В то же время, масса самих приборов СУД крупны КА составляет около 10% массы КА [4]. Целесообразно при испытаниях СУД имитировать пассивную массу КА, не создающую вращательного момента, и помещать на испытательный стенд только сборку исполнительных органов СУД. Чувствительные органы СУД могут быть испытаны с использованием оптических имитаторов, и нет необходимости размещать их на обезвешенной платформе.

Механизмы непосредственной обезвески, такие как подвесы и пружины, не могут быть использованы при таком подходе, поскольку не позволяют имитировать инерцию КА. Для имитации инерционной массы КА, не совпадающей с гравитационной массой сборки СУД, авторами предложен шестистепенный манипулятор, оснащенный шестиосевым датчиком сил и моментов на конечной точке.

Внешние воздействия на КА хорошо изучены, и не зависят от особенностей взаимодействия систем КА. Общее уравнение динамики вращательного движения КА дается формулой (1)

$$J\dot{\omega} + \omega \times (J \cdot \omega) + \dot{J}\omega = T_G + T_B + T_A + T_L + U, \quad (1)$$

где  $J$  – тензор инерции КА,  $\omega$  – его угловая скорость в собственной системе координат,  $T_G$  – гравитационный приливный момент,  $T_B$  – механический магнитный момент,  $T_A$  – аэродинамический момент,  $T_L$  – момент светового давления,  $U$  – управление. Задачей манипулятора является имитация движения КА в соответствии с (1), при условии, что управление  $U$  измеряется датчиком сил и моментов, а все прочие моменты вычисляются исходя из модельной обстановки. Кинематическое уравнение КА в кватернионной форме (2) [5]:

$$2\dot{\Lambda} = (\Lambda \circ \omega) - \Lambda \circ (|\Lambda|^2 - 1), \quad (2)$$

где  $\Lambda$  – кватернион ориентации КА. Второй член в правой части предназначен для автоматической коррекции нормы кватерниона на случай ошибок при численном решении уравнения.

Разделение исполнительных органов СУД и прочих приборов КА позволит обрабатывать на натуральных стендах практически любой современный КА, а воспроизведение реального вращательного

движения позволяет не только корректно смоделировать работу гироскопических систем, но и создает предпосылки для отработки робототехнических систем обслуживания КА.

Результаты получены в рамках выполнения государственного задания Минобрнауки России FNRG-2022-0007 1021060307686-0-2.2.2 № 075-01623-22-00 «Исследование методов и технологий сборки крупногабаритных конструкций в космическом пространстве».

1. Макаров В. П. и др. Отдельные аспекты наземной экспериментальной отработки космического аппарата "ЭкзоМарс-2018" //Вестник НПО им. С.А. Лавочкина. – 2014. – №. 2. – С. 124-127.
2. Игнатьев М. Г. и др. Программный комплекс моделирования стабилизированного движения космического аппарата с трансформируемыми упругими элементами конструкции //Сибирский аэрокосмический журнал. – 2013. – №. 3 (49). – С. 45-48..
3. Карпенко С. О., Овчинников М. Ю. Лабораторный стенд для полунатурной отработки систем ориентации микро-и наноспутников //Препринты Института прикладной математики им. МВ Келдыша РАН. – 2008. – №. 0. – С. 38-32.
4. Козлов Д.И., Аншаков Г.П., и др., под ред. Козлова Д.И. Конструирование автоматических космических аппаратов. М.: Машиностроение, 1996 – 448 с
5. Бранец В.Н., Шмыглевский И.П. Применение кватернионов в задачах ориентации твердого тела. М.: Наука, 1973. – 320 с.

*И.В. Шардыко, В.В. Титов, В.М. Копылов*  
**СИСТЕМА ПОЗИЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ  
МАНИПУЛЯТОРОМ С УПРУГИМИ ШАРНИРАМИ  
ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО ТИПА**

*ГНЦ РФ ЦНИИ РТК, Санкт-Петербург, i.shardyko@rtc.ru*

*I.V. Shardyko, V.V. Titov, V.M. Kopylov*  
**POSITION CONTROL DESIGN FOR A ROBOTIC ARM  
WITH DIFFERENTIAL-DRIVE ELASTIC ACTUATORS**

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

В связи с тенденцией на применение робототехники для решения всё большего числа контактных задач, а также повышения без-

опасности в случае нежелательных физических контактов, с середины 90х возникло и продолжает активно развиваться направление манипуляторов, состоящих из упругих шарниров (упругих манипуляторов). Само наличие упругости может нести как положительные, так и отрицательные моменты, однако в указанных выше задачах положительные стороны, как правило, перевешивают [1]. Управление упругими манипуляторами представляет сложную техническую задачу, однако на сегодняшний день разработан ряд подходов, например, в работах [2,3].

В основном рассматриваются наиболее распространённые манипуляторы, представляющие собой цепь из шарниров, обладающих одной степенью подвижности. Однако, существуют и более сложные решения, одним из которых являются двухстепенные шарниры дифференциального типа [4,5]. Отличительной особенностью их является то, что не только обе выходные координаты (углы/скорости) зависят одновременно от обеих входных, но и выходной момент по каждой из осей зависит от упругостей сразу в обоих каналах передачи.

В настоящей работе за основу метода выбран ESP-регулятор [3], который сохраняет массо-жесткостные характеристики замкнутой системы, но вводит активное демпфирование. Так как он в минимальной степени опирается на механические параметры манипулятора, то обеспечивает высокую робастность. Кроме того, так как структура замкнутого объекта сохраняет физический смысл параметров, настройка регулятора является интуитивной.

В работе выводится математическая модель манипулятора, включая вид матриц жёсткости и связности, при этом важно, что матрица жёсткости является симметричной. Последнее даёт возможность применить доказательство устойчивости из [3] и назначать коэффициенты демпфирования.

Работоспособность предложенного регулятора была показана посредством компьютерного моделирования. Эксперименты заключались в исследовании собственного движения манипулятора при заторможенных шарнирах и нулевом сигнале управления, а также в движении по заданной траектории, при этом задавалась полиномиальная траектория для одного и для нескольких шарниров при различной настройке регуляторов. Также рассматривались различные случаи относительно жёсткости упругих элементов: равная жёсткость пружин внутри каждого дифференциального шарнира и различная жёсткость, когда жёсткость второй пружины в паре в четыре раза выше жёсткости первой. Во всех случаях наблюдалось устой-

чивое движение, в случае полиномиальных траекторий – отсутствие статической ошибки, и прямая зависимость динамической ошибки от пропорционального коэффициента, в пределах линейности регулятора. Случай с равными жёсткостями является наиболее простым для управления вследствие минимального взаимовлияния.

В дальнейшей работе планируется расширить позиционный регулятор до траекторного, где будут учитываться производные задающего сигнала, а также реализовать импедансное управление подобным манипулятором.

Результаты получены в рамках выполнения государственного задания Минобрнауки России FNRG-2022-0009 1021060307688-8-2.2.2 № 075-01623-22-00 «Исследования конструкций и разработка методов управления мехатронными узлами с переменной жесткостью».

1. G.A. Pratt, M.M. Williamson. Series elastic actuators //Proceedings 1995 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems. Human Robot Interaction and Cooperative Robots. – IEEE, 1995. – Т. 1. – С. 399-406.

A. De Luca, and F. Flacco. «A PD-type regulator with exact gravity cancellation for robots with flexible joints», IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation (ICRA), pp. 317 - 323, 2011.

2. M. Keppeler et al. Elastic structure preserving (esp) control for compliantly actuated robots //IEEE Transactions on Robotics. – 2018. – Т. 34. – №. 2. – С. 317-335.

3. U. Hagn et al., «The DLR MIRO: a versatile lightweight robot for surgical applications», in Ind. Robot, vol. 35, No. 4, pp. 324–336, 2008.

4. V. Kopylov, I. Dalyaev, A. Vasiliev, and V. Titov. Torque Sensing in Robotic Joints with Introduced Elasticity for Application in Hazardous Environments. In: Robotics and Artificial Intelligence (RAI), pp. 12–17. Russia (2021).

*К.Г. Райкунов*

**ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ АВТОМАТИЧЕСКИХ  
РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ НА НАЧАЛЬНОМ  
ЭТАПЕ РАЗВЕРТЫВАНИЯ АВТОМАТИЧЕСКОЙ НАУЧНОЙ  
СТАНЦИИ НА ПОВЕРХНОСТИ ЛУНЫ**

*АО «Центральный научно-исследовательский институт машиностроения»,  
г. Королев, Московская обл., RaykunovKG@tsniimash.ru*

*K. G. Raykunov*

**GOALS AND OBJECTIVES OF AUTOMATIC ROBOTIC SPACE  
FACILITIES AT THE INITIAL STAGE OF DEPLOYMENT  
OF AN AUTOMATIC SCIENTIFIC STATION  
ON THE SURFACE OF THE MOON**

*Central Research Institute for Machine Building (JSC TSNIIMASH), Korolev city,  
Moscow region, RaykunovKG@tsniimash.ru*

Для создания и обеспечения длительного функционирования долгосрочной автоматической научной станции на поверхности Луны [1] недостаточно обеспечить лишь доставку её составных элементов. При поэтапном увеличении размерности и длительности эксплуатации станции возникают потребности не только в дополнительных космических средствах для её развёртывания, но и в средствах обслуживания. Учитывая высокую стоимость и длительность создания автоматических космических средств, представляется целесообразным рассмотреть возможность создания унифицированных базовых платформ мобильной робототехники для реализации с их помощью программы фундаментальных исследований, прикладных экспериментов и решения задач обслуживания инфраструктуры долгосрочной научной станции на поверхности Луны. Использование данных унифицированных платформ позволит сократить сроки изготовления отдельных космических аппаратов за счет серийности и преемственности технических решений.

Разработка российской программы исследования и освоения Луны должна основываться на идеологии создания базового состава средств, который позволит сохранить устойчивость программы в случае изменения приоритетов исследований и состава научных и прикладных задач. Номенклатура базовых платформ космических средств должна формироваться с учётом максимальной гибкости характеристик и востребованности этих средств для научных исследований Луны как космического тела и исследования глубокого космоса с поверхности Луны, проведения технологических экспериментов [2].

В рамках представляемого доклада рассматриваются перспективные российские космические средства исследования и освоения Луны, возможные сценарии их использования в рамках развёртывания автоматической российской программы исследования и освоения Луны, формируются предварительные функциональные требования и технические характеристики для выполнения задач исследования и освоения Луны.

1. Возможности российских лунных автоматических миссий для поддержки будущих пилотируемых полётов к Луне (*Capabilities of Russian lunar robotic missions to support future manned spaceflights to the Moon*, сборник тезисов докладов IAC-2017, Аделаида, Австралия, 2017г.

2. Ю. С. Бодрова, Г. Ф. Карабаджак, К. Г. Райкунов, «Мобильные платформы космической робототехники, их Приоритетные задачи и возможные сценарии использования для поддержки российской программы пилотируемого освоения Луны», Сборник трудов конференции «Экстремальная робототехника 2019», Санкт-Петербург, 2019 г.

*В.А. Дикарев, А.Ю. Кикина, Ю.С. Чеботарев, А.Н. Симбаев,  
Э.В. Никитов, Ю.С. Агаркова*

**РОБОТОТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ  
ОПЕРАЦИОННОЙ ПОДДЕРЖКИ ВНЕКОРАБЕЛЬНОЙ  
ДЕЯТЕЛЬНОСТИ КОСМОНАВТОВ: ВАРИАНТ, СПОСОБ  
СОГЛАСОВАННОСТИ, КОНТРОЛЬ ПРИМЕНЕНИЯ**

*ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина», п. Звездный городок,  
V.Dikarev@gctc.ru, A.Kikina@gctc.ru, Y.Chebotarev@gctc.ru,  
A.Simbaev@gctc.ru, E.Nikitov@gctc.ru, Y.Agarkova@gctc.ru*

*V.A. Dikarev, A.Yu. Kikina, Yu.S. Chebotarev, A.N. Simbaev,  
E.V. Nikitov, Yu.S. Agarkova*

**ROBOTIC PROVISION FOR OPERATIONAL SUPPORT  
OF ASTRONAUTS' EXTRAVENICULAR ACTIVITY: OPTION,  
METHOD OF COORDINATION, CONTROL OF APPLICATION**

*FSBO «Yu.A. Gagarin Research & Test Cosmonaut Training Center», Star City,  
V.Dikarev@gctc.ru, A.Kikina@gctc.ru, Y.Chebotarev@gctc.ru,  
A.Simbaev@gctc.ru, E.Nikitov@gctc.ru, Y.Agarkova@gctc.ru*

Технологии взаимодействия человека с робототехническими системами (РТС) отражены и успешно апробированы в таких косми-

ческих экспериментах (КЭ), как «Контур-2» [1], «Робонавт-2» [2], «Испытатель» [3], где использовались и антропоморфные, и манипуляционные роботы. Следует отметить, что отсутствует опыт и наработки коллаборативного [4,5] применения отечественных РТС для обеспечения операционной поддержки внекорабельной деятельности (ВКД) космонавтов. Появление роботизированного манипулятора (РМ) «ERA» в составе РС МКС представляет дополнительную возможность не только выполнения с его помощью задач по транспортировке антропоморфного робота (АР) КЭ «Теледроид» [6], но и проведение экспериментальных исследований совместного их использования, как возможного варианта робототехнического обеспечения антропоморфного типа (АТ) для операционной поддержки ВКД космонавтов. Востребованным способом управления антропоморфными робототехническими системами (АРТС), в которых в качестве исполнительных устройств используются АР, остается управление в «ручных режимах», реализуемое с помощью задающих устройств копирующего типа посредством копирования действий космонавтов-операторов, облаченных в эти задающие устройства. Для достижения точности копирующих «ручных режимов» остается актуальным разрешение существующей проблемы обеспечения согласованности кинематических характеристик исполнительных и задающих устройств РТС АТ. Верификацию предлагаемого варианта робототехнического обеспечения для операционной поддержки ВКД космонавтов и способа согласованности кинематических характеристик исполнительных и задающих устройств АРТС предполагается выполнить на основании расширения концепции коммуникационного объединения тренажёра «Дон-ERA» [7] и гидролаборатории с возможностью интеграции с модернизированным универсальным компьютерным стендом робототехнических систем (УКС РТС) ФБГУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина» [8]. В ходе предварительной апробации модернизированного УКС РТС подтверждена необходимость продолжения работ по его усовершенствованию, в том числе, в части доработки встроенных программно-аппаратных средств комплексного объективного контроля применения РТС АТ.

1. Контур-2: эксперимент. – [https://tsniimash.ru/science/scientific-experiments-onboard-the-is-rs/cnts/experiments/kontur\\_2/](https://tsniimash.ru/science/scientific-experiments-onboard-the-is-rs/cnts/experiments/kontur_2/) (дата обращения 07.02.2022).

2. Робонавт: эксперимент. – [https://tsniimash.ru/science/scientific-experiments-onboard-the-is-rs/cnts/experiments/robonavt\\_/](https://tsniimash.ru/science/scientific-experiments-onboard-the-is-rs/cnts/experiments/robonavt_/) (дата обращения 07.02.2022).

3. Испытатель: эксперимент. – <https://tsniimash.ru/science/scientific-experiments-onboard-the-is-rs/cnts/experiments/ispysatel/> (дата обращения 07.02.2022).

4. Чеботарев Ю.С., Дикарев В.А. О некоторых направлениях обеспечения коллаборативного взаимодействия космонавтов с робототехническими системами для пилотируемых космических полетов. //Труды международной научно-технической конференции «Экстремальная робототехника». – 352 с. – С. 65-77.

5. Дикарев В.А., Чеботарев Ю.С. К проектированию компонентов коллаборативного взаимодействия космонавтов с робототехническими системами для пилотируемых космических полетов. /Пленарные и избранные доклады Десятого Международного Аэро-космического Конгресса «IAC'2021» (26-31 августа 2021 г.). – М.: РИА, 2021. – С. 253-258.

6. Теледройд: эксперимент. – <https://tsniimash.ru/science/scientific-experiments-onboard-the-is-rs/cnts/experiments/teledroid/> (дата обращения 07.02.2022).

7. Специализированный тренажер «Дон-ERA». – <http://www.gctc.ru/main.php?id=2892> (дата обращения 07.02.2022).

8. Предпосылки и результаты модернизации универсального компьютерного стенда робототехнических систем / В.А. Дикарев, В.А. Довженко, Э.В. Никитов, Ю.С. Чеботарев. // Пилотируемые полеты в космос. – №4 (41)/2021. – С 36-47.

ДЛЯ ЗАМЕТОК

## **СБОРНИК ТЕЗИСОВ**

33<sup>й</sup> Международной научно-технической конференции

## **ЭКСТРЕМАЛЬНАЯ РОБОТОТЕХНИКА**

29-30 сентября 2022 года, Санкт-Петербург

## **ABSTRACTS**

of the 33<sup>rd</sup> International Scientific and Technological

Conference

## **EXTREME ROBOTICS**

September 29-30, 2022, Saint Petersburg, Russia

Подписано в печать 13.09.2022

Формат А5. Печать – цифровая. Тираж 400 экз.

Отпечатано в ООО «Типография Фурсова» с оригинал-макета заказчика



## Наземная робототехника

29-30 сентября 2022 г.

- Технологии и компоненты наземных роботов (системы технического зрения, навигация, связь)
- Робототехнические комплексы высокой проходимости для движения по пересеченной местности
- Миниатюрные робототехнические комплексы
- Беспилотный транспорт для работы в структурированной среде
- Экзоскелеты, увеличивающие мышечную силу (промышленность, строительство, логистика и пр.)



## Морская робототехника

29 сентября 2022 г.

- Технологии и компоненты подводной связи и навигации
- Перспективные области применения подводной робототехники
- Проектирование и отработка безэкипажных катеров и необитаемых подводных аппаратов



## Искусственный интеллект и цифровые технологии в экстремальной робототехнике

30 сентября 2022 г.

- Ситуационный анализ и формирование поведения автономных роботов
- Самодиагностика, самообучение и самоорганизация роботов
- Автоматизация разметки данных, машинного обучения и формирования структурированных баз данных
- Человеко-машинные интерфейсы для мультиагентных робототехнических систем
- Интеллектуализация робототехнических комплексов на базе распределенных вычислительных ресурсов
- Перспективные технологии и компоненты обеспечения взаимодействия робота и оператора

# КРУГЛЫЕ СТОЛЫ



## Роботизация атомной отрасли

29 сентября 2022 г.

- Автоматизированный радиационный мониторинг
- Оборудование для аварийных служб
- Роботизированный вывод реактора из эксплуатации



## Медицинская робототехника

30 сентября 2022 г.

- Ассистирование при хирургических операциях
- Роботизированные процедуры
- Экзоскелеты для восстановительной медицины (реабилитационные, протезирующие, вспомогательные)



## Космическая робототехника

30 сентября 2022 г.

- Орбитальные и напланетные робототехнические базы и планетоходы
- Мониторинг земной поверхности на базе беспилотной авиации

