



ER-2020



СБОРНИК ТЕЗИСОВ

31^{-я} Международной научно-технической конференции
"ЭКСТРЕМАЛЬНАЯ РОБОТОТЕХНИКА"

28-29 сентября 2020, Санкт-Петербург, Россия

ABSTRACTS

of the 31st International Scientific and Technological Conference
"EXTREME ROBOTICS"
September 28-29, 2020, Saint-Petersburg, Russia

of the International Scientific & Technological Conference
EXTREME ROBOTICS

ABSTRACTS



ER.RTC.RU

Выпускается с 2013 года

РОБОТОТЕХНИКА И ТЕХНИЧЕСКАЯ КИБЕРНЕТИКА

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

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

Подписной индекс в каталоге «Роспечать» - 59896

Уважаемые коллеги!

Хорошая новость для наших авторов

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

Данные об издании публикуются в реферативном журнале Всероссийского института научной и технической информации Российской академии наук (ВИНИТИ РАН) (серия «Машиностроение», выпуск «Робототехника»). Журнал включен в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук, утвержденный приказом Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 29.05.2017 г.

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

Приглашаем к сотрудничеству

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

Издатель



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

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

ОРГАНИЗАТОР КОНФЕРЕНЦИИ

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

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

CONFERENCE ORGANISER

Russian State Scientific Center for Robotics and Technical Cybernetics

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

ПРИ ПОДДЕРЖКЕ



ИНФОРМАЦИОННАЯ ПОДДЕРЖКА

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

INFORMATION SUPPORT

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

СБОРНИК ТЕЗИСОВ

31-й Международной научно-технической конференции

ЭКСТРЕМАЛЬНАЯ РОБОТОТЕХНИКА

28-29 сентября 2020 года, Санкт-Петербург

ABSTRACTS

of the 31st International Scientific and Technological Conference

EXTREME ROBOTICS

September 28-29, 2020, Saint-Petersburg, Russia



er.rtc.ru

УДК 004.896:007.5

ББК 32.813

Э41

Сборник тезисов 31^{-й} международной научно-технической конференции «ЭКСТРЕМАЛЬНАЯ РОБОТОТЕХНИКА». – Санкт-Петербург: ИПЦ ООО «Политехника-принт», 2020. – 86 с.

Сборник тезисов отражает круг актуальных проблем и задач в сфере робототехнических систем и средств безопасности, представленных на 31^{-й} Международной научно-технической конференции «ЭКСТРЕМАЛЬНАЯ РОБОТОТЕХНИКА».

Тезисы опубликованы в авторской редакции.

Дизайн Ирины Купцовой, kuptzova@rtc.ru

Abstracts of the 31st International Scientific and Technological Conference «EXTREME ROBOTICS». – SaintPetersburg: Company «Politekhniko-Print», 2020. – 86 p.

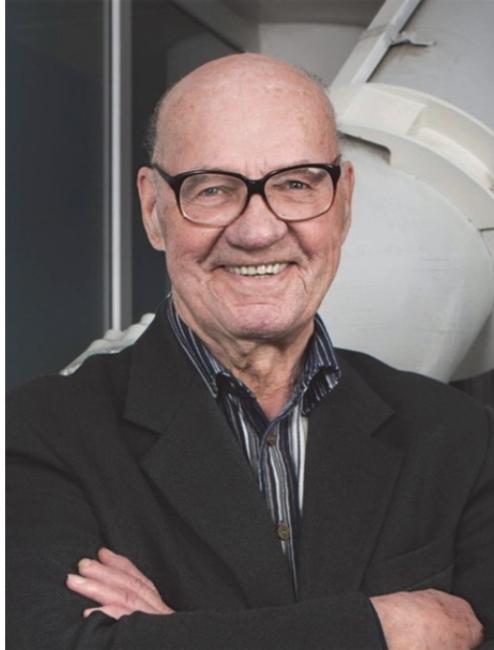
Collection of abstracts highlights an array of challenging issues and tasks in the sphere of robotic systems and safety facilities discussed at the 31st International Scientific and Technological Conference «EXTREME ROBOTICS».

Abstracts are published with author's edition.

Design by Irina Kuptzova, kuptzova@rtc.ru

ISBN 978-5-85875-602-6

©ЦНИИ робототехники и
технической кибернетики, 2020



Юревич Евгений Иванович

(25.11.1926 – 03.06.2020)

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

Evgeny Yurevich

(25.11.1926 – 03.06.2020)

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

ОРГАНИЗАТОР

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

ПРИ ПОДДЕРЖКЕ

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

ИНФОРМАЦИОННАЯ ПОДДЕРЖКА

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

ORGANIZER

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

WITH SUPPORT OF

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

INFORMATION SUPPORT

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

ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ КОНФЕРЕНЦИИ

Председатель:

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

Ученый секретарь:

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

Члены программного комитета:

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

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

Верба Владимир Степанович, д.т.н., проф., чл.-корр. РАН,
генеральный конструктор АО «Концерн «Вега»»

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

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

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

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

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

Плегер Пауль, доктор, профессор Бонн-Рейн-Зиг университета
прикладных наук, Германия

Половко Сергей Анатольевич, к.т.н., научный руководитель
центра ГНЦ РФ ЦНИИ РТК

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

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

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

Самойлов Александр Сергеевич, д.м.н., проф., чл.-корр. РАН, генеральный директор ГНЦ ФМБЦ имени А.И. Бурназяна ФМБА России

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

ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ КОНФЕРЕНЦИИ

Председатель:

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

Секретарь:

Николаев Александр Борисович, к.ф.-м.н., заместитель начальника сектора ГНЦ РФ ЦНИИ РТК, Санкт-Петербург

Члены организационного комитета:

Анцев Иван Георгиевич, к.т.н., исполнительный директор АО «НПП «Радар ММС»

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

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

Каталинич Бранко, доктор, президент Международной ассоциации DAAAM, Австрия

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

Максимов Андрей Станиславович, к.т.н., председатель Комитета по науке и высшей школе Санкт-Петербурга

Медведев Вадим Викторович, к.э.н., директор Департамента инноваций и перспективных исследований Минобрнауки России

Пшихопов Вячеслав Хасанович, д.т.н., директор НИИ робототехники и процессов управления ЮФУ

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

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

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

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

Шмаков Олег Александрович, заместитель главного
конструктора ГНЦ РФ ЦНИИ РТК

СОДЕРЖАНИЕ

СИМПОЗИУМ «СЕРВИСНАЯ РОБОТОТЕХНИКА»

| | |
|---|----|
| <i>А.В. Бахшиев, И.С. Фомин, А.М. Корсаков, Л.А. Станкевич</i> ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ТЕХНОЛОГИИ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ | 20 |
| <i>В.П. Андреев, В.Э. Тарасова</i> ИДЕНТИФИКАЦИЯ ОБЪЕКТОВ С ПОМОЩЬЮ КОМПЛЕКСИРОВАНИЯ ПОКАЗАНИЙ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ И ИНФРАКРАСНЫХ ДАТЧИКОВ ИСКУССТВЕННОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТЬЮ | 22 |
| <i>В.П. Носков, И.В. Рубцов, В.С. Лапиов</i> КОМПЛЕКСИРОВАННЫЕ СТЗ АВТОНОМНЫХ РОБОТОВ | 24 |
| <i>А.Д. Ковалев, Н.А. Павлюк, П.А. Смирнов</i> МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СИСТЕМЫ СТЕРЕОЗРЕНИЯ РОБОТИЗИРОВАННОЙ ПЛАТФОРМЫ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ НАВИГАЦИИ | 27 |
| <i>С.М. Соколов, А.А. Богуславский, С.А. Романенко</i> РЕАЛИЗАЦИЯ АЛГОРИТМОВ ОБРАБОТКИ ЗРИТЕЛЬНЫХ ДАННЫХ НА БОРТОВЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ РЕСУРСАХ | 29 |
| <i>К.И. Кий, Д.А. Анохин, Р.В. Досаев</i> КОМПЛЕКСНЫЙ АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ДОРОЖНЫХ СЦЕН | 31 |
| <i>Б.С. Лапин, И.Л. Ермолов, С.А. Собольников</i> АНАЛИЗ ДАННЫХ С СТЗ И ДВИЖИТЕЛЯ МОБИЛЬНОГО РОБОТА ДЛЯ ОЦЕНКИ ХАРАКТЕРИСТИК ПОВЕРХНОСТИ ДВИЖЕНИЯ | 33 |
| <i>А.А. Аксёнов, Д.А. Рюмин, И.А. Кагиров, Д. Иванько, А.А. Карпов</i> СПОСОБ ОТСЛЕЖИВАНИЯ ОРИЕНТИРОВ РУК ДЛЯ БЕСКОНТАКТНОГО ЖЕСТОВОГО ЧЕЛОВЕКО-МАШИННОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ | 34 |
| <i>А.В. Плотников, В.Е. Пряничников</i> АЛГОРИТМ КАРТОГРАФИРОВАНИЯ ОПЕРАЦИОННОГО ПРОСТРАНСТВА РОБОТА ПО УЛЬТРАЗВУКОВЫМ ДАННЫМ | 36 |
| <i>Е.Г. Абдразаков, В.П. Андреев</i> МОДУЛЬ ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЯ С КОММУНИКАЦИОННЫМ КАНАЛОМ ДЛЯ МОБИЛЬНОГО РОБОТА С МОДУЛЬНОЙ АРХИТЕКТУРОЙ | 39 |

| | | |
|---|--|----|
| <i>Р.Б. Тарасов, О.И. Давыдов, В.Е. Пряничников, М.Д. Соловьева, А.Н. Тихомиров, Е.А. Шиповалов, С.Р. Эприков</i> | ПРОГРАММНО-УПРАВЛЯЮЩАЯ ОБОЛОЧКА ДЛЯ СЕРВИСНЫХ РОБОТОВ С ПАРАЛЛЕЛЬНЫМИ ВЫЧИСЛЕНИЯМИ | 41 |
| <i>А.В. Антонов, В.А. Глазунов</i> | ВЛИЯНИЕ УПРУГИХ СИЛ НА ТОЧНОСТЬ ДВИЖЕНИЯ МАНИПУЛЯТОРА ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ | 42 |
| <i>П.М. Близнец</i> | ШАГАЮЩАЯ ПЛАТФОРМА МОБИЛЬНОГО РОБОТА | 44 |
| <i>Д.С. Яковлев, А.А. Тачков</i> | ПОДСИСТЕМА ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗАВАРИЙНОГО ДВИЖЕНИЯ МОБИЛЬНОГО РОБОТА | 47 |
| <i>А.Г. Почежерцев, А.В. Васильев, В.М. Копылов, И.В. Шардыко</i> | ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНЫХ ПРИЧИН НЕУСТОЧИВОГО ПОВЕДЕНИЯ КОЛЕСНОГО РТК НА НАКЛОННОЙ ПОВЕРХНОСТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОМПЬЮТЕРНОЙ МОДЕЛИ | 49 |
| <i>Б.В. Багаев, А.Ю. Алейников</i> | КОЛЛАБОРАТИВНЫЙ РОБОТ ДЛЯ УКЛАДКИ МИНИАТЮРНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ НА ПАЛЛЕТУ | 51 |
| <i>Д.С. Лавыгин, В.В. Левщанов, В.В. Приходько</i> | ПРОГРАММНЫЙ ИНТЕРФЕЙС ДЛЯ УДАЛЕННОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫМИ РОБОТАМИ КУКА | 52 |
| <i>Т.Ю. Мамаева</i> | ПРОФЕССИОНАЛЬНЫЕ СРЕДСТВА РАЗРАБОТКИ ДЛЯ ВСТРАИВАЕМЫХ СИСТЕМ НА БАЗЕ АРХИТЕКТУРЫ RISC-V | 55 |
| <i>Д.К. Степанова</i> | ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ НАВЕДЕНИЯ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ ОПТИЧЕСКОЙ СВЯЗИ МОБИЛЬНЫХ РОБОТОВ | 56 |
| <i>О.В. Кофнов, Б.В. Соколов</i> | ПОСТАНОВКА И МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ДИНАМИЧЕСКОГО ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЯ ФУНКЦИЙ ПРИ ГРУППОВОМ УПРАВЛЕНИИ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИМИ КОМПЛЕКСАМИ | 59 |
| <i>А.В. Козов</i> | ДИНАМИЧЕСКАЯ РЕКОНФИГУРАЦИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ МОБИЛЬНЫМИ РОБОТАМИ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ГРУППОВОГО ДЕЙСТВИЯ | 62 |
| <i>Р.Р. Галин</i> | МЕТОДЫ ЭФФЕКТИВНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЗАДАЧ В КОЛЛАБОРАТИВНОЙ МНОГОАГЕНТНОЙ РОБОТОТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ | 63 |

| | |
|---|----|
| <i>А.М. Бойко, Р.А. Гиргидов</i> ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ УСТОЙЧИВОСТИ РОЯ АВТОНОМНЫХ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ (БЛА) | 65 |
| <i>В.В. Воробьев</i> МЕХАНИЗМ ОБМЕНА ДАННЫМИ МЕЖДУ РОБОТАМИ В КОЛЛЕКТИВЕ КАК СРЕДСТВО УСКОРЕНИЯ ПРОЦЕССА ГРУППОВОГО ЛОГИЧЕСКОГО ВЫВОДА | 67 |
| <i>Р.В. Мецерьяков, А.А. Саломатин, Д.В. Сенчук</i> ОПТИМИЗАЦИЯ ЗАДАЧИ ТРАНСПОРТИРОВКИ ГРУЗОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МНОГОАГЕНТНОЙ АВИАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ | 69 |
| <i>А.С. Мамончикова</i> МОДЕЛИРОВАНИЕ ТРЕХСТОРОННЕГО ДИНАМИЧЕСКОГО ИНФОРМАЦИОННОГО КОНФЛИКТА | 71 |
| <i>В.Е. Пряничников, Е.А. Шиповалов, Р.Б. Тарасов</i> ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЛОГИСТИЧЕСКИХ МИССИЙ В МЕДУЧРЕЖДЕНИЯХ МОБИЛЬНЫМИ СЕРВИСНЫМИ РОБОТАМИ АМУР-307 | 73 |
| <i>Е.А. Дудоров</i> ОПЫТ РАЗРАБОТКИ И ПРИМЕНЕНИЯ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ РЕАБИЛИТАЦИОННЫХ КОМПЛЕКСОВ | 74 |
| <i>А.Н. Афонин, А.А. Шамраев, Р.Г. Асадуллаев, Д.А. Веселов</i> СИСТЕМА РЕАБИЛИТАЦИИ ПАРАЛИЗОВАННЫХ ИНВАЛИДОВ НА ОСНОВЕ АЙТРЕКЕРА И FNIRS-ТОМОГРАФА | 76 |
| <i>А.Р. Гладышев, А.Ю. Алейников, В.А. Дуброва, А.В. Гладышева</i> РОБОТИЗИРОВАННАЯ ПЕРЧАТКА С БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ ДЛЯ РЕАБИЛИТАЦИИ ИНСУЛЬТНЫХ БОЛЬНЫХ С ПАРЕЗОМ ВЕРХНЕЙ КОНЕЧНОСТИ | 78 |
| <i>В.А. Дуброва, Е.Н. Ивахно, О.Г. Худасова, А.Ю. Алейников</i> РОБОТИЗИРОВАННАЯ СИМУЛЯЦИОННАЯ МОДЕЛЬ НИЖНЕЙ КОНЕЧНОСТИ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ОПЕРАЦИЙ | 80 |
| <i>А.А. Воротников, Ю.В. Подураев</i> РОБОТИЗАЦИЯ МАЛОИНВАЗИВНЫХ ХИРУРГИЧЕСКИХ ОПЕРАЦИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОНТАКТНОГО ДИОДНОГО ЛАЗЕРА В СТОМАТОЛОГИИ | 82 |
| <i>С.В. Минчук, Л.В. Октябрьская, И.С. Козлов, О.Н. Резник, А.Е. Скворцов, В.М. Теплов, А.В. Лопота, В.В. Харламов</i> ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ АППАРАТОВ LIFESTREAM ЕСМО ДЛЯ БОРЬБЫ С НОВОЙ КОРОНАВИРУСНОЙ ИНФЕКЦИЕЙ COVID-19 | 85 |

| | |
|--|-----|
| <i>А.В. Кожневникова, Д.А. Жиганов</i> ПЕРСПЕКТИВЫ ВНЕДРЕНИЯ КОМПЛЕКСНОЙ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ ВРАЧЕБНЫХ РЕШЕНИЙ НА ОСНОВЕ НЕЙРОСЕТЕЙ | 87 |
| <i>А.Ю. Исхаков, О.О. Шумская</i> МЕТОДЫ АДАПТИВНОЙ АУТЕНТИФИКАЦИИ ОПЕРАТОРА РОБОТОТЕХНИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА | 89 |
| <i>А.Ю. Исхаков, А.М. Смирнов</i> ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ИНТЕРФЕЙСЫ «МОЗГ-КОМПЬЮТЕР» КАК МЕХАНИЗМЫ ЗАЩИТЫ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИМ СРЕДСТВОМ | 92 |
| <i>Д.Б. Федоров, К.А. Кагирина, К.И. Клюев, А.С. Молотилин, В.В. Песков, А.А. Харитонов, Г.В. Шангин</i> ОБУЧЕНИЕ С ПОДКРЕПЛЕНИЕМ САМОСТОЯТЕЛЬНОМУ ДВИЖЕНИЮ АВТОНОМНОЙ РОБОТОТЕХНИЧЕСКОЙ ПЛАТФОРМЫ В РЕАЛЬНОЙ (ФИЗИЧЕСКОЙ) СРЕДЕ | 94 |
| <i>К.А. Кагирина, Ю.Н. Джебраилова, Е.В. Карпунин, К.И. Клюев, А.С. Молотилин, В.В. Песков, Д.Б. Федоров</i> ПРИМЕНЕНИЕ МОДУЛЯ NVIDIA JETSON NANO ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ АЛГОРИТМА ПРОХОЖДЕНИЯ ПРОИЗВОЛЬНОГО МАРШРУТА ИЗ УКАЗАТЕЛЕЙ В АВТОНОМНОЙ РОБОТОТЕХНИЧЕСКОЙ ПЛАТФОРМЕ | 97 |
| <i>М.В. Ольховский, Б.В. Барсуков, Е.В. Карпунин, И.Л. Клыков, А.А. Харитонов, Г.В. Шангин, С.В. Шатохин</i> ПРОТОТИПИРОВАНИЕ МОДУЛЬНОЙ РОБОТОТЕХНИЧЕСКОЙ ПЛАТФОРМЫ: АДДИТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, ЭЛЕКТРОННЫЕ КОМПОНЕНТЫ И ДИЗАЙН МЕЖМОДУЛЬНЫХ СВЯЗЕЙ | 98 |
| <i>А.Г. Комаров</i> ДИНАМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ВОЗМОЖНОСТЬ ПЕРЕСЕЧЕНИЯ ПРЕПЯТСТВИЙ ГИБКИХ ШАРООБРАЗНЫХ РОБОТОВ С МАЯТНИКОВЫМ ПРИВОДОМ | 100 |
| <i>И.Ф. Гуцин, А.Н. Лецинский, А.Г. Зарукин, А.В. Жуков, В.Е. Кирюхин, В.В. Левщанов, В.В. Приходько, В.В. Светухин, А.А. Соболев, А.Н. Фомин</i> РАДИАЦИОННО-СТОЙКИЙ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС URS-2 | 102 |
| <i>С.В. Голубев, И.В. Поляков</i> ПОДХОДЫ К ДЕМОНТАЖУ И ФРАГМЕНТАЦИИ КОНСТРУКЦИЙ И ОБОРУДОВАНИЯ ПРИ ВЫВОДЕ ИЗ ЭКСПЛУАТАЦИИ ОБЪЕКТОВ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ | 104 |

В.Е. Пряничников, М.Д. Соловьева, Р.Б. Тарасов, В.В. Чернышев
АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПЛАНЕТАРНО-
ЦЕВОЧНОГО РЕДУКТОРА ДЛЯ МАНИПУЛЯТОРА СЕРВИСНОГО
РОБОТА АМУР-307 И ШАГАЮЩЕГО ПОДВОДНОГО АППАРАТА 106

Э.Ц. Галсанова, Я.В. Калинин, Т.А. Тарасова, И.А. Тарасова
УСТОЙЧИВОСТЬ КУРСОВОГО ДВИЖЕНИЯ ШАГАЮЩЕГО
РОБОТА СО СДВОЕННЫМИ ОРТОГОНАЛЬНО-ПОВОРОТНЫМИ
ДВИЖИТЕЛЯМИ В ВЕДОМОМ РЕЖИМЕ 108

Я.В. Калинин
ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ
ЭФФЕКТИВНОСТИ ШАГАЮЩИХ РОБОТОВ ЗА СЧЁТ
ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ЭФФЕКТАМИ,
СОПРОВОЖДАЮЩИМИ ИХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ С ОПОРНОЙ
ПОВЕРХНОСТЬЮ 109

А.П. Федин, Я.В. Калинин, Е.А. Марчук
ПАРАМЕТРИЗАЦИЯ YOULA – KUCERA В МОДЕЛИ КОНТРОЛЛЕРА
РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТОРМОЗНЫХ УСИЛИЙ КОЛЕСНОГО
ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА 111

И.И. Нестеров, Н.В. Мальгин, А.Б. Кутман, А.А. Торопков
ПРАКТИКА ПРИМЕНЕНИЯ БЕСПЛАТФОРМЕННЫХ
ИНЕРЦИАЛЬНЫХ НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ И
ГИРОСТАБИЛИЗИРОВАННЫХ ПЛАТФОРМ ПРОИЗВОДСТВА
ООО «ГИРОЛАБ» ДЛЯ ЭКСТРЕМАЛЬНОЙ РОБОТОТЕХНИКИ.
ПЕРСПЕКТИВНЫЕ РАЗРАБОТКИ 112

Н.С. Филатов, Н.А. Мальцева, А.В. Бахшиев
РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА НОШЕНИЯ КАСОК С
ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГЛУБОКИХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ С ВЫСОКИМ
БЫСТРОДЕЙСТВИЕМ 113

СЕМИНАР «КОСМИЧЕСКАЯ РОБОТОТЕХНИКА. ОТ ЛУНОХОДА-1 ДО ЛУННЫХ БАЗ»

М.И. Маленков, А.Т. Базилевский
ЛУНОХОД-1: ОТЕЧЕСТВЕННЫЙ ЗАДЕЛ - ДЛЯ СОЗДАНИЯ
РОБОПАРКА ЛУННОЙ БАЗЫ 115

В.Н. Курприянов, М.И. Маленков
КООПЕРАЦИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ И ВУЗОВ ЛЕНИНГРАДА ПРИ
СОЗДАНИИ И ОБЕСПЕЧЕНИИ УСПЕШНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ
«ЛУНОХОДА - 1» НА ЛУНЕ 117

Е.В. Власенков
АНАЛИЗ ИОНИЗАЦИОННЫХ И НЕИОНИЗАЦИОННЫХ ЭФФЕКТОВ В
БОРТОВОЙ АППАРАТУРЕ ЛУНОХОДА С УЧЕТОМ ВЛИЯНИЯ
БОРТОВЫХ РАДИОИЗОТОПНЫХ ИСТОЧНИКОВ ТЕПЛА 122

| | |
|---|-----|
| <i>А.И. Быков, А.В. Артемьев</i> ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДИКИ НАТУРНО-ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ ХОДОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПЛАНЕТОХОДА | 124 |
| <i>М.В. Михайлюк, Б.И. Крючков, В.М. Усов, А.А. Алтунин, П.П. Долгов</i> ВИРТУАЛЬНОЕ ПРОТОТИПИРОВАНИЕ УСТРОЙСТВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ МОБИЛЬНОСТИ КОСМОНАВТОВ ПРИ ВЫХОДЕ В ОТКРЫТЫЙ КОСМОС | 126 |
| <i>С.А. Матвеев, Е.Б. Коротков, Ю.А. Жуков, М.И. Надежин</i> СРАВНЕНИЕ МЕТОДОВ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ЗАДАЧАХ ДИАГНОСТИКИ ЭЛЕКТРОПРИВОДА | 128 |
| <i>Е.Б. Коротков, Н.С. Слободзян</i> УПРАВЛЕНИЕ ЛИНЕЙНЫМ ПРИВОДОМ МЕХАНИЗМА С ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ КИНЕМАТИКОЙ | 131 |
| <i>Е.Б. Коротков, С.А. Матвеев, Н.С. Слободзян, Ю.А. Жуков, А.А. Киселев</i> КОМПЕНСАЦИЯ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ОШИБОК МЕХАНИЗМА С ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ КИНЕМАТИКОЙ КОСМИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ | 132 |
| <i>Д.В. Васильков, Е.Б. Коротков, Н.С. Слободзян, О.В. Ширококов</i> ДИАГНОСТИКА МЕХАНИЧЕСКИХ НЕИСПРАВНОСТЕЙ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ КОСМИЧЕСКИХ СИСТЕМ | 135 |
| <i>И.Л. Бурцев, К.В. Горбатов</i> РАДИАЦИОННОСТОЙКИЕ СВЧ-КОМПОНЕНТЫ TELEDYNE E2V ДЛЯ КОСМИЧЕСКИХ РАДАРОВ И СРЕДСТВ СВЯЗИ | 136 |
| <i>А.В. Дрондин, С.Г. Ребров, С.В. Янчур</i> СБОРКА СОЛНЕЧНЫХ БАТАРЕЙ В КОСМОСЕ С ПОМОЩЬЮ РОБОТОТЕХНИКИ | 137 |
| <i>Е.А. Дудоров</i> ПОДГОТОВКА И ПРОВЕДЕНИЕ КОСМИЧЕСКОГО ЭКСПЕРИМЕНТА С ПРИМЕНЕНИЕМ АНТРОПОМОРФНОГО РОБОТА | 138 |
| <i>Ronald A. Cree</i> ENGINEERS ARE SHARING LESSONS LEARNED FROM LUNOKHOD AND APOLLO LUNAR ROVING VEHICLE MISSIONS | 140 |
| <i>Д.С. Дёмин, О.В. Забрудский, Н.А. Кабанов, А.В. Косенкова, О.Ю. Седых</i> ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЛУННОГО ЛЁГКОГО НЕГЕРМЕТИЧНОГО ПИЛОТИРУЕМОГО РОВЕРА | 141 |
| <i>М.Л. Литвак, Л.М. Зеленый, И.Г. Митрофанов</i> РАЗВЕДКА ЛУННЫХ РЕСУРСОВ С ПОМОЩЬЮ МОБИЛЬНЫХ ПЛАТФОРМ | 144 |

| | |
|---|-----|
| <i>А.В. Васильев, К.А. Волняков, И.Ю. Даляев, В.М. Копылов, А.Г. Почежерцев, В.В. Титов, И.В. Шардыко</i> | |
| РАЗРАБОТКА ПРЕДЛОЖЕНИЙ ПО СОСТАВУ И ТЕХНИЧЕСКОМУ ОБЛИКУ ГРУППИРОВКИ МОБИЛЬНЫХ РТС ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОГРАММЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ОСВОЕНИЯ ЛУНЫ | 146 |

КРУГЛЫЙ СТОЛ «МОРСКАЯ РОБОТОТЕХНИКА»

| | |
|--|-----|
| <i>Н.А. Щур, С.А. Половко</i> | |
| ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ГИДРОДИНАМИКИ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ПЕРЕХОДНОГО ПРОЦЕССА ПРИ УПРАВЛЯЮЩИХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ НА АНПА, А ТАКЖЕ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ | 150 |

| | |
|--|-----|
| <i>В.В. Горюнов, С.А. Половко</i> | |
| КИБЕРНЕТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ОТРАБОТКИ РЕГУЛЯТОРОВ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ АВТОНОМНОГО НЕОБИТАЕМОГО ПОДВОДНОГО АППАРАТА | 152 |

| | |
|---|-----|
| <i>А.И. Машошин, И.В. Пашкевич</i> | |
| ПРОБЛЕМНЫЕ ВОПРОСЫ ИНТЕЛЛЕКТУАЛИЗАЦИИ АВТОНОМНЫХ НЕОБИТАЕМЫХ ПОДВОДНЫХ АППАРАТОВ | 154 |

| | |
|---|-----|
| <i>Л.А. Мартынова, Г.В. Конюхов, Т.А. Гриненкова, Г.А. Подшивалов, А.И. Стариков, А.В. Червинский, Н.И. Горбачев, С.А. Сырцов</i> | |
| МЕТОД СНИЖЕНИЯ ВНУТРИОТСЕЧНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ АВТОНОМНОГО НЕОБИТАЕМОГО ПОДВОДНОГО АППАРАТА | 157 |

| | |
|---|-----|
| <i>В.В. Сергеев, Ю.С. Прибылов, В.Н. Карпов, В.А. Соколов, О.К. Пшеничная</i> | |
| АДАПТИВНАЯ СИСТЕМА ФОТО И ВИДЕО РЕГИСТРАЦИИ ДЛЯ АВТОНОМНЫХ НЕОБИТАЕМЫХ ПОДВОДНЫХ АППАРАТОВ | 158 |

| | |
|--|-----|
| <i>В.В. Сергеев, Ю.С. Прибылов, В.А. Соколов</i> | |
| ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК АКТИВНОЙ СИСТЕМЫ ПОДВОДНОГО ВИДЕНИЯ В ЛАБОРАТОРНЫХ УСЛОВИЯХ | 160 |

| | |
|---|-----|
| <i>А.С. Проценюк, А.В. Попов</i> | |
| ОСОБЕННОСТИ СОЗДАНИЯ МОРСКОГО ПОЛИГОНА ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ И ОТРАБОТКИ АЛГОРИТМИЧЕСКОГО, МАТЕМАТИЧЕСКОГО И ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ НЕОБИТАЕМЫХ ПОДВОДНЫХ АППАРАТОВ (НПА) | 161 |

| | |
|---|-----|
| <i>А.О. Попко</i> | |
| ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ОБИТАЕМОГО И НЕОБИТАЕМОГО ПОДВОДНЫХ АППАРАТОВ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ПОДВОДНО- ТЕХНИЧЕСКИХ РАБОТ | 163 |

| | |
|--|-----|
| <i>М.Н. Плавинский, А.В. Попов, А.Н. Халтурин, В.В. Целуйко</i> ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМЫ ВСТРОЕННОГО КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКИ ДЛЯ НЕОБИТАЕМЫХ ПОДВОДНЫХ АППАРАТОВ | 164 |
| <i>Д.А. Фролов, С.А. Половко</i> МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И СИНТЕЗ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ СТЫКОВКИ АВТОНОМНОГО НЕОБИТАЕМОГО ПОДВОДНОГО АППАРАТА | 165 |
| <i>Е.И. Абрамова, А.А. Кошурина, М.С. Крашенинников</i> РОБОТОТЕХНИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ОПЕРАТИВНОЙ ЛИКВИДАЦИИ АВАРИЙНЫХ РАЗЛИВОВ НЕФТЕПРОДУКТОВ НА АРКТИЧЕСКОМ ШЕЛЬФЕ | 167 |
| <i>В.А. Серов, И.В. Ковшов, С.А. Устинов, В.Н. Платонов, Е.С. Брискин</i> ПРИМЕНЕНИЕ РОБОТИЗИРОВАННЫХ ПЛАТФОРМ С ЯКОРНО- ТРОСОВЫМИ ДВИЖИТЕЛЯМИ ПРИ ГЛУШЕНИИ ПОДВОДНЫХ АВАРИЙНЫХ СКВАЖИН | 169 |
| <i>А.М. Маевский, В.Ю. Занин, И.В. Кожемякин, В.А. Рыжов</i> РАЗРАБОТКА СХЕМ ПРИМЕНЕНИЯ И СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ГЕТЕРОГЕННЫМИ ГРУППАМИ МОРСКИХ РОБОТОВ | 171 |
| <i>А.П. Коновальчик, М.А. Кудров, Д.Р. Махоткин, Н.Г. Колток</i> АЛГОРИТМЫ РАСПОЗНАВАНИЯ ОБРАЗОВ НА ГИДРОАКУСТИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЯХ НА ОСНОВЕ ГЛУБОКИХ СВЕРТОЧНЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ | 173 |
| <i>А.В. Зуев, А.Н. Жирабок</i> МЕТОД ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ДВИЖИТЕЛЕЙ ПОДВОДНЫХ РОБОТОВ | 176 |
| <i>А.В. Зуев, А.Н. Жирабок, А.Е. Шумский</i> РАЗРАБОТКА МЕТОДА ИДЕНТИФИКАЦИИ ДЕФЕКТОВ В ДАТЧИКАХ МЕХАТРОННЫХ ОБЪЕКТОВ | 177 |
| <i>В.Ф. Филаретов, А.Ю. Коноплин, А.П. Юрманов, П.А. Пятавин</i> МЕТОД ФОРМИРОВАНИЯ ТРАЕКТОРИИ ПОДВОДНОГО МАНИПУЛЯТОРА ДЛЯ СУПЕРВИЗОРНОГО ВЫПОЛНЕНИЯ ОПЕРАЦИЙ | 179 |
| <i>А.Ю. Коноплин, В.А. Денисов, Т.Н. Даутова, А.Л. Кузнецов, А.В. Московцева</i> ТЕХНОЛОГИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТНПА ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ГЛУБОКОВОДНЫХ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ ОПЕРАЦИЙ | 181 |
| <i>В.Ф. Филаретов, А.Ю. Коноплин, А.В. Зуев, Н.А. Красавин</i> СИСТЕМА ВЫСОКОТОЧНОГО УПРАВЛЕНИЯ ПЕРЕМЕЩЕНИЯМИ ПОДВОДНОГО МАНИПУЛЯТОРА | 183 |

Л.Д. Смирная, Е.С. Брискин
УПРАВЛЕНИЕ НОРМАЛЬНЫМИ РЕАКЦИЯМИ ШАГАЮЩИХ
ДВИЖИТЕЛЕЙ ПОДВОДНЫХ РОБОТОВ С ГРУНТОМ 184

КРУГЛЫЙ СТОЛ «ВОЕННЫЕ И СПЕЦИАЛЬНЫЕ РТК»

Н.А. Рудианов, В.С. Хрущев
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ НАЗЕМНЫХ
РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ ВОЕННОГО
НАЗНАЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ ОНТОЛОГИЧЕСКИХ БАЗ ЗНАНИЙ 187

С.Г. Цариченко, О.П. Гойдин, С.А. Голь
МОБИЛЬНЫЕ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ ДЛЯ
ПРОВЕДЕНИЯ АВАРИЙНО-СПАСАТЕЛЬНЫХ И РЕМОНТНО-
ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫХ РАБОТ НА ОБЪЕКТАХ АТОМНОЙ
ОТРАСЛИ 191

И.А. Шипов, Е.В. Ветошкин
КОМПЛЕКСИРОВАННАЯ НАВИГАЦИЯ НАЗЕМНЫХ
РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ 193

И.А. Кудрявцев
НОВЫЙ ПОДХОД К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧ РАЗГРУЗКИ
И ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОВООРУЖЕННОСТИ
ВОЕННОСЛУЖАЩЕГО В ЭКИПИРОВКЕ 195

А.П. Чаднов
ТЕХНОЛОГИЯ БЕСПИЛОТНЫХ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ
АВИЦИОННЫХ СИСТЕМ СЕТЕЦЕНТРИЧЕСКОГО ТИПА 197

А.А. Шаулин, А.В. Еришов
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МИКРОПРОЦЕССОРОВ «ЭЛЬБРУС» В
РОБОТИЗИРОВАННЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСАХ 199

А.В. Лобачев, А.В. Местников, А.М. Мудранов
РАЗРАБОТКА АППАРАТНОГО КОМПЛЕКСА ОБЪЕДИНЕНИЯ
И СОГЛАСОВАНИЯ ГРУПП БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАЮЩИХ
АППАРАТОВ (ДРОНОВ) 200

А.В. Гордеев, А.М. Мудранов, А.В. Еришов
МЕХАТРОННОЕ КОЛЕСО ПОВЫШЕННОЙ ПРОХОДИМОСТИ 202

А.Ю. Волков, А.Н. Косенко, Д.С. Попов
МОДУЛЬНОЕ РЕШЕНИЕ АРХИТЕКТУРЫ
РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ 204

С.П. Кульгина, Д.С. Попов, И.Р. Черемный
ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ АРХИТЕКТУРЫ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ
ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩЕЙ СИСТЕМЫ МОБИЛЬНОГО

| | |
|--|-----|
| РОБОТА С УЧЁТОМ РАЗДЕЛЕНИЯ НА ПОДСИСТЕМЫ МЯГКОГО И ЖЁСТКОГО РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ | 206 |
| <i>Д.С. Попов, О.А. Шмаков</i> ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ КАНАЛОВ УПРАВЛЕНИЯ И ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ В СОСТАВЕ МОБИЛЬНЫХ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ НАЗЕМНОГО БАЗИРОВАНИЯ | 208 |
| <i>И.Б. Прямыцын, А.В. Rogov, А.В. Полин</i> СФЕРА ПРИМЕНЕНИЯ УНИВЕРСАЛЬНОЙ РОБОТИЗИРОВАННОЙ ПЛАТФОРМЫ | 210 |
| <i>Ф.М. Бельченко, И.Л. Ермолов</i> РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ТЕЛЕМЕТРИИ РТК С ВОЗМОЖНОСТЬЮ ВНЕСЕНИЯ ЦЕЛЕВЫХ ИСКАЖЕНИЙ ОТОБРАЖАЕМОГО ПРОСТРАНСТВА | 211 |

А.В. Бахшиев, И.С. Фомин, А.М. Корсаков, Л.А. Станкевич
**ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ
ТЕХНОЛОГИИ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ**

ЦНИИ РТК, Санкт-Петербург, alexab@rtc.ru

A.V. Bakhshiev, I.S. Fomin, A.M. Korsakov, L.A. Stankevich
**PROSPECTIVE DIRECTIONS OF ARTIFICIAL NEURAL
NETWORKS DEVELOPMENT**

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

Как известно, технология искусственных нейронных сетей в настоящее время достигла больших успехов в решении ряда задач, еще полтора десятилетия назад считавшимися не имеющими, по крайней мере практического решения, пригодного для прикладного применения [1]. В новейшем развитии этого, изначально биологически-инспирированного, направления можно выделить ряд архитектур и подходов, давших принципиально новые возможности: глубокие полносвязные сети (Deep MLP), сверточные сети (CNN), автоэнкодеры, глубокие сети доверия (DBN), рекуррентные сети и LSTM, остаточные сети (Residual), генеративные (GenNet) и капсульные (CapsuleNet) сети (рис.1). Отдельно развиваются решения на базе карт Кохонена (SOM), эффективно применяемые в задачах кластеризации данных.

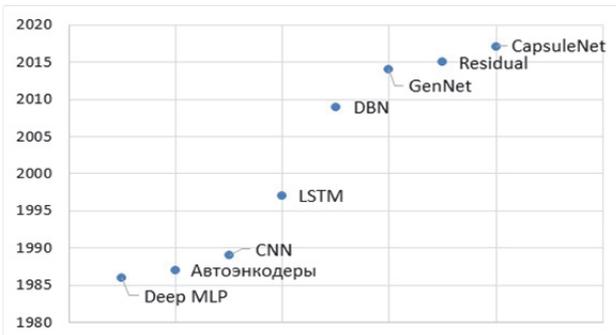


Рисунок 1 — Современные архитектуры глубоких сетей

Однако все архитектуры сохраняют ряд ограничений, которые, в целом, находятся за пределами современной парадигмы глубокого обучения. Это пластичность к изменениям в формальной постановке задачи, свойственное нервной системе; чрезвычайная вычислительная и энергетическая ресурсоемкость современных реализаций сетей глубокого обучения (при условии сохранения возможности повторного обучения).

Спайковые нейронные сети в глубоком обучении нацелены на решение второй проблемы. Существует большое количество работ, направленных на создание математических моделей таких сетей и алгоритмов их обучения [2], а также работ, рассматривающих аппаратную реализацию спайковых глубоких сетей [3].

Ряд работ, в которых исследователи касаются проблемы структурной адаптации в рамках глубокого обучения – это работы, посвященные сжатию сетей после обучения и формированию упрощенной структуры. Также существуют работы изначально нацеленные на формирование топологии, оптимальной под выбранную задачу, например методами глобальной оптимизации, либо онлайн-методами, формирующими топологию сети в процессе обучения без учета весов связей.

Можно выделить следующие перспективные направления приращения развития технологии нейронных сетей:

- создание технологических решений для упрощения внедрения технологии нейронных сетей в решения бизнес-задач, включая автоматизацию процесса формирования наборов данных для обучения, верификации результатов обучения, а также автоматизация развертывания нейросетевых решений и их сопровождения;
- внедрение спайковых нейронных сетей в решение практических задач, включая создание энергоэффективных и радиационно-стойких вычислителей, в том числе для космической отрасли;
- разработка алгоритмов глобальной оптимизации, базирующихся на описании внутреннего состояния интеллектуального агента и его информационно-управляющей системы;
- разработка методов и алгоритмов структурной адаптации и структурного обучения нейронных сетей.

1. A. Shrestha and A. Mahmood, «Review of deep learning algorithms and architectures,» IEEE Access, vol. 7. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., pp. 53040–53065, 2019.

2. A. Tavanaei, M. Ghodrati, S. R. Kheradpisheh, T. Masquelier, and A. Maida, «Deep learning in spiking neural networks,» *Neural Networks*, vol. 111. pp. 47–63, 2019.

3. C. D. James et al., «A historical survey of algorithms and hardware architectures for neural-inspired and neuromorphic computing applications» *Biologically Inspired Cognitive Architectures*, vol. 19. pp. 49–64, 2017.

В.П. Андреев, В.Э. Тарасова

**ИДЕНТИФИКАЦИЯ ОБЪЕКТОВ С ПОМОЩЬЮ
КОМПЛЕКСИРОВАНИЯ ПОКАЗАНИЙ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ
И ИНФРАКРАСНЫХ ДАТЧИКОВ ИСКУССТВЕННОЙ
НЕЙРОННОЙ СЕТЬЮ**

*МГТУ «СТАНКИН», МИНОТ РГТУ, Москва, andreevpa@yandex.ru,
viky.ne2@gmail.com*

V.P. Andreev, V.E. Tarasova

**OBJECT IDENTIFICATION BY ULTRASONIC AND INFRARED
SENSORS DATA FUSION USING ARTIFICIAL NEURAL
NETWORK**

MSTU «STANKIN», International Institute of the New Educational Technologies, RSUH, Moscow, Russia, andreevpa@yandex.ru, viky.ne2@gmail.com

Приведены результаты исследования, целью которого являлось построение комплексного датчика на основе комплексирования показаний ультразвуковых (УЗ) и инфракрасного (ИК) датчиков с помощью искусственной нейронной сети (ИНС). Программная реализация ИНС выполняется на платформе Iskra Neo с микроконтроллером ATmega32U4. Цель комплексирования показаний этих датчиков – определить как наличие объекта (УЗ-датчики) в окружении мобильного робота (МР), так и его ориентацию по отношению к МР (ИК-датчик). Использование ИНС обеспечивает высокую адаптацию мехатронной системы к объектам окружающего мира. Обучение нейронной сети происходит на ПК с помощью алгоритма Румельхарта-Хинтона-Вильямса (алгоритм обратного распространения ошибки) [1].

Одной из актуальных задач современной робототехники является задача создания автономных мобильных роботов, способных

ориентироваться в пространстве, уклоняться от препятствий, т.е. принимать решения в сложной реальной обстановке.

Гипотеза исследования: использование УЗ-датчиков позволит обнаружить объект и определить дальность до него, а одновременное использование сканирующих угловых перемещений ИК-датчика позволит определить форму объекта и его ориентацию по отношению к самому мобильному роботу.

Цель исследования: исследовать возможность использования ИНС для комплексирования данных от УЗ- и ИК-датчиков с целью идентификации объектов в процессе движения мобильного робота в недетерминированной среде.

В рамках данного исследования были решены следующие задачи:

1. Разработан и изготовлен лабораторный макет управляемого от микроконтроллера и ЭВМ поворотного устройства с закреплённым на нём ИК-датчиком.

2. Исследована возможность использования ИНС для комплексирования данных от УЗ-датчиков для объезда препятствий МР при условии использования распределённой системы управления: один микропроцессор отвечает за работу ИНС, а второй – за режим работы электродвигателей транспортной платформы. Идентификация объектов с помощью УЗ-датчиков рассмотрена в статье [2].

3. Исследована возможность использования сканирующих угловых перемещений ИК-датчика для определения формы объекта.

4. Реализован на микропроцессоре алгоритм работы ИНС, позволяющий по показаниям УЗ-датчиков и сканирующего ИК-датчика определять форму препятствия.

Изготовлен комплексный датчик (см. рис. 1), где УЗ-датчики зафиксированы неподвижно, а ИК-датчик, с помощью сервопривода совершает повороты. Выполнены эксперименты по идентификации препятствий типа «углы, образованные стенами» (внутренние и внешние), или «дверные проёмы» (с открытыми или закрытыми дверями).

Эксперименты показали, что использование комплексного датчика расстояний при реализации анализа и комплексирования данных разнотипных датчиков на достаточно простой ИНС обеспечивает надёжную идентификацию объектов относительно простых форм. Использование простой ИНС даёт возможность реализовать её на встраиваемых системах при обеспечении режима «real time», что существенно для МР с модульной архитектурой.

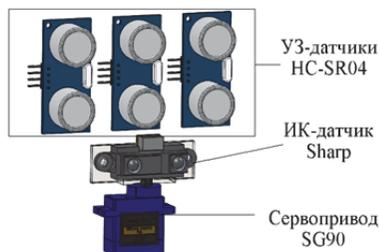


Рисунок 1 — Вид комплексного датчика

1. Заенцев И.В. Нейронные сети: основные модели – Воронеж, 1999.
2. Андреев В.П., Тарасова В.Э. Определение формы препятствий мобильным роботом с помощью сканирующих угловых перемещений ультразвукового датчика // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2017. – № 11. – С. 759-763.

В.П. Носков, И.В. Рубцов, В.С. Лапшов

КОМПЛЕКСИРОВАННЫЕ СТЗ АВТОНОМНЫХ РОБОТОВ

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, noskov_mstu@mail.ru

V.P. Noskov, I.V. Rybtcov, V.S. Lapshov

INTEGRATED STZ OF AUTONOMOUS ROBOTS

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, noskov_mstu@mail.ru

Для автономных роботов центральной является задача формирования бортовой СТЗ модели внешней среды, на которой возможно планировать будущее целенаправленное движение и решать навигационные задачи [1]. Для формирования наиболее полной модели целесообразно комплексировать данные взаимно-юстированных видео-датчиков и сенсоров различной физической природы. Например, 3D-лазерного сенсора, цветной видеокамеры и тепловизора [2]. Такое сочетание сенсоров обеспечивает получение геометрической модели внешней среды с распределением на ней цветового и температурного полей, что позволяет достоверно решать задачи распознавания объектов и классификации зоны маневрирования не только по критерию геометрической [3], но и по кри-

терию опорной проходимости [2], что актуально для наземных роботов, функционирующих на пересеченной местности.

Анализ областей и интенсивности использования робототехнических средств показывает, что наиболее востребованными являются наземные роботы и БПЛА для индустриально-городских сред [4]. Данные среды характеризуются наличием экранированных зон, что значительно ограничивает использование традиционных средств дистанционного управления и навигации. Для автономного функционирования роботов в данных условиях при формировании модели внешней среды можно эффективно использовать геометрические примитивы (плоскости, ребра, углы), из которых в основном и состоит геометрия урбанизированной среды (дороги, стены, углы зданий, лестницы...). Такая модель не только компактно описывает геометрию зоны маневрирования, но и содержит навигационную информацию о координатах объекта управления при определении семантических признаков выделяемых линейных объектов («пол», «стена») [5]. Например, при выделении горизонтальных плоскостей (дороги или пола в здании) определяется крен и дифферент, а вертикальных (стены, ограждения) – курс объекта управления. Для определения всех шести координат необходимо выделять не менее 3-х взаимно не параллельных плоских объектов. Для выделения линейных объектов достаточно данных 3D-лазерного сенсора [5]. В случае выделения менее трех плоских объектов (например, в средах, подвергшихся разрушениям) навигационная задача решается не полностью (определяются однозначно не все координаты, а некоторые координаты связываются линейной или нелинейной зависимостями). В этих случаях необходимо дополнительно использовать формируемую видеокамерой текстуру выделяемых плоских объектов. При выделении и идентификации в процессе движения одного или двух текстурированных линейных объектов решение навигационной задачи сводится соответственно к трехмерной или одномерной задаче оптимизации [6].

Формирование геометрических и семантических моделей внешних сред по видеоданным комплексированных СТЗ не только обеспечивает автономное движение робототехнических комплексов в различных средах, но и позволяет решать задачи автономного управления навесным оборудованием, например роботизированным брандспойтом при тушении очагов возгорания [7].

Работоспособность предлагаемых методов комплексирования видеоданных и эффективность разработанных алгоритмов их обра-

ботки подтверждается результатами экспериментальных исследований в реальных условиях.

1. Каляев А.В., Носков В.П., Чернухин Ю.В., Каляев И.А. Однородные управляющие структуры адаптивных роботов. // М.: Наука, 1990. 147с.

2. Носков В. П., Рубцов И. В., Вазаев А.В. Об эффективности моделирования внешней среды по данным комплексированной СТЗ. // С. Петербург ЦНИИ РТК, ж. «Робототехника и техническая кибернетика» №2(7), 2015. С. 51-55.

3. Буйволов Г.А., Носков В.П., Руренко А.А., Распопин А.Н. Аппаратно-алгоритмические средства формирования модели проблемной среды в условиях пересеченной местности. Сб. научн. тр. Управление движением и техническое зрение автономных транспортных роботов. // М: ИФТП. 1989. С. 61-69.

4. Лапшов В.С., Носков В.П. и др. Бой в городе. Боевые и обеспечивающие роботы в условиях урбанизированной территории // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2011. – №3. – С. 142-146.

5. 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.

6. Носков В.П., Киселёв И.О. Использование текстуры линейных объектов для построения модели внешней среды и навигации // Мехатроника, автоматизация, управление. 2019. №8, т. 20. С. 490-497.

7. Вазаев А.В., Носков В.П., Рубцов И.В., Цариченко С.Г. Комплексированная СТЗ в системе управления пожарного робота. // Известия Южного федерального университета. Технические науки. №1 (186), 2017. С. 121-132

А.Д. Ковалев, Н.А. Павлюк, П.А. Смирнов
**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СИСТЕМЫ
СТЕРЕОЗРЕНИЯ РОБОТИЗИРОВАННОЙ ПЛАТФОРМЫ ДЛЯ
РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ НАВИГАЦИИ**

Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр Российской академии наук, Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации РАН, antei.hasgard@gmail.com

A.D. Kovalev, N.A. Pavliuk, P.A. Smirnov
**MATHEMATICAL FOUNDATION OF A STEREO-VISION
SYSTEM OF A ROBOTIC PLATFORM IN TERMS
OF NAVIGATION PROBLEM SOLVING**

St. Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences (SPC RAS), St. Petersburg Institute for Informatics and Automation of the RAS, antei.hasgard@gmail.com

Роботизированные мобильные платформы находят все более широкое применение в различных областях промышленности и сферы услуг. К мобильным платформам предъявляются растущие требования, связанные с обеспечением автономности и интерактивности, среди таких требований — решение логистических задач [1, 2]. Описана конструкция мобильной платформы, оснащенной 2-5 камерами, которые, наряду с инфракрасными датчиками и лидарами, являются важнейшим средством обеспечения навигации и человеко-машинного взаимодействия. Представлено математическое обеспечение для реализации стереозрения посредством монокулярных камер. Обработка данных, получаемых от сенсорных устройств, с помощью вычислительного модуля Nvidia Jetson TX2, позволяет платформе решать задачи визуальной одометрии, строить карты окружения, обнаруживать элементы обстановки, а также взаимодействовать с пользователями. Рассматриваемая конфигурация монокулярных камер, установленных на платформе, позволяет строить облако точек сцены без применения стереокамер. Разработанный математический аппарат специально подготовлен для данного аппаратного обеспечения и достаточен для создания рабочего прототипа, пригодного для решения задач навигации и человеко-машинного взаимодействия. В дальнейшем предложенный математический аппарат может масштабироваться для различных конфигураций и наборов камер. Для обеспечения требуемой для стереозрения конфигурации камер разработан алгоритм калибровки

монокулярных камер, установленных на платформе. Данный алгоритм включает в себя следующие этапы:

1. Настройка внутренних и внешних параметров камеры. Калибровка камеры требуется для оценки внутренних и внешних параметров, используемых в процессе ее настройки. Внутренние параметры калибровки камеры описывают следующие величины: 1) фокусное расстояние, 2) соотношение сторон изображения, 3) угол наклона пикселя, 4) смещение центра сенсора камеры относительно центра изображения, 5) параметры дисторсии линзы. Внешние параметры камеры описывают положение и ориентацию камеры в пространстве.

2. Оптимизация вышеперечисленных параметров для обеспечения совместной работы камер.

3. Расчет карты глубины изображения. Глубина изображения рассчитывается с помощью алгоритмов стерео-сопоставления изображений с двух камер, расчета стоимости расхождения изображений и уточнения показателей расхождения для повышения детализации итогового изображения.

Предложенный математический аппарат калибровки камер позволяет реализовать стереозрение при помощи нескольких монокулярных камер; таким образом, расширяются навигационные возможности платформы и варианты человеко-машинного взаимодействия, поскольку стереозрение используется наряду с лидарами и ИК-датчиками для решения задач навигации, а также для разработки дополнительного пользовательского интерфейса.

1. Aksamentov E., Zakharov K., Tolopilo D., Usina E. Approach to Robotic Mobile Platform Path Planning Upon Analysis of Aerial Imaging Data // Proceedings of 15th International Conference on Electromechanics and Robotics «Zavalishin's Readings» (ER(ZR) 2020). – Springer, Singapore, 2021

2. Pavliuk N., Kharkov I., Zimuldinov E., Saprychev V. Development of Multipurpose Mobile Platform with a Modular Structure // Proceedings of 14th International Conference on Electromechanics and Robotics «Zavalishin's Readings». – Springer, Singapore, 2020. – P. 137-147.

С.М. Соколов, А.А. Богуславский, С.А. Романенко
**РЕАЛИЗАЦИЯ АЛГОРИТМОВ ОБРАБОТКИ ЗРИТЕЛЬНЫХ
ДАННЫХ НА БОРТОВЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ РЕСУРСАХ**

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

S.M. Sokolov, A.A. Boguslavsky, S.A. Romanenko
**VISUAL DATA PROCESSING ALGORITHMS
IMPLEMENTATION ON ONBOARD COMPUTING UNITS**

*Keldysh Institute of applied mathematics of RAS, Moscow, Russia,
sokolsm@list.ru*

Робототехнические комплексы повышенной степени автономности требуют адаптивных систем управления с развитыми средствами ситуационной осведомлённости и интеллектуальными алгоритмами сбора и обработки данных, реализуемых на высокопроизводительных, эффективных вычислителях.

В области архитектуры и программного обеспечения информационных систем мобильных средств в течение последних двух десятилетий интенсивно проводятся разработки систем информационного обеспечения автономных автомобилей, создан ряд аппаратных платформ [1]. К числу таких платформ относятся NVidia Drive, Intel Automotive, автомобильные вычислители Tesla, Huawei Atlas, Google TPU.

Подобные же задачи сбора и обработки зрительных данных в масштабе реального времени встают перед бортовым оснащением других автономных подвижных средств, системами оперативного создания и обновления навигационных карт. В частности, при разработке мобильных средств для исследований на поверхности других планет. Особое внимание здесь уделено обеспечению безопасности и надежности функционирования робота в условиях, когда система глобальной навигации и точная карта местности может быть недоступна. При разработке бортовых информационных систем таких роботов используются системы технического зрения. Они позволяют заменить или дополнить ряд других датчиков, например, для повышения надежности решения навигационной задачи с помощью средств визуальной одометрии [2]. Повышение эффективности обработки в условиях ограниченного энергообеспечения достигается за счет использования ПЛИС-модулей, на которых реализуются, в частности, построение карт глубины по стереоизображениям. В результате работ в области наземной и космиче-

ской робототехники были разработаны унифицированные подходы для реализации типовых способов обработки зрительной информации в бортовых информационных системах, например, архитектура стереоскопических и одометрических зрительных систем.

Общее ПО для исследований алгоритмического обеспечения задач сбора и обработки зрительных данных западными коллегами представлено в большом ассортименте. Но чем ближе к аппаратуре и бортовой реализации в законченном, эксплуатационном исполнении, тем сложнее выйти за рамки коммерческих связок «вычислительный блок – необходимое ПО». Для гетерогенных вычислителей вопрос ПО является передним краем разработок. Мы исследовали ряд компоновок и подходов в этом направлении. В конфигурационном пространстве, предложенном авторами [3] рассматривается плоскость «алгоритмы - аппаратные средства». Для создания прикладного ПО был разработан каркас ПО СТЗ реального времени [4]. Этот крупномасштабный программный шаблон унифицировано определяет структуру и основные возможности конкретного приложения. В экспериментах с вычислительным модулем на базе ПЛИС Intel/Altera Cyclone IV были реализованы алгоритм построения гистограммы и алгоритм Кэнни для выделения контуров изображения. По сравнению с реализацией на универсальном процессоре, при построении гистограммы было достигнуто трехкратное увеличение быстродействия, при выделении контуров – пятикратное. На модуле на базе ПЛИС Xilinx Virtex 7 были реализованы алгоритмы разреженного (Lucas-Kanade) и плотного оптического потока (Farneback). Достигнутый уровень производительности сопоставим с временем обработки на универсальном процессоре Intel Core i7 3.4 ГГц (10 Гц для разреженного потока и 5 Гц для разреженного). В качестве алгоритма сегментации полутоновых изображений был выбран алгоритм графовой сегментации [5]. На первом этапе рассматривалась реализация алгоритма сегментации на параллельном вычислителе с поддержкой языка OpenCL. Достижимый уровень производительности составляет порядка 1,5-2 кратно прироста по сравнению с универсальным процессором.

Работа выполнена при поддержке грантом РФФИ №19-07-01113.

1. NVidia Drive. Scalable AI Platform for Autonomous Driving. NVidia Corp. URL: <https://www.nvidia.com/en-us/self-driving-cars/drive-platform>

2. Scaramuzza D., Fraundorfer F. Visual Odometry: Part I - The First 30 Years and Fundamentals. // IEEE Robotics and Automation Magazine, Vol. 18(4), 2011.

3. Богуславский А.А., Боровин Г.К., Карташев В.А., Павловский В.Е., Соколов С.М. Модели и алгоритмы для интеллектуальных систем управления. М: ИПМ им. М.В. Келдыша, 2019. – 235 с.

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

5. Felzenszwalb P., Huttenlocher D. Efficient Graph-Based Image Segmentation. / Int. J. Comput. Vision, Vol. 59, No. 2, 2004

К.И. Кий, Д.А. Анохин, Р.В. Досаев

КОМПЛЕКСНЫЙ АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ДОРОЖНЫХ СЦЕН

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт прикладной математики им. Келдыша РАН (ИПМ РАН), Москва,
konst.i.kiy@gmail.com, anodmitry@gmail.com, romandosaev@gmail.com*

K.I. Kiy, D.A. Anokhin, R.V. Dosaev

INTEGRATED ANALYSIS OF THE STATE OF ROAD SCENES

*Keldysh Institute of applied mathematics of RAS, Moscow, Russia,
konst.i.kiy@gmail.com, anodmitry@gmail.com, romandosaev@gmail.com*

Метод геометризованных гистограмм (МГГ) в реальном времени ставит в соответствие каждому цветному изображению граф его цветовых сгустков *STG*, который в сильно сжатом виде сохраняет основную геометрическую и яркостно-цветовую информацию об изображении [1]. Это позволяет решать большое количество задач описания и понимания изображений без обращения к самому массиву изображения, что делает возможным строить системы понимания изображений реального времени. МГГ исходно спроектирован так, что его можно программно реализовать, используя параллельные вычисления.

В настоящее время построена параллельная реализация МГГ, которая позволяет с рекордными скоростями решать задачи понимания изображения на видео высокого разрешения. На стандарт-

ных четырехядерных ноутбуках с процессорами Intel Core i5/i7 удается решать задачи сегментации и понимания изображений со скоростью 30 fps на видео разрешения 1920x1080. Причем подобные скорости можно получить на процессорах с большим количеством ядер меньшей производительности [2].

Работа с видео высокого разрешения дает возможность искать объекты небольшого размера на большом расстоянии. В качестве приложения удастся производить полный анализ состояния дорожной сцены, включая анализ состояния светофоров, дорожных знаков, сигнальных зон автомобилей, дорожной разметки, наличия строительных конусов, обозначающих дорожные работы и знаков аварийной остановки транспортных средств. Удастся также выделять временную разметку, когда постоянная разметка не удалена. Это стало возможно благодаря качественной работе с цветом в реальном времени. Также предложенные методы можно использовать при анализе разметки взлетно-посадочных полос и сигнальных огней летательных аппаратов.

Работа выполнена при частичной поддержке Российского фонда фундаментальных исследований проект 18-07-00127.

1. Kiy K.I. A new method of global image analysis and its application in understanding road scenes // Pattern Recognition and Image Analysis. 2018. V. 28. № 3. P. 483–494.

2. Кий К.И., Анохин Д.А., Подопросветов А.В. Программная система обработки изображений с параллельными вычислениями, // Программирование. 2020. № 6. 38-50.

В.С. Лапин¹, И.Л. Ермолов², С.А. Собольников¹
АНАЛИЗ ДАННЫХ С СТЗ И ДВИЖИТЕЛЯ МОБИЛЬНОГО
РОБОТА ДЛЯ ОЦЕНКИ ХАРАКТЕРИСТИК ПОВЕРХНОСТИ
ДВИЖЕНИЯ

¹МГТУ «СТАНКИН», Москва

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

B.S. Lapin¹, I.L. Ermolov², S.A. Sobolnikov¹
DATA FUSION OF CV SYSTEM AND UGV CHASSIS FOR
ESTIMATING PARAMETERS OF GROUND CONTACT AREA

¹MSTU «STANKIN», Moscow, Russia

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

Успешность решения задач навигации, планирования траекторий и управления на местности в условиях неоднородной труднопроходимой опорной поверхности, плохой видимости и других особенностей естественной среды во многом обусловлена степенью детализации и достоверностью математических моделей окружающей среды.

Особой проблемой при создании таких моделей, является идентификация опорной поверхности. Эта проблема в первую очередь связана с разнородностью структур грунтовых оснований [1], при этом основным фактором, осложняющим разработку и внедрение математических моделей в СУ автономных РТК, является ограниченность ресурсов, как вычислительных, так и энергетических.

В работе предложен подход, позволяющий определять характеристики опорного основания автономным наземным РТК и который не требует установки дополнительных специализированных устройств, таких как беваметр, пенетрометр, локальный гиперспектрометр и т.п.

Суть нового подхода заключается в комплексировании информации с СТЗ с информацией об усилиях в приводах шасси, а также с информацией о положении РТК в пространстве. СТЗ используется для решения задачи кластеризации окружающей робота поверхности по цвету, текстуре и дисперсии перепадов высот [2].

Информация об усилиях в приводах и положении РТК используется для косвенной оценки сцепных свойств опорной поверхности. Оценка сцепных свойств распространяется на текущую поверхность, границы которой определены с помощью кластериза-

ции. Далее, в процессе движения РТК, для каждой из поверхностей устанавливается соответствующая оценка сцепных свойств.

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

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

1. Градецкий В.Г., Ермолов И.Л., Князьков М.М., Семенов Е.А., Собольников С.А., Суханов А.Н., Силовое взаимодействие мобильного нагруженного робота с грунтом, «Мехатроника. Автоматизация. Управление», №12, 2017.

2. Lapin B.S., Ermolov I.L., Sobolnikov S.A. The simply integrated approach for surface parameters detection by UGV. *Extreme Robotics*. 2019. Т. 1. № 1. С. 137-144.

3. Кудряшов В.Б., Лапшов В.С., Носков В.П., Рубцов И.В. Проблемы роботизации ВВТ в части наземной составляющей «Ивестия ЮФУ. Технические науки», №3, 42-57с, 2014.

А.А. Аксёнов, Д.А. Рюмин, И.А. Кагиров, Д. Иванько, А.А. Карпов
**СПОСОБ ОТСЛЕЖИВАНИЯ ОРИЕНТИРОВ РУК
ДЛЯ БЕСКОНТАКТНОГО ЖЕСТОВОГО ЧЕЛОВЕКО-
МАШИННОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ**

*ФГБУН Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации
РАН (СПИИРАН), Санкт-Петербург, a.aksenov95@mail.ru,
ryumin.d@iias.spb.su, karpov@iias.spb.su*

A.A. Akhonorov, D. A. Ryumin, I.A. Kagirov, D. Ivanko, A.A. Karpov
**A TECHNIQUE FOR HAND LANDMARKS DETECTION
FOR CONTACTLESS GESTURE-BASED HUMAN-MACHINE
INTERACTION**

*St. Petersburg Institute for Informatics and Automation of the Russian Academy
of Sciences (SPIIRAS), St. Petersburg, Russia, a.aksenov95@mail.ru,
ryumin.d@iias.spb.su, karpov@iias.spb.su*

В настоящей статье описывается способ обнаружения и локализации ориентиров рук человека на двухмерных цветных видеопо-

следовательностях с помощью программного инструментария MediaPipe [1] для организации бесконтактного жестового человеко-машинного взаимодействия.

Современная тенденция развития систем робототехнических комплексов для обеспечения эффективности и автономности их функционирования направлена на бесконтактное управление, например, с помощью жестовых, голосовых или многомодальных управляющих команд. В таком интерфейсе детектирование и распознавание рук в режиме реального времени является основополагающей задачей. Для технологий компьютерного зрения и машинного обучения проблема детектирования областей и ориентиров (характеристических точек) рук заключается в довольно мелких размерах изображений отдельных пальцев рук по отношению к разрешению видеопотока, а также в частых окклюзиях (перекрытиях) пальцев и ладоней рук. Решить указанные проблемы возможно посредством использования нового подхода для определения ориентиров рук человека, который реализован в кроссплатформенном программном инструментарии с открытым исходным кодом MediaPipe [1]. Данный инструментарий позволяет создавать и обучать различные архитектуры глубоких нейронных сетей для задачи детекции рук и распознавания жестов пользователя с возможностью их использования в робототехнических комплексах. Нейросетевая модель кисти руки анализирует исходное изображение входного видеопотока с видеокamеры и определяет координаты графической области интереса для каждой из рук. Далее каждая найденная область руки является входными данными для следующей нейросетевой модели, которая определяет 21 ключевую точку, описывающие конфигурации рук (рис. 1). Затем предварительно обученная модель классифицирует жест руки человека на основе конфигурации ориентиров руки.

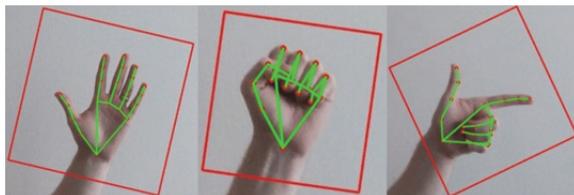


Рисунок 1 — Примеры определения ориентиров руки на изображениях

С помощью данного способа отслеживания ориентиров рук возможно достаточно стабильно распознавать как статические, так

и динамические жесты обеих рук пользователя, что позволяет строить жестовые интерфейсы для организации эффективного бесконтактного человеко-машинного взаимодействия, в том числе с перспективными мобильными роботизированными платформами, экзоскелетами и манипуляторами [2], [3].

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ, проект № 075-15-2019-1295 (ID RFMEFI61618X0095).

1. Lugaresi C., Tang J., Nash H., McClanahan C., Uboweja E., Hays M., Zhang F., Chang C.L., Yong M.G., Lee J., Chang W.T. Medi-aPipe: A Framework for Building Perception Pipelines // arXiv preprint arXiv:1906.08172, 2019.

2. Ryumin D., Ivanko D., Kagirow I., Axyonov A., Karpov A., Zelezny M. Human-Robot Interaction with Smart Shopping Trolley using Sign Language: Data Collection // In Proc. 2019 IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications Workshops, PerCom Workshops 2019, Kyoto, Japan, 2019, pp. 949–954.

3. Kagirow I., Karpov A., Kipyatkova I., Klyuzhev K., Kudryavcev A., Kudryavcev I., Ryumin D. Lower Limbs Exoskeleton Control System Based on Intelligent Human-Machine Interface // Studies in Computational Intelligence, Springer SCI 868, IDC 2019, pp. 477–482.

А.В. Плотников, В.Е. Пряничников

**АЛГОРИТМ КАРТОГРАФИРОВАНИЯ ОПЕРАЦИОННОГО
ПРОСТРАНСТВА РОБОТА ПО УЛЬТРАЗВУКОВЫМ
ДАНЫМ**

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

A.V. Plotnikov, V.E. Pryanichnikov

**ALGORITHM FOR MAPPING THE ROBOT'S OPERATING
SPACE USING ULTRASOUND DATA**

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

Исследования и построение различных SLAM алгоритмов ведутся достаточно давно и успешно. Можно отметить разработки в рамках ROS, а также наши более ранние алгоритмы определения и

обхода препятствий по данным от сонаров [1,2] или от лидара [3]. Ультразвуковые датчики измеряют расстояния достаточно точно, но имеют очень низкое угловое разрешение. В тоже время их малая стоимость и простота дают существенные преимущества по сравнению с лидарами. В работе предложен алгоритм построения локальной карты операционного пространства мобильных сервисных роботов, базируясь на логическом анализе и сопоставлении показаний от небольшого числа ультразвуковых и ИК дальномеров. В реализованной математической модели исследованы реальные характеристики 4-10 сенсоров 3х типов и их рациональное размещение на роботе. Предложенный алгоритм выявления препятствий в виде наборов точек (пятен) состоит из следующих этапов. Функция генерации точек-препятствий моделирует процесс измерений в некой абсолютной системе координат (рис. 1).

Так как алгоритм в процессе работы создает точки, находящиеся на значительном удалении от фактического препятствия (рис. 1), то необходимо было сконструировать функцию их удаления (рис. 2). Алгоритм был протестирован в виртуальной среде, моделирующей движение робота и работу ультразвуковых и ИК датчиков. При моделировании было рассмотрено несколько вариантов расположения ультразвуковых датчиков на роботе, наилучшие возможности для работы алгоритма локального картографирования оказались при размещении локаторов 4х пар по сторонам робота так, чтобы для каждой пары оси диаграмм направленности были бы развернуты на определенный угол навстречу друг другу. Результаты моделирования при движении робота из точки А в точку В приведены на рис.3.

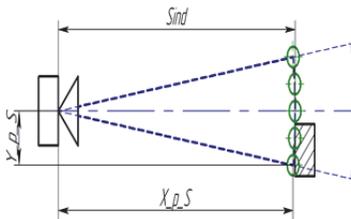


Рисунок 1 — Генерация точек-препятствий в модели дальномера

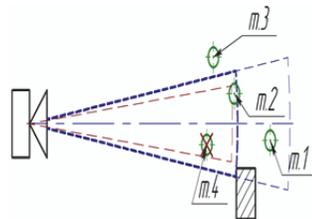


Рисунок 2 — Алгоритм анализа и удаления точек (точка 4)

Дальнейшая интерпретация показаний сенсоров и результатов локального картографирования операционного пространства легли в основу построения экспертных схем для алгоритмов эффективно-

го управления, навигации и обхода препятствий мобильных роботов.

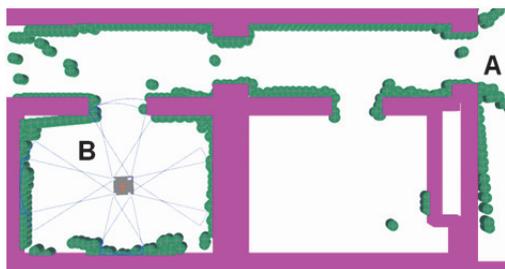


Рисунок 3 — Результат работы алгоритма картографирования при перемещении робота из помещения А в В (детектированы точки, отмечающие расположение стен/препятствий в помещениях)

1. И.А.Баранов, В.И. Денисов, К.И. Кий, К.Б.Кирсанов, А.А. Кирильченко, Б.М. Левинский, В.Е.Пряничников, В.Г. Шагалов. Адаптивное управление гусеничного робота в задаче мобильного патрулирования. – Информационно-измерительные и управляющие системы, 2006 г. 4, № 1-3, с.91-98.

2. В.Е. Пряничников. Дистанционные сенсоры в составе систем управления движением мобильных роботов. – Информационно-измерительные и управляющие системы, М.: Радиотехника, №1, 2008, с.5-18.

3. Давыдов О.И., Платонов А.К. Сеть Пассфреймов - комбинированная модель операционной среды мобильного робота // Препринты ИПМ им. М.В.Келдыша. 2015. No 15. 28с. URL: <http://library.keldysh.ru/preprint.asp?id=2015-15>.

Е.Г. Абдразаков, В.П. Андреев
**МОДУЛЬ ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЯ
С КОММУНИКАЦИОННЫМ КАНАЛОМ ДЛЯ МОБИЛЬНОГО
РОБОТА С МОДУЛЬНОЙ АРХИТЕКТУРОЙ**

*ФГБОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН», Москва, john.abdrzakov@yandex.ru,
andreevvipa@yandex.ru*

E.G. Abdrazakov, V.P. Andreev
**POWER SUPPLY MODULE WITH COMMUNICATION
CHANNEL FOR MOBILE ROBOT WITH MODULAR
ARCHITECTURE**

*MSTU «STANKIN», Moscow, Russia, john.abdrzakov@yandex.ru,
andreevvipa@yandex.ru*

В работе [1] предложено рассматривать структуру системы управления мобильного робота (МР) как синергетическое объединение полнофункциональных модулей: транспортного модуля, силового модуля, сенсорной системы, модуля активного взаимодействия с внешней средой и модуля интеллектуального управления (МИУ). Энергообеспечение всех модулей в данной архитектуре реализуется силовым модулем (СЛМ), который, кроме линий питания, имеет информационную связь со всеми модулями МР. Функционал СЛМ также включает (по командам от МИУ): безопасное включение и выключение отдельных модулей (корректное завершение работы микропроцессоров, сохранение состояния файловой системы), контроль и индикация состояния аккумуляторных батарей (АКБ) и т.п.

Цель работы: разработать систему энергообеспечения мобильного робота с модульной архитектурой с применением технологии PLC (Power Line Communications) для использования силовых линий электропередач в качестве среды межмодульного информационного взаимодействия. Анализ подобных технологий показал, что на сегодняшний день не существует единого стандарта на применение PLC технологий ввиду отсутствия их широкого распространения.

В рамках решения поставленной задачи построена структура модуля СЛМ энергообеспечения робота (рис. 1), спроектированы и изготовлены аккумуляторный submodule питания (АСП) и дешифратор на основе PLC модема с использованием технологии DC-PLC. АСП предназначен для энергообеспечения автономной работы МР. Дешифратор используется для организации межмодульного коммуникационного канала.

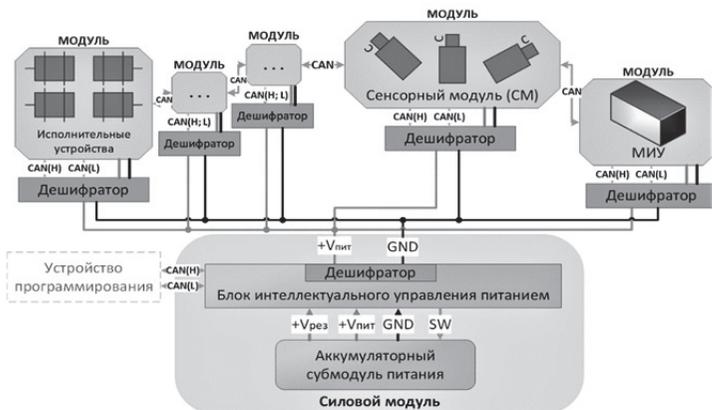


Рисунок 1 — Структура системы энергообеспечения робота с модульной архитектурой

Схема PLC модема основана на ARM контроллере STM32F103. Использован метод модулирования CW(OOK) с несущей частотой 1.84 МГц. Максимальная длина кабеля, по которому может распространяться данный сигнал, 160 метров. Скорость UART 2400-19200 bps.

Алгоритм информационного взаимодействия аккумуляторного submodule питания с другими модулями разработан в соответствии со спецификацией «Управление питанием в модульном мобильном роботе» [2].

Тестовые испытания изготовленного submodule электропитания показали полную реализацию заявленного функционала и высокую надежность межмодульного коммуникационного канала, выполненного на основе технологии DC-PLC. Результатом работы является готовый к внедрению прототип, а также концепция энергообеспечения модулей мобильного робота с интегрированным коммуникационным каналом.

1. Андреев В.П., Ким В.Л. Разработка функциональных узлов гетерогенного модульного мобильного робота // Экстремальная робототехника (ЭР-2016). Труды международной научно-технической конференции. Санкт-Петербург: ООО «АП4Принт», 2016. С. 359-369.

2. Плетенев П.Ф. Управление питанием в модульном мобильном роботе. Спецификация. 2017. URL: https://asmfreak.github.io/modular_robots_rfc/3/УПММР/ (дата обращения: 15.04.2020).

***Р.Б. Тарасов, О.И. Давыдов, В.Е. Пряничников, М.Д. Соловьева,
А.Н. Тихомиров, Е.А. Шиповалов, С.Р. Эприков***
**ПРОГРАММНО-УПРАВЛЯЮЩАЯ ОБОЛОЧКА ДЛЯ
СЕРВИСНЫХ РОБОТОВ С ПАРАЛЛЕЛЬНЫМИ
ВЫЧИСЛЕНИЯМИ**

*ФГУ «ФИЦ Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша
Российской академии наук», Москва, radtarasov@gmail.com,
v.e.pr@yandex.ru*

***R.B. Tarasov, O.I. Davydov, V.E. Pryanichnikov, M.D. Soloveva,
A.N. Tichomirov, E.A. Shipovalov, S.R. Eprikov***
**CONTROL SOFTWARE FOR SERVICE ROBOTS WITH
PARALLEL COMPUTING**

*Keldysh Institute of Applied Mathematics Russian Academy of Sciences,
Moscow, Russia, radtarasov@gmail.com, v.e.pr@yandex.ru*

ИПМ им. М.В. Келдыша РАН, Международная лаборатория «Сенсорика» проводят исследовательские и конструкторские разработки сервисных роботов применительно к задачам телемедицины. Созданный в настоящее время мобильный робот Амур-307 планируется использовать в медицинских учреждениях для обхода помещений и перемещения различных объектов между помещениями здания, разделёнными различными препятствиями. Робот управляется удалённо по радиоканалу с поста оператора, однако в будущем будет минимизировано вмешательство оператора и многие разработанные командой лаборатории «Сенсорика» алгоритмы сделают робота автономным и будут вычисляться на бортовом вычислительном устройстве без лишних задержек сетевой инфраструктуры. Робот имеет некоторые системы резервирования для защиты от выхода из строя критически важных узлов, так например, имеется резервный помехозащищённый радиоканал дальнего действия. Для управления роботом была спроектирована и разработана программно-аппаратная среда разработки робота включающая электронику и клиентское программное обеспечение, а также произведены необходимые тесты. Полученное решение позволяет быстро производить изменения под требования заказчика и в кратчайшие сроки поставлять робот на место его работы.

В результате проведённых исследовательских и конструкторских работ была разработана и изготовлена кросс-плата для соединения вычислительного устройства со всеми внутренними электронными компонентами робота. Были смонтированы компактные

микропроцессорные блоки многоканального управления и сбора сенсорных данных. Разработано и протестировано клиентское программное обеспечение для сервисного робота АМУР-307, представляющее сетевой интерфейс взаимодействия со всеми устройствами робота, а также сетевое программное обеспечение управления роботариумами. Проведены натурные и вычислительные/виртуальные испытания программно-аппаратной среды управления роботом АМУР-307 и предлагаемых алгоритмов интеллектуализации управления роботов в роботариумах.

А.В. Антонов, В.А. Глазунов

**ВЛИЯНИЕ УПРУГИХ СИЛ НА ТОЧНОСТЬ ДВИЖЕНИЯ
МАНИПУЛЯТОРА ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ**

*Институт машиноведения им. А.А. Благонравова РАН, Москва,
ant.ant.rk@gmail.com*

A.V. Antonov, V.A. Glazunov

**INFLUENCE OF ELASTIC FORCES ON MOVEMENT
ACCURACY OF PARALLEL MANIPULATOR**

*Mechanical Engineering Research Institute of the RAS, Moscow,
ant.ant.rk@gmail.com*

Манипуляторы параллельной структуры представляют собой механизмы, выходное звено которых соединено с основанием при помощи нескольких кинематических цепей. По сравнению с классическими роботами последовательного типа такие манипуляторы имеют повышенные показатели по точности и грузоподъемности.

При работе механизмов в их звеньях могут возникать силы упругости, способные повлиять на точность движения выходного звена. На примере манипулятора параллельной структуры с шестью степенями свободы и тремя кинематическими цепями (рис. 1) рассмотрим модель упругих сил, возникающих при деформации стержней-вводов механизма.

При деформации стержней-вводов на выходное звено механизма будет действовать по три силы упругости со стороны каждого стержня, которые можно рассчитать следующим образом:

$$\mathbf{F}_{н31i} = 3EJ_i \mathbf{d}_{1i} / L_{CEi}^3, \mathbf{F}_{н32i} = 3EJ_i \mathbf{d}_{2i} / L_{CEi}^3, \mathbf{F}_{сжi} = EF_i \mathbf{d}_{22i} / L_{CEi}, \quad (1)$$

где $i = 1 \dots 3$ – номер кинематической цепи; $\mathbf{F}_{из1i}$, $\mathbf{F}_{из2i}$ и $\mathbf{F}_{сжи}$ – силы изгибной и продольной упругости; \mathbf{d}_{1i} , \mathbf{d}_{21i} и \mathbf{d}_{22i} – деформации стержня; EJ_i и EF_i – изгибная и продольная жесткости стержня; L_{CE_i} – длина стержня на участке C_iE_i (рис. 2). Векторы деформаций \mathbf{d}_{1i} и $\mathbf{d}_{2i} = \mathbf{d}_{21i} + \mathbf{d}_{22i}$ лежат в плоскости Π_{E_i} , перпендикулярной вектору \mathbf{v}_{E_i} возможной скорости точки E_i стержня-ввода (рис. 2).

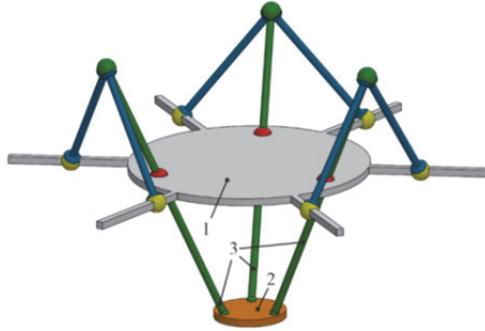


Рисунок 1 — Рассматриваемый манипулятор параллельной структуры:
1 – основание; 2 – выходное звено; 3 – стержни-вводы

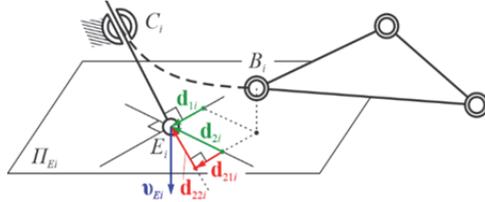


Рисунок 2 — Схема деформаций стержня-ввода

На основе уравнений Ньютона-Эйлера были составлены уравнения движения выходного звена манипулятора с учетом действующих упругих сил (1). С использованием полученных соотношений было проведено исследование движения выходного звена механизма по заданной траектории. Была рассмотрена модель манипулятора, стержни-вводы которого представляют собой тонкостенные трубки диаметром 10 мм и длиной 600 мм. Исследованы два случая для различных материалов стержней: алюминия и стали. Заданная траектория движения выходного звена представляла собой окружность радиусом 20 мм, плоскость которой параллельна горизонтальной плоскости. При этом ориентация выходного звена задавалась постоянной на протяжении всего движения.

В результате моделирования в пакете MATLAB установлено, что на движение выходного звена накладываются колебания. В случае использования стержней-вводов из алюминия наибольшее отклонение от заданной траектории составило 4,14 мм, для стальных стержней – 1,39 мм. Частоты колебаний при использовании стержней-вводов из стали больше, чем у манипулятора с алюминиевыми стержнями.

Таким образом, упругие силы могут оказывать существенное влияние на точность движения манипулятора и должны быть учтены при проектировании робототехнических систем.

П.М. Близнец

ШАГАЮЩАЯ ПЛАТФОРМА МОБИЛЬНОГО РОБОТА

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

P.M. Bliznets

MOBILE ROBOT WALKING PLATFORM

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

Объектом исследования является новая кинематическая структура шагающей платформы (шасси) [1], [2] Цель исследования-определить потери и выигрыши функциональности предлагаемого решения, сравнить основные параметры кинематической структуры млекопитающего с инновационной.

Сравнение основных параметров кинематической структуры млекопитающих и упрощенной кинематической структуры.

Предположение 1. устройства снабжены электроприводами.

Предположение 2. устройства отличаются только кинематической конструкцией. Упрощенное устройство не имеет привода отведения - приведения бедра, а колено выполняет функцию отведения – приведения голени.

Сравнение массы.

Масса упрощенного устройства меньше на величину масс четырех приводов, силовых выключателей, проводов и монтажных элементов.

Сравнение скоростей.

Теоретически скорость устройств с кинематической структурой млекопитающих не ограничена, а скорость устройств с упрощен-

ными кинематической структурой млекопитающих ограничена за счет вертикального ускорения, возникающего при рысистой ходьбе. На практике скорость ограничена энергетическими возможностями устройства и силой трения стопы и опорной поверхности.

Сравнение полезной нагрузки.

Полезная нагрузка ограничена величиной крутящих моментов приводов и прочностью конструкции. Вращающие моменты в приводах пропорциональны синусу угла отклонения от вертикали. Упрощенное устройство может нести большую нагрузку за счет того, что при ходьбе элементы ноги отклоняются от вертикали на меньшую величину.

Сравнение энергоэффективности.

Для сравнения мы будем использовать параметр стоимости транспортировки (COT), то есть количество энергии, затраченной на пройденное расстояние (Габриэлли и фон Карман).

Для кинематических структур млекопитающих $COT_{mech} = 0,31$ для двуногих [3] и 0,28 для четвероногих [4] для упрощенных кинематических структур млекопитающих подходит модель движения перевернутого маятника. В этом случае COT_{mech} рассчитывается как h/d [4, стр. 11]

В случае, $a=30$ градусов и $l=1$; $h=1-\cos(a)=0,134$, $COT_{mech} = 0,134/1 = 0,134$, что примерно в два раза меньше, чем в устройстве с кинематической структурой млекопитающих.

Сравнение сложности систем управления.

Устройство с упрощенной кинематической структурой имеет меньшее число степеней свободы, поэтому проще в управлении. Кроме того, уменьшение количества приводов делает конструкцию более жесткой, что повышает управляемость устройства.

Сравнение стоимости.

Упрощенное устройство дешевле, поскольку содержит меньше компонентов (приводы, силовые выключатели, провода и крепежные элементы).

Результаты

Упрощение кинематической конструкции не привело к потере основных функциональных свойств.

Упрощение кинематической конструкции снижает массу устройства, повышает энергоэффективность, снижает стоимость устройства и упрощает управление. Эти факты позволяют улучшить технико-экономические параметры шагающей платформы для многих практических применений:

Математические и физические модели

Математическая модель в MATLAB+ Simulink реализована как многотельная система. Визуализация результатов моделирования демонстрирует походку рысь и позиционирование в трех осях [<https://yadi.sk/d/5f0J8YXmikj1XA>].

Физическая модель показывает демонстрирует походку рысь и позиционирование в трех осях [<https://yadi.sk/d/5f0J8YXmikj1XA>].

Ближайшая практическая перспектива

Мобильные роботы на шагающей платформе представлены на рынке в основном в виде игрушек и развивающих наборов. Был разработан прототип шагающей платформы в виде игрушки-робота. Наш прототип и игрушка-робот Alienbot (Hiwonder, Китай) собраны почти из одних и тех же компонентов. Наш робот может двигаться шагом в 3,5 раза быстрее, чем робот Alienbot. Он может нести нагрузку до 3,5 кг и потребляет меньше энергии

Упрощение конструкции не приводит к потере основных функциональных свойств.

Положительный результат упрощения (снижение веса, снижение себестоимости, упрощение конструкции, упрощение управления, меньшее энергопотребление, более высокая грузоподъемность) облегчает использование шагающих платформ на практике, расширяет возможности оптимизации параметров шагающих платформ под конкретные задачи.

1. Близнец П.М. и др. Шагающее устройство Патент 2642020 РФ. заявл. 24.06.2016, опубл. 23.01.2018.
2. Близнец П.М. Патент 2033955 РФ. заявл. 04.01.1991, опубл. 30.04.1995.
3. URL: https://ethz.ch/content/dam/ethz/special-interest/mavt/robotics-n-intelligent-systems/asl-dam/documents/lectures/autonomous_mobile_robots/spring-2020/Locomotion2020.pdf, page 21.
4. Design and control of legged robots compliant with actuation. Марко Хаттер. Докторская диссертация, Цюрих, ETH, 2013., page 122

Д.С. Яковлев, А.А. Тачков
**ПОДСИСТЕМА ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗАВАРИЙНОГО
ДВИЖЕНИЯ МОБИЛЬНОГО РОБОТА**

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

D.S. Iakovlev, A.A. Tachkov
**THE SUBSYSTEM OF PROVIDING ACCIDENT-FREE MOTION
OF A MOBILE ROBOT**

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

Доклад посвящен подсистеме, позволяющей избегать автономному мобильному роботу столкновений с препятствиями при движении по спланированной траектории.

В связи со стремительным развитием рынка беспилотных автомобилей и мобильных роботов (МР) задача их безаварийного движения является одной из приоритетных для разработчиков систем управления движением. Неопределенность в поведении окружающих объектов, появление случайных ошибок при обработке данных о внешней среде информационно-измерительными системами (ИИС) приводит к необходимости применения вероятностного подхода для решения задачи обеспечения безаварийного движения МР, а оценка вероятности столкновения МР с препятствиями позволяет предсказать возможную аварию и принять меры, позволяющие избежать столкновения. Под аварией в докладе, как и в работах [1-3], понимается столкновение МР с окружающими его объектами.

Для предотвращения столкновения мобильного робота разработана подсистема, схема которой показана на рис. 1, и реализована в среде ROS (Robot Operating System).

Авторами предложен метод, позволяющий производить оценку вероятности столкновения мобильного робота с препятствием исходя не только из анализа расположения и поведения внешних объектов, но и с учетом динамических характеристик самого робота.

В докладе представлен алгоритм работы блока «Модуль безопасности» (выделен пунктиром на рис. 1), выполняющего предупреждение аварии на основе предложенного метода, и всей подсистемы.

Приведено описание программной реализации подсистемы обеспечения безаварийного движения мобильного робота с исполь-

зованием полученной оценки вероятности столкновения мобильного робота с препятствием.

Для проверки эффективности представленной подсистемы проведен модельный эксперимент предотвращения столкновения мобильного робота с препятствием. Результаты эксперимента показали, что представленная подсистема, являющаяся составной частью системы управления движением, позволяет избегать мобильному роботу столкновений с находящимися в зоне его перемещения препятствиями.



Рисунок 1 — Функциональная схема системы управления мобильного робота

1. Hafez O.A., Arana G.D., Spenko M. Integrity risk-based model predictive control for mobile robots // 2019 International conference on Robotics and Automation (ICRA), Montreal, Canada, 2019, P. 5793-5799.
2. Gill J.S, Pisu P., Krovi V.N., Schmid M.J. Behavior identification and prediction for a probabilistic risk framework // arXiv:1905.08332v1, 20 May 2019.
3. Blake A. et al. FPR – Fast path risk algorithm to evaluate collision probability, 2019.

А.Г. Почезерцев, А.В. Васильев, В.М. Копылов, И.В. Шардыко
**ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНЫХ ПРИЧИН НЕУСТОЧИВОГО
ПОВЕДЕНИЯ КОЛЕСНОГО РТК НА НАКЛОННОЙ
ПОВЕРХНОСТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОМПЬЮТЕРНОЙ
МОДЕЛИ**

*ЦНИИ РТК, Санкт-Петербург, a.pochezhertsev@rtc.ru, andrey@rtc.ru,
v.kopylov@rtc.ru, i.shardyko@rtc.ru*

A.G. Pochezhertsev, A.V. Vasiliev, V.M. Kopylov, I.V. Shardyko
**RESEARCH OF POSSIBLE CAUSES OF WHEELED RTC
UNSTABLE BEHAVIOR ON A INCLINED SURFACE BY
COMPUTER SIMULATION**

*Russian State Scientific Center for Robotics and Technical Cybernetics
St. Petersburg, Russia, a.pochezhertsev@rtc.ru, andrey@rtc.ru,
v.kopylov@rtc.ru, i.shardyko@rtc.ru*

Мобильные роботы получили обширное применение в современном мире: в области инспекции, разведки и ликвидации угроз в опасных для человека условиях, в области напланетных исследований и др. Их применение в значительной мере связано с недетерминированными условиями внешней среды, что естественным образом повышает вероятность провала миссии вследствие потери подвижности робота. Так как цена провала миссии может быть высока, необходимо максимально снизить вероятность неблагоприятного исхода. Одним из путей в данном направлении является исследование ситуаций, в которых возникают затруднения перемещения мобильного РТК [1]. В частности, данные исследования могут быть проведены с использованием экспериментального образца и компьютерной модели.

В рамках проведения испытаний РТК при движении по аппарели с углом наклона 35° были получены два сценария: буксования и опрокидывания назад – далее использованные для построения компьютерной модели РТК и исследования его поведения в расширенном перечне сценариев:

Испытания проводились на шестиколесной мобильной робототехнической платформе, оборудованной шестистепенным манипулятором и полезной нагрузкой, размещенной преимущественно в задней части комплекса.

В рамках данной работы помимо полученных в ходе эксперимента сценариев рассматриваются также два сценария успешного подъема РТК: с помощью смещения центра масс посредством из-

менения положения манипулятора и благодаря изменению демпфирующих свойств колес. Начальные и конечные положения для данных четырех сценариев приведены на рис. 1.

Полученные в ходе моделирования результаты позволили сформулировать предположения о природе подобного поведения - упругие удары колес о наклонную поверхность приводят к нарушению сцепления колес с поверхностью и появлению импульса, выводящего точку нулевого момента РТК за пределы опорного многоугольника, что подразумевает ситуацию опрокидывания робота [2].

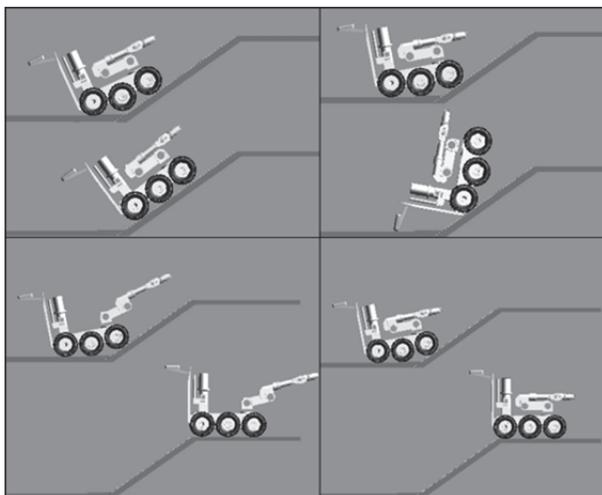


Рисунок 1 — Начальные и конечные положения РТК.

1. Vasiliev A.V., Shardyko I.V. Analysis, detection, reaction and prevention of potential critical situations for light-weight mobile robots // Proceedings of the International Scientific and Technological Conference EXTREME ROBOTICS. – Saint-Petersburg: ООО «Izdatel'sko-poligraficheskii kompleks «Gangut», 2019. – pp. 559-567.

2. S. Ali, A. Moosavian, K. Alipour. Stability Evaluation of Mobile Robotic Systems using Moment-Height Measure // Proceedings of 2006 IEEE Conference on Robotics, Automation and Mechatronics, Bangkok, Thailand, 1-3 June 2006. – IEEE, 2006. – DOI: 10.1109/RAMECH.2006.252730.

Б.В. Багаев, А.Ю. Алейников
КОЛЛАБОРАТИВНЫЙ РОБОТ ДЛЯ УКЛАДКИ
МИНИАТЮРНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ НА ПАЛЛЕТУ

ФГАОУ ВО Белгородский государственный национальный исследовательский университет, Белгород, 861991@bsu.edu.ru, aleinikov@bsu.edu.ru

В.В. Багаев, А.Ю. Алейников
COLLABORATIVE ROBOT FOR STYLING MINIATURE
ELEMENTS PER PALLET

*Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education
«Belgorod National Research University, Belgorod, Russia,
861991@bsu.edu.ru, aleinikov@bsu.edu.ru*

Одной из операций при нанесении покрытий на миниатюрные элементы (пластины) является их точная укладка в определенные позиции и в определенной ориентации на диски постаментов различных конструкций с последующей фиксацией.

Принципиально возможно автоматизировать всю операцию, однако результатом может быть высокая сложность и цена, и при всем этом присутствие человека все равно является обязательным. Однако совместная работа человека и системы является не безопасной и не удобной. Перспективным является частичная роботизация с использованием коллаборативного робота.

Сама идея коллаборации подразумевает совместную работу робота и человека. При этом посредством ограничения максимальных развиваемых усилий и наличия системы датчиков обеспечивается безопасное совместное выполнение повторяющихся операций, направленных на достижение целевой функции, и в случае нарушения человеком заданных границ обеспечивается адаптация поведения коллаборативного робота к изменившейся ситуации.

В работе представлена реализация коллаборативного декартового робота, совмещенного с набором датчиков для определения специфики действий человека и анализатором, предназначенным для распознавания характера действий оператора с целью выработки согласованного поведения в процессе выполнения целевой операций.

Перемещаемые миниатюрные компоненты выполнены из ферромагнитного материала и поэтому захват осуществляется посредством электромагнитного захватного устройства. Изначально компоненты поставляются в паллетах, размещаемых на рабочем поле, и уложенных в них автоматическим устройством для заточки. При

этом возможна предсказуемая комбинация компонентов различных видов. Посредством системы технического зрения определяется вид компонента и его ориентация. После осуществления захвата осуществляется вращение элемента для достижения им необходимой позиции. Далее осуществляется позиционирование элемента на постаменте в виде диска, вращаемого поворотным устройством.

Процесс выполнения операции происходит при непосредственном участии человека, роль которого сводится в первоначальном обучении коллаборативного робота траекториям выполнения перемещений с одной стороны и жесткая фиксация элементов на диске постаumenta с другой. Посредством системы датчиков расстояния осуществляется контроль движений человека с последующей корректировкой роботом своих

На сегодняшний день на предприятии целый отдел задействован при выполнении рутинной операции по укладке элементов (пластин). Применение коллаборативного робота его позволит оптимизировать и перенаправить рабочие кадры на более интеллектуальные виды деятельности на рассматриваемом производстве.

Работа выполнена на оборудовании центра молодежного творчества «Старт» НИУ «БелГУ».

1. Kelleher R.Guerin. Methods for improved human interaction with robotic systems.Dissertation. Baltimore, Maryland, 2015, 289 pp.

Д.С. Лавыгин, В.В. Левцанов, В.В. Приходько
**ПРОГРАММНЫЙ ИНТЕРФЕЙС ДЛЯ УДАЛЕННОГО
УПРАВЛЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫМИ РОБОТАМИ КУКА**

*Научно-исследовательский технологический институт им. С.П. Капицы
Ульяновского государственного университета, г. Ульяновск,
vdm.inbox@gmail.com, vp@ulsu.tech*

D.S. Lavygin, V.V. Levschanov, V.V. Prikhodko
**SOFTWARE INTERFACE FOR REMOTE CONTROL
OF KUKA INDUSTRIAL ROBOTS**

*S.P. Kapitsa Research Institute of Technology of Ulyanovsk State University,
Ulyanovsk, Russia, vdm.inbox@gmail.com, vp@ulsu.tech*

Промышленные роботы-манипуляторы фирмы KUKA предназначены для выполнения технологических операций по предварительно написанной программе на специальном языке KRL [1]. Программа робота может проверять наличие внешних управляющих сигналов и, в зависимости от их состояния, переходить на заданные ветви алгоритма. Однако контроль выполнения программы и состояния системы управления роботом осуществляет оператор с помощью штатного пульта управления KUKA smartPAD.

При решении исследовательских задач, где направление и характер движения робота не могут быть определены заранее, применение промышленных роботов-манипуляторов KUKA затруднено. Основной технической проблемой в этом случае является задача внешнего (удаленного) контроля положения робота и состояния системы управления. Эта проблема частично решается с помощью ряда программных пакетов, расширяющих возможности системы управления роботом:

1. KUKA Ethernet KRL,
2. KUKA RobotSensorInterface,
3. KUKAVARPROXY.

Пакет Ethernet KRL предназначен для обмена данными между KRL-программой и внешними устройствами (компьютерами, «умными» датчиками и т.п.). Возможности этого программного пакета полностью опираются на алгоритм KRL-программы, в коде которой должны быть отдельно прописаны строки запросов данных из сети или отправки данных в сеть. Технология обмена данными с помощью Ethernet KRL в общем случае не предоставляет способа контроля робота и выхода из аварийных ситуаций. При возникновении каких-либо проблем (столкновений, перегрузки и т.д.), оператор робота будет вынужден использовать пульт управления smartPAD для их решения.

Схожими возможностями обладает фирменный пакет RobotSensorInterface [2]. Его основное назначение – точная корректировка траектории в процессе движения робота. Как и Ethernet KRL, работа данного программного пакета опирается на выполняющуюся KRL-программу.

Третий продукт – KUKAVARPROXY, разработанный итальянской фирмой IMTS, встраивается в межпрограммный обмен системы управления и позволяет проводить чтение и запись глобальных переменных языка KRL вне зависимости от того, выполняется ли в данный момент KRL программа или нет [3, 4]. Программа KUKAVARPROXY имеет ряд функциональных ограничений и написана

на языке Visual Basic образца 1998 года, что требует от оператора системы управления навыков по установке и регистрации специальных программных компонентов. Кроме того, среди значимых недостатков программы можно отметить отсутствие функций контроля выполнения KRL-программы и информирования удаленной системы о причинах возникновения ошибок.

Для устранения недостатков KUKAVARPROXY и выявления всех функциональных возможностей сервисных программных подсистем KUKA был создан новый программный продукт – C3 Bridge Interface. Разработанная программа обладает следующими преимуществами:

- обладает совместимостью с KUKAVARPROXY, что позволяет использовать новый продукт с уже имеющимися сторонними программными решениями;
- позволяет управлять ходом выполнения KRL-программы и контролировать состояние робота в любой момент времени;
- обладает высоким быстродействием за счет реализации на Visual C++ и не требует установки дополнительных программных библиотек в систему управления;
- не имеет ограничений на количество одновременных сетевых подключений и время подключения в режиме простоя.

Для подтверждения корректности функционирования создаваемого программного продукта, была разработана программа «Контрольная панель KUKA» (или C3 Control Panel), позволяющая выводить координаты текущего положения робота и управлять перемещением отдельных осей.

Созданные программные продукты позволили реализовать алгоритмы ручного управления роботом с контролем скорости перемещения и обратной связью.

1. KUKA System Software 8.3. Operating and Programming Instructions for System Integrators. Version KSS 8.3 SI V3 en. KUKA Roboter GmbH. – 2014.

2. KUKA.RobotSensorInterface 3.1. For KUKA System Software 8.2. Version KST RSI 3.1 V1 en. KUKA Roboter GmbH. – 2010.

3. Sanfilippo F., JOpenShowVar: an Open-Source Cross-Platform Communication Interface to Kuka Robots / L.I. Hatledal, H. Zhang, M. Fago, K.Y. Pettersen // Proceeding of the IEEE International Conference on Information and Automation (ICIA). Hailar, China. – 2014. ISBN 978-1-4799-4100-1.

4. Sanfilippo F., Controlling Kuka Industrial Robots: Flexible Communication Interface JOpenShowVar / L.I. Hatledal, H. Zhang, M. Fago, K.Y. Pettersen // IEEE Robotics & Automation Magazine, Vol. 22, Issue 4. – 2015. ISSN 1558-223X.

Т.Ю. Мамаева

**ПРОФЕССИОНАЛЬНЫЕ СРЕДСТВА РАЗРАБОТКИ ДЛЯ
ВСТРАИВАЕМЫХ СИСТЕМ НА БАЗЕ АРХИТЕКТУРЫ RISC-V**

ООО «ЭФО», Санкт-Петербург, tm@efo.ru

Т.Ю. Мамаева

**PROFESSIONAL DEVELOPMENT TOOLS FOR EMBEDDED
SYSTEMS BASED ON RISC-V ARCHITECTURE**

EFO Ltd., Saint-Petersburg, Russia, tm@efo.ru

Ни один современный проект не обходится без соответствующих аппаратных и программных средств поддержки разработок. В докладе представлены возможности первой профессиональной интегрированной среды разработки IAR Embedded Workbench для RISC-V ориентированных приложений (EWRISCV). RISC-V – это открытая система команд на основе процессорной архитектуры RISC, в последнее время набирающая все большую популярность у разработчиков встраиваемых систем. Она подходит для широкого круга применений и, наряду с привычным исполнением в виде самостоятельного однокристального устройства, допускает реализацию в ПЛИС. IAR Embedded Workbench – это интегрированная среда разработки приложений, обладающая рядом неоспоримых преимуществ. К ним относятся удобный пользовательский интерфейс, генерирование компактного и быстрого объектного кода, поддержка различных типов RTOS и JTAG-адаптеров, подробная техническая документация. Типовой комплект IAR Embedded Workbench содержит C/C++ компилятор, транслятор языка ассемблера, компоновщик, управляющие программы для работы с библиотечными подпрограммами, редактор, менеджер проектов, C-SPY отладчик.

Текущая ревизия среды разработки EWRISCV дополнена статическим анализатором кода C-STAT, предназначенным для автоматического поиска потенциальных ошибочных операций в приложе-

нии. В перечень поддерживаемых средой разработки устройств входят 32-разрядные RISC-V ядра, представленные компаниями Andes, CloudBEAR, Generic, GigaDevice, Microchip, SiFive, Syn-tacore. В дальнейшем планируется расширение этого списка до 64-разрядных RISC-V ядер. В качестве аппаратных средств отладки рекомендуется использовать внутрисхемные JTAG-адаптеры I-jet. Они полностью поддерживаются средой IAR Embedded Workbench и представляют собой собственную разработку компании IAR Systems. За счет использования интерфейса Hi-speed USB 2.0 и высокопроизводительного процессора адаптер I-jet позволяет достичь более высокой скорости обмена данными по JTAG, чем J-Link и J-Link Ultra. К другим достоинствам I-jet можно отнести поддержку следующих функций: измерение тока, потребляемого целевой платой, организация питания отлаживаемого микроконтроллера, мониторинг сигналов JTAG-интерфейса.

Д.К. Степанова

**ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ НАВЕДЕНИЯ ДЛЯ
РЕАЛИЗАЦИИ ОПТИЧЕСКОЙ СВЯЗИ МОБИЛЬНЫХ
РОБОТОВ**

*Московский физико-технический институт, Москва,
stepanova.d@phystech.edu*

D.K. Stepanova

**DEVELOPMENT OF A GIMBAL BASED TRACKING SYSTEM
FOR MOBILE ROBOTS OPTICAL COMMUNICATIONS**

*Moscow Institute of Physics and Technology, Moscow, Russia,
stepanova.d@phystech.edu*

Работа посвящена разработке системы наведения нового поколения для реализации высокоточного наведения. Отличительной особенностью системы, описанной в данной работе, является усовершенствование алгоритма поиска центра оптического пятна и ускорение обновления цикла управления системы наведения за счет реализации этого алгоритма на ПЛИС.

Проведение анализа существующих конструкций оптических терминалов для реализации связи мобильных платформ показало,

что использование в подобных системах двухосевого привода в качестве системы наведения является малоизученным вопросом;

Разработанная математическая модель движения нескольких мобильных платформ и оптимизационная задача позволила определить оптимальные требования и характеристики оптического терминала и системы наведения;

Разработана и верифицирована математическая модель двухосевого привода, включающая в себя модель подвеса с учетом влияния движения приводов друг на друга, модель сенсорного устройства. На основе этой модели разработана и верифицирована система управления приводами с использованием сигнала с оптического датчика в качестве обратной связи, и полученная система проанализирована на устойчивость – выявлены показатели работоспособности системы, области устойчивости и частотные характеристики.

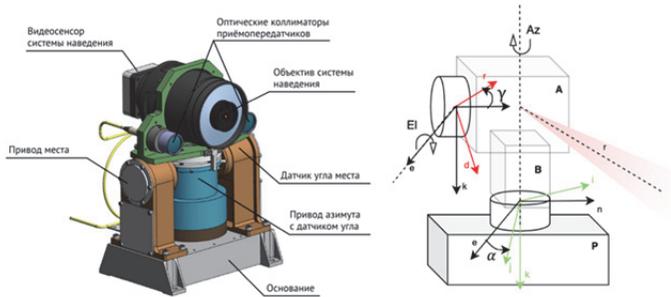


Рисунок 1 — 3Д модель и математическая модель системы наведения

Разработанная 3Д модель оптического терминала, выбранная компонентная база, проведенная идентификация системы и адаптация системы управления позволили реализовать оптический терминал и систему наведения в аппаратном и программном обеспечении.

Разработанный и реализованный на ПЛИС алгоритм для поиска центра оптического пучка позволил достигнуть точность наведения оптического терминала с точностью до 0.023 град.

Разработанный стенд для тестирования алгоритма обработки изображения оптического пучка и системы наведения лазерного терминала позволил верифицировать полученный алгоритм и доказать эффективность по сравнению с существующими алгоритмами.

1. V. W. Chan, «Free-space optical communications,» *Journal of Light- wave technology*, vol. 24, no. 12, pp. 4750–4762, 2006.
2. Stepanova, D., Pryanichnikov, V., Khandorin, S., Kuznetsov, A. and Kulchitsky, A., 2018. High-Speed Image Processing Technique Implementation For Pointing And Tracking System Enabling Free-Space Optical Communications. *Annals of DAAAM & Proceedings*, 29.
3. Abdo, Maher, Ahmad Reza Vali, Alireza Toloei, and Mohammad Reza Arvan. "Research on the cross-coupling of a two axes gimbal system with dynamic unbalance." *International Journal of advanced robotic systems* 10, no. 10 (2013): 357.
4. Masten, M.K. (2008) Inertially stabilized platform for optical imaging systems. *IEEE Control Systems Magazine*, vol. 28, pp. 47–64.
5. Голубев, Ю. Ф. Основы теоретической механики. Учебник. Московский государственный университет имени МВ Ломоносова, 2000. [
6. Пупков, Константин Александрович, Николай Дмитриевич Егупов, К. А. Пупков, Н. Д. Егупов, А. И. Баркин, А. В. Зайцев, С. В. Канушкин et al. Методы классической и современной теории автоматического управления. федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Московский государственный технический университет имени НЭ Баумана (национальный исследовательский университет), 2004.
7. Åström, Karl Johan, and Tore Hägglund. "Revisiting the Ziegler–Nichols step response method for PID control." *Journal of process control* 14, no. 6 (2004): 635-650.

О.В. Кофнов, Б.В. Соколов
ПОСТАНОВКА И МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ
ДИНАМИЧЕСКОГО ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЯ ФУНКЦИЙ ПРИ
ГРУППОВОМ УПРАВЛЕНИИ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИМИ
КОМПЛЕКСАМИ

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр РАН»,
kofnov@mail.ru*

О. V. Kofnov, B. V. Sokolov
FORMULATION AND METHODS FOR SOLVING THE
PROBLEM OF DYNAMIC REALLOCATION OF FUNCTIONS OF
GROUP CONTROL OF ROBOTIC COMPLEXES

St. Petersburg Federal Research Center of the RAS, kofnov@mail.ru

В докладе представлены *методологические и методические основы постановки и решения проблем синтеза* программ проактивного управления структурной динамикой робототехнических комплексов (РТК), позволившие с единых позиций подойти к автоматизации процессов мониторинга, многовариантного прогнозирования, управления ресурсами и реконфигурацией РТК. В рамках разработанной методологии управления в качестве базовых была выбрана *концепция комплексного (системного) моделирования РТК*, которая предполагает разработку и реализацию новых принципов, подходов к проведению полимодельного логико-динамического описания различных вариантов построения и использования РТК, а также разработку и комбинированное использование методов, алгоритмов и методик многокритериального анализа, синтеза и выбора наиболее предпочтительных проактивных управленческих решений (в том числе и ориентированных на их реконфигурацию), связанных с созданием, использованием и развитием рассматриваемых объектов в различных условиях динамически изменяющейся внешней и внутренней обстановки; концепция проактивного управления структурной динамикой РТК в изменяющихся условиях, вызванных воздействием возмущающей среды. Проактивное управление, в отличие от традиционно используемого на практике реактивного управления РТК, ориентированного на оперативное реагирование на уже произошедшие негативные события и недопущение их последующего развития, предполагает упреждающее предотвращение причин возникновения инцидентов за счёт создания (либо целенаправленного поиска) в соответствующие системе проак-

тивного мониторинга и управления новых системно-функциональных резервов, обеспечивающих динамическое формирование принципиально новых возможностей по парированию возможных расчетных и нерасчетных нештатных и аварийных ситуаций, с использованием методологии и технологий системного (комплексного) моделирования, а также многовариантного ситуационно-адаптивного прогнозирования. В докладе представлены конструктивные пути реализации данной концепции на основе построения и использования многомерных аппроксимированных областей достижимости логико-динамических моделей, описывающих рассматриваемую предметную область в пространстве системотехнических параметров [1,2,3]. Еще одной используемой авторами доклада концепцией является концепция интеллектуализации управления, предусматривающая в качестве условий эффективного управления РТК (КФС) необходимость применения интеллектуальных инструментов управления (новых интеллектуальных информационных технологий), носящих ярко выраженный инновационный характер и направленных на достижение комплексной интеграции естественного и искусственного интеллектов.

Для конструктивного *решения задач проактивного мониторинга, прогнозирования и управления (в том числе распределения ресурсов и реконфигурации) РТК* в проекте разработана новая модификация ранее разработанной авторами вычислительной *G-модели*, представляющая собой динамический альтернативный системный граф с перестраиваемой структурой, который построен на основе комбинирования математического аппарата сетей Петри с логико-динамическими моделями программного управления движением, каналами, ресурсами, комплексами операций, потоками и структурами группировок активных подвижных объектов. При этом в отличие от существующих поведенческих (сценарных) моделей РТК, базирующихся на конечно-автоматных и имитационных описаниях, предложенный логико-динамический подход позволил на конструктивном уровне решить задачи оперативного структурно-функционального синтеза как облика РТК, так и СУ ими.

Проведенный анализ показал, что в рамках современных подходов к организации группового управления поведением роботов широкое распространение получили идеи динамической декомпозиции, базирующейся на метафорах биоинспирированных подходов, либо агентных технологиях, основанных на организации и проведении аукционов, в рамках которых распределялись ограниченные ресурсы указанных роботов. В докладе предложен принципиально

новый вариант динамической декомпозиции задач группового управления РТК, основанный на методе локальных сечений Болтянского В.Г. В этом случае, используя метод локальных сечений, удалось в явном виде получить динамические множители Лагранжа (в качестве которых выступали соответствующие сопряженные переменные). В рамках предложенного варианта алгоритмизации группового управления РТК удалось перейти от исходного класса допустимых импульсных (целочисленных) управлений к расширенному классу, в котором условия релейности управляющих воздействий заменены на интервальные ограничения. Данная особенность позволила на практике при решении разнообразных задач группового управления РТК широко использовать фундаментальные научные результаты современной теории управления.

Основной научный результат состоит в разработке модельно-алгоритмического обеспечения поиска эталонных (оптимальных) решений в задаче группового управления РТК для различных сценариев их взаимодействия, относительно которых можно уже обоснованно вводить различного рода эвристики, базируясь на метафорах биоинспирированных подходов, либо агентных технологиях. Конструктивность разработанного модельно-алгоритмического обеспечения была проверена на примере решения задачи динамического перераспределения функций приема, обработки, хранения и передачи данных и информации при групповом управлении РТК космического базирования [1,4]

Работа проводилась при частичной финансовой поддержке грантов РФФИ (№№ 118-07-01272, 18-08-01505, 19-08-00989, 20-08-01046), в рамках бюджетной темы № 0073–2019–0004.

1. Юсупов Р.М., Соколов Б.В., Охтилев М.Ю. Теоретические и технологические основы концепции проактивного мониторинга и управления сложными объектами. // Известия Южного Федерального университета. Технические науки. 2015. №1(162). С. 162–174.

2. Охтилев М.Ю., Соколов Б.В., Юсупов Р.М. Интеллектуальные технологии мониторинга и управления структурной динамикой сложных технических объектов. М.: Наука, 2006. 410 с.

3. Микони С.В., Соколов Б.В., Юсупов Р.М. Квалиметрия моделей и полимодельных комплексов. М.: РАН, 2018. 314 с.

4. ЛИТСАМ // Сайт лаборатории информационных технологий в системном анализе и моделировании. [Электронный ресурс]. URL: <http://litsam.ru> (дата обращения: 02.09.2020).

А.В. Козов

**ДИНАМИЧЕСКАЯ РЕКОНФИГУРАЦИЯ СИСТЕМЫ
УПРАВЛЕНИЯ МОБИЛЬНЫМИ РОБОТАМИ ПРИ
ВЫПОЛНЕНИИ ГРУППОВОГО ДЕЙСТВИЯ**

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

A. V. Kozov

**THE DYNAMIC RECONFIGURATION OF THE CONTROL
SYSTEM FOR MOBILE ROBOTS DURING THE EXECUTION OF
A GROUP ACTION**

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

Доклад посвящён вопросу динамической реконфигурации системы управления группой мобильных роботов. Расширение возможностей и области применения мобильных робототехнических комплексов возможно благодаря объединению автономных роботов-агентов под управлением единой системы группового управления. Применение роботов в таких областях, как ликвидация последствий чрезвычайных ситуаций или военное дело, означает, что группа должна действовать в недетерминированной изменяющейся среде в условиях отсутствия или недостоверности априорной информации о ней. Объект управления – группа роботов – рассматривается как иерархическая дискретно-событийная система с переменной структурой [1]. Изменение структуры такой системы (например, добавление нового робота в группу), как правило, требует выполнения динамической реконфигурации системы группового управления. Особенности этого процесса рассмотрены на примере задачи ликвидации группой роботов пожара в резервуарном парке и выполнения одного из её возможных элементов – выхода группы на заданный рубеж [2].

Рассматриваемое в докладе групповое действие «выход на рубеж» заключается в том, что роботы последовательно выстраиваются вдоль заданной оператором линии. Такой упрощённый методический пример позволяет продемонстрировать особенности применения динамической реконфигурации при изменении структуры объекта управления. Описаны модель мобильного робота, участвующего в групповом действии, и спецификация требуемого поведения группы. Для рассматриваемого группового действия и спецификации представлен супервизор, синтез которого проведён по

известному алгоритму [3,4]. По синтезированному супервизору построен вычислительный граф алгоритма работы компонента системы группового управления, реализующего групповое действие. Описана процедура динамической реконфигурации системы при добавлении нового робота в группу. Показано, как подобное изменение структуры влияет на вычислительный граф алгоритма работы компонента системы группового управления. Указаны возможные преимущества и ограничения процедуры динамической реконфигурации системы группового управления.

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

2. Власов К.С., Тачков А.А., Данилов М.М. Тактика группового применения наземных робототехнических комплексов при тушении пожаров в резервуарных парках // Пожарная безопасность. 2020. № 2 (99). С. 28–35.

3. Амбарцумян А.А. Сетецентрическое управление на сетях Петри в структурированной дискретно-событийной системе // Управление большими системами. 2010. Т. 30.1. С. 506–535.

4. Амбарцумян А.А. Моделирование и синтез супервизорного управления на сетях Петри для рассредоточенных объектов. I. Механизм взаимодействия и базовый метод // Автоматика и телемеханика. 2011. Т. 72, № 8. С. 151–169.

Р.Р. Галин

**МЕТОДЫ ЭФФЕКТИВНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЗАДАЧ
В КОЛЛАБОРАТИВНОЙ МНОГОАГЕНТНОЙ
РОБОТОТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ**

*Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, Москва,
rinat.r.galin@yandex.ru*

R.R. Galin

**METHODS FOR EFFICIENT DISTRIBUTION OF TASKS IN
A COLLABORATIVE MULTI-AGENT ROBOTIC SYSTEM**

*V.A. Trapeznikov Institute of Control Sciences of RAS, Moscow, Russia,
rinat.r.galin@yandex.ru*

Взаимодействие между человеком и роботом может быть рассмотрено с разных сторон. С одной стороны, это взаимодействие в общем пространстве без непосредственного контакта человека с роботом и синхронизация их задач, а с другой стороны, это совместный процесс выполнения задач, учитывая корректировку движений робота в соответствии с движением человека в режиме реального времени. Таким образом, возникает задача по созданию многоагентной робототехнической системы, в которой выстроен эффективный процесс взаимодействия между человеком и роботом. Следует рассмотреть различные подходы к распределению задач между агентами, чтобы определить наиболее эффективное решение.

Сегодня роботы применяются в различных отраслях промышленности и жизнедеятельности человека. Процессу роботизации подвергаются в первую очередь те сферы, где затруднена либо невозможна деятельность человека. К таким примерам относятся зоны радиоактивного или химического загрязнения, подводные или космические исследования и т.п. Роботы в таких недетерминированных средах должны планировать свои действия, прокладывать маршрут или формировать модель окружающей среды для достижения поставленной цели.

Для более эффективного решения поставленных задач используется некоторое множество роботов (группа), так как одиночный робот может быть ограничен в действиях и набором исполнительных устройств, чему характерно небольшое число выполняемых функций. В такой группе каждый ее участник рассматривается в качестве интеллектуального агента и может быть автономен на уровне своего функционала.

Эффективное распределение задач достигается за счет применения группы агентов многоагентной робототехнической системы. Распределение в такой системе играет значительную роль, так как автономность роботов и когнитивные способности агента-оператора позволяют достигать оптимального производительного результата. Автономность таких агентов позволяет планировать действия группы агентов с учетом изменений внешней среды и различных противодействий, которые могут стать препятствием.

Коллаборативные роботы относятся к интеллектуальным агентам, способным реагировать на других агентов в различных ситуациях на основе получаемой информации. Взаимная адаптация способна решать сложные задачи. К таким примерам относится группа манипуляционных роботов на конвейере. Группа интеллектуаль-

ных агентов - коллаборативных роботов и людей-операторов можно назвать коллаборативной многоагентной робототехнической системой.

В данной работе ведется разработка методов эффективного распределения задач между коллаборативными роботами и людьми в едином рабочем пространстве, учитывая меры безопасного взаимодействия.

Работа выполнена при частичной поддержке гранта РФФИ № 19-08-00331.

1. Юревич Е.И. Интеллектуальные роботы. Машиностроение. 2007 360с.

2. Sycara K., Pannu A., Williamson M., Zeng D., Decker K. Distributed Intelligent Agents/ IEEE Expert: Intelligent Systems and Their Applications. – 1996. – Vol.11, №6. – P.36-46.

2. Гайдук А.Р., Каляев И.А., Капустян С.Г. Управление коллективом интеллектуальных объектов на основе стайных принципов // Вестник ЮНЦ РАН, Т. 1, выпуск 2. – 2005. – С. 20-27.

3. R. Galin and R. Meshcheryakov. (2019) «Review on Human–Robot Interaction During Collaboration in a Shared Workspace». In: Ronzhin A., Rigoll G., Meshcheryakov R. (eds) Interactive Collaborative Robotics. ICR 2019. Lecture Notes in Computer Science, vol 11659. Springer, Cham.

А.М. Бойко, Р.А. Гиргидов

**ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ УСТОЙЧИВОСТИ
РОЯ АВТОНОМНЫХ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ
АППАРАТОВ (БЛА)**

*ФТИ им А.Ф. Иоффе, СПбПУ, Санкт-Петербург,
boiko@theory.ioffe.ru ruben@betria.com*

А.М. Boiko, R.A. Girgıdov

**MAINTAINING THE SPATIAL STABILITY OF A SWARM OF
AUTONOMOUS UNMANNED AERIAL VEHICLES (UAVs)**

*Ioffe Institute, Polytechnic University, St. Petersburg, Russia,
boiko@theory.ioffe.ru ruben@betria.com*

Заметный рост производительности полезных нагрузок БЛА и одновременное снижение веса уже приводит к тому, что появляется

возможность заменять дорогие и тяжелые аппараты более лёгкими средствами. Более того, уже достаточно длительное время идет речь об использовании групп малогабаритных летательных аппаратов, как в режиме централизованного управления, так и в автономном режиме. Тем не менее, несмотря на активную работу в этом направлении практические результаты не так заметны.

На данный момент за роевыми технологиями часто называют обычное групповое управление, при котором используется получение координат по GPS, постоянный радиообмен между бортами или движение по независимым, заранее заданным траекториям. А при помехах в радиозфире такие рои рассыпаются на одиночные беспилотники, никак не связанные между собой в рамках выполнения полётного задания.

Мы рассматриваем задачу определения минимального набора бортовых систем БЛА и соответствующих алгоритмов, которые бы могли обеспечить поддержание пространственной структуры роя в условиях полной недоступности как ГНСС и радиосвязи так и в условиях тумана и осадков, затрудняющих работу камер как видимого, так и ИК диапазонов.

В решении задачи мы опираемся на так называемую «кристаллическую» модель роя, основанную на физической идее взаимного «притяжения» и «отталкивания» БЛА в зависимости от расстояния между ними, которая в идеальных условиях может сформировать «решетку». Но первые же эксперименты показали, что несмотря на кажущуюся простоту исходной идеи, использование исключительно датчиков расстояния не позволяет сформировать регулярную структуру роя, т.к. не происходит «кристаллизации» и рой продолжает находиться в фазе «кипящей жидкости».

В результате наших исследований мы пришли к выводу, что ключевым фактором стабилизации роя является не только и не столько работа с расстояниями, сколько гашение взаимных угловых скоростей бортов.

Для практической реализации стабилизации автономного роя нами предложен вариант архитектуры «сенсора роя». Такой сенсор позволит одновременно оценивать относительные расстояния и угловые скорости между ближайшими БПЛА с точностью, достаточной для поддержания структуры роя без применения дополнительных средств.

В.В. Воробьев

**МЕХАНИЗМ ОБМЕНА ДАННЫМИ МЕЖДУ РОБОТАМИ В
КОЛЛЕКТИВЕ КАК СРЕДСТВО УСКОРЕНИЯ ПРОЦЕССА
ГРУППОВОГО ЛОГИЧЕСКОГО ВЫВОДА**

НИИЦ Курчатовский Институт, Москва, Vorobev_VV@nrcki.ru

V.V. Vorobev

**DATA EXCHANGE ALGORITHM BETWEEN ROBOTS
IN GROUP AS A MEANS OF ACCELERATING THE PROCESS
OF LOGIC INFERENCE**

NRC Kurchatov Institute, Moscow, Russia, Vorobev_VV@nrcki.ru

Механизм логического вывода является ключевым при обработке данных, поступающих от разных роботов группы. Он может использоваться для выработки общей стратегии действий группы, определением опасных мест и маршруты их патрулирования и т.д. В основе этого механизма лежит логика предикатов первого порядка, а требуемые результаты достигаются за счет планирования.

В [1] представлен целый раздел, посвященный задаче планирования, где представлены такие языки для реализации этой процедуры как ADL [2], который является расширением STRIPS, PDDL [3], который является стандартным синтаксисом, допускающего синтаксический анализ с помощью компьютера, показаны планировщики с частичным упорядочением [4] и т.д.

Однако использование подобных механизмов планирования не встречается в групповой робототехнике, а само планирование используется для получения траекторий движения, например, см. [5], [6]. Другими словами необходимо решение, которое позволит учитывать особенности логического вывода в группе роботов [7], сохранив при этом выразительность и вычислительную сложность систем, производящих вывод в логике первого порядка, например, таких как ПРОЛОГ.

В [7] представлена реализация подобного механизма в группе роботов. Однако это решение имеет ряд существенных особенностей, например, из всей группы роботов, только робот-лидер занимается непосредственно логическим выводом, в то время как остальные осуществляют поддержку, высылая по запросам необходимые факты и правила. При этом максимальная временная оценка логического вывода в таком случае:

$$T = 2DP_{\max} \frac{(N-1)k}{L} \quad (1)$$

где, D – число запросов, P_{\max} – расстояние от самого удаленного от лидера робота, N – общее число роботов, L – число соседей робота-лидера, k – коэффициент связи.

Одним из путей ускорения этого процесса может быть применение механизма обмена часто используемыми фактами и правилами между роботами в группе. Так как в процессе логического вывода необходимые данные передаются лидеру путем ретрансляции между роботами, можно не только сохранять их в буфере обмена, но и сохранять их непосредственно в памяти роботов, которые находятся ближе к лидеру. В связи с тем, что память используется полностью, ближние роботы передают редко используемые факты роботам, которые находятся дальше от лидера, освобождая тем самым память для этого. При достаточно длительной процедуре логического вывода, это позволит уменьшить P_{\max} , тем самым уменьшив T . Другим путем ускорения этого процесса является использование ближайших соседей лидера непосредственно для логического вывода. Роль лидера в таком случае сводится к диспетчеризации данных между ними. Это позволит параллельно доказывать сразу несколько подцелей целевого выражения.

Результаты были получены в рамках выполнения гранта РФФИ № 18-37-00498 мол_a

1. Russell S.J., Norvig P. Artificial Intelligence: A Modern Approach // Neurocomputing. 1995. Vol. 9, № 2. 946 p.
2. Pednault E.P.D. Formulating multi-agent, dynamic-world problems in the classical planning framework // Reasoning About Actions and Plans. 1987. P. 47–82.
3. Knoblock C. et al. PDDL | The Planning Domain Definition Language 1 Introduction // Most. 1998.
4. Sacerdoti E.D. The Nonlinear Nature of Plans // Proc. 4th Int. Jt. Conf. Artif. Intell. 1975. Vol. 1. P. 206–214.
5. Vigorito C.M. Distributed Path Planning for Mobile Robots using a Swarm of Interacting Reinforcement Learners. 2007.
6. Lin C. et al. Motion planning of swarm robots using potential-based genetic algorithm. 2012. Vol. 9, № 1. P. 305–318.
7. Воробьев В.В. Логический вывод и элементы планирования действий в группах роботов // Шестнадцатая национальная конференция по искусственному интеллекту с международным участием КИИ-2018. 2018.

Р.В. Мещеряков, А.А. Саломатин, Д.В. Сенчук
**ОПТИМИЗАЦИЯ ЗАДАЧИ ТРАНСПОРТИРОВКИ ГРУЗОВ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МНОГОАГЕНТНОЙ АВИАЦИОННОЙ
СИСТЕМЫ**

*Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, Москва,
tyxer2006@gmail.com*

R.V. Mescheryakov, A.A. Salomatin, D.V. Senchuk
**OPTIMIZING THE TASK OF CARGO TRANSPORTATION
BY USING TOOLS OF THE MULTI-AGENT SYSTEM**

*V.A. Trapeznikov Institute of Management Problems of the RAS, Moscow,
Russia, tyxer2006@gmail.com*

В связи с распространением пандемии COVID-2019 в масштабах крупного количества государств, одним из актуальных направлений научных исследований может являться вопрос изучения доставки грузов с использованием беспилотных летательных аппаратов (БЛА), что позволило бы сократить количество контактов людей и снизить риск возникновения новых очагов заболеваемости.

Проектирование алгоритма управления многоагентной системой (МАС) представляет собой сложный технологический процесс. Это обусловлено переменной численностью летательных аппаратов, которые подвержены выходу из строя в результате механических повреждений, а также динамическим и непредсказуемым характером внешней среды, в которой приходится выполнять поставленные задачи. В настоящем исследовании авторы предлагают рассмотреть процесс задействования БАС, состоящей из нескольких транспортных мультикоптеров для доставки продуктов питания и товаров первой необходимости лицам, находящимся в изоляции и на карантине.

Одним из критериев эффективной доставки грузов является оптимальность пути передвижения БЛА. В рассматриваемой задаче коммивояжера оптимальным считают тот путь, при котором БЛА смог произвести максимальное число доставок, посетив для этой цели все города хотя бы по одному разу и вернувшись в исходную точку старта. Поиск такого решения обеспечивает возможность автоматизировать процесс доставки товаров, при этом оптимизируя ресурс затраты. Задача коммивояжера моделируется в работе с помощью графа. Вершины графа отображают города, а его ребра представляют пути сообщения между этими городами. Длины ребер задаются с помощью матрицы расстояний между городами.

$$X = \left\| \begin{array}{cccc} 0 & x_{1,2} & \dots & x_{1,n} \\ x_{2,1} & 0 & \dots & x_{2,n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{n,1} & x_{n,2} & \dots & 0 \end{array} \right\|, \text{ где } x_{i,j} > 0, x_{i,j} = x_{j,i}, i \neq j \quad (1)$$

БЛА считается коммивояжером. Он стартует из заданного города, посещает все остальные города, в которых есть грузы, и производит доставку этих грузов в точку старта. В случае эксплуатации БАС, состоящей из единой неразделенной системы БЛА, решение поставленной задачи происходит с помощью сведения её к задаче целочисленного линейного программирования. Также произведен расчет времени доставки для БАС, состоящей из девяти БЛА, одновременно запущенных для параллельного выполнения полетного задания. Исследованы влияния различных ограничений на выполнение полетного задания.

В работе проведен анализ целесообразности и эффективности применения БАС состоящей из БЛА мультикоптерного типа. Представлена оптимальная модель построения процесса доставки грузов. С помощью описанной модели для рассматриваемого примера удалось сократить оптимальное время доставки до четырёх раз, по сравнению с ситуацией эксплуатации единичного аппарата. Решение задачи выглядит как набор точек перемещения БЛА для того, чтобы забрать доставки, обратный путь возвращения при этом будет совпадать. Также в результате решения задачи возможно рассчитать общее время доставки всех грузов. Кроме того, возможно исследование использования меньшего числа БЛА при условии, что один аппарат может брать несколько грузов.

Стоит отметить, что тактико-технические характеристики аппаратов возможно изменять в зависимости от района выполнения задач, перевозимых грузов. В дальнейшем предполагается изучение описанной БАС, в первую очередь при проведении полевых испытаний, а также по итогам исследования влияния внешних факторов при задействовании инструментов виртуального моделирования.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-08-00331.

А.С. Мамончикова
**МОДЕЛИРОВАНИЕ ТРЕХСТОРОННЕГО ДИНАМИЧЕСКОГО
ИНФОРМАЦИОННОГО КОНФЛИКТА**

*ПАО «Информационные телекоммуникационные технологии»,
Санкт-Петербург, alinita33@mail.ru*

A.S. Mamonchikova
**MODELLING ISSUES OF THE THREE-WAY DYNAMIC
INFORMATION CONFLICT**

*PJSC «Information telecommunication technologies», St. Petersburg, Russia.
alinita33@mail.ru*

Стремительное развитие средств дестабилизирующего воздействия и технических средств разведки на телекоммуникационные сети требует совершенствования научно-методического аппарата моделирования эффектов от таких воздействий. На сегодняшний день, недостаточно изученными остаются динамические процессы в условиях влияния вышеуказанных факторов на телекоммуникационную сеть. Кроме того, в ряде опубликованных работ рассматриваются модели двустороннего динамического информационного конфликта, при этом вариант модели трехстороннего динамического информационного конфликта не рассматривается. Предметом исследования является соотношение конкурентного распределения информационных ресурсов между сторонами информационного конфликта, которое соответствует выигрышу стороны телекоммуникационной сети. Объектом исследования является телекоммуникационная сеть в условиях влияния средств дестабилизирующего воздействия и технических средств разведки. Впервые для разрабатываемой модели представлены три стороны динамического конфликта, учитывающие динамику развития информационного конфликта во времени, учитываются различные степени конфликтного взаимодействия отдельных сторон, представлен синтез универсальных подходов, обобщающих динамический информационный конфликт трех сторон. Разрабатываемая модель найдет применение при исследовании широкого класса конфликтных взаимодействий в прикладных областях, в различных сферах.

Телекоммуникационные сети функционируют в условиях дестабилизирующих воздействий и технических средств разведки, которые снижают устойчивость телекоммуникационной сети. Как показано в работе [1], для моделирования информационного конфликта может быть использован различный научно-методический

аппарат, а именно: теория марковских процессов; теория сетей Петри; теория стохастических сетей и др. Однако, формализация информационного конфликта с помощью названного научно-методического аппарата не учитывает динамические характеристики процессов информационного конфликта. Известны работы в области информационного конфликта, которые основываются на научно-методическом аппарате теории динамических систем: Н.Н. Толстых [2], А.Н.Асоскова [3], С.И. Макаренко [4], Р.Л. Михайлова [5]. Однако, в этих работах рассматривается двухсторонний информационный конфликт, а вариант трехстороннего информационного конфликта не рассматривается. Необходимость рассмотрения именно такого динамического информационного конфликта обусловлена необходимостью формализации совместного воздействия технических средств разведки и средств дестабилизирующего воздействия на телекоммуникационную сеть, как различных трех сторон в информационном конфликте.

1. Макаренко С.И., Михайлов Р.Л. Информационные конфликты – анализ работ и методологии исследования // Системы управления, связи и безопасности. 2016. № 3. С. 95-178.

2. Алферов А.Г., Власов Ю.Б., Толстых И.О., Толстых Н.Н., Челядинов Ю.В. Формализованное представление эволюционирующего информационного конфликта в телекоммуникационной системе // Радиотехника. 2012. №8. С. 27-33.

2. Асосков А.Н., Малышева И.Н. К вопросу о синтезе алгоритма управления инфокоммуникационной системы в условиях информационного конфликта // Теория и техника радиосвязи. 2011. № 4. С. 19-26.

3. Макаренко С.И. Динамическая модель двунаправленного информационного конфликта с учетом возможностей сторон по наблюдению, захвату и блокировке ресурса // Системы управления, связи и безопасности. 2017. №1. С. 60-97.

4. Михайлов Р.Л. Модель динамической координации подсистем наблюдения и воздействия в информационном конфликте в виде иерархической дифференциальной игры трех лиц // Наукоемкие технологии. 2018. Т. 19. №10. С. 44-51.

В.Е. Пряничников, Е.А. Шиповалов, Р.Б. Тарасов
**ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЛОГИСТИЧЕСКИХ
МИССИЙ В МЕДУЧРЕЖДЕНИЯХ МОБИЛЬНЫМИ
СЕРВИСНЫМИ РОБОТАМИ АМУР-307**

ИПМ им. М.В. Келдыша РАН, г. Москва, v.e.pr@yandex.ru

V.E. Pryanichnikov, E.A. Shipovalov, R.B. Tarasov
**LOGISTICS MISSION SUPPORT IN HOSPITAL
ENVIRONMENTS FOR AMUR-307 MOBILE SERVICE ROBOTS**

*Keldysh Institute of Applied Mathematics of RAS, International Laboratory
Sensorika, Moscow, Russia, v.e.pr@yandex.ru*

Рассматриваются методы и технологии генерации миссий мобильного робота (МР) Амур-307 параллелизованным автоматическим планировщиком и их реализация интеграционным программным обеспечением (ПО) с аппаратным блоком (АБ) на 6 силовых каналах, с разветвленной сенсорикой. Программный генератор формирует задачу на языке PDDL исходя из маршрутной карты в векторном графическом формате SVG, параметров перемещаемых роботами предметов и установленной на роботах оснастки. Реализация выработанного плана осуществляется АБ и управляющей навигационной программой, на основе извлечённой из карты топологической информации, с опорой на установленные в помещениях пассивные ориентированные визуальные маркеры. Работа робота возможна как в реальной, так и в виртуальной среде, с использованием эмулятора Webots и/или опираясь на собственные оригинальные разработки, подробнее [1,2].

1. Б. Каталинич, А.Я. Ксензенко, С.В.Кувшинов, Ю.С. Марзанов, Е.А. Прысев, В.Е. Пряничников, Р.В.Хелемендик, С.Р. Эприков // Разработка распределенных программно-аппаратных роботариумов. Экстремальная робототехника. // Труды Межд. н/техн. конференции. - Санкт-Петербург: ООО«АП4Принт», 2016. - 480 с., С.459-465. ISBN 978-5-9909163-3-3.

2. Пряничников В.Е., Шиповалов Е.А. Применение графических акселераторов для автоматического планирования с эвристическим поиском в пространстве состояний. // Интеллектуальные адаптивные роботы (Спец. выпуск журнала- Информационно-измерительные и управляющие системы, т.16, № 12), М.: Радиотехника, т.14, № 1-2, 2019, ISSN 2070-0814, с.61-67, DOI 10.18127/j20700814-201812-07.

Е.А. Дудоров
**ОПЫТ РАЗРАБОТКИ И ПРИМЕНЕНИЯ
РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ РЕАБИЛИТАЦИОННЫХ
КОМПЛЕКСОВ**

АО «НПО «Андроидная техника», г. Магнитогорск, dudorov@npo-at.com

Е.А. Dudorov
**EXPERIENCE IN DEVELOPMENT AND APPLICATION OF
ROBOTIC REHABILITATION COMPLEXES**

JSC «SPA «Android technics», Magnitogorsk, Russia, dudorov@npo-at.com

По существующим оценкам в России насчитывается до 320 тыс. инвалидов, использующих коляску в качестве средства передвижения.

Смертность от инсульта в 2014 г. составила 696,5 на 100 тыс. человек (благодаря разработке и внедрению «сосудистой программы» смертность от инсультов снизилась более чем на 77%). Этот факт свидетельствует об увеличении количества пациентов с двигательными дефектами, так как выживаемость после инсульта увеличится.

Ежегодно в России фиксируется 20 тыс. черепно-мозговых травм на 1 млн. населения, из них до 1,6 тыс. становятся официальными инвалидами. Количество ежегодных ампутаций в Российской Федерации достигает 30-40 тыс., 1/3 из них составляют ампутации нижних конечностей.

Существуют необходимые предпосылки для создания универсального комплекса робототехнических средств обслуживания и социально-медицинской адаптации лиц с ограниченными возможностями, настраиваемого под индивидуальные особенности человека и управлением мультимодальным пользовательским интерфейсом по сигналам биологической активности.

Консорциум в составе АО «НПО «Андроидная техника» и Российский национальный исследовательский медицинский университет им. Н. И. Пирогова и Институт Высшей Нервной Деятельности и Нейрофизиологии РАН г. Москва, разработали реабилитационный робототехнический комплекс для восстановления двигательной активности.

В состав комплекса входит:

1. Реабилитационное устройство.
2. Медицинский источник питания.
3. Подлокотник.

4. Ручной экзоскелет.
5. Медицинский пульт управления.
6. Энцефалограф.
7. Источник питания экзоскелета.
8. Регулируемые элементы подлокотника.

– В состав программной части технологического комплекса входит:

– интерфейс компьютер-экзоскелет, обеспечивающий получение компьютером сигналов о состоянии экзокисти и передачи компьютером сигналов управления экзокистью;

– программный контроллер, обеспечивающий управление экзокистью по прямой и обратной связи в соответствии с выработанными биологически адекватными принципами;

– компьютерная 3D-модель экзокисти, построенная с учетом электромеханических характеристик (массы и размеры звеньев, их моменты инерции, положения центров масс, задержки в петле управления по силовому моменту).

– Процедура реабилитации заключается в стимулировании механизмов нейропластичности мозга, активируемых при воображении движений.

– Комплекс включает в себя два экзоскелета кисти и обеспечивает пассивное раскрытие и сжатие кисти руки человека на основании команд от интерфейса «мозг-компьютер» с целью предоставления проприоцептивной и тактильной обратной связи при воображении раскрытия и сжатия кистей рук.

– После 10-12 процедур использования реабилитационного комплекса у постинсультных пациентов и детей с диагнозом ДЦП увеличивается объем движений во всех суставах и способность выполнять изолированное движение в отдельном суставе.

А.Н. Афонин, А.А. Шамраев, Р.Г. Асадуллаев, Д.А. Веселов
**СИСТЕМА РЕАБИЛИТАЦИИ ПАРАЛИЗОВАННЫХ
ИНВАЛИДОВ НА ОСНОВЕ АЙТРЕКЕРА И FNIRS-
ТОМОГРАФА**

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

A.N. Afonin, A.A. Shamrayev, R.G. Asadullayev, D.A. Veselov
**REHABILITATION SYSTEM FOR PARALYZED DISABLED
PEOPLE BASED ON EYE TRACKER AND FNIRS TOMOGRAPH**

Belgorod National Research University, Belgorod, Russia, afonin@bsu.edu.ru

Проблема повышения качества жизни полностью парализованных является крайне актуальной для медицины. Наиболее эффективным способом решения данной проблемы является применение робототехнических устройств, с помощью которых парализованные могут самостоятельно обслуживать свои потребности, например роботов-манипуляторов. С помощью манипулятора инвалид сможет самостоятельно пить, принимать пищу, протирать лицо губкой, управлять различными бытовыми приборами, вызывать сиделку и т.д. За рубежом созданы отдельные экспериментальные образцы подобных устройств, например сервисный робот *Mu Spoon* (Япония). Однако, применение таких устройств требует создания интерфейсов, с помощью которых полностью парализованные люди смогут управлять ими. При этом манипулятор для успешного выполнения своих функций должен перемещаться с достаточно высокой точностью. Проблема создания таких интерфейсов является крайне сложной и не решена в полной мере до настоящего времени.

Предложено использовать в качестве интерфейса для управления полностью парализованным инвалидом роботом-манипулятором нейроинтерфейс на основе сочетания айтрекера и fNIRS-томографа. Айтрекер (окулограф) позволяет управлять перемещением манипулятора с помощью движений глазного яблока. В то же время, движение человеческого глаза является сложным и сопровождается колебаниями с различной частотой. Непосредственная передача таких сигналов на манипулятор приведет к его движению с колебаниями и рывками и к существенной потере точности позиционирования схвата. В связи с этим требуется введение в систему управления манипулятором фильтрации спонтанных колебаний глазного яблока. Особые сложности возникают с фиксации взгляде в заданной точке.

Айтрекеры позволяют управлять движением только в двух координатах, в то время как для манипулятора требуется управление в трехмерном пространстве. Кроме того, требуются дополнительные сигналы, например для пуска и останова движения манипулятора, сжатия и расжатия схвата. Таким образом, для управления манипулятором помимо айтрекера требуются дополнительные независимые каналы. Реализация таких каналов с помощью, например моргания глаз, затруднительна, поскольку моргания неизбежно будут вызывать смещение направления взгляда и, следовательно, смещение положения схвата манипулятора.

В рамках реализации проекта предложено использовать в качестве такого дополнительного канала fNIRS-томограф, позволяющий оценивать активацию зон коры головного мозга на основе определения концентрации в них гемоглобина. Распознавая мысленно передаваемые нажатия рукой на кнопки, fNIRS-томограф позволит отдавать команды на переключение плоскостей перемещения схвата манипулятора, осуществлять сжатие-разжатие схвата и т.д. без перемещения глазных яблок, т.е. при фиксированном положении схвата.

Проведенные экспериментальные исследования показали, что мысленные команды на нажатие руками кнопок вызывают заметное увеличение концентрации гемоглобина в моторной коре головного мозга могут быть легко выделены и распознаны например с помощью искусственных нейронных сетей. Для фильтрации спонтанных колебаний глазного яблока разработано специализированное программное обеспечение.

На основе fNIRS-томографа NIRSport Model 88, айтрекера Tobii Eye Tracker 4C и настольного манипулятора со сферической системой координат с системой управления Arduino в НИУ «БелГУ» разработан действующий макет Системы реабилитации парализованных инвалидов.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-08-01178

А.Р. Гладышев, А.Ю. Алейников, В.А. Дуброва, А.В. Гладышева
**РОБОТИЗИРОВАННАЯ ПЕРЧАТКА С БИОЛОГИЧЕСКОЙ
ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ ДЛЯ РЕАБИЛИТАЦИИ ИНСУЛЬТНЫХ
БОЛЬНЫХ С ПАРЕЗОМ ВЕРХНЕЙ КОНЕЧНОСТИ**

Белгородский государственный национальный исследовательский университет, Белгород, andxglad@yandex.ru

A.R. Gladyshev, A. Y. Aleinikov, V. A. Dubrov, A. V. Gladysheva
**ROBOTIC GLOVE WITH BIOFEEDBACK FOR
REHABILITATION OF STROKE PATIENTS WITH UPPER LIMB
PARESIS**

Belgorod state national research University, Belgorod, andxglad@yandex.ru

Проект направлен на создание роботизированной перчатки с биологической обратной связью, которая предназначена для людей с травмами кисти руки для реабилитации инсультных больных с парезом верхней конечности. Актуальность проекта обусловлена высоким спросом среди потенциальных потребителей, вследствие отсутствия на российском рынке отечественных изделий с наличием биологической обратной связи, а также остро стоящей проблемы как по реабилитации после повреждения опорно-двигательного аппарата, так и разработки мелкой моторики из-за врожденных отклонений, и приобретенных травм. В основе проекта лежит новый подход по реализации системы управления устройств для проведения реабилитационных процедур восстановления верхней конечности за счет использования комплексной биологической обратной связи.

Преимуществом данного подхода является выявление наиболее эффективных методов воздействий устройства на мышечный каркас верхней конечности, а также анализ и корректировка этих воздействий в процессе проведения процедур в автоматическом режиме с учетом ответной реакции организма человека.



Рисунок 1 — Цифровая 3D модель перчатки

Цифровая 3D модель устройства представлена на рис. 1. Основной конструкцией является металлическая перчатка, на которой размещены пять мехатронных устройств, позволяющих проводить сгибание и разгибание фаланг пальцев кисти руки. В качестве приводного элемента использован электропривод с обратной связью собственной конструкции, позволяющий идентифицировать положение пальцев. Механическая перчатка фиксируется на кисти руки при помощи застежек. Между металлической перчаткой и поверхностью руки для осуществления демпфирующего эффекта использована силиконовая прослойка.

Структурная схема системы управления роботизированной перчаткой представлена на рис. 1.

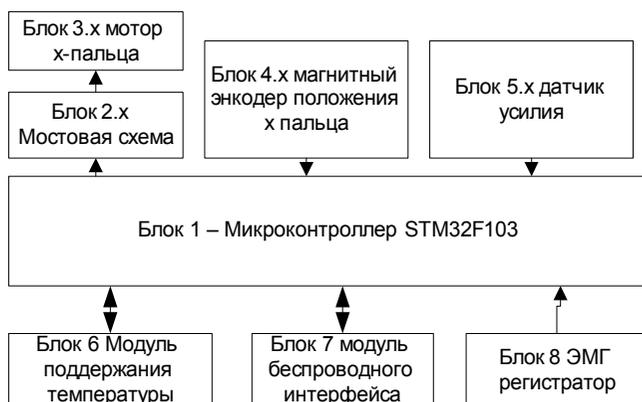


Рисунок 2 — Структурная схема системы управления роботизированной перчаткой

Основой является микроконтроллер STM32F103 (Блок 1). Устройство управляет перемещением каждого из пяти пальцев в отдельности посредством отдельного двигателя постоянного тока (Блок 3.х) через мостовую схему (Блок 2.х). Отслеживание положения осуществляется посредством магнитного энкодера (Блок 4.х). Контроль усилия (реакции пальца) осуществляется посредством датчика усилия (Блок 5.х). За поддержание заданной температуры отвечает модуль (Блок 6). За обмен данными с ПК модуль (Блок 7). Реакция человека определяется посредством регистрации ЭМГ (блок 8).

В.А. Дуброва, Е.Н Ивахно, О.Г. Худасова, А.Ю. Алейников
РОБОТИЗИРОВАННАЯ СИМУЛЯЦИОННАЯ МОДЕЛЬ
НИЖНЕЙ КОНЕЧНОСТИ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ОПЕРАЦИЙ

ФГАОУ ВО Белгородский государственный национальный исследовательский университет, Белгород, 861991@bsu.edu.ru

V.A. Dubrova, E.N. Ivakhno, O.G. Khudasova, A.Yu. Aleynikov
ROBOTIC SIMULATION MODEL OF THE LOWER LIMB
FOR OPERATIONS

Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education «Belgorod National Research University, Belgorod, Russia, 861991@bsu.edu.ru

Поражение сосудов нижних конечностей тромботическими массами, представляет собой острое состояние, развитию которого способствует целый комплекс ряда факторов. Работа посвящена разработке аппаратно-программной роботизированной симуляционной модели - макета нижней конечности человека, предназначенной для обучения студентов медицинских образовательных учреждений, ординаторов и врачей, тактике диагностики и проведения лечебных мероприятий тромбообразования.

Структура симуляционной аппаратно-программной модели представлена на рисунке (см. рис.1). Блок управления состоит из микроконтроллера 1, драйвера управления перистальтическим насосом 2, набора драйверов для управления электромагнитами 3. Датчики факта введения зонда представлены блоком 4, а глубины проникновения зонда – блоком 5. Набор трехцветных светодиодов представлен блоком 6, беспроводной интерфейс – блоком 7.

В соответствии со структурой симуляционной аппаратно-программной модели, основой предлагаемого устройства является микроконтроллер (1) в функции которого входит управление исполнительными элементами, получение и обработка информации с датчиков и обмен данными с внешним персональным компьютером. Для обеспечения перемещения модельной жидкости по модельному кровяному руслу микроконтроллер через драйвер управления перистальтическим насосом (2) управляет работой перистальтического насоса включая и выключая его. Через набор драйверов для управления электромагнитами (3) микроконтроллер посредством включения электромагнитов делает возможным прикреплению модельного тромба к стенке сосуда. Для определения факта введения зонда используется контактный датчик введения зонда (4), информация с него передается в микроконтроллер (1) и используется для остановки модельного кровотока. Посредством датчика (5) определяется глубина проникновения зонда в сосуд. Для моделирования появления покраснений или посинения (цианоза) используется оптический сигнализатор на основе набора трехцветных светодиодов (6). Для обеспечения обмена информацией с внешним ПК используется беспроводной интерфейс (7).[2].

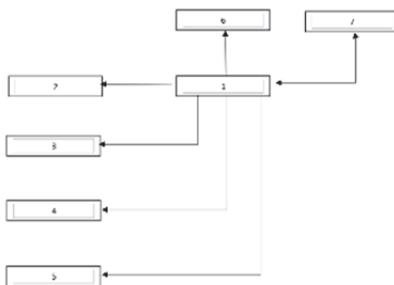


Рисунок 1 — Структура аппаратно-программной модели

В ходе проделанной работы выполнено исследование факторов и мест наиболее частого тромбообразования, техники проведения хирургических операций на сосудах нижней конечности, разработана структура симуляционной аппаратно-программной модели и подбор элементной базы и материалов. Система управления модели состоит из 7 компонентов. Выполнена разработка механических вспомогательных компонентов.

Результаты были получены в рамках выполнения работ по программе УМНИК в рамках проекта № 14102ГУ/2019 от «05» июня 2019 г.

1. Клинические рекомендации Эмболия и тромбоз аорты и артерий конечностей. - URL:<http://kokb45.ru/wp-content/uploads/2018/06/Emboliya-i-tromboz-aorty-i-arterij-konechnostej.pdf>.

2. Дьяков, И.А. «Схемотехника: Учебное пособие.» // Тамбов: Изд-во ТГТУ, — 2001 — С 84 .

А.А. Воротников, Ю.В. Подураев

РОБОТИЗАЦИЯ МАЛОИНВАЗИВНЫХ ХИРУРГИЧЕСКИХ ОПЕРАЦИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОНТАКТНОГО ДИОДНОГО ЛАЗЕРА В СТОМАТОЛОГИИ

*МГТУ «СТАНКИН», Москва, aavorotnikov90@gmail.com,
y.poduraev@stankin.com*

A.A. Vorotnikov, Yu.V. Poduraev

ROBOTIZATION OF MINIMALLY INVASIVE SURGICAL OPERATIONS WITH A DIODE LASER IN STOMATOLOGY

*MSTU «STANKIN», Moscow, Russia, aavorotnikov90@gmail.com,
y.poduraev@stankin.com*

В настоящее время в хирургической стоматологии широко распространены подходы к проведению малоинвазивных операций на базе оптоволоконных лазеров. Известны такие операции как очищение зубных каналов, обработка десневых карманов, устранение болезнетворных микробов тканей пародонта, подрезание уздечки губы или языка, удаление язв, кист, гранулём и эпюлиса, а также формирование уровня десны при установке имплантатов [1]. Применение оптоволоконных лазеров обеспечивает высокую скорость послеоперационного восстановления пациентов в противовес применению стандартных скальпелей. Результаты некоторых операций приведены на рис. 1. Тем не менее, естественные системы врачей в виду их человеческой природы являются не совершенными. Поэтому во время проведения хирургических операций лазером имеется неточность ручных манипуляций. Из-за этого происходит избыточное или недостаточное воздействие излучения на мягкие

ткани. Для пациента следствием является чрезмерная карбонизация десны – ожог (рис. 1, справа), увеличивающий послеоперационный период восстановления [2-7].

Уменьшить неточности ручных манипуляций возможно при использовании робота в качестве средства воздействия лазерным излучением на мягкие ткани. Возможность улучшения качества лечения пациентов за счёт роботизации хирургических операций является причиной для проведения научно-исследовательских работ в области проектирования робото-медицинских систем. В данной работе приводится описание основных этапов проектирования робототехнической системы для разрезания мягких тканей десны диодным лазером. Прототип робототехнической системы показан на рис. 1. В докладе отражены её структура, функции и полученные характеристики.



Рисунок 1 — Результаты медицинских операций с применением оптоволоконного лазера



Рисунок 2 — Робототехническая система для разрезания мягких тканей

1. Базилян Э.А., Бычков А.И., Гончаров И.Ю., Журули Г.Н., Козлова М.В., Воложин Г.А., Морозов М.Б., Чунихин А.А., Зудина М.Н. Болезни Прорезывания Зубов. Общество с ограниченной от-

ветственностью Издательская группа "ГЭОТАР-Медиа". Москва, 2017, 80 стр.

2. Мелешников А.М., Воротников А.А., Климов Д.Д., Подураев Ю.В. Концепция прототипа рабочего органа робототехнической системы разрезания для определения контакта с десной в хирургической стоматологии. СТИН. 2019. № 8. С. 31-33.0

3. Andrei A. Vorotnikov, Daniil D. Klimov, Elena A. Melnichenko and Yuri V. Poduraev, and Ernest A. Bazykuan, "Criteria for Comparison of Robot Movement Trajectories and Manual Movements of a Doctor for Performing Maxillofacial Surgeries," International Journal of Mechanical Engineering and Robotics Research, Vol. 7, No. 4, pp. 361-366, July 2018. DOI: 10.18178/ijmerr.7.4.361-366

4. Andrei A. Vorotnikov, Maxim A. Buinov, Semen V. Bushuev, Yuri V. Poduraev, and Andrei A. Chunihin, "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 Maxillofacial Surgery," International Journal of Mechanical Engineering and Robotics Research, Vol. 7, No. 3, pp. 319-323, May 2018. DOI: 10.18178/ijmerr.7.3.319-323

5. A.A. Vorotnikov, D.D. Klimov, E.V. Romash, O.S. Bashevskaya, Y.V. Poduraev, E.A. Bazykuan, A.A. Chunihin. Cutting velocity accuracy as a criterion for comparing robot trajectories and manual movements for medical industry, Mechanics & Industry18, 712 (2017). DOI: 10.1051/meca/2017047

6. Chunikhin A.A., Bazikyan E.A., Poduraev Yu.V., Vorotnikov A.A., Klimov D.D. 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. - V.8 (3): e0307. DOI: 10.15275/rusomj.2019.0307 (<http://www.romj.org/2019-03>)

7. Chunikhin, A. A., Poduraev, Yu. V., Vorotnikov, A. A., Klimov, D. D., Sahakyan, M. Y., Bazikyan, E. A. Efficiency Assessment of Nanosecond Laser Robotic Maxillofacial Area Surgery in Experiment, *Sovremennye Tehnologii V Medicine*. 2017. V 9, №4, pp. 123-128. DOI: 10.17691/stm2017.9.4.15

8. Подураев Ю.В. Подход и опыт проектирования медицинской коллаборативной робототехники для лазерной хирургии и биопринтинга. Мехатроника, автоматизация, управление. 2017. Т. 18. № 11. С. 749-752.

**С.В. Минчук¹, Л.В. Октябрьская¹, И.С. Козлов¹, О.Н. Резник^{2,3},
А.Е. Скворцов², В.М. Теплов⁴, А.В. Лопота⁵, В.В. Харламов⁵**
**ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ АППАРАТОВ LIFESTREAM
ЕСМО ДЛЯ БОРЬБЫ С НОВОЙ КОРОНАВИРУСНОЙ
ИНФЕКЦИЕЙ COVID-19**

¹АО «НПО «СПЛАВ» им. А.Н.Ганичева», г. Тула
²ФГБОУ ВО Северо-западный государственный медицинский университет
им И.И. Мечникова» Минздрава России, Санкт-Петербург
³ГБУ СПбНИИ скорой помощи им. И.И. Джанелидзе, Санкт-Петербург
⁴ФГБОУ ВО ПСПбГМУ им. И.П. Павлова, Санкт-Петербург
⁵ЦНИИ РТК, Санкт-Петербург
*minchuk@email.su, oktyabrskaya.lv@splavtula.ru, kozlov.is@splavtula.ru,
onreznik@gmail.com, skvortsov.spb@gmail.com, onreznik@gmail.com,
vadteplov@mail.ru, v.harlamov@rtc.ru*

**S.V. Minchuk¹, L.V. Oktyabrskaya¹, I.S. Kozlov¹, O.N. Reznik^{2,3},
A. E. Skvortsov², V.M. Teplov⁴, A.V. Lopota⁵, V.V. Kharlamov⁵**
**APPLICATION PERSPECTIVE OF THE LIFESTREAM ЕСМО
DEVICES FOR TREATMENT OF THE NEW CORONAVIRUS
DISEASE COVID-19**

¹JSC «SPLAV SPA» named after A. Ganichev», Tula
²I.I. Mechnikov North-Western State Medical University, St Petersburg
³I.I. Dzhanelidze St. Petersburg Research Institute of Emergency Medicine, St.
Petersburg
⁴I.P. Pavlov First St. Petersburg State Medical University, St. Petersburg
⁵Russian State Scientific Center for Robotics and Technical Cybernetics, St.
Petersburg
*minchuk@email.su, oktyabrskaya.lv@splavtula.ru, kozlov.is@splavtula.ru, on-
reznik@gmail.com, skvortsov.spb@gmail.com, onreznik@gmail.com,
vadteplov@mail.ru, v.harlamov@rtc.ru*

В конце 2019 года в Китайской Народной Республике произошла вспышка новой коронавирусной инфекции с эпицентром в городе Ухань (провинция Хубэй). Всемирная организация здравоохранения присвоила официальное название инфекции, вызванной новым коронавирусом, – COVID-19 [1]. COVID-19 – высокоинфекционное заболевание, в основном поражающее легочные альвеолы, в первую очередь у критических больных, что приводит к тяжелой дыхательной недостаточности [3]. Различают легкие, средние и тяжелые формы течения инфекции. При тяжелом течении часто наблюдается развитие быстро прогрессирующего заболевания нижних дыхательных путей таких, как пневмония с острой дыха-

тельной недостаточностью (ОДН), острый респираторный дистресс-синдром (ОРДС), сепсис и септический шок. При этом практически у всех пациентов с тяжелым течением заболевания зарегистрирована прогрессирующая ОДН и ОРДС [1].

Экстракорпоральная мембранная оксигенация (ЭКМО) – это высокотехнологичный метод, направленный на поддержание оксигенации и кровообращения пациентов, находящихся в критическом состоянии с острой дыхательной и/или сердечной недостаточностью. Известно, что в некоторых случаях, у больных с COVID-19, развивается повреждение значительного объема легочной ткани (более 90%), когда консервативные методы лечения и реанимационные мероприятия становятся неэффективными. В этом случае применение ЭКМО является последним шансом спасти такого пациента, временно заместив функцию пораженных вирусом легких [2]. Летальность у пациентов с тяжелой формой COVID-19 (с ОДН и ОРДС, требующая интенсивной терапии) составляет около 49%, при этом летальность среди госпитализированных пациентов варьируется от 4 % до 11 %. Первоначальный опыт использования ЭКМО для лечения данной категории пациентов показывает потенциальную возможность их выживания.

На сегодняшний день специалистами Министерства Здравоохранения Российской Федерации, ВОЗ, китайского, американского и европейского центров по контролю за заболеваемостью разработаны материалы по лечению и профилактике новой коронавирусной инфекции COVID-19, в том числе с применением ЭКМО. АО «НПО «СПЛАВ» им. А.Н. Ганичева» (г. Тула) совместно с ЦНИИ РТК (г. Санкт-Петербург) ведут разработку и организацию производства перфузионного комплекса LIFE STREAM ЕСМО для экстракорпоральной поддержки пациентов, находящихся в критическом состоянии с острой дыхательной и/или сердечной недостаточностью. Рассмотрим перспективы применения данных аппаратов для борьбы с новой коронавирусной инфекцией COVID-19.

Перфузионный комплекс LIFE STREAM ЕСМО по своим техническим характеристикам может быть успешно применен для лечения ОДН, ОРДС, вызванных новой коронавирусной инфекцией COVID-19. Аппарат LIFE STREAM ЕСМО проходит государственную регистрацию. Эффективность работы аппарата уже была показана в эксперименте на животных (свиньи) с имитацией внезапной остановки сердечной деятельности.

1. Временные методические рекомендации. Профилактика и лечение новой коронавирусной инфекции (COVID-19): сайт. –

URL: https://static-1.rosminzdrav.ru/system/attachments/attaches/000/050/116/original/28042020_%D0%9CR_COVID-19_v6.pdf (дата обращения: 10.08.2020). – Текст: электронный.

1.rosminzdrav.ru/system/attachments/attaches/000/050/116/original/28042020_%D0%9CR_COVID-19_v6.pdf (дата обращения: 10.08.2020). – Текст: электронный.

2. Применение ЭКМО в борьбе с COVID-19: сайт. – URL: <https://cardioweb.ru/news/item/2179-primeneniye-ekmo-v-borbe-s-covid-19> (дата обращения: 10.08.2020). – Текст: электронный.

3. Руководство по профилактике и лечению новой коронавирусной инфекции COVID-19. Первая академическая клиника Университетской школы медицины провинции Чжэцзян. Составлено на основе клинической практики: сайт. – URL: <http://webmed.irkutsk.ru/doc/pdf/covid19china.pdf> (дата обращения: 10.08.2020). – Текст: электронный.

А.В. Кожевникова¹, Д.А. Жиганов²

**ПЕРСПЕКТИВЫ ВНЕДРЕНИЯ КОМПЛЕКСНОЙ СИСТЕМЫ
ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ ВРАЧЕБНЫХ РЕШЕНИЙ
НА ОСНОВЕ НЕЙРОСЕТЕЙ**

¹Государственный научно-исследовательский испытательный институт военной медицины (ГНИИИ ВМ МО РФ), Санкт-Петербург

*²Московский Физико-Технический Институт, Москва
alina-k-spb@yandex.ru*

A.V. Kozhevnikova¹, D.A. Zhiganov²

**PROSPECTS FOR THE IMPLEMENTATION
OF A COMPREHENSIVE SYSTEM OF SUPPORT FOR MAKING
DECISIONS BASED ON NEURAL NETWORKS**

¹State Research and Testing Institute of Military Medicine, St. Petersburg

*²Moscow Institute of Physics and Technology, Moscow, Russia
alina-k-spb@yandex.ru*

Системы поддержки принятия врачебных решений (СППВР) позволяют на основании заложенных алгоритмов осуществлять системный анализ и выдавать рекомендательное заключение о состоянии пациента, тем самым экономя время врача и увеличивая пропускную способность медицинских учреждений. [1]

Существующее разнообразие диагностических СППВР в большинстве случаев основывается на данных медицинской визуализа-

ции (КТ, МРТ) и численно-вербальной информации (анализ крови, анализ результатов анкетирования). [2] Весомым недостатком можно признать отсутствие унификации существующих СППВР и ограниченные возможности их интеграции во внедрённые МИС.

Специалистами МФТИ предложена концепция создания комплексной СППВР (рисунок 1). В соответствии с данной концепцией разработаны экспериментальные образцы четырёх модулей: флюорографии, кардиографии, маммографии и распознавания информации. Первые три модуля являются диагностическими, последний же – сервисный, направленный на оптимизацию процесса заполнения карты пациента и дистанционного управления программой без необходимости использовать клавиатуру или отвлекаться от процесса диагностики.



Рисунок 1 — Схема работы комплексной СППВР

По результатам апробации работы модулей в медицинских учреждениях (ГБУЗ МО МОНИКИ им. М.Ф. Владимирского; ООО «Скандинавский центр здоровья»; ЧОУВО «СПбМСИ»), точность распознавания патологий составила не менее 80% по каждому из модулей. В настоящее время идёт работа над повышением точности распознавания, а также планируется интеграция проектируемой системы в существующие МИС, например в электронную карту пациента (ЭМК).

Создание единой комплексной диагностической системы с возможностью межврачебной коммуникации обеспечит необходимый уровень унификации и стандартизации диагностических процессов высокой точности, а следовательно увеличит их доступность при одновременном снижении финансовых затрат и сохранении индивидуального подхода к каждому пациенту.

1. А.В. Гусев – Перспективы нейронных сетей и глубокого машинного обучения в создании решений для здравоохранения // Искусственный интеллект в здравоохранении – 2017 – №3: 92-105

2. Николенко А. В., Новиков В. А. – Разработка информационно-измерительной системы диагностики онкологических заболеваний с применением технологий машинного обучения // Биомедицинская инженерия и электроника. – 2017. – DOI: 10.6084/m9.figshare.5687176

А.Ю. Исхаков¹, О.О. Шумская²

МЕТОДЫ АДАПТИВНОЙ АУТЕНТИФИКАЦИИ ОПЕРАТОРА РОБОТОТЕХНИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА

¹ИПУ РАН, Москва

²СПИИРАН, Санкт-Петербург

iaiy@ipu.ru, shumskaya.oo@gmail.com

A.Y. Iskhakov¹, O.O. Shumskaya²

ADAPTIVE AUTHENTICATION METHODS FOR A ROBOTIC COMPLEX OPERATOR

¹ICS RAS, Moscow, Russi

²SPIIRAS, Saint-Petersburg, Russia

iaiy@ipu.ru, shumskaya.oo@gmail.com

Количество различных сфер человеческой деятельности, где сегодня применяются достижения науки в области робототехники, стремительно увеличивается с каждым годом. В связи с этим особенно актуальным направлением является развитие методов и алгоритмов защиты систем управления робототехническими комплексами (РТК) от несанкционированного доступа. Вмешательство злоумышленников в управление РТК может не только воспрепятствовать выполнению тех задач, в промышленности или в быту, для решения которых используются данные роботы, но и создать угрозы для жизни и здоровья людей.

В качестве объекта данного исследования лежат подсистемы авторизации основных субъектов управления РТК – операторов подобных комплексов. Традиционные методы идентификации и аутентификации, основанные на использовании явных способов проверки, имеют ряд существенных недостатков, связанных с тем,

что для установления подлинности пользователя применяются опознавательные характеристики, которые могут быть скомпрометированы злоумышленниками. Для снижения рисков компрометации пользовательских учетных записей разработчики повсеместно стараются внедрять решения, основанные на многофакторных алгоритмах проверки подлинности. Однако эта парадигма защиты основана на статических правилах и приводит к строгим ограничениям вне зависимости от личности пользователя и реальных рисков. В связи с этим, множество научных исследований в области теории защиты информации сегодня сопряжено с разработкой новых методов в области риск-ориентированной аутентификации. При этом в мировой литературе слабо рассмотрены адаптивные механизмы многофакторной проверки подлинности субъекта доступа в информационном пространстве, учитывающие сведения из систем управления событиями и поведенческого анализа действий пользователей.

Для достижения основной цели исследования необходимо создание модели представления поведенческой информации действий оператора РТК, обеспечивающей профилирование и выявление аномалий в поведении не только самого оператора и робототехнического устройства, но и связанных сущностей. В основе настоящего исследования для создания новых методов адаптивной аутентификации оператора РТК лежит необходимость использования методов интеллектуального анализа данных. Применение методов из классических разделов математики, таких как линейное программирование и автоматическое управление, в контексте поставленной задачи оказывается не оптимальным. В качестве их замены предлагается использовать искусственные нейронные сети. Для увеличения эффективности их применения предполагается создание нового эволюционного метода инициализации (корректировки) искусственной нейронной сети с оригинальной совокупностью свойств, учитывающего опыт предыдущих исследований в данной области. Также для решения поставленных задач будут применены методы теоретической информатики, теории принятия решений, вычислительной математики, математического анализа. При расчете метрик и информативных признаков, а также апробации методов будут применены теоретические положения теории вероятностей и математической статистики.

Формирование подходов к выявлению связанных с учетной записью сценариев работы и параметров управляющих воздействий для РТК, определение критериев их значимости, создание базы

данных паттернов для различных категорий РТК позволит сформировать новые решения в области риск-ориентированной аутентификации для различных классов объектов управления робототехники. Таким образом, данное научное исследование направлено на решение фундаментальной научной проблемы разработки отсутствующих на сегодняшний день научно-методических решений по организации безопасного управления РТК как в аспекте мониторинга состояния кибербезопасности, так и выявления уязвимостей в применяемых перспективных интерфейсах управления.

Исследование выполнено при частичной финансовой поддержке Совета по грантам Президента Российской Федерации в рамках научного проекта № МК-2421.2020.9.

1. Сырецкий Г. А. Мультимодельные многофакторные технологии как одно из возможных направлений будущего аутентификации и идентификации // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2014. №2.

2. Исхаков А. Ю., Исхакова А. О., Мещеряков Р. В., Бендрау Р., Мелехова О. Использование тепловой карты поведения пользователя в задаче идентификации субъекта инцидента информационной безопасности // Труды СПИИРАН. 2018. № 6 (61). С. 147-171.

3. Исхаков А.Ю., Исхаков С.Ю., Мещеряков Р.В. Повышение защищенности сервисов аутентификации путем проведения дополнительной идентификации с использованием оптимального признакового пространства // Информационные технологии в науке, управлении, социальной сфере и меди-цине. Сборник научных трудов. 2017. С. 117-122.

А.Ю. Исхаков¹, А.М. Смирнов²
**ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ИНТЕРФЕЙСЫ «МОЗГ-КОМПЬЮТЕР»
КАК МЕХАНИЗМЫ ЗАЩИТЫ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ
РОБОТОТЕХНИЧЕСКИМ СРЕДСТВОМ**

*¹ИПУ РАН, ²МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва,
iaj@ipu.ru, smirnovanton.m@mail.ru*

A.Y. Iskhakov¹, A.M. Smirnov²
**PROMISING «BRAIN-COMPUTER» INTERFACES AS
MECHANISMS OF PROTECTION FOR A ROBOTIC SYSTEM**

¹ICS RAS, ²BMSTU, Moscow, iaj@ipu.ru, smirnovanton.m@mail.ru

В современном мире обеспечение соответствующего уровня защиты интерфейсов и системы управления для робототехнических устройств занимает ключевую роль при проектировании и разработке подобных комплексов. Учитывая большую популярность развития интерфейсов «мозг-компьютер», которые сегодня широко тестируются в задачах управления операторами квадрокоптерами и другими объектами воздушной робототехники, возникает задача обеспечения процедур аутентификации субъекта управления.

Применение таких биометрических данных как электроэнцефалограмма головного мозга (ЭЭГ) не однократно было отмечено как эффективный пример индивидуальных характеристик субъекта доступа для разработки инструментов идентификации и аутентификации информационных систем. Так в работе [1] процедура стимуляция деятельности мозга, при которой снимается информация для прохождения процесса аутентификации, основывается на снятии данных о концентрации на символах, выведенных на экран для пользователя. В качестве биометрического вектор- параметра используется разница между уровнем ЭЭГ при стимуляции и усредненном значении ЭЭГ в состоянии покоя. В качестве структуры преобразователя выбрана двухслойная нейронная сеть сигмоидального типа. Для обучения формируется база ЭЭГ для образов «Свой» и «Чужой» как при состоянии покоя, так и при непосредственной стимуляции. Результатом являются весовые коэффициенты первого и второго слоя нейронной сети. На выходе каждый нейрон второго слоя выдает бит восстанавливаемого секретного криптографического ключа.

В статье [2] рассматриваются различные методы применения интерфейсов «мозг-компьютер» для идентификации пользователей.

В их основе лежит множественное обучение методами линейного дискриминального анализа по выделению характеристического вектора и дальнейшей его проверке на обучаемой модели.

Авторы работы [3] предложили метод аутентификации с использованием интерфейса «мозг-компьютер», основанный на задаче дискретного логарифмирования и кодах Боуза — Чоудхури — Хоквингема. Метод включает в себя три шага: генерация открытого ключа и отправка его абонентам (условное название Setup), инициализация открытого текста, установление контактов на конфиденциальное общение и выработка получателем секретного ключа (условное название Commit) и непосредственная отправка открытого сообщения с предоставлением возможности получателю убедиться в достоверности отправки (условное название Open). В результате выполнения алгоритма, представленного в работе, формируется двоичное кодовое слово, полученное комбинированием вычисления функции исправления ошибок Боуза — Чоудхури — Хоквингема и эталонного кода ЭЭГ. На последнем этапе, имея электроэнцефалограмму идентифицируемого субъекта, вычисляются необходимые параметры, необходимые для принятия решения об аутентификации пользователя. В работе проведен анализ безопасности, который показал, что предложенный алгоритм дает достаточно высокую робастность.

В связи с наличием вышеперечисленного опыта, подтверждающего эффективность применения интерфейсов «мозг-компьютер» в задачах реализации подсистем информационной безопасности авторами предлагается использовать данные решения с целью защиты системы управления РТК.

Предлагается следующая концепция проведения проверок перед каждым сеансом управления роботом: при инициализации подсистемы управления требуется ввод графического пароля на мобильном устройстве управления посредством чередования зарегистрированных воображаемых состояний. При этом процесс обработки сигнала представляет собой следующие этапы:

1. Снятие данных ЭЭГ у идентифицируемого;
2. Пространственная фильтрация
3. Формирование классификатора;
4. Отработка базового алгоритма аутентификации.

При этом предлагается реализовать адаптивную подсистему анализа, принимающую решения о легитимности действий пользователя на всем сеансе работы по ряду различных характеристик: корректность пароля, изменение ЭЭГ при идентификации по срав-

нению с нейтральным состоянием идентифицируемого и др. На текущий момент авторами проводятся исследования по оценке эффективности представленной выше схемы с применением восьми-канальной нейрогарнитуры беспроводной регистрации ЭЭГ человека с сухими электродами Neuroplay-8С и ПО Cortex 1.8.0.

Исследование выполнено при частичной финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-29-01156.

1. Гончаров С. М., Боршевников А. Е. Нейросетевой преобразователь «Биометрия — код доступа» на основе мысленного PIN-кода. Труды научно-практической конференции кластера пензенских предприятий, обеспечивающих безопасность информационных технологий. Том 9. Пенза-2014, с. 46-50.

2. С. М. Гончаров, М. С. Вишняков. Идентификация пользователей на основе электроэнцефалографии с использованием технологии «Интерфейс мозг-компьютер». Доклады ТУСУРа, №1(25), часть 2, июнь 2012.

3. Robertas Damaševičius, Rytis Maskeliūnas, Egidijus Kazanavičius and Marcin Wofniak. Hindawi, Computational Intelligence and Neuroscience Volume 2018, Article ID 1867548, 11 pages. Интернет-ресурс URL: <https://doi.org/10.1155/2018/1867548>.

*Д.Б. Федоров, К.А. Кагирина, К.И. Ключев, А.С. Молотилин,
В.В. Песков, А.А. Харитонов, Г.В. Шангин*

**ОБУЧЕНИЕ С ПОДКРЕПЛЕНИЕМ САМОСТОЯТЕЛЬНОМУ
ДВИЖЕНИЮ АВТОНОМНОЙ РОБОТОТЕХНИЧЕСКОЙ
ПЛАТФОРМЫ В РЕАЛЬНОЙ (ФИЗИЧЕСКОЙ) СРЕДЕ**

ФГУП НИЦАП им. Пилюгина, г. Москва, otd138@nrcap.ru

*D.B. Fedorov, K.A. Kagirina, K.I. Kluev, A.S. Molotilin,
V.V. Peskov, A.A. Kharitonov, G.V. Shangin*

**REINFORCEMENT LEARNING FOR INDEPENDENT
MOVEMENT OF AN AUTONOMOUS ROBOTIC PLATFORM
IN A REAL (PHYSICAL) ENVIRONMENT**

Academician Pilyugin Center, Moscow, Russia, otd138@nrcap.ru

На текущий момент, обучение с подкреплением (Reinforcement Learning, далее RL) является одним из самых популярных и наиболее активно изучаемых и развивающихся направлений, в области создания систем искусственного интеллекта [1]. Данное направление основано на обучении посредством взаимодействия с окружающей средой (далее ОС), при этом обучаемый (далее Агент) не получает информации о том, какие действия следует выполнять, вместо этого он узнаёт о последствиях своих действий, выраженных в виде оценки (вознаграждение), которая может быть как положительной, так и отрицательной. На основании получаемого вознаграждения агент производит переоценку эффективности действий, таким образом происходит процесс обучения методом проб и ошибок. Алгоритмы RL используются во многих областях – игровая индустрия, рекомендательные системы, реклама и маркетинг, беспилотное управление транспортными средствами и робототехника.

Одной из фундаментальных проблем в передвижных робототехнических системах, для решения которых может эффективно применяться RL, является их стабильная локомоция. В мире уже существуют всевозможные классические алгоритмы и законы управления, основанные на математике, однако для каждого рода задачи и состояния среды их нужно подстраивать заново. Обучение же через RL предлагает решение этой проблемы через поиск универсального алгоритма движения, который способен автоматически подстраиваться под ОС и эффективно действовать не только в стабильной среде, но и реагировать на нестандартные ситуации и условия, с которыми Агент ранее не сталкивался. В нашей работе описывается разработка и тестирование системы обучения робототехнической платформы автономному движению в реальной среде с минимальными контролем и воздействиями со стороны человека. Основными трудностями для таких платформ являются автоматический сбор и обработка данных, безопасность и контроль за выполнением поставленной цели [2], решение которых было достигнуто путём установки на систему ряда физических датчиков, непрерывно собирающих и передающих в алгоритм всю необходимую информацию. Тестирование системы проводилось на автономной роботизированной гусеничной системе «Мангольд» (далее, Мангольд), включающую в себя связку из следующих компонентов – два шасси, управляемых с помощью бесколлекторных двигателей, набор из датчиков определения расстояния, а также микрокомпьютер nVidia Jetson Nano.

Разработана система, принимающая решение о наиболее эффективных действиях в текущем состоянии. Отдельно реализована обработка граничных случаев (слишком малое расстояние до препятствия, выход за рабочую область), при возникновении которых часть действий блокируется.

Тестирование системы разделялось на 2 этапа:

- тестирование в виртуальной среде с визуализацией, для отработки алгоритма, тестирования граничных условий и начальной настройки;

- тестирование в реальных условиях на Мангольде, для непосредственного обучения автономному движению.

Целью разработанной системы на базе алгоритмов RL было обучение роботизированной платформы автономному движению в рамках заданной ОС и поиску в ней максимально эффективного пути до заданной точки, зависящего как от пройденного расстояния при достижении цели, так и от потраченного времени при его прохождении. Для Агента ОС представляла из себя данные о расстоянии до цели (маячка) и расстояния до препятствий с каждой из сторон робота. Возможные действия Агента заключались в подаче воздействий непосредственно на моторы гусениц - направление вращения и коэффициент заполнения, отвечающий за скорость.

Управляемая циклическим алгоритмом разработанная система позволила реализовать самостоятельное обучение движению робототехнической платформы в реальной (физической) среде.

1. Глубокое обучение с подкреплением на Python. OpenAI Gym и TensorFlow для профи. — СПб.: Питер, 2020. — 320 с.: ил. — (Серия «Библиотека программиста») ISBN 978-5-4461-1251-7

2. Sehoon Ha, Peng Xu, Zhenyu Tan, Sergey Levine, Jie Tan «Learning to Walk in the Real World with Minimal Human Effort», arXiv: 2002.08550 [cs.RO]

*К.А. Кагирина, Ю.Н. Джебраилова, Е.В. Карпунин,
К.И. Ключев, А.С. Молотилин, В.В. Песков, Д.Б. Федоров*
**ПРИМЕНЕНИЕ МОДУЛЯ NVIDIA JETSON NANO ДЛЯ
РЕАЛИЗАЦИИ АЛГОРИТМА ПРОХОЖДЕНИЯ
ПРОИЗВОЛЬНОГО МАРШРУТА ИЗ УКАЗАТЕЛЕЙ В
АВТОНОМНОЙ РОБОТОТЕХНИЧЕСКОЙ ПЛАТФОРМЕ**

ФГУП НПЦАП им. Пилюгина, г. Москва, otd138@npcar.ru

*К.А. Kagirina, Y.N. Dzhebrailova, E.V. Karpunin, K.I. Kluev,
A.S. Molotilin, V.V. Peskov, D.B. Fedorov*
**NVIDIA JETSON NANO FOR ROUTE SIGNS RANDOM
SEQUENCE FOLLOWING ALGORITHM IMPLEMENTATION IN
AN AUTONOMOUS ROBOTIC SYSTEM**

Academician Pilyugin Center, Moscow, Russia, otd138@npcar.ru

В данной работе описываются особенности реализации алгоритма прохождения произвольного маршрута гусеничной автономной платформой «Мангольд» (далее, Мангольд), разработанной сотрудниками ФГУП НПЦАП, с помощью системы распознавания изображений, построенной на основе одноплатного компьютера Jetson Nano[1].

Система распознавания в платформе Мангольд состоит из web-камеры, получающей изображения в процессе движения платформы, одноплатного компьютера Jetson Nano и сверточной нейронной сети, осуществляющей распознавание изображений. Первоначально для решения задачи распознавания изображений была выбрана использовать нейронную сеть с архитектурой ResNet-18 [2]. Для построения маршрута движения платформы на начальном этапе использовались жесты: «thumbs up», «thumbs down» и т.п. В зависимости от количества жестов, менялась размерность выходного слоя классификатора ResNet-18. При этом были обнаружены следующие проблемы:

- архитектура ResNet-18 разработана для классификации большого количества (до 10000) достаточно сильно различающихся объектов (кошки, светофоры и т.п.) без учета ориентации этих объектов в пространстве, поэтому ее способность распознавать жесты сильно зависит от условий окружающей среды (фон, освещенность, удаленность от объекта, угол наклона камеры и т.п.);
- переобучение ResNet-18 на распознавание других изображений требует наличия порядка достаточно большого (порядка 10

тыс. изображений) размеченного набора данных, создание которого само по себе является сложной задачей.

Для решения указанных проблем была изучена возможность предобработки изображений, как при создании обучающей выборки, так и непосредственно в процессе работы алгоритма. Были опробованы различные методы выделения значимых областей, и изучена возможность семантической сегментации с использованием сети DeepLabV3, однако производительности Jetson Nano оказалось недостаточно для её эффективной работы.

С учетом полученного опыта, был разработан алгоритм распознавания дорожных знаков на основе сети Traffic Signs. Алгоритм был реализован на одноплатном компьютере Jetson Nano. Разработанный алгоритм позволяет автономной платформе Мангольд строить маршрут по произвольно расставленным знакам.

1. Возможности современного искусственного интеллекта для миллионов устройств | NVIDIA Jetson Nano [Electronic resource]. URL: <https://www.nvidia.com/ru-ru/autonomous-machines/embedded-systems/jetson-nano/> (accessed: 25.03.2020).

2. He, Kaiming et al. «Deep Residual Learning for Image Recognition.» 2016 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR) (2016): 770-778.

*М.В. Ольховский, Б.В. Барсуков, Е.В. Карпунин,
И.Л. Клыков, А.А. Харитонов, Г.В. Шангин, С.В. Шатохин*

**ПРОТОТИПИРОВАНИЕ МОДУЛЬНОЙ
РОБОТОТЕХНИЧЕСКОЙ ПЛАТФОРМЫ: АДДИТИВНЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ, ЭЛЕКТРОННЫЕ КОМПОНЕНТЫ И ДИЗАЙН
МЕЖМОДУЛЬНЫХ СВЯЗЕЙ**

ФГУП НПОЦАП им. Пилюгина, г. Москва, otd138@npcap.ru

*M.V. Olkhovsky, B.V. Barsukov, E.V. Karpunin, I.L. Klikov,
A.A. Kharitonov, G.V. Shangin, S.V. Shatokhin*
**ROBOTIC MODULAR PLATFORM PROTOTYPING: ADDITIVE
TECHNOLOGIES, ELECTRONIC COMPONENTS AND DESIGN
OF THE ROBOT INTERMODULAR CONNECTIONS**

Academician Pilyugin Center, Moscow, Russia, otd138@npcap.ru

В связи с экономической ситуацией многие предприятия оборонной промышленности начинают смотреть в сторону диверсификации. Для того, чтобы оставаться на волне развития прорывных технологий, необходимо быстро, качественно и недорого проводить апробацию новых конструкторских, инженерных и дизайнерских решений, а также модернизацию разработанных модулей. Для решения данной задачи было принято решение разработать и изготовить образец макетной модульной роботизированной автономной платформы «Мангольд» (далее Мангольд).

Современный уровень развития аддитивных технологий и материалов позволил реализовать принцип быстрого прототипирования при разработке практически всех узлов Мангольда, в том числе со сложной геометрией. В процессе быстрого изготовления и апробации новых решений удалось в кратчайшие сроки с минимальными затратами выявить особенности и требования к корпусу, шасси, манипуляторам, системе питания, системе распознавания изображений, системе охлаждения, компоновке электронных блоков.

С использованием практически только аддитивных технологий и материалов были изготовлены следующие узлы:

1. Гусеничные шасси треугольной компоновки;
2. Управляемые шаговыми двигателями манипуляторы с пятью степенями свободы;
3. Корпус со съемной задней крышкой и системой охлаждения;
4. Управляемый гиросtabilизированный головной отсек.

Использование широкого спектра современных пластиков позволило обеспечить требуемые характеристики каждого узла. Например, для изготовления корпусной части и катков шасси использовался полимер PETG, обеспечивающий наибольшую среди других пластиков прочность деталей, а также устойчивый к стирающим нагрузкам, тогда как для изготовления пружин в подвесах шасси был применён полимер FLEX, способный выдерживать большие упругие деформации.

При разработке электронной части использовались макетные платы, готовые модули микроконтроллеров и одноплатный микрокомпьютер, что также значительно удешевило конструкцию и ускорило процесс отработки.

Система питания Мангольда изготовлена из литий-ионного аккумулятора (3S, 12 В, 3000 мАч) и понижающего конвертера (12 В в 5 В). Аккумуляторы имеют встроенную защиту от переразряда, перезаряда, перегрузки и короткого замыкания, которая также производит балансировку ячеек. Разработанная система питания поз-

воляет производить легкую замену на другие типы аккумуляторов, например, LTO. Для управления двигателями шасси использовались микроконтроллер STM32 и мосты управления с подключённым модулем Bluetooth для обеспечения ручного управления с пульта и обратной связи. Кроме того, на базе микроконтроллера STM32 в Мангольде реализованы умная система охлаждения ключевых узлов и система управления и гиостабилизации головного отсека. Конструкция робота обеспечивает блочное расположение всех элементов электроники, что позволяет осуществлять лёгкий и быстрый монтаж и замену индивидуальных модулей.

В результате благодаря максимальному использованию аддитивных технологий, макетных электронных узлов и модульности удалось значительно сократить как время, так и стоимость разработки, модернизации и выбора новых конструкторских, инженерных и дизайнерских решений.

А.Г. Комаров

**ДИНАМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ВОЗМОЖНОСТЬ
ПЕРЕСЕЧЕНИЯ ПРЕПЯТСТВИЙ ГИБКИХ ШАРООБРАЗНЫХ
РОБОТОВ С МАЯТНИКОВЫМ ПРИВОДОМ**

*ФГБОУ ВО «Омский государственный технический университет», Омск,
komarowanton@mail.ru*

A.G. Komarov

**DYNAMIC MODELING AND OBSTACLE-CROSSING
CAPABILITY OF FLEXIBLE PENDULUM-DRIVEN BALL-
SHAPED ROBOTS**

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Omsk State Technical University», Omsk, komarowanton@mail.ru

Шаровидные транспортные средства уже находятся в стадии разработки за последние 120 лет. Первые патенты на самоходные шаровые игрушки были поданы в конце 19 века [1,2]. Исследования по динамическое моделирование и управление шариком с двигателем началось в 1990-х годов, что привело к появлению шарообразной формы с компьютерным управлением мобильных роботов [1–7]. В последнее время проблемы по моделированию, планированию пути и контроль неголономных подвижных систем пробудили

большой интерес к аналитической механике и системам управления, в то время как реализованные роботы нашли свое применение в деятельности связанной с наблюдением и развлечением [1–8].

В данной работе проводилось исследование влияния изменения упругой геометрии сферического робота с целью анализа перспективности и работоспособности подобного рода исполнения робота. Разработанный робот имел не твердую привычную нам сферическую оболочку, а гибкую, прорезиненную оболочку, диаметр которой изменялся в зависимости от количества воздуха, находящимся в роботе. В перспективе основное применение подобного рода конструкции рассматривалось в бытовом применении, где имеется неравномерная поверхность, ступеньки и прочие препятствия, которые достаточно сложно преодолеть роботу в жесткой оболочке.

В статье изложены математические расчеты системы и устройства, этапы моделирования робота и моделирование его поведения, этапы сборки опытного образца, а также приведено сравнение смоделированного поведения устройства с реальным.

1. Т. Иликорпи, Дж. Суомела, Шарообразные роботы, альпинистские и шагающие роботы, к новым приложениям, InTech, Вена, 2007, стр. 235-256.

2. Дж. Суомела, Т. Иликорпи, Шарообразные роботы: исторический обзор и последние разработки в ТКК, в: Springer Tracts in Advanced Robotics, Field and Service Robotics, vol. 25, 2006, стр. 343-354.

3. А. Кошияма, К. Ямафудзи, Разработка и управление мобильным роботом с управляемым во всех направлениях типом, Int. J. Robot. Res. 12 (5) (1993) 411-419.

2. А. Halme, Т. Schonberg, Y. Wang, Управление движением сферического мобильного робота, в: Proc. IEEE International Workshop on Advanced Motion Control, Mie, 1996, pp. 259-264.

3. Ф. Мишо, С. Карон, Роболл, катящийся робот, Auton. Роботы 12 (2) (2002) 211-222.

4. Sphero [Online], Доступно на: <http://www.gosphero.com/> (дата обращения: 12.05.13).

5. GuardBOT [Online], доступно по адресу: <http://www.guardbot.org/> (дата обращения: 12.05.13).

6. Л. Уланов, у «Звездных войн» есть удивительный новый дроид: как BB-8 работает в реальной жизни? [Online], 17 апреля 2015 г. Доступно по адресу: <http://mashable.com/2015/04/16/starwars-bb8-technology/> (дата обращения 25.08.15).

7. С. Спицмюллер, Система управления на базе микроконтроллера для подвижного миниробота (диплом магистра), Департамент автоматизации и системных технологий, Технологический университет Хельсинки.

*И.Ф. Гушин, А.Н. Лещинский, А.Г. Зарукин, А.В. Жуков,
В.Е. Кирюхин, В.В. Левицанов, В.В. Приходько, В.В. Светухин,
А.А. Соболев, А.Н. Фомин*

РАДИАЦИОННО-СТОЙКИЙ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС URS-2

*Научно-исследовательский технологический институт им. С.П. Капицы
Ульяновского государственного университета, Ульяновск, vp@ulsu.tech*

*I.F. Guschin, A.N. Leschinskiy, A.G. Zarukin, A.V. Zhukov,
V.E. Kiryukhin, V.V. Levschanov, V.V. Prikhodko, V.V. Svetukhin,
A.A. Sobolev, A.N. Fomin*

RADIATION-RESISTANT ROBOTIC COMPLEX URS-2

*S.P. Kapitsa Research Institute of Technology of Ulyanovsk State University,
Ulyanovsk, vp@ulsu.tech*

Представлены результаты разработки радиационно-стойкого робототехнического комплекса (РТК) URS-2 для работы в радиационно-защитных камерах (РЗК). URS-2 является развитием идей и технологий, реализованных в первой версии РТК и представленной авторами ранее [1].

Робототехнический комплекс состоит из нескольких оригинальных элементов: роботизированная рука-манипулятор (рис. 1), устройство управления с силовой обратной связью, пульт управления, управляющее программное обеспечение, шкаф управления.

Манипулятор представляет собой роботизированную руку с 6-ю степенями свободы, обладающую следующими отличительными особенностями:

1. высокая устойчивость к ионизирующему излучению обеспечивается размещением электрических приводов в основании руки-манипулятора. Механическая передача вращательного движения от

блока приводов к волновым редукторам реализована посредством вложенных валов и конических передач;

2. с целью повышения надежности РТК электродвигатели продублированы пневмодвигателями внутри каждого быстросъемного блока приводов. Пневмодвигатель служит для перемещения робота-манипулятора в аварийном режиме при выходе из строя соответствующего электродвигателя;

3. размеры рабочей области: 1 м x 1 м x 1 м;

4. грузоподъемность: 15 кг;

5. возможные способы крепления манипулятора: напольное, настенное, потолочное;

6. наличие сменных захватов с креплением, позволяющим проводить замену в автоматическом режиме.



Рисунок 1 — Роботизированный манипулятор URS-2

Устройство управления (УУ) основано на схеме дельта-робота и представляет систему из трех линейных приводов, совмещенных между собой и расположенных под углом относительно горизонтальной плоскости. Каретки приводов соединены друг с другом при помощи тяг в одной опоре, что дает возможность перемещать эту опору в пространстве. На опоре располагается сфера со встроенной ручкой внутри для задания управляющих воздействий по перемещению в пространстве и изменению углового положения захвата РТК. Основные характеристики УУ:

1. количество степеней свободы: 6;

2. наличие обратной силомоментной связи;

3. размещение: напольное.

Пульт управления, кроме аппаратных органов управления, содержит сенсорный дисплей, который служит для отображения текущих параметров робота и его графической визуализации, а также для переключения режимов управления.

Программное обеспечение РТК имеет модульную структуру и содержит как оригинальные, так и современные свободно-распространяемые программные компоненты. В качестве базовых модулей связи с приводами, контроля и управления приводами, планирования траектории использованы пакеты SOEM (Simple Open EtherCAT Master) и ROS (Robotic Operating System). Интерфейс оператора реализован на Qt.

1. A.V. Zhukov, V.V. Prikhodko, V.V. Svetukhin, A.A. Sobolev, E.M. Chavkin, A.N. Fomin, P.E. Kapustin, V.E. Kiryukhin, V.V. Levshchanov. A robotic complex for hot cells and a training simulator // Proceedings of the 30th International Scientific and Technological Conference «Extreme Robotics», June 13-15, 2019, Saint-Petersburg, Russia, pp. 418-424.

С.В. Голубев, И.В. Поляков

**ПОДХОДЫ К ДЕМОНТАЖУ И ФРАГМЕНТАЦИИ
КОНСТРУКЦИЙ И ОБОРУДОВАНИЯ ПРИ ВЫВОДЕ ИЗ
ЭКСПЛУАТАЦИИ ОБЪЕКТОВ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ
АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ**

*АО «ОКБМ Африкантов», г. Нижний Новгород
golubevsv@okbm.nnov.ru, polyakoviv@okbm.nnov.ru*

S.V. Golubev, I.V. Polyakov

**APPROACHES TO THE DISMANTLING AND
FRAGMENTATION OF THE STRUCTURES AND EQUIPMENT
DURING DECOMMISSIONING OF NUCLEAR FACILITIES**

*JSC «Afrikantov OKBM», Nizhny Novgorod, Russia,
golubevsv@okbm.nnov.ru, polyakoviv@okbm.nnov.ru*

В настоящее время в России остановлено, но из эксплуатации не выведено 14 стационарных атомных реакторных установок и прогнозируется, что к 2030 г. будут остановлены еще 10. Большинство

действующих исследовательских реакторов эксплуатируются более 35-40 лет.

Проблемы вывода из эксплуатации российских установок требуют наискорейшего и всестороннего их рассмотрения, что необходимо для принятия взвешенных решений и их последующего отражения в национальной технической политике.

Исследовательский тяжеловодный реактор ОК-187 (ИТВР) находится на территории Федерального государственного бюджетного учреждения «Институт теоретической и экспериментальной физики имени А.И. Алиханова Национального исследовательского центра «Курчатовский институт»» (ИТЭФ) в густонаселенном районе города Москвы. В связи с этим наиболее приемлемым вариантом вывода из эксплуатации является вариант полного демонтажа оборудования ИТВР, включая бетонную защиту.

В 2018 году разработана рабочая документация по выводу из эксплуатации (в т.ч. технологические карты на демонтаж оборудования и конструкторская документация на нестандартное оборудование и оснастку). В настоящее время идет изготовление нестандартного оборудования и оснастки для демонтажа оборудования ИТВР.

Для снижения мощности дозы, получаемой персоналом, выполняющим работы, предусмотрено применение защитных костюмов, экранов, временной биологической защиты (свинцовых листов), при особо мощном уровне излучения предусмотрено применение специальных радиационно-стойких устройств (робототехники) для дистанционного демонтажа и фрагментации, специальных контейнеров для обращения с высокоактивными изделиями.

В качестве машины, позволяющей дистанционно выполнять радиационно-опасные работы, выбрана дистанционно-управляемая электрогидравлическая машина Brokk 110 с комплектом сменного навесного оборудования (ковши, грейферы, захваты, дисковые пилы и вакуумный захват и т.д.).

Для разрезки свинцового венца предполагается использовать машину дисковой резки Braun (Австрия). Данная машина, установленная на специальную раму, позволяет выполнять дистанционную фрагментацию свинцового венца.

Принятые решения и применяемые средства позволяют вывести из эксплуатации ИТВР с минимальными дозовыми нагрузками на персонал и окружающую среду.

Учитывая, что в АО «ОКБМ Африкантов» разработан комплект рабочей документации на демонтаж оборудования установки ОК-

187 (ИТВР ИТЭФ, г. Москва), рассматривались варианты использования принятых решений применительно к ВВЭР-210 и ВВЭР-365 (блоки 1 и 2 Нововоронежской АЭС, г. Нововоронеж).

Также АО «ОКБМ Африкантов» имеет опыт по выводу из эксплуатации судовых реакторных установок.

Ключевые проблемы вывода из эксплуатации объектов использования атомной энергии, как исследовательских реакторов, так и энергетических, обуславливают необходимость разработки и/или внедрения типового ряда отечественных специализированных технологий и технических средств, обеспечивающих выполнение демонтажа и фрагментации дистанционным образом, то есть с помощью специальной робототехники.

V.E. Pryanichnikov, M.D. Soloveva, R.B. Tarasov, V.V. Chernyshev
АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПЛАНЕТАРНО-
ЦЕВОЧНОГО РЕДУКТОРА ДЛЯ МАНИПУЛЯТОРА
СЕРВИСНОГО РОБОТА АМУР-307 И ШАГАЮЩЕГО
ПОДВОДНОГО АППАРАТА

*ФГУ «ФИЦ Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша Российской академии наук», Москва
ВолгГТУ, Волгоград, МГТУ «Станкин», Москва
v.e.pr@yandex.ru, masha_ru94@mail.ru*

V.E. Pryanichnikov, M.D. Soloveva, R.B. Tarasov, V.V. Chernyshev
ANALYSIS OF THE POSSIBILITY OF APPLICATION OF THE
CYCLOIDAL SPEED REDUCER FOR THE MANIPULATOR OF
THE AMUR-307 SERVICE ROBOT AND THE PASSING
UNDERWATER VEHICLE

*Keldysh Institute of Applied Mathematics Russian Academy of Sciences, Moscow, VolgSTU, Volgograd, MSTU «Stankin», Moscow, Russia,
v.e.pr@yandex.ru, masha_ru94@mail.ru*

Одним из самых важных элементов роботизированного устройства является преобразователь движения. Самым распространённым зацеплением, используемое с современных редукторах является эвольвентное. Это можно объяснить рядом факторов, таких как: простота изготовления зуборезного инструмента, наличие огромно-

го парка специального оборудования, унифицированная технология изготовления и контроля колес.

В последние годы широкое распространение получают редукторы на базе эксцентриково-циклоидального зацепления.

Эта тенденция объясняется сочетанием ряда преимуществ данного зацепления: компактностью, большой мощностью, надежностью.

Целью данной работы является анализ траектории эксцентриково-циклоидального зацепления для оценки возможности использования планетарно-цевочного редуктора в конструкции манипулятора сервисного робота АМУР-307 и шагающего подводного робота, использующего механизм Чебышева.

В работе представлено исследование траектории перемещения выходного звена эксцентриково-циклоидального зацепления с передаточным отношением 1:20.

Проведено исследование траектории перемещения выходного звена механизма Чебышева при использовании в качестве привода входного звена эксцентриково-циклоидальное зацепление. Относительная погрешность отклонения траектории перемещения конечной точки выходного звена механизма эксцентриково-циклоидального зацепления по сравнению с траекторией идеальной окружности находится в пределах нескольких процентов. Это позволяет применить такой редуктор с упрощенной схемой планетарно-цевочного механизма (ПЦМ) в подъемно-захватном устройстве мобильного сервисного робота Амур-307.

В заключении сделаны выводы о возможности применения механизма эксцентриково-циклоидального зацепления для манипулятора робота АМУР-307 и для шагающего подводного робота.

1. Кудрявцев В.Н. Планетарные передачи / В.Н. Кудрявцев. – Л.: Машиностроение, 1966. – 307 с.

2. Соловьева М.Д., Щепин В.Д. / Совершенствование технологического процесса изготовления планетарно-цевочных редукторов (ПЦР) с применением методов лезвийной обработки // Научному прогрессу – творчество молодых: материалы XI международной молодежной научной конференции по естественнонаучным и техническим дисциплинам (Йошкар-Ола, 22-23 апреля 2016 г.): в 4 ч. / редкол.: Д. В. Иванов [и др.]. – Йошкар-Ола: Поволжский государственный технологический университет, 2016. – Ч. 2. – 264 с.

3. Pryanichnikov V.E., Chernyshev V.V., Arykantsev V.V., Aryskin A.A., Eprikov S.R., Ksenzenko A.Ya., Petrakov M.S. (2018).

Enhancing the Functionality of the Groups of Autonomous Underwater Robots, Proceedings of the 29th DAAAM International Symposium, pp.1319-1325, B. Katalinic (Ed.), Published by DAAAM International, ISBN 978-3-902734-20-4, ISSN 1726-9679, Vienna, Austria DOI: 10.2507/29th.daaam.proceedings.190.

4. V.V. Chernyshev, V.V. Arykantsev, A.E. Gavrilov et al, Design and underwater tests of subsea walking hexapod MAK-1, in *Proc. of the ASME 2016 35th Int. Conf. on Ocean, Offshore and Arctic Engineering (OMAE 2016)*, (Busan, Korea, 2016).

Э.Ц. Галсанова, Я.В. Калинин, Т.А. Тарасова, И.А. Тарасова
**УСТОЙЧИВОСТЬ КУРСОВОГО ДВИЖЕНИЯ ШАГАЮЩЕГО
РОБОТА СО СДВОЕННЫМИ ОРТОГОНАЛЬНО-
ПОВОРОТНЫМИ ДВИЖИТЕЛЯМИ В ВЕДОМОМ РЕЖИМЕ**

*Волгоградский государственный технический университет, Волгоград,
jkv83@mail.ru*

E.Ts. Galsanova, Ya.V. Kalinin, T.A. Tarasova, I.A. Tarasova
**STABILITY OF THE COURSE MOVEMENT OF A STEPPING
ROBOT WITH DOUBLE ORTHOGONAL-TURNING MOVERS
IN A SLAVE MODE**

Volgograd State Technical University, Volgograd, Russia, jkv83@mail.ru

Важным и актуальным способом увеличения площади орошаемых земель является создание реконфигурируемых (изгибаемых) сочленённых дождевальных машин кругового действия, состоящих из звеньев (ферм), имеющих возможность относительного углового перемещения друг относительно друга. В таком случае необходимо построение системы управления программным движением тележек такой роботизированной дождевальной машины, которая обеспечивала бы устойчивость движения как в приводном, так и ведомом режимах движения тележки. Особенно эффективными предполагаются использование в качестве таких опорных тележек тележек на базе сдвоенных ортогонально-поворотных движителей, как, например, у шагающего робота "Ортоног" [1-3], что существенно расширяет возможности использования таких систем. При этом у тележки наблюдается два основных режима движения: основной приводной

и ведомый при обработке выравнивания ферм роботизированной дождевальная машины.

Предложена расчётная схема и математическая модель определения устойчивости программного движения ведомой тележки роботизированной шагающей дождевальная машины.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (19-41-340009).

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

2. Каляев, И.А. Модели и алгоритмы коллективного управления в группах роботов / И.А. Каляев, А.Р. Гайдук, С.Г. Капустян. – М.: Физматлит, 2009. – 280 с.

3. Об управлении адаптации ортогональных шагающих движителей к опорной поверхности / Брискин Е.С., Калинин Я.В., Малолетов А.В., Серов В.А., Устинов С.А. // Известия РАН. Теория и системы управления. 2017. №3. С. 184-190.

Я.В. Калинин

**ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ПОВЫШЕНИЯ
ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ШАГАЮЩИХ
РОБОТОВ ЗА СЧЁТ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ
ЭФФЕКТАМИ, СОПРОВОЖДАЮЩИМИ ИХ
ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ С ОПОРНОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ**

*Волгоградский государственный технический университет, Волгоград,
jkv83@mail.ru*

Ya.V. Kalinin

**RESEARCH OF METHODS FOR INCREASING ENERGY
EFFICIENCY OF WALKING ROBOTS BY OPTIMUM CONTROL
OF EFFECTS ACCOMPANYING THEIR INTERACTION WITH A
GROUND SURFACE**

Volgograd State Technical University, Volgograd, Russia, jkv83@mail.ru

Шагающие машины и роботы занимают особое место в классе транспортно-технологических комплексов в различных отраслях

современной техники. Это обусловлено, как невозможностью движения традиционных транспортных средств на значительной части земной поверхности (пески, лёссы, болота и др.), так и особыми свойствами шагающих машин и роботов, которые могут быть реализованы по отдельности и в совокупности: большей профильной проходимостью, меньшим разрушающим воздействием на грунт, реализацией повышенных тягово-сцепных свойств, принципиальной возможностью выбора мест постановки опор механизмов шагания при курсовом движении, возможностью поддержания заданного положения корпуса независимо от профиля опорной поверхности и др.

Разработка методов повышения энергетической эффективности движения шагающих машин и роботов, как за счёт уменьшения потерь энергии в приводах шагающих машин, в том числе за счёт оптимизации параметров механизмов шагания и трансмиссии, выбора режимов движения машины и шагающих движителей, оптимального с точки зрения энергетической эффективности управления физико-механическими эффектами, возникающими при движении шагающих машин.

Проведён анализ закономерностей потерь энергии в приводах шагающих машин с различными типами движителей.

Разработаны теоретико-механические модели для динамического и энергетического анализа работы привода при поступательном режиме движения шагающей машины с движителями, отрабатывающими цикловое движение, при действии различных внешних сил.

Определены оптимальные программные режимы движения шагающей машины с цикловыми движителями, обеспечивающих минимум потерь энергии в приводном двигателе при действии различных внешних сил.

Работа выполнена при поддержке РНФ (18-71-10069).

А.П. Федин, Я.В. Калинин, Е.А. Марчук
**ПАРАМЕТРИЗАЦИЯ YOULA – KUCERA В МОДЕЛИ
КОНТРОЛЛЕРА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТОРМОЗНЫХ УСИЛИЙ
КОЛЕСНОГО ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА**

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

A.P. Fedin, Ya.V. Kalinin, E.A. Marchuk
**YOULA – KUCERA PARAMETERIZATION IN THE MODEL OF
BRAKE FORCES DISTRIBUTING CONTROLLER OF WHEELED
VEHICLE**

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

В силу сложности процесса контролируемого торможения, его математическая модель, максимально приближенная к реальности, содержит существенные нелинейности. Поэтому процесс формализации и приведения задачи к типовому алгоритмическому виду может быть весьма непросто. Задачи оптимизации реальных нелинейных процессов в зависимости от вида формализации могут быть практически неразрешимы в силу крайне высоких или бесконечных размерностей, сложностей моделирования и вычислений. Однако, возможно приведение подобных моделей к виду задач выпуклой оптимизации с конечными размерностями. На первом этапе приведения достигается приведение к выпуклости задачи, в отношении контроллеров производится параметризация Youla – Kucera. На втором этапе достигается приведение к виду задачи с конечными размерностями. Известны эффективные алгоритмы, позволяющие решать задачи такого типа. С использованием обозначенного подхода задача может быть поставлена и решена как для SISO, так и для МИМО контроллеров. В настоящей работе предлагается к рассмотрению параметризация Youla – Kucera в процессе моделирования контроллера распределения тормозных усилий транспортного средства. Адекватность модели определяется посредством реализации в среде MATLAB Simulink.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (19-48-340016).

1. Kucera V. A Method to Teach the Parameterization of All Stabilizing Controllers. – 18th IFAC World Congress Milano (Italy), August 28 – September 2, 2011, pp. 6355-6360

2. Pommaret J.F., Quadrat A. Generalized Bezout Identity. – Applicable Algebra in Engineering, Communication and Computing, 1998, vol.9, pp. 91-116
3. Nesterov Yu. Introductory lectures on convex optimization: a basic course. – Springer, 2004, 236 p.
4. Reif K. Brakes, Brake Control and Driver Assistance Systems. BOSCH Professional Automotive Information. – Springer, 2014, 275 p.

И.И. Нестеров, Н.В. Мальгин, А.Б. Кутман, А.А. Торопков
ПРАКТИКА ПРИМЕНЕНИЯ БЕСПЛАТФОРМЕННЫХ
ИНЕРЦИАЛЬНЫХ НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ И
ГИРОСТАБИЛИЗИРОВАННЫХ ПЛАТФОРМ
ПРОИЗВОДСТВА ООО «ГИРОЛАБ» ДЛЯ ЭКСТРЕМАЛЬНОЙ
РОБОТОТЕХНИКИ. ПЕРСПЕКТИВНЫЕ РАЗРАБОТКИ

ООО «Гиролаб», г. Пермь, inbox@gyrolab.ru

I.I. Nesterov, N.V. Malgin, A.B. Kutman, A.A. Toropkov
APPLICATION EXPERIENCE OF STRAPDOWN INERTIAL
NAVIGATION SYSTEMS AND GYROSTABILIZED PLATFORMS
FOR EXTREME ROBOTICS PRODUCED BY GYROLAB LLC.
PERSPECTIVE ENGINEERING

Gyrolab LLC, Perm, inbox@gyrolab.ru

Приведен обзор достигнутых результатов и перспективных разработок ООО «Гиролаб» в области инерциальных навигационных систем (БИНС). Системы построены на базе МЭМС, волоконно-оптических и кольцевых лазерных гироскопов и предназначены для решения задач навигации, стабилизации, ориентации, контроля и диагностики объектов наземного / подземного, авиационного, морского/ подводного назначений.

БИНС прошли многократные испытания, в том числе на спецтехнике, включая ударные и вибрационные испытания с большими перегрузками, а также разработаны модификации с расширенным диапазоном температур от -60°C.

В результате осуществлённых исследовательских и опытно-конструкторских работ разработаны модели и алгоритмы измерения внешних магнитных полей (интегрирован модуль 3-х-осного магнитометра) и барометрического давления (интегрирован модуль

датчика барометрического давления), доработано встроенное ПО, опробованы методики калибровки новых элементов в составе БИНС, новые параметры введены в состав протокола информационного взаимодействия, а также состав интерфейсов прибора был дополнен интерфейсом Ethernet.

Приведится описание характеристик и возможностей в области разработки гиросtabilизированных платформ с применением бесколлекторных двигателей прямого привода, высокоточных датчиков угла поворота (энкодеров) и вращающихся контактов для полезных нагрузок до 100 кг.

Н.С. Филатов¹, Н.А. Мальцева², А.В. Бахшиев¹
**РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА НОШЕНИЯ
КАСОК С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГЛУБОКИХ НЕЙРОННЫХ
СЕТЕЙ С ВЫСОКИМ БЫСТРОДЕЙСТВИЕМ**

¹ЦНИИ РТК, Санкт-Петербург

*²Санкт-Петербургский Политехнический Университет Петра Великого,
Санкт-Петербург
n.filatov@rtc.ru*

N.S. Filatov¹, N.A. Maltseva², A.V. Bakhshiev¹
**DEVELOPMENT OF HARD HAT WEARING MONITORING
SYSTEM USING DEEP NEURAL NETWORKS WITH HIGH
INFERENCE SPEED**

*¹Russian State Scientific Center for Robotics and Technical Cybernetics,
St. Petersburg*

*²Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg
n.filatov@rtc.ru*

Соблюдение техники безопасности (ТБ) обязательно на любом предприятии. Строительные площадки и мастерские всегда представляют риск травм и несчастных случаев. Однако ношение средств индивидуальной защиты (СИЗ) может обеспечить безопасные условия труда и минимизировать последствия несчастных случаев. Поэтому любой работодатель должен контролировать соблюдение техники безопасности, чтобы обеспечить безопасность работников и поддерживать хорошую репутацию. Тем не менее, даже при регулярном мониторинге меры безопасности часто нарушают-

ся, работодатели не имеют возможности постоянно контролировать своих работников, особенно на круглосуточных предприятиях. Одним из способов эффективного контроля ношения средств индивидуальной защиты является использование системы компьютерного зрения. Эти системы способны работать непрерывно, исключая при этом любые человеческие факторы, такие как: усталость, невнимательность, болезни [1].

В данной работе автоматическая система обнаружения касок для повышения безопасности работников рассматривается как проблема обнаружения объектов. Недавние достижения в применении глубоких нейронных сетей в задачах компьютерного зрения указывают на преимущества глубокого обучения. Поскольку на строительных площадках часто необходимо контролировать несколько участков и обрабатывать информацию с нескольких камер, актуально экономить вычислительные ресурсы за счет использования небольших нейронных сетей, с высоким быстродействием.

Анализ литературы показал, что для самых разнообразных и сложных сцен глубокое обучение является единственным возможным способом обнаружения каски. Для экономии вычислительных ресурсов была применена нейросеть для обнаружения объектов SqueezeDet [2] с высоким быстродействием. Эксперименты проводились на составленном наборе данных из 1478 аннотированных изображений, показывающих несколько различных промышленных сцен. Для повышения точности разработанной системы был добавлен дополнительный этап классификации для некоторых объектов. Комбинированная система мониторинга ношения касок достигает показателей качества пригодных для повышения безопасности работников на контролируемых участках.

Работа проводилась в рамках выполнения государственного задания Минобрнауки России № 075-01195-20-00.

1. Fomin I. S., Bakhshiev A. V. Research on Convolutional Neural Network for Object Classification in Outdoor Video Surveillance System //International Conference on Neuroinformatics. – Springer, Cham, 2019. – С. 221-229.

2. Wu B. et al. Squeezedet: Unified, small, low power fully convolutional neural networks for real-time object detection for autonomous driving //Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops. – 2017. – С. 129-137.

М.И. Маленков¹, А.Т. Базилевский²
**ЛУНОХОД-1: ОТЕЧЕСТВЕННЫЙ ЗАДЕЛ - ДЛЯ СОЗДАНИЯ
РОБОПАРКА ЛУННОЙ БАЗЫ**

¹АО НТЦ «РОКАД», Санкт-Петербург, ²ГЕОХИ РАН, Москва,
m.i.malenkov@gmail.com

M.I. Malenkov¹, A.T. Basilevsky²
**LUNOKHOD-1: DOMESTIC EXPERIENCE - FOR CREATION
OF A LUNAR BASE ROBOPARK**

¹Science & Technological Center ROCAD, St. Petersburg, Russia
²Vernadsky Ins. of Geochemistry and Analytical Chemistry, RAS,
Moscow, Russia, *m.i.malenkov@gmail.com*

В 2020 году исполняется 50 лет с начала уникальных исследований Лунохода-1 в западной части Моря Дождей на Луне. 17 ноября 1970 года, впервые в мире, к следам землян - астронавтов экспедиций Аполло-11 и 12 добавилась колея передвижной автоматической лаборатории, созданной на Земле. Согласно [1], космический робот состоял из двух частей: самоходное шасси (СШ) и контейнер с аппаратурой и оборудованием (рис. 1) [2].

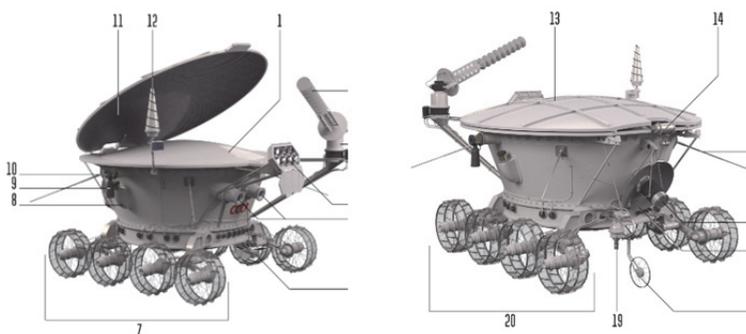


Рисунок 1 — Модель Лунохода-1:

1-контейнер, 2-остронаправленная Антенна (ОНА), 3-приводы ОНА,

4-углоковый отражатель, 5-навигац. камеры, 6-РИФМА, 7-правый борт СШ, 8-телефотометр гор. развертки, 9-датчик вертикали, 10-телефотометр вертикальной развертки, 11-панель солнечной батареей, 12 – малонаправ. антенна, 13 - крышка, 14- привод крышки, 15-штыревая антенна (4 шт),

16-блок обогрева, 17-экран, 18 - одомер, 19 - прибор оценки проходимости, 20 - левый борт СШ.

Многие учёные, специалисты и СМИ разных стран не без оснований трактовали лунные новости того времени, как огромное достижение СССР на сознательно выбранном стратегическом направлении – изучение Луны и других небесных тел с помощью не пилотируемых КА. Напомним, в этой связи, что 24.09.1970 космический аппарат (КА) Луна-16 впервые в мире доставил на Землю лунный грунт в автоматическом режиме. 15.12.1970, также впервые в мире, КА Венера-7 совершил мягкую посадку на Венеру. Два последних достижения остаются непревзойдёнными.

Несколько лет назад Роскосмос подтвердил прежние стратегические приоритеты, приняв решение продолжить, остановленную в 1974 году на Луне-24, советскую нумерацию российских лунных КА. Но Луна-25 пока не вышла на старт. Между тем, время настоятельно требует планировать лунные экспедиции с учётом интересов работ по созданию лунной базы. Непременным атрибутом такой базы неизбежно будет робопарк - парк мобильных роботов для поддержки деятельности человека в пределах базы и для организации дальних экспедиций.

Весьма перспективным для лунной базы считается район горы Mons Malapert, вблизи от Южного полюса. Здесь, в сравнительной близости друг от друга, имеются постоянно освещённые Солнцем площадки для организации энергетического кластера, жилой части базы и кратеры с постоянно затененным днищем с залежами водяного льда. Близость полюса и особенности светового режима в этих широтах допускают возможность дальних (более 500км) экспедиций для исследований по трассе и организации станций на обратной стороне Луны. Связь этих станций с мощными коммуникациями лунной базы может быть создана первыми экспедициями по оптическому кабелю, по радио релейной линии или через спутники связи.

Изучение топографии и геологических особенностей этого района позволило провести модельный анализ применимости СШ Лу-

нохода-1 и LRV [3]. Он показывает, что технические решения прошлого века, продолжают оставаться актуальными. Системный подход к проектированию и отработке, приоритеты надёжности, опорной и профильной проходимости, полноприводная схема трансмиссии, конструкция подвесок, колёсных движителей с жёстким сетчатым ободом (Луноход-1) и упругой сетчатой шиной (LRV) – эти и другие решения опередили время. Направления развития задела по созданию робопарка – повышение проходимости и подвижности в целом, увеличение ресурса и запаса хода, унификация по управлению и навесному оборудованию, возможность создания многозвенных поездов с переменной структурой.

1. Передвижная лаборатория на Луне Луноход-1. Ред. А.П. Виноградов// М.: Наука. 1971. 128 с.

2. Mikhail Malenkov. Self-propelled automatic chassis of Lunokhod-1: History of creation in episodes// Front. Mech. Eng. 2016, 11(1): pp. 60–86.

3. A.T. Basilevsky et. al. Potential Lunar base on Mons Malapert: Topographic, Geologic and Trafficability Considerations// Solar System Research, 2019, Vol. 53, No. 5, pp. 383–398.

В.Н. Курьянов¹, М.И. Маленков^{2,3}

**КООПЕРАЦИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ И ВУЗОВ ЛЕНИНГРАДА ПРИ
СОЗДАНИИ И ОБЕСПЕЧЕНИИ УСПЕШНОЙ
ЭКСПЛУАТАЦИИ «ЛУНОХОДА - 1» НА ЛУНЕ**

*¹Северо-Западная межрегиональная общественная организация Федерации космонавтики России, ²СПб отделение Российской академии космонавтики им. К.Э.Циолковского, ³АО НТЦ «РОКАД», Санкт-Петербург
kuvnik@yandex.ru, m.i.malenkov@gmail.com*

V.N. Kupriyanov¹, M.I. Malenkov^{2,3}

**COOPERATION OF LENINGRAD ENTERPRISES AND
UNIVERSITIES IN CREATING AND ENSURING SUCCESSFUL
OPERATION «LUNOKHOD – 1» ON THE MOON**

*¹North-West interregional public organization of Federation of cosmonautics of Russia, ²SPb branch of the Russian Academy of cosmonautics named after K.E. Tsiolkovsky, ³Science & Technological Center ROCAD, St.Petersburg, Russia
m.i.malenkov@gmail.com*

В основу настоящего доклада легли материалы, полученные авторами от непосредственных участников работ, а также личные воспоминания.

ОАО «ВНИИТрансмаш» (в то время ВНИИ-100) обеспечил создание и наземную отработку самоходного автоматического шасси (САШ) «Лунохода-1», включая прибор для исследования физико-механических свойств лунного грунта (ПрОП), а также участвовал в эксплуатации и проведении исследований на поверхности Луны. Заказчиками по этим работам в 1963-1965 годах являлась РКК «Энергия» им. С.П. Королева (в то время – ОКБ-1), а с октября 1965 - НПО им. С.А. Лавочкина (в то время - ОКБ-301 Завода им. С.А. Лавочкина). Лётные образцы САШ были поставлены в Химки летом 1968 г.

Главным конструктором САШ и прибора для исследования физико-механических свойств лунного грунта был лауреат Ленинской премии Александр Леонович Кемурджиан. Среди его соратников лауреаты Государственных премий СССР и УССР Павел Степанович Сологуб, Анатолий Фёдорович Соловьёв, Виктор Иванович Комиссаров, Валерий Васильевич Громов и Израиль Исидорович Розенцвейг. Успех был бы невозможен без поддержки работ директором ВНИИ-100 Василием Степановичем Старовойтовым в Министерстве оборонной промышленности, которому подчинялся ВНИИ-100 [1]. Важная составляющая успеха – всесоюзная научно-техническая кооперация ВНИИ-100, включая Ленинград [2].

В работе специалисты ВНИИ-100 консультировались по прогнозу свойств лунного грунта у Всеволода Васильевича Шаронова из СПб ГУ (в те годы - ЛГУ им. А.А. Жданова) [3]. При проектировании и отработке технологии изготовления, методов контроля зубчатых планетарных передач мотор-колес и при создании блока автоматики шасси (БАШ) конструкторы использовали расчётные методики и опыт БГТУ «Военмех» им. Д.Ф. Устинова. Завод «Красная заря» разработал и поставил ВНИИ-100 специальную релейную аппаратуру.

Для первых термовакуумных испытаний узлов самоходных шасси луноходов из-за отсутствия собственной экспериментальной базы были использованы стенды ГУП «ЦНИИМ» – СПб институт Ядерной Физики им. Б.П. Константинова (в то время - филиал Физтеха АН СССР), расположенного в г. Гатчина. Позже, при разработке термовакуумного оборудования, был использован опыт СПб ПУ Петра Великого (в те годы - ЛПИ). Для ходовой части самоходного шасси требовались абразивно стойкие покрытия, цен-

ные консультации по которым дали специалисты Технологического института им. Ленсовета. В части применения и технологии обработки новых, для того времени, конструкционных материалов и смазок разработчики ВНИИ-100 тесно сотрудничали с ЦНИИМ и консультировались со специалистами других ленинградских предприятий.

Каждое колесо имело электромотор, который через специальный редуктор передавал вращение от своего вала на ступицу колеса. Учитывая суровые условия на Луне – температура в лунный день на поверхности Луны достигала плюс 150 градусов Цельсия, а лунной ночью минус 150 градусов Цельсия, а также отсутствие атмосферы, не исключались вероятности «заклинивания» двигателя или редуктора. Для страховки было необходимо обеспечить возможность разрыва механической связи между валом редуктора и колесом. Для этого разработали пиротехническую разблокировку – с помощью малого взрыва разрывали этот вал по специально ослабленному сечению. Во ВНИИ-100 эту работу поручили Анатолию Владимировичу Мицкевичу. Он вышел на ФГУП НИИ «Поиск» (в то время НИИ-22). Здесь эту работу выполняла группа ведущего инженера Криулина Юрия Сергеевича из сектора Алифанова Михаила Александровича. Было найдено решение: семнадцать сегментов образовывали кольцо, заключенное в оболочку из специальной марки титана. Миниатюрное взрывное устройство, имело массу 200 граммов, из которых на взрывчатое вещество приходилось не более 5 граммов. Для обеспечения отстрела любого из восьми колес Виноградовым Юрием Николаевичем был разработан электронно-механический блок управления, размещаемый в БАШ. По проводам сигнал от него передавался на миниатюрные взрыватели. Многократное резервирование обеспечило надежность на уровне 0,99.

Разработка и испытание этого узла, защищенного авторским свидетельством, проводились полностью в НИИ-22, испытания в составе мотор-колеса – во ВНИИ-100. Особую трудность вызвал выбор взрывчатого вещества, которое по техническому заданию должно было выдержать трехкратное изменение температуры от плюс 250 до минус 150 градусов Цельсия. Все известные составы либо разрушались при высокой температуре, либо теряли свои свойства после охлаждения. Группа специалистов под началом Тумаркина Фала Борисовича из ЛЕНИИХП (Ленинградский институт химической промышленности) предложила взрывчатое вещество, удовлетворяющее всем «лунным» условиям. [4]

В изготовлении опытных образцов прибора для исследования физико-механических свойств лунного грунта участвовало ОАО «ЛОМО». Для дистанционного управления движением первых ходовых макетов лунохода использовались бортовые телевизионные камеры ОАО «НИИ Телевидения», в то время им руководил Игорь Александрович Росселевич. В дальнейшем разработку системы технического зрения Лунохода-1 передали в Москву. Однако в телефотометрах были использованы ленинградские фотоэлектронные умножители ФЭУ-96 (гл. конструктор Георгий Сергеевич Вильдгрубе, ответственный исполнитель Наталья Витальевна Дунаевская), а в телекамерах - видиконы с памятью типа ЛИ414 (гл. конструктор Александр Григорьевич Лапук). Благодаря особому фоточувствительному слою этот видикон позволял экспонированное в сотые доли секунды изображение передавать в течение десятков секунд в узкой полосе частот. По данным специалистов ЦНИИ «Электрон», четкость изображения составляла 500-600 телевизионных линий [5].

В организации первого закрытого грунтового канала для ходовых испытаний макетов помогли специалисты ОАО «ВНИТИ», который, по просьбе С.П. Королёва, предоставил ВНИИ-100 помещение во строящемся новом корпусе в Горелово, по соседству с ВНИИ-100.

Помимо создания САШ Лунохода-1, в Ленинграде были созданы научная аппаратура и компоненты бортового оборудования Лунохода-1 и станции Луна-17 в кооперации с ОКБ-301. Так, в Физико-Техническом Институте им. А.Ф. Иоффе. АН СССР в астрофизическом отделе, основанном по инициативе академика Бориса Павловича Константинова, разрабатывался прибор для изучения химического состава лунного грунта при движении по маршруту. Под руководством Кочарова Гранта Егоровича была создана и изготовлена аппаратура «РИФМА» (рентгеновский изотопный флуоресцентный метод анализа) для проведения исследований химического состава лунного грунта. Основным исполнителем этой работы был Виктор Васильевич, в его группу входили Георгий Васильевич Кирьян, Валентин Васильевич Петров, радиомеханик Олег Мефодьевич Воропаев, позже к ним присоединились Валерий Сакульский и Антонина Дзевановская [6].

Для энергообеспечения главным разработчиком были использованы самые лучшие кадмиево – цинковые аккумуляторы, которые в то время могли сделать в нашей стране. Их производили в

ленинградском НПО «Источник». На борту Лунохода-1 они работали в буферном режиме.

В ГНЦ «ЦНИИ РТК» (в то время ОКБ ТК – Особое конструкторское бюро технической кибернетики, основатель и главный конструктор Евгений Иванович Юревич) была создана система «Квант» для управления двигателями мягкой посадки автоматических станций серии «Луна». А опоры посадочных блоков этих станции, использующие принцип гашения удара за счет деформации, изготавливались ГУП «КБ «Арсенал» им. М.В. Фрунзе». Детекторы СРПО-30 для коллиматорного рентгеновского телескопа РТ-1 разработали и изготовили в НПО «Буревестник» (СКБ РА), руководителем работ был Дмитрий Алексеевич Гоганов. Рецептуры ракетного топлива для ракет-носителей и двигателей мягкой посадки станции «Луна-17» отрабатывались в ГНЦ РФ «Прикладная Химия». Проектирование и надзор за строительством специализированных инженерных и лабораторно-производственных корпусов предприятий, привлеченных к реализации советской лунной программы, выполнялось ОАО «Трансмашпроект».

Необходимо отметить огромную роль вузов Ленинграда, подготовивших специалистов высокой квалификации для создания и эксплуатации первенца мобильной космической робототехники. Особая роль здесь принадлежит выпускникам ЛПИ, которые вместе с выпускниками московского МГТУ им. Н.Э. Баумана, составили костяк коллектива разработчиков Лунохода-1. В работах участвовали также выпускники БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова, СПб гос. электротехнического университета «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)), Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского, СПбГУ и других вузов Ленинграда.

В докладе приведена также информация, свидетельствующая о том, что С.П. Королев впервые обратился к танкистам с предложением разработать луноход не в 1963, как это считалось ранее, а еще в 1960 г. Об этом одному из авторов рассказал зам. главного конструктора ОАО «Кировский завод» А.К. Дзявго, в то время ученый секретарь технического совета танкового КБ Кировского завода. Он лично работал с письменным обращением С.П. Королева к выдающемуся танкостроителю Ж.Я. Котину, руководившему КБ. В обращении были изложены основные технические требования к новому аппарату. Однако, после предварительной проработки проекта, КБ от этой работы отказалось.

1. Куприянов В.Н. Первые шаги лунохода, Новости космонавтики, т. 11, №1 (216), 2001, с. 68-69
2. Кемурджиан А.Л. Луноходу 30 лет. // А.Л. Кемурджиан. Учёный, гражданин, человек. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2013. – С. 63-77.
3. Куприянов В.Н. От лунохода до марсохода, встреча с Главным конструктором самоходного шасси луноходов, Л., «Ленинградская правда», субботний выпуск, 1991, 09 февраля, №33-34 (23075-23076)
4. Маленков М.И., Криулин Ю.С., Куприянов В.Н. Об истории создания устройства разблокировки мотор-колес «Лунохода-1» и «Лунохода-2». XIII Международный симпозиум по истории авиации и космонавтики. Тезисы докладов. Москва, ИИЕТ РАН, 2001, с. 130-132.
5. 50 лет Центральному научно-исследовательскому институту «Электрон», юбилейное издание, Санкт-Петербург, 2006, 140 с.
6. Викторов С.В. Советские Луноходы – сорок лет спустя (Пласты памяти), Планетоходы, космическая робототехника и наземные роверы. Материалы VII международной конференции 28 – 29.09.2010. Санкт-Петербург, Ленэкспо, с. 30-35

Е.В. Власенков

**АНАЛИЗ ИОНИЗАЦИОННЫХ И НЕИОНИЗАЦИОННЫХ
ЭФФЕКТОВ В БОРТОВОЙ АППАРАТУРЕ ЛУНОХОДА С
УЧЕТОМ ВЛИЯНИЯ БОРТОВЫХ РАДИОИЗОТОПНЫХ
ИСТОЧНИКОВ ТЕПЛА**

АО «НПО им. С.А. Лавочкина», г. Химки, Московская обл., veb@laspace.ru

E.V. Vlasenkov

**ANALYSIS OF IONIZING AND NON-IONIZING EFFECTS IN
ON-BOARD EQUIPMENT OF THE MOON ROVER TAKING
INTO ACCOUNT THE INFLUENCE OF ON-BOARD
RADIOISOTOPE HEAT UNITS**

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

В докладе рассматривается дозовое воздействие на бортовую аппаратуру (БА) перспективного лунохода ионизирующего излучения космического пространства (ИИ КП) и радиоизотопных ис-

точников, предназначенных для обеспечения теплового режима бортовой аппаратуры в условиях лунной ночи. Результаты расчетов позволяют определить требования к стойкости комплектующих, а также возможность использования технического задела существующих лунных миссий.

Миссии по исследованию Луны, указанные в проекте Федеральной космической программы, в ближайшие несколько лет будут сосредоточены на южной полярной области естественного спутника. В настоящее время приоритетными местами посадки будущих миссий являются места, с относительно ровным рельефом поверхности, обогащенные водородом. Данные перспективные районы исследований характеризуется полным отсутствием прямого солнечного света – лунной ночью, наступающей один раз в синодический месяц и длящейся немногим более 14 суток. В условиях лунной ночи температура поверхности может опускаться до температуры минус 190 °С. При таких низких температурах важной инженерной задачей является обеспечение БА тепловой энергией, что достигается установкой на корпусе лунохода тринадцати радиоизотопных источников тепла.

При разработке БА для лунохода, а также при использовании уже созданной БА требует еще на ранних стадиях проектирования однозначно определить, соответствует ли тот или иной прибор радиационным условиям функционирования лунохода. А именно, имеет ли БА необходимую стойкость к ионизационным и неионизационным эффектам с учетом воздействия ИИ КП, а также потоков нейтронов и электромагнитного излучения от радиоизотопных источников.

В докладе показана методология создания расчетной 3D-модели лунохода, приведены результаты расчета локальных поглощенных доз в местах расположения БА лунохода от радиоизотопных источников и космического пространства, а также определены требования к минимальным уровням стойкости БА.

А.И. Быков, А.В. Артемьев
ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДИКИ НАТУРНО-ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ ХОДОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПЛАНЕТОХОДА

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

A.I. Bykov, A.V. Artemev
SUBSTANTIATION OF NATURAL-IMITATION MODELING METHODS APPLICATION FOR ESTIMATION OF A PLANETARY ROVERS' DRIVING CHARACTERISTICS

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

Наземная экспериментальная отработка планетоходов на данный момент включает в себя широкий спектр методик [1]. При разработке «Лунохода-1,-2» были сформированы основы научно-методологического подхода к проведению испытаний планетоходов [2]. Успешные научно-исследовательские миссии луноходов, разработанных НПО Лавочкина совместно с ВНИИТрансмаш, показывают не только корректность конструкторских решений, но и эффективность наземных испытаний. Современные технологические возможности могут позволить усовершенствовать методики, которые использовались при наземных испытаниях «Лунохода-1,-2», и повысить полноту и достоверность оценки эксплуатационных характеристик планетохода.

При оценке работоспособности планетохода на поверхности космического объекта наиболее важными характеристиками являются проходимость, маневренность и устойчивость [3]. Повышение полноты и достоверности оценки данных характеристик при наземной экспериментальной отработке позволит проверить правильность конструкторских решений, провести апробацию системы управления, а так же дать оценку возможным нештатным ситуациям.

Провести наиболее полную и достоверную оценку ходовых характеристик планетохода можно путем моделирования гравитационного воздействия космического объекта, соответствующего научным исследованиям. В книге [2], для имитации лунного гравитационного воздействия на макетные образцы, рассматриваются следующие подходы: масштабное моделирование, моделирование с использованием динамически подобных макетов и моделирование

с использованием частично-подобных макетов. Масштабное моделирование показало свою эффективность при определении тягово-сцепных свойств колесного движителя, но сложности в технической реализации соотношения весов подрессоренной и подрессоренной части планетоходов не позволили исключить использование специального технологического оборудования для обезвешивания макетных образцов[2].

Для исключения из испытаний процесса обезвешивания предлагается использовать методику натурно-имитационного моделирования при оценке ходовых характеристик планетохода. Данная методика заключается в комбинировании результатов оценки ходовых характеристик колесного движителя путем масштабного моделирования и компьютерном моделировании движения планетохода, с целью оценки устойчивости и маневренности. Возможность использования результатов оценки тягово-сцепных свойств одного колесного движителя в качестве исходных данных для моделирования движения планетохода по слабосвязанному грунту показано в работе [4]. Но стоит отметить, что использование масштабной модели колесного движителя повысит достоверность компьютерного моделирования. Так же необходимо добавить, что теория транспортного машиностроения включает в себя обширный математический аппарат для расчета устойчивости и маневренности транспортных средств [5][6], который дает возможность провести комплексное моделирование движения планетохода.

Исходя из вышеизложенного, можно сделать вывод, что натурно-имитационное моделирование позволит дать достоверную оценку эксплуатационных характеристик планетохода на ранних этапах проектирования.

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

2. Кемурджиан А.Л., Громов В.В., Кажукало И.Ф. и др. Планетоходы//М.: Машиностроение , 1993. – 400 с.

3. Маленков М.И. Основы проектирования и отработки транспортных и ориентирующих робототехнических систем космического назначения: Автореферат диссертации на соискание ученой степени д-ра техн. наук в виде науч. докл.: 05.02.05 [Электронный ресурс]. – Национальная электронная библиотека. – URL: [https://rusneb.ru/catalog/000219_000026_RU_ГПНТБ+России_IBIS_000070796/\(10.08.2020\)](https://rusneb.ru/catalog/000219_000026_RU_ГПНТБ+России_IBIS_000070796/(10.08.2020)).

4. L. Zhengca, W. Yang Robust Adaptive Fuzzy Control for Planetary Rovers While Climbing up Deformable Slopes with Longitudinal Slip // Hindawi Publishing Corporation Advances in Aerospace Engineering Volume 2014, Article ID 620890, 10 pages.

5. Литвинов А.С. Управляемость и устойчивость автомобиля. М.: Машиностроение, 1971, 416 с.

6. Вахламов В.К. Автомобили : эксплуатационные свойства : учебник для студ. высш. учеб. заведений / В.К. Вахламов. – 2-е изд., стер. – М.: Издательский центр «Академия», 2006. – 240 с.

*М.В. Михайлюк¹, Б.И. Крючков², В.М. Усов²,
А.А. Алтунин², П.П. Долгов²*

**ВИРТУАЛЬНОЕ ПРОТОТИПИРОВАНИЕ УСТРОЙСТВ ДЛЯ
ПОВЫШЕНИЯ МОБИЛЬНОСТИ КОСМОНАВТОВ ПРИ
ВЫХОДЕ В ОТКРЫТЫЙ КОСМОС**

*¹ФГУ ФГЦ «НИИСИ РАН», Москва, ²ФГБУ «НИИ ЦПК
им. Ю.А. Гагарина, Звездный городок Московская обл.
mix@niisi.ras.ru, V.Usov@gctc.ru*

*M.V. Mikhailyuk¹, B.I. Kryuchkov², V.M. Usov²,
A.A. Altunin², P.P. Dolgov²*

**VIRTUAL PROTOTYPING OF DEVICES FOR INCREASING
THE MOBILITY OF COSMONAUTS DURING SPACEWALKS**

*¹Federal State Institution «Scientific Research Institute for System Analysis of
the Russian Academy of Sciences» - SRISA, Moscow,*

*²Federal State Budgetary Organization «Gagarin Research&Test Cosmonaut
Training Center», Star city of the Moscow region, Russia mix@niisi.ras.ru,
V.Usov@gctc.ru,*

Одним из значимых направлений экстремальной робототехники в пилотируемых космических полетах является повышение мобильности и безопасности космонавта, одетого в скафандр. Такие решения предложены для перемещения космонавтов по поверхности Луны. В качестве мобильного робота правомерно рассматривать и такое изделие, как реактивный ранец (РР) космонавта для перемещений в открытом космосе во время внекорабельной деятельности (ВнеКД) экипажа.

В этом случае потребуется придать РР новые эксплуатационные характеристики, которые необходимо проверять в эргономических испытаниях и экспериментах. При разработке требований к перспективным образцам РР и при эргономическом проектировании необходимо принимать во внимание тот факт, что проведение натуральных испытаний РР до этапа виртуального прототипирования на моделирующем стенде может оказаться не только дорогостоящим и более трудоемким, но также потребовать исключительных мер обеспечения безопасности испытателей [1,2]. Что касается истории вопроса, то основное назначение существующего РР на американском сегменте (АС) МКС «упрощенного устройства помощи для спасения во время ВнеКД» (*англ.*: Simplified Aid For EVA Rescue – SAFER) состоит в безопасном возвращении космонавта из открытого космоса на борт МКС. Однако в будущем перемещение и навигация в открытом космосе с помощью РР потребуют расширенного набора его эксплуатационных характеристик РР с учетом разнообразных объектов инспекции и наблюдения (включая астероиды, искусственные спутники Земли и др.). Данное направление экстремальной робототехники является актуальным и привлекает внимание исследователей в русле долгосрочных целей исследования космоса с поддержкой экипажа роботами в ходе ВнеКД [1]. В качестве объекта прототипирования в работе рассматривается РР, который в зависимости от целевого назначения должен проектироваться в вариантах как пилотируемого, так и беспилотного аппарата, управляемого космонавтом в ручном режиме или дистанционно.

Методы человеко-машинного интерфейса и бортового оборудования РР (измерительные приборы, датчики, приборы наведения и навигации и др.) будет зависеть от базовой конструкции РР и ее области применения. В работе рассматривается реализация метода виртуального прототипирования с помощью разработанной в НИИСИ РАН системы виртуального окружения (СВО) VirSim. С учетом перспектив использования РР сформулированы новые требования к взаимодействию в системе «космонавт-робот» на основе многомодальных интерфейсов [4]. Бесконтактный метод управления РР в данном случае должен помочь преодолеть трудности выполнения космонавтом во время ВнеКД тонких манипуляций в перчатках при ношении скафандра. Для отработки управления РР в составе СВО необходимо было предусмотреть ряд компонентов, спецификация и взаимодействие которых раскрывается в работе. В частности, выполнен дизайн и проектирование 3D моделей МКС, скафандра и РР, модель тела человека в скафандре, система управ-

ления реактивными двигателями от задающих реальных и виртуальных оконечных устройств управления, расчётные алгоритмы и программы реализации динамики полета РР. При использовании носимых устройств ВР оператор может задавать управление движением РР с помощью джойстика или дистанционным способом (на основе речевых команд), то есть, отработаны модели построения интерфейсов «космонавт-робот». При разработке виртуального прототипа РР анализировались отечественные и зарубежные разработки-аналоги. Для управления РР предложено два вида многоомального интерфейса «космонавт-робот».

1. Malik Sadath, Lin Jun, Goldenberg A. A. Virtual Prototyping for Conceptual Design of a Tracked Mobile Robot. // Conference: Electrical and Computer Engineering, 2006. CCECE '06. Canadian Conference. DOI: 10.1109/CCECE.2006.277740.

2. Kim BaekGyu, Kashiba Yusuke, Dai Siyuan, Shiraiishi Shinichi. Testing Autonomous Vehicle Software in the Virtual Prototyping Environment. // IEEE Embedded Systems Letters. 2016. PP.1-1. Doi:10.1109/LES.2016.2644619.

3. Zumbado, J.R., Curiel, P.H., Schreiner, Samuel. Hands-Free Control Interfaces for an Extra Vehicular Jetpack. // IEEE Aerospace Conference Proceedings. 2013. pp.1-11. Doi:10.1109/AERO.2013.6497138.

4. Kryuchkov B.I., Karpov A.A., Usov V.M. (2014). Promising Approaches for the Use of Service Robots in the Domain of Manned Space Exploration. // SPIRAS Proceedings. No 1(32). pp.125-151. Doi:10.15622/sp.32.9.

С.А. Матвеев, Е.Б. Коротков, Ю.А. Жуков, М.И. Надежин
**СРАВНЕНИЕ МЕТОДОВ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА
В ЗАДАЧАХ ДИАГНОСТИКИ ЭЛЕКТРОПРИВОДА**

*Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ»
им. Д.Ф. Устинова, Санкт-Петербург,
mikhailn131@gmail.com*

В Балтийском государственном техническом университете «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова и АО «ИСС» им. академика М.Ф. Решетнева ведется совместный проект «Создание высокотехноло-

гичного импортозамещающего производства высокоресурсных элементов систем исполнительной автоматики транспортной и авиационно-космической техники, обеспечивающей освоение и использование Мирового Океана, Арктики и Антарктики» при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (соглашение № 075-11-2019-077 от 13.12.2019) в соответствии с постановлением Правительства РФ от 09.04.2010 № 218.

Объектом исследования является электронасосный агрегат (ЭНА) системы терморегулирования космического аппарата, представляющий собой систему, состоящую из исполнительного блока (центробежного насоса с исполнительным двигателем) и блока управления.

Такие агрегаты, как ЭНА, должны отличаться высокой надежностью и вероятностью безотказной работы. Одним из способов обеспечения требуемых показателей надежности является диагностика приводного трехфазного вентильного двигателя.

Среди отказов и дефектов вентильных двигателей широкое распространение имеют неисправности электромагнитного характера [1]. Примерами таких неисправностей могут быть межфазные и межвитковые замыкания обмоток статора и размагничивание ротора двигателя, неисправности силовой электроники блока управления.

При широком наборе современных методов диагностики вышеперечисленных неисправностей особый интерес представляют методы искусственного интеллекта (ИИ). Выбор был остановлен на следующих из них:

1. Метод ансамбля ближайших соседей.
2. Применение двухслойной искусственной нейронной сети прямого распространения.
3. Применение Long short-term memory (LSTM) сети.

В качестве диагностических параметров использовались фазные токи, напряжения и вектор эквивалентного тока I_q [2].

С целью получения достоверных статистических данных были проведены испытания лабораторного образца электродвигателя, аналогичного по характеристикам тем, что применяются в ЭНА, на специально разработанном стендовом оборудовании.

Список проведенных опытов на стендовом оборудовании:

- межвитковые замыкания в одной фазе;
- межвитковые замыкания в двух фазах;
- обрыв фазы;

- увеличение сопротивления одной фазы;
- увеличение сопротивления двух фаз.

Обучающая и тестовая выборки созданы на основе исследования [3] по следующим наборам данных: куртозис и среднеквадратичное значение (СКЗ) фазных токов и напряжений, общего тока потребления, СКЗ спектра I_q и амплитуды пиков на характерных частотах спектра I_q . Эти параметры оказались наиболее чувствительными к изменениям в электрической части двигателя.

В результате все 3 метода показали одинаковую точность, но разное быстродействие и затраты временных и вычислительных ресурсов. Наиболее предпочтительным методом для применения в задаче диагностики электродвигателя являются классические алгоритмы машинного обучения, такие как метод ансамбля ближайших соседей, ввиду низких временных и ресурсных затрат при высокой точности классификации.

1. Peeters C., Guillaume P., Helsen J. A comparison of cepstral editing methods as signal pre-processing techniques for vibration-based bearing fault detection // *Mechanical Systems and Signal Processing*, No. 91, 2017. pp. 354-381.

2. Е.Б. Коротков, Н.С. Слободзян, О.В. Широбоков, А.А. Киселев, М.И. Надежин Наземная система комплексной диагностики электромеханических устройств космических аппаратов // *Радио-промышленность*. 2019. Т. 29, № 4. С. 54–62.

3. Barbieri, Federico & Hines, J. & Sharp, Michael & Venturini, M., Sensor-based degradation prediction and prognostics for remaining useful life estimation: Validation on experimental data of electric motors. *International Journal of Prognostics and Health Management* 6 (2015), pp. 1-20.

Е.Б. Коротков, Н.С. Слободзян
УПРАВЛЕНИЕ ЛИНЕЙНЫМ ПРИВОДОМ
МЕХАНИЗМА С ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ КИНЕМАТИКОЙ

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

Е.В. Korotkov, N.S. Slobodzian
LINEAR DRIVE CONTROL OF THE PARALLEL KINEMATICS
MECHANISM

*Baltic State Technical University «VOENMEH», Saint-Petersburg, Russia,
ebkorotkov@yandex.ru, ja-nikita@mail.ru*

К современным исполнительным мехатронным и робототехническим системам с параллельной кинематикой предъявляются высокие требования по точности позиционирования и ориентации, а также по создаваемым на объекте управления и несущей платформе динамическим возмущениям. Особенно актуальны указанные требования при управлении крупногабаритной чувствительной нагрузкой космического назначения, например, для задач позиционирования и ориентации криогенного телескопа орбитальной астрофизической обсерватории «Миллиметрон» [1].

При управлении положением и ориентацией объекта, расположенного на подвижной платформе гексапода, выполняется решение обратной задачи кинематики, когда по шести заданным пространственным координатам подвижной платформы вычисляются шесть линейных координат приводов.

Конечная точность гексапода зависит в большей степени от точности линейных приводов. Наибольшее влияние на точность перемещения штока линейного привода при постоянной статической нагрузке оказывают собственные характеристики механической передачи (связанные с погрешностями ее изготовления), а также изменение температуры и связанное с этим линейное тепловое расширение линейного привода и его отдельных элементов [2]. Результаты проведенных исследований позволяют рекомендовать к применению методику предварительной калибровки линейного привода и учета его температуры в целях повышения точности гексапода [3].

При управлении крупногабаритной чувствительной нагрузкой необходимо ограничивать развиваемые ускорения, скорости и другие динамические параметры движения. Такая задача может быть

решена применением специальных алгоритмов планирования траектории при управлении объектом.

Предлагается способ управления двигателем линейного привода позволяющий обеспечить высокую точность механизма с параллельной кинематикой, а также ограничить динамические возмущения, воздействующие со стороны мехатронного устройства на объект наведения и несущую платформу.

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. Слободзян Н.С. Оценка точности разомкнутого линейного привода, достижимой методом калибровки и компенсации линейного теплового расширения // Радиопромышленность. 2019. № 2. С. 54–61.

3. Slobodzyan N.S. Methods of improving hexapod' linear actuators accuracy in space application // Extreme Robotics, 2019, vol. 1, no 1, pp. 373–381.

*Е.Б. Коротков, С.А. Матвеев, Н.С. Слободзян,
Ю.А. Жуков, А.А. Киселев*

**КОМПЕНСАЦИЯ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ОШИБОК
МЕХАНИЗМА С ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ КИНЕМАТИКОЙ
КОСМИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

*Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ»
им. Д.Ф. Устинова, Санкт-Петербург,
ebkorotkov@yandex.ru, stas_matveev@mail.ru,
ja-nikita@mail.ru, zhkv@rambler.ru, kis.lecha@yandex.ru*

*Е.В. Korotkov, S.A. Matveev, N.S. Slobodzian,
Yu.A. Zhukov, A.A. Kiselev*

**TEMPERATURE ERRORS COMPENSATION ON THE SPACE
PURPOSE PARALLEL KINEMATICS MECHANISM**

*Baltic State Technical University «VOENMEH», Saint-Petersburg, Russia,
ebkorotkov@yandex.ru, stas_matveev@mail.ru,
ja-nikita@mail.ru, zhkv@rambler.ru, kis.lecha@yandex.ru*

Механизмы с параллельной кинематикой (МПК) всё чаще применяются для наведения, стабилизации и ориентации бортовой аппаратуры в информационных спутниковых системах. МПК обладают высокими жёсткостью конструкции, точностью позиционирования и надёжностью[1].

Одним из примеров МПК является гексапод, разработанный в БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова совместно с АО «ИСС» им. М.Ф. Решетнёва. Он состоит из платформы и неподвижного основания, шарнирно соединённых между собой шестью линейными приводами, называемыми «ногами». При изменении длин «ног» происходит перемещение платформы по шести координатам свободы.

Для качественного управления платформой необходимо применение системы управления с обратными связями по положению. Однако организация обратной связи практически невозможна из-за ограниченной номенклатуры датчиков необходимой точности, рассчитанных на применение в жестких космических условиях при широком диапазоне температур. Из-за чего возникает необходимость разомкнутого управления с компенсациями различных погрешностей.

Существенное влияние на точность позиционирования гексапода оказывает температурная погрешность, вызванная изменением размеров МПК при нагреве или охлаждении. Температурную компенсацию можно разбить на две задачи: отдельно рассматривать линейные приводы и отдельно – платформу и основание гексапода.

Вопрос компенсации ошибок приводов (в том числе температурных) был рассмотрен в [2]. Приводы гексапода как исполнительные элементы являются основным источником ошибок позиционирования, однако для прецизионного управления механизмом в целом необходимо учитывать также ошибки, возникающие при температурном расширении, и в других элементах его конструкции.

В том случае, если ошибки приводов гексапода скомпенсированы и приводы обрабатывают линейное перемещение независимо от температуры, нагрев (охлаждение) платформы или основания гексапода приводит к смещению координат центров крепления шарниров, от положения которых зависят кинематические перемещения платформы.

По результатам конечно-элементного моделирования конструкции гексапода выявлено, что при равномерном нагреве плоскости платформы изменение координат центров шарниров происходит

линейно вдоль прямых, соединяющих их с центром платформы. Аналогично изменяются координаты шарниров, расположенных в основании гексапода.

Изменение высоты гексапода (длины нормали от подвижной платформы к основанию) так же происходит линейно и содержит две составляющие: изменение толщины платформы (основания) и высоты присоединённых к ним частей шарниров, так как они выполнены из разного материала.

В случае равномерного прогрева элементов гексапода компенсация тепловых ошибок платформы и основания осуществляется по измерениям температуры расчётом через коэффициенты линейного теплового расширения изменений параметров задач кинематики гексапода.

Для компенсации неравномерного прогрева элементов конструкции необходимо использовать матрицу датчиков температуры для построения температурных полей, задаваемых в качестве исходных данных в конечно-элементную модель.

Результаты моделирования позволяют определить количество датчиков, необходимых для формирования температурных полей, а также компенсационные поправки в решении задач кинематики гексапода.

В результате настоящих исследований предложен способ компенсации температурных погрешностей при равномерном прогреве гексапода, подходящий и для МПК других видов (например, триподов), а также создан задел для компенсации неравномерного прогрева данных механизмов.

1. Жуков Ю. А., Коротков Е. Б., Мороз А. В. Кинематическое управление гексаподом космического назначения // Интеллектуальные системы, управление и мехатроника – 2018: материалы Всероссийской научно-технической конференции. 2018. С. 67–71.

2. Слободзян Н.С. Оценка точности разомкнутого линейного привода, достижимой методом калибровки и компенсации линейного теплового расширения // Радиопромышленность. 2019. № 2. С. 54–61.

Д.В. Васильков, Е.Б. Коротков, Н.С. Слободзян, О.В. Ширококов
ДИАГНОСТИКА МЕХАНИЧЕСКИХ НЕИСПРАВНОСТЕЙ
ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ КОСМИЧЕСКИХ СИСТЕМ

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

D.V. Vasilkov, E.B. Korotkov, N.S. Slobodzyan, O.V. Shirobokov
MECHANICAL FAULT DIAGNOSTICS SPACE APPLICATIONS
MOTORS

Baltic State Technical University «VOENMEH», Saint-Petersburg, Russia,
vasilkovdv@yandex.ru, ebkorotkov@yandex.ru, ja-nikita@mail.ru,
shirok.93@mail.ru

Электродвигатели имеют широкое распространение в качестве исполнительного элемента в составе спутниковых систем. К ним предъявляется перечень жестких требований ресурса, стойкости к воздействию радиации, вакуума и широкого диапазона температур. Именно высокие показатели ресурса являются наиболее важными для устойчивого функционирования космических бортовых систем. Ярким примером являются электронасосные агрегаты (ЭНА) систем терморегулирования космических аппаратов. Они обеспечивают непрерывную циркуляцию теплоносителя по гидротракту в целях поддержания постоянной рабочей температуры полезной нагрузки. Непредвиденный выход из строя ЭНА приводит к полному или частичному отказу всего космического аппарата [1].

Для предотвращения отказов ЭНА и иных устройств с электродвигателем необходимо проводить диагностику. Это требует, как выбора или разработки методов [2, 3], так и оборудования для выполнения диагностики [4]. В данном докладе кратко рассматривается статистика отказов электродвигателей, которая указывает на механические неисправности как на основные для электромеханических агрегатов. Рассматривается метод построения диагностических карт (ДК) для выполнения диагностики, основные подходы и условия построения, обеспечивающие получение достаточной информации. Приводится также практический опыт применения ДК на лабораторном образце ЭНА, имеющем наработку ресурса. Применение ДК показывает эффективность быстрой локализации механической неисправности электромеханических устройств.

1. Robert J. Bruckner, Richard A. Manco II ISS Ammonia Pump Failure, Recovery, and Lesson Learned – A Hydrodynamic Bearing Perspective // Proceedings of the 42nd Aerospace Mechanisms Symposium, NASA Goddard Space Flight Center. 2014. P. 451-462.

2. Надежин М.И., Киселев А.А., Целищев И.А., Широбоков О.В. Токовая диагностика вентильного электропривода // Молодежь. Техника. Космос: труды XI Общероссийской науч.-техн. конф. Т.2. Балт. гос. техн. ун-т. СПб. 2019. С. 342-347.

3. Matveev S.A., Korotkov E.B., Zhukov Yu.A., Slobodzian N.S., Nadezhin M.I., Gorbunov A.V., Tanklevskiy L.T., Diagnostic and Monitoring System for Technical Condition of Electromechanical Section of Thermal Control Systems in Spacecraft // International Journal of Mathematical, Engineering and Management Sciences. 2020. Vol. 5(1), P.181-192.

4. Коротков Е.Б., Слободзян Н.С., Широбоков О.В., Киселев А.А., Надежин М.И. Наземная система комплексной диагностики электромеханических устройств космических аппаратов // Радиопромышленность. 2019. № 29 (4), С. 54–62.

И.Л. Бурцев, К.В. Горбатов

РАДИАЦИОННОСТОЙКИЕ СВЧ-КОМПОНЕНТЫ TELEDYNE E2V ДЛЯ КОСМИЧЕСКИХ РАДАРОВ И СРЕДСТВ СВЯЗИ

АО «ВОСТОК», Санкт-Петербург, bil@vostok-24.ru, kvg@vostok-24.ru

I.L. Burtsev, K.V. Gorbatov

TELEDYNE E2V RADIATION-RESISTANT MICROWAVE COMPONENTS FOR SPACE RADARS AND COMMUNICATIONS

JSC «VOSTOK», Saint-Petersburg, bil@vostok-24.ru, kvg@vostok-24.ru

Современные планетоходы, робототехнические базы и орбитальные сервисные роботы немыслимы без надежных средств связи, радиолокации и навигации. Для их создания требуются международные усилия и, в первую очередь, СВЧ радиационнотойкая элементная база. Компания Teledyne E2V является мировым лидером в этой области, ее микросхемы успешно функционируют в составе многих космических аппаратов со сроком службы 10 лет и более. В настоящем докладе рассматривается широкая номенклатура радиационнотойких микросхем Teledyne E2V: усилители, огра-

ничители, переключатели, цифровые аттенюаторы, фазовращатели, предделители частоты, ФАПЧ, смесители и умножители. Компания Teledyne E2V является также лидером по производству АЦП и ЦАП гигагерцовых частот. Они используются как для прямой генерации сигналов до 24 ГГц, так и при их оцифровке до 6 ГГц. СВЧ-компоненты Teledyne E2V производятся для частотных диапазонов: L, S, C, X, Ku, Ka, Q, U, или от 1 ГГц до 60 ГГц.

А.В. Дрондин, С.Г. Ребров, С.В. Янчур
**СБОРКА СОЛНЕЧНЫХ БАТАРЕЙ В КОСМОСЕ С
ПОМОЩЬЮ РОБОТОТЕХНИКИ**

ГНЦ ФГУП «Центр Келдыша», Москва, levoem@yandex.ru

A.V. Drondin, S.G. Rebrov, S.V. Yanchur
ASSEMBLING SOLAR ARRAYS IN SPACE USING ROBOTICS

Keldysh Research Center, Moscow, levoem@yandex.ru

Развитие индустрии 4.0 и коллаборативных роботов предоставляет дополнительные возможности во многих сферах науки и техники. Очень важными эти возможности являются для космической отрасли России, на сегодняшний день сильно отстающей. Необходимо более тесная интеграция работы робототехнических институтов с предприятиями Роскосмоса. Не только в виде проектов строительства из реголита на Луне или помощи космонавтам на космической станции, а глубокое внедрение робототехники в системы непосредственно самих космических аппаратов и напланетных станций.

В качестве примера такой интеграции предлагается концепция сборки солнечных батарей в космосе с помощью робототехники. В рамках данной концепции для сборки СБ используются два робота, изначально базирующихся на платформе КА и несущих на себе панели для сборки с реперными отверстиями. Роботы собирают СБ из панелей, по которым и передвигаются. Представлена схема сборки двумя роботами 30-сегментной СБ площадью 240 м². Расчеты показывают, что развертывание подобной СБ в космосе с помощью специальных устройств с пиропатронами невозможно из-за механических ограничений. С помощью робота половина такой батареи собирается за 8 перемещений. В представленной конструк-

ции робота предполагается всего 25 операций перемещения (видов сигнала) и 20 операций установки. Это позволяет реализовать концепцию на уровне экспертных систем с автоматической работой устройства или с помощью оператора.

Для перемещения и установки используются линейные актуаторы с сухой смазкой. Для обратной связи используются хорошо известные технические приемы: различные виды сенсоров, техническое зрение, построение карты местности. Из-за отсутствия силы тяжести предполагается использование неэнергоемких решений, которые позволят собрать достаточно крупный сегмент солнечной батареи с питанием робота от аккумуляторной батареи. Далее возможна зарядка робота от собранного сегмента СБ.

Данная концепция включена в планируемые НИР и ОКР единой государственной космической программы.

Е.А. Дудоров

**ПОДГОТОВКА И ПРОВЕДЕНИЕ КОСМИЧЕСКОГО
ЭКСПЕРИМЕНТА С ПРИМЕНЕНИЕМ АНТРОПОМОРФНОГО
РОБОТА**

АО «НПО «Андроидная техника», г. Магнитогорск, dudorov@npo-at.com

Е.А. Dudorov

**PREPARING AND CONDUCTING A SPACE EXPERIMENT
USING AN ANTHROPOMORPHIC ROBOT**

JSC «SPA «Android technics»Magnitogorsk, dudorov@npo-at.com

В настоящий момент актуальным становится переход от стадии исследования космического пространства к его освоению и использованию. Ожидается, что в качестве средств роботизированной поддержки будут использоваться различные по назначению, функциональности и конструктивным особенностям типы роботов. К ним, в частности, относятся антропоморфные робототехнические системы (АРТС).

В зависимости от ситуации, АРТС могут функционировать как в автономном автоматическом режиме, так и управляться удаленно в копирующем режиме. Копирующий режим управления АРТС является еще одним их преимуществом, поскольку позволяет оператору дистанционно управлять роботом естественным и интуитивно по-

нятым способом с помощью задающего устройства копирующего типа (ЗУКТ). Вследствие отсутствия опыта использования АРТС в космической деятельности возникает ряд технических, эргономических, психологических, организационных и других научно-технических проблем создания и применения космонавтами (или наземными операторами) телеуправляемыми АРТС. Решение указанных проблем требует тщательного, с позиций системного подхода, изучения взаимодействия всех компонентов эргатической системы «космонавт-АРТС-среда деятельности».

Целью первого этапа КЭ «Испытатель» являлись экспериментальные исследования по интеграции АРТС в пилотируемые космические объекты (корабль «Союз МС-14» и российский сегмент международной космической станции).

В результате доработки была создана АРТС, получившая позывной «Skybot F-850». В состав АРТС входили: антропоморфный робот (АР), ЗУКТ со шлемом виртуальной реальности, управляющий бортовой лэптоп HP ZBook с программным обеспечением.

Наземная подготовка КЭ проводилась в сжатые сроки (в январе-мае 2019 года). До старта ТПК «Союз МС-14», который отправлялся в космос без экипажа, интегрировалась АРТС FEDOR в ТПК и РС МКС, обеспечив выполнение ряда необходимых космических требований. В частности, была произведена доработка конструкции робота для обеспечения его укладки в спускаемый аппарат (СА) и установки на головном модуле робота гарнитуры космической связи. Доработана система управления роботом и отдельные комплектующие детали.

Проверка АРТС включала в себя следующие основные мероприятия и испытания: примерка робота в специально разработанной полетной раме, предназначенной для установки в СА, в условиях производственного цеха; примерку робота на тренажер-макету ТПК «Союз МС»; отработку операций погрузки и выгрузки робота в СА боевого ТПК «Союз МС», укладка робота в полетную раму, отработка его фиксации в раме; отработку голосового канала связи со встроенной гарнитурой космической связи на боевом ТПК «Союз МС»; испытания на виброустойчивость; испытания на электромагнитную совместимость; проведение экспертизы на пожаробезопасность; проведение санитарно-эпидемиологической экспертизы; проверка работоспособности; проверка работы от автономного источника питания.

Для обеспечения комфортного управления роботом с помощью ЗУКТ была доработана перчатка управления, которая была специ-

ально изготовлена под антропометрические характеристики рук космонавта А.А. Скворцова. Во время старта корабля «Союз МС-14» робот штатно отработал заданную программу, сообщая об этапах выведения на орбиту и фиксируемых перегрузках. Выполнялась запись линейных ускорений, угловых скоростей, индукции магнитного поля по трем взаимно перпендикулярным осям в глобальной системе координат с инерциального измерительного MEMS-модуля робота, а также запись видео и звуковой информации в энергонезависимую память.

Космонавты А.А. Скворцов и А.Н. Овчинин, согласно намеченному плану, переместили АРТС из спускаемого аппарата в модуль МИМ-2. Далее успешно и в полном объеме были выполнены все запланированные сеансы эксперимента с роботом: дистанционное управление роботом для выполнения типовых полетных операций (работа с бортовым инструментом, имитация протирки поверхности панелей станции); видеоприветствие землян роботом FEDOR; речевой диалог между космонавтами и роботом.

Программа первого этапа КЭ была выполнена в полном объеме. Робот успешно выдержал нагрузки на этапах выведения на орбиту и посадки, были выполнены запланированные работы с инструментами. Таким образом, возможность использования АР в условиях космического полета подтверждена.

Ronald A. Cree

**ENGINEERS ARE SHARING LESSONS LEARNED FROM
LUNOKHOD AND APOLLO LUNAR ROVING VEHICLE
MISSIONS**

*Apollo Lunar Roving Vehicle (LRV) Thermal Control and Mobility Team
Member, USA, Huntsville, AL, roving.ron@gmail.com*

Russian and American engineers continue to share lessons learned from the Lunokhod and Apollo Lunar Roving Vehicle lunar exploration missions.

For the twenty successful Moon landings since 1959, eight were Russian (with 2 Lunokhod missions) and 6 were American (with 3 LRV missions).

After the successful first LRV mission on Apollo 15 in 1971, this author was surprised with the arrival on his desk of a translated document

which explained in detail how the Russian Lunokhod-1 had been able to survive several long (greater than 14 Earth days) and very cold night periods on the Moon –something I had been wondering about.

Contact with the Russian Lunokhod engineers was accomplished in 2004, and resulted in an invitation to present details of the American LRV and thermal control system development and performance on the Moon, at the Lunokhod development facility in St. Petersburg, Russia.

Russian engineers explained mobility design features of Lunokhod-1, with use of nuclear power for a heating unit for lunar night survival. I provided a complete detailed description of the features, design, and operation of the Apollo Rover and its thermal control system on the Moon.

My Russian friends were excellent hosts, and I was presented with a cherished «Sputnik» medal, which I accepted in honor of the Apollo LRV workers. Lunokhod remote driver, General Dovgan, was also able to give me an explanation about how lunar regolith was accidentally deposited on the Lunokhod-2 radiator, resulting in shorter operation than Lunokhod-1.

Further sharing continues with this conference and presentation.

1. «Lunokhod-1 – Mobile Lunar Laboratory», 1971, A. P. Vinogradov editor
2. «Planetary Rovers, Space/Earth Based Robotics» Workshop Report 2006

*Д.С. Дёмин, О.В. Забрудский, Н.А. Кабанов,
А.В. Косенкова, О.Ю. Седых*

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЛУННОГО ЛЁГКОГО
НЕГЕРМЕТИЧНОГО ПИЛОТИРУЕМОГО РОВЕРА**

АО «НПО Лавочкина», г. Химки, dds@laspace.ru

*D.S. Demin, O.V. Zabrudsky, N.A. Kabanov,
A.V. Kosenkova, O.U. Sedykh*

DESIGN OF A LUNAR LIGHTWEIGHT LEAKY MANNED ROVER

Lavochkin Association, Khimki, Moscow region, Russia, dds@laspace.ru

Одним из приоритетных направлений развития пилотируемой космонавтики являются пилотируемые космические полеты в окололунное пространство, в том числе с посадкой на Луну и возвра-

щением на Землю, с последующим осуществлением регулярных пилотируемых полетов на Луну, развертывание на ней постоянно действующей базы и научных лабораторий.

Для реализации задач исследования и освоения Луны целесообразно осуществлять взаимодействие пилотируемых и автоматических миссий. На этапе пилотируемых миссий робототехнические системы поддержки пилотируемых миссий могут многократно повысить эффективность миссий и решить значительно более широкую номенклатуру задач. При этом в развитии планетоходов можно выделить тенденции к увеличению количества научных приборов и инструментов, что позволяет проводить исследования *in situ*, обеспечивая создание «полноценной подвижной лаборатории». Для таких «подвижных лабораторий» разрабатываются тяжелые платформы.

На ближайшее десятилетие в космических программах США, Китая, Индии, Кореи, Израиля, Японии, Европейского космического агентства (ESA) запланированы разнообразные лунные проекты, как для фундаментальных исследований, так и для отработки технологий, необходимых для последующего освоения Луны и в будущем Марса, а также других планет и тел солнечной системы.

Наиболее активно в этом направлении аэрокосмическое агентство США (NASA). В рамках программы «Artemis» NASA предусматривает создание трех моделей луноходов: VIPER (для исследования в автоматическом режиме области будущего развертывания лунной инфраструктуры вблизи Южного полюса Луны), LTV (аналог LRV для транспортировки двух астронавтов в скафандрах по поверхности Луны), НМР (герметичный луноход для дальних поездок астронавтов по Луне).

В последнее время в связи с разработкой и уточнением Госкорпорацией «Роскосмос» и Академией наук отечественной лунной программы вопрос о необходимости создания отечественных луноходов значительно актуализировался. Таким образом, возникла необходимость проведения поисковых работ по луноходам различного назначения, используемым при подготовке и реализации пилотируемой лунной программы.

В рамках нескольких научно-исследовательских работ АО «НПО Лавочкина» рассматривало варианты различных луноходов. В одной из последних работ определялся проектный облик и характеристики платформы для создания:

- тяжелого научного лунохода;
- лунохода поддержки пилотируемых миссий;

- тяжелого пилотируемого негерметичного ровера.

Проведенные проработки показали, что негерметичный пилотируемый ровер на основе унифицированной платформы будет иметь достаточно большую массу - не менее 1000 кг без полезной нагрузки (ПН) и 2300 кг с ПН из четырех членов экипажа и 500 кг оборудования. При этом такой ровер будет обладать дальностью хода на одной зарядке АБ не менее 100 км и крейсерской (средней) скоростью 20 км/ч.

Очевидно, что доставка на Луну и обеспечение эксплуатации такого ровера требуют его использования для решения задач исследования больших районов, перевозки грузов значительной массы и т.п. В то же время в первых лунных экспедициях можно ограничиться ровером с меньшими возможностями, но значительно более легким.

В соответствии с этой концепцией АО «НПО Лавочкина» на основе унифицированной платформы проработан лёгкий негерметичный пилотируемый ровер. Лёгкий ровер выполнен по «открытой» компоновке. Это решение является допустимым при ограниченных сроках эксплуатации изделия и значительно снижает его массу.

Лёгкий ровер состоит из следующих элементов:

- конструкции;
- четырехколесного шасси;
- модуля системы электроснабжения (аккумуляторные батареи и аппаратура регулирования и контроля), расположенного перед сиденьями экипажа;
- модуля авионики (бортовой комплекс управления и бортовой радиокomплекс), расположенного за сиденьями экипажа;
- антенно-фидерных систем бортового радиокomплекса;
- кресел экипажа;
- элементов, облегчающих деятельность экипажа (подножки, поручни);
- багажника для размещения ПН и образцов.

На основании выполненных проработок можно сделать выводы о возможности создания лёгкого пилотируемого ровера для использования в первых лунных экспедициях, который будет обеспечивать поездку двух космонавтов дальностью 50 км. По характеристикам ровер превосходит перспективный американский ровер LTV и имеет существенно больший, чем американский ровер LRV, запас хода.

М.Л. Литвак, Л.М. Зеленый, И.Г. Митрофанов
РАЗВЕДКА ЛУННЫХ РЕСУРСОВ С ПОМОЩЬЮ
МОБИЛЬНЫХ ПЛАТФОРМ

Институт космических исследований РАН, Москва, litvak@mx.iki.rssi.ru

M.L. Litvak, L.M. Zelenyi, I.G. Mitrofanov
RECONNAISSANCE OF LUNAR RESOURCES WITH MOBILE
PLATFORMS

Space Research Institute, RAS, Moscow, Russia, litvak@mx.iki.rssi.ru

В последнее десятилетие многие страны активно разрабатывают лунные программы, целью которых являются не только научные исследования нашего спутника, но и ставятся практические задачи по возврату космонавтов на Луну, их многократное и длительное посещение лунной поверхности, создание постоянно действующих лунных баз, разведка лунных ресурсов. Сюда можно отнести проект НАСА «Артемида», российские и китайские лунные программы.

Чтобы обеспечить длительное нахождение космонавтов на поверхности Луны, требуется найти и подготовить наиболее подходящий плацдарм, обеспеченный в том числе необходимыми ресурсами для строительства лунной базы. Эта задача возлагается на автоматические миссии и роботов. В качестве примера можно привести уже действующие китайские проекты (в том числе луноход «Юйту-2» в составе посадочной миссии «Чанъэ-4»), планируемые миссии НАСА в рамках государственно-частного партнерства и российскую программу автоматических миссий Луна-25,26,27,28. Последняя предполагает поступательное наращивание научного и технологического потенциала, начиная от отработки мягкой посадки, взятия поверхностных проб грунта с помощью манипулятора до глубинного бурения, возврата образцов грунта на Землю и отработки элементов геологоразведки с помощью лунохода малого класса.

Наибольший интерес представляют полярные районы Луны, где могут быть сосредоточены запасы водяного льда и других летучих веществ. Поиск залежей водяного льда представляет не только научный интерес, но и рассматривается как разведка важных ресурсов для создания лунной базы (добыча воды, производства кислорода для дыхания и водорода для ракетного топлива). Предполагается, что разведка должна начинаться с помощью луноходов малого и среднего класса, несущих на себе необходимую научную и служебную аппаратуру, включая приборы дистанционного зондирования подповерхностного слоя (георадар, нейтронный и гамма спек-

трометры), буровую установку, манипулятор, систему забора и анализа проб грунта. В качестве примера можно привести американский проект «VIPER», представляющий собой луноход среднего класса (450 кг). В его задачи входит поиск подповерхностного водяного льда в окрестности вечнозатененных кратеров, анализ процентного содержания воды в грунте, глубины залегания, оценка технологических и логистических усилий по добыче воды из лунного реголита. В российской программе подобные задачи рассматриваются для лунохода, проектируемого для посадочной миссии Луна-28.

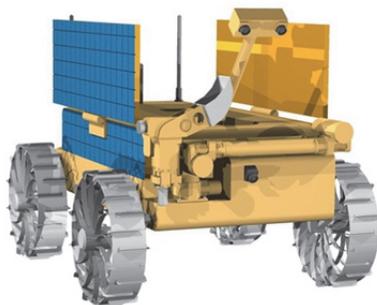


Рисунок 1 — Один из концептов лунохода для Луны-28

Для лунохода должны быть разработаны следующие технологии: мобильность на масштабе расстояний от 1 до 30 км; гибкая система управления луноходом, включающая как возможности прямого телеуправления, так и полную автоматическую навигацию с использованием технического зрения; надежные системы энергообеспечения и терморегулирования для многократного выживания лунной ночью; высокоскоростной радиокomплекс; многофункциональный манипулятор; буровая установка; научная аппаратура для геологоразведки.

*А.В. Васильев, К.А. Волняков, И.Ю. Даляев, В.М. Копылов,
А.Г. Почезерцев, В.В. Титов, И.В. Шардыко*
**РАЗРАБОТКА ПРЕДЛОЖЕНИЙ ПО СОСТАВУ
И ТЕХНИЧЕСКОМУ ОБЛИКУ ГРУППИРОВКИ МОБИЛЬНЫХ
РТС ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОГРАММЫ ИССЛЕДОВАНИЯ
И ОСВОЕНИЯ ЛУНЫ**

ЦНИИ РТК, Санкт-Петербург, andrey@rtc.ru

*A.V. Vasiliev, K.A. Volnyakov, I.Yu. Dallyaev, V.M. Kopylov,
A.G. Pochezhertzev, V.V. Titov, I.V. Shardyko*
**DEVELOPMENT OF PROPOSALS FOR THE COMPOSITION
AND DESIGN OF A GROUP OF MOBILE ROBOTIC SYSTEMS
FOR IMPLEMENTATION OF THE PROGRAM OF RESEARCH
AND STUDY OF THE MOON**

*Russian State Scientific Center for Robotics and Technical Cybernetics, Saint
Petersburg, Russia, andrey@rtc.ru*

Исследование и освоение Луны как ближайшего к Земле небесного тела сегодня выходит на первую роль в мировых планах освоения космического пространства. Закрепившись на ближней околоземной орбите и отработав технологии длительного пребывания там людей, современная цивилизация готовится к следующему шагу – закреплению на естественном спутнике Земли, который представляет собой ближайший наиболее привлекательный и перспективный полигон для отработки технологий освоения дальнего космоса, проведения научных исследований в естественных космических условиях, добычи и переработки местных ресурсов на космических телах Солнечной системы. В этом смысле Луна должна стать тренировочной базой для реализации следующего шага – освоения Марса.

К настоящему времени все ведущие космические державы заявили о своих планах по долговременному закреплению на Луне с целью научных исследований и освоения её ресурсов. Количество проектов по развёртыванию на Луне инфраструктуры научного и промышленного значения растёт с каждым днём. В ближайшей перспективе может начаться новая лунная гонка, не остаётся в стороне от которой – важная стратегическая задача для России.

Анализ доступных из открытых источников сведений о государственных программах исследования и освоения Луны, а также о проектах различных государственных и частных компаний показывает, что этот процесс невозможен без привлечения широкого

спектра робототехнических средств, работающих на её поверхности, в том числе, мобильных робототехнических систем (луноходов) различного назначения, – действующих как автономно, без прямого контроля со стороны человека, так и пилотируемых лунных транспортных систем.

В докладе рассматриваются задачи, которые стоят перед луноходами в будущих экспедициях в рамках комплексной программы исследования и освоения Луны. Выполнен анализ большого фактического материала, включающего: проекты луноходов различного назначения, сведений о планируемых ведущими странами и их космическими агентствами программ исследования и освоения Луны, сведений о проектах лунных баз и объектов лунной инфраструктуры, планируемых к развёртыванию на поверхности Луны.

Осуществление широкомасштабной программы освоения Луны требует применения обширного перечня узкоспециализированных робототехнических систем (РТС). Очевидно, что создание такой группировки на Луне в перспективе ближайших 20...30 лет не представляется возможным ни с технической, ни с экономической точек зрения.

В связи с этим необходимо исследование путей снижения требуемого парка РТС на Луне за счёт применения общих конструктивных решений, модульного подхода к построению РТС, и как следствие, – обоснование минимально необходимой номенклатуры универсальных РТС. Целью реализации таких мероприятий является конечное снижение стоимости и сроков создания требуемой группировки луноходов, достаточных для решения поставленных задач.

В результате анализа имеющихся данных по существующим в России и в мире планам освоения Луны и предварительно выполненным в ЦНИИ РТК НИОКР по тематике создания луноходов различного целевого назначения, манипуляционных робототехнических систем космического назначения и ряда других работ предложен состав группировки РТС для решения задач освоения Луны.

Даётся описание предлагаемого предварительного проектного облика лунных транспортно-манипуляционных систем (ЛТМС) и луноходов различного целевого назначения, построенных на их основе.

Делается вывод о необходимых направлениях дальнейших научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по созданию робототехнического обеспечения будущей программы исследования и освоения Луны.

1. Разработка проектного облика мобильного грузового манипулятора для обслуживания элементов инфраструктуры напланетной (лунной) базы: отчёт о НИР (заключ.) / ЦНИИ РТК; рук. А.С. Кондратьев; исполн.: А.А. Градовцев [и др.]. – СПб., 2013. – 212 с.

2. Проектно-поисковые исследования по определению технического облика и тактико-технических характеристик мобильной робототехнической системы для проведения геологической разведки на поверхности Луны. Разработка предложений в проект ТЗ на ОКР по созданию мобильной робототехнической системы: отчёт о НИР (заключит.) / ЦНИИ РТК; рук. А.С. Кондратьев; исполн.: А.А. Градовцев [и др.]. – СПб., 2015. – 303 с.

3. Разработка технического (проектного) облика робототехнической системы с очувствленными 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. 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.

5. Шардыко И.В., Юсупов А.Н. Реализация алгоритмов жёсткого и податливого траекторного управления шарнирами манипуляционных систем космического назначения // Экстремальная робототехника и конверсивные технологии: Сб. тез. Междунар. науч.-техн. конф. – Санкт-Петербург: ИПЦ ООО «Политехника-сервис», 2018. – С.54-58

6. Создание и исследовательские испытания экспериментального образца мобильной транспортно-манипуляционной робототехнической системы с автономной системой навигации и ориентации в пространстве: отчёт о НИР (промежуточный.) / ЦНИИ РТК; рук. И.Ю. Даляев; исполн.: А.В. Васильев [и др.]. – СПб., 2018. – 286 с.

7. Разработка предложений по алгоритмическому обеспечению систем управления автономными робототехническими средствами, выполняющими в составе группы целевые задачи в пилотируемых лунных миссиях: отчёт о НИР (заключит.) / ЦНИИ РТК; рук. И.Ю. Даляев; исполн.: И.В. Шардыко [и др.]. – СПб., 2020. – 271 с.

8. Проект «Контур-3» – новый шаг к исследованию Луны с помощью напланетных роботов / А.В. Васильев, А.В. Сергеев, М.Ю. Гук [и др.] // Пилотируемые полёты в космос: Мат. XIII Междунар. науч.-практ. конф. (13-15 ноября 2019 г., Звёздный городок). – г. Звёздный городок: Изд-во «НИИ ЦПК им. Ю.А. Гагарина», 2019. – С.54-56.

9. Kontur-3: Human Machine Interfaces for Telenavigation and Manipulation of Robots from ISS / C. Riecke, B. Weber, M. Maier [et al.] // IEEE Aerospace Conference (Montana, March 8-13, 2020).

10. Vasiliev A.V., Sergeev A.V. Development of requirements for a ground testbed for modeling and research of remote control technologies for a small lunar exploration rover // Proc. of the Intern. sci. and technological conf. "EXTREME ROBOTICS. – Saint-Petersburg: OOO «Izdatel'skopoligraficheskii kompleks «Gangut», 2019. – pp. 382-390

Н.А. Щур, С.А. Половко

**ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ
ГИДРОДИНАМИКИ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК
ПЕРЕХОДНОГО ПРОЦЕССА ПРИ УПРАВЛЯЮЩИХ
ВОЗДЕЙСТВИЯХ НА АНПА, А ТАКЖЕ ДЛЯ ОЦЕНКИ
ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ**

ЦНИИ РТК, Санкт-Петербург, koliambos@mail.ru, polovko@rtc.ru

N.F. Tschur, S.A. Polovko

**APPLICATION OF COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS
METHODS TO OBTAIN CHARACTERISTICS OF THE
TRANSIENT PROCESS UNDER CONTROL ACTIONS ON THE
AUV AND TO ASSESS THE EFFECTIVENESS OF CONTROL
SYSTEMS**

*Russian State Scientific Center for Robotics and Technical Cybernetics,
St. Petersburg, Russia, koliambos@mail.ru, polovko@rtc.ru*

Цель данной работы – создание максимально точной математической модели динамики подводного аппарата. По сути, предлагаемая модель должна стать альтернативой натурным испытаниям аппарата.

Работы, посвященные моделированию динамики подводных аппаратов, представленные в литературе, опираются на упрощенное моделирование гидродинамики аппарата при помощи алгебраических формул, в которых гидродинамические силы и моменты зависят от суммы произведений компонент скорости и вращения. Например, сила сопротивления F_x вычисляется следующим образом: $F_x = C_{x0} \cdot v_x \cdot |v_x| + C_x^{v_y^2} \cdot v_y^2 + C_x^{v_z^2} \cdot v_z^2$ где v_x, v_y, v_z – это компоненты скорости аппарата в проекции на главные оси. На практике, коэффициенты в слагаемых считаются постоянными и не зависят от отношений компонент скоростей и вращения. Однако, постоянные коэффициенты алгебраической модели гидродинамических сил не позволяют качественно воспроизводить динамику реального аппарата.

В докладе демонстрируется методика вычислений, реализующая сопряженные расчеты динамики обтекаемого подводного аппарата и гидродинамики обтекающей его жидкости. С точки зрения

механики и гидродинамики, данный подход является наиболее точным методом моделирования динамики аппарата при наличии произвольных управляющих воздействий. Основным преимуществом предлагаемой методики расчетов является консервативность схемы аппроксимации для гидродинамических вычислений, что крайне важно при проведении нестационарных вычислений. К тому же, предлагаемая методика наименее ресурсоемкая, относительно других методик сопряженных расчетов, существующих на данный момент. Предлагаемая методика была верифицирована на большом объеме данных натурных испытаний для АНПА «Клавесин» и АНПА «Витязь», и показала высокую точность воспроизведения натурных данных.

Разработанная расчетная методика была использована для получения характеристик переходных процессов, вызванных управляющими воздействиями системы управления. Для этого проводилось математическое моделирование динамики аппарата, как при отсутствии, так и при наличии управляющих воздействий. Методика также использовалась для моделирования динамики аппарата на этапе тестирования регуляторов системы управления и оценки их эффективности. В частности, подобное имитационное моделирование позволяло учесть влияние различных аппаратных параметров (такт управления, зашумленный сигнал датчиков) на эффективность системы управления. Важно также отметить, что сравнение результатов моделирования с данными натурных испытаний позволяет уточнить физические параметры объекта, такие как: метацентрическая высота, дополнительная плавучесть, равновесные углы крена и дифферента.

Таким образом, разработанная в ЦНИИ РТК методика моделирования динамики подводных аппаратов, показала высокую практическую значимость на всех этапах создания системы управления АНПА.

В.В. Горюнов, С.А. Половко
**КИБЕРНЕТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И
ОТРАБОТКИ РЕГУЛЯТОРОВ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ
ДВИЖЕНИЕМ АВТОНОМНОГО НЕОБИТАЕМОГО
ПОДВОДНОГО АППАРАТА**

ЦНИИ РТК, Санкт-Петербург, goryunov@rtc.ru, polovko@rtc.ru

V.V. Goryunov, S.A. Polovko
**CYBERNETIC MODEL FOR DESIGNING AND TESTING
CONTROLLERS FOR THE MOTION CONTROL SYSTEM
OF AN AUTONOMOUS UNDERWATER VEHICLE**

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

Целью данной работы является создание математической модели для решения задачи проектирования и отработки алгоритмов управления движением автономного необитаемого подводного аппарата (АНПА). Создание такой модели продиктовано необходимостью минимизации количества трудоемких и дорогостоящих натуральных экспериментов, что, в свою очередь, также позволит сэкономить технические ресурсы оборудования АНПА.

В качестве объекта управления рассматривается АНПА типа «Клаверин». Движение АНПА данного типа осуществляется с использованием движительно-рулевого комплекса, имеющего в своем составе 4-е маршевых движителя, 4-е вертикальных подруливающих и 2-а горизонтальных подруливающих движителя.

В рамках выполненной работы были разработаны модели, описывающие динамику АНПА по углам курса и дифферента, при условии, что АНПА находится в режиме маршевого движения с установившейся скоростью и, при этом, обладает известной дополнительной плавучестью.

По результатам проведенных натуральных испытаний и вычислительных экспериментов с использованием гидродинамической модели АНПА была выполнена идентификация типа и параметров динамических моделей (передаточных функций) объекта управления для каждого из каналов: канала управления по курсу и канала управления по дифференту.

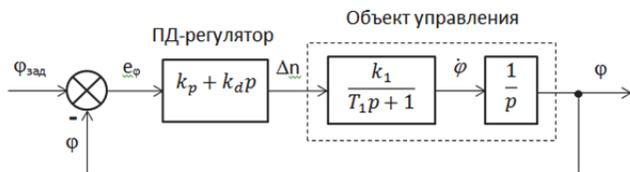


Рисунок 1 — Структурная схема контура стабилизации курса

С использованием разработанных математических моделей для каналов курса и дифферента был осуществлен синтез соответствующих регуляторов: регулятора курса и регулятора дифферента. Структурная схема контура стабилизации курса с регулятором показана на рис. 1.

На базе регулятора дифферента был выполнен синтез регулятора глубины, содержащий регулятор дифферента во внутреннем контуре. Структурная схема контура стабилизации глубины с регулятором дифферента во внутреннем контуре показана на рис. 2.

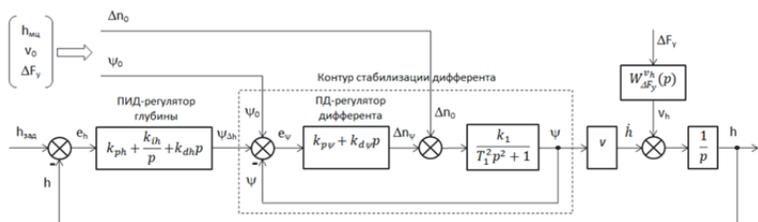


Рисунок 2 — Структурная схема контура стабилизации глубины

Для оценки влияния погрешности датчика давления (глубины) на результат управления была разработана модель ошибки измерителя давления (глубины). По результатам глубоководных испытаний АНПА было определено среднеквадратическое отклонение измерений для модели ошибок измерителя давления (глубины).

Для моделирования работы регуляторов курса и глубины разработаны специальные программные модули, с использованием которых были проведены численные эксперименты с целью определения оптимальных параметров регуляторов, оценки влияния дискретности управления и погрешности измерителей на качество управления. При выполнении моделировании также производилась оценка энергоэффективности.

А.И. Машошин, И.В. Пашкевич
**ПРОБЛЕМНЫЕ ВОПРОСЫ ИНТЕЛЛЕКТУАЛИЗАЦИИ
АВТОНОМНЫХ НЕОБИТАЕМЫХ ПОДВОДНЫХ
АППАРАТОВ**

*АО «Концерн «ЦНИИ «Электронприбор», Санкт-Петербург,
aimashoshin@mail.ru*

A.I. Mashoshin, I.V. Pashkevich
**PROBLEMATIC ISSUES OF INTELLECTUALIZING THE
CONTROL SYSTEM OF AUTONOMOUS UNDERWATER
VEHICLES**

*JSC «Concern» Central Research Institute «Elektropribor»,
St. Petersburg aimashoshin@mail.ru*

Автономные обитаемые подводные аппараты (АНПА) являются одним из наиболее перспективных средств изучения и освоения Мирового океана [1].

Поскольку АНПА является автономным роботом, его создание предполагает решение целого комплекса сложных научно-технических и технологических проблем, базирующихся на широком использовании технологий искусственного интеллекта.

В докладе рассматриваются 3 направления интеллектуализации АНПА:

– создание системы управления АНПА, обеспечивающей достижение цели миссии в условиях возникновения нештатных ситуаций, а также преднамеренного и непреднамеренного противодействия [2-7];

– реализация системы подводной навигации, обеспечивающей выполнение миссии на больших удалениях от пункта базирования в условиях ограничений по точности средств автономной навигации и ограничений по проведению обсерваций [8-12];

– создание системы сетевой подводной связи, обеспечивающей групповое использование АНПА [13,14], надёжно функционирующей в сложных гидроакустических условиях.

Все эти направления объединяет использование такой технологии искусственного интеллекта, как интеллектуальная поддержка принятия управленческих решений [15].

По каждому направлению в докладе формулируются основные проблемы и намечаются пути их решения.

В части создания системы управления (СУ) основными проблемами являются:

- разработка адаптивных алгоритмов, позволяющих управлять подсистемами АНПА и АНПА в целом в условиях возникновения нештатных ситуаций, а также преднамеренного и непреднамеренного противодействия;
- разработка адаптивных алгоритмов управления подсистемами АНПА в условиях ограничения энергоресурсов и необходимости их приоритетного перераспределения;
- разработка адаптивных алгоритмов сохранения функциональной устойчивости АНПА при частичной неисправности технических средств;
- создание моделирующих комплексов, позволяющих обрабатывать СУ, в том числе, в нештатных ситуациях.
- В части реализации системы подводной навигации АНПА основными проблемами являются:
 - разработка алгоритмов контроля величины отклонения АНПА от заданного маршрута;
 - разработка адаптивных алгоритмов выбора метода обсервации в сложившихся условиях;
 - разработка новых методов и алгоритмов коррекции координат АНПА в подводном положении.

В части создания системы сетевой подводной связи в интересах группового применения АНПА, основными проблемами является разработка адаптивных алгоритмов, учитывающих текущие характеристики гидроакустического канала, и обеспечивающих:

- управление доступом к каналам связи с учетом специфики распространения гидроакустического сигнала;
- сетевую маршрутизацию данных с учетом многолучёвости и временной изменчивости канала распространения связного сигнала;
- транспорт данных в условиях длительных задержек в их доставке и разрывов связности сети.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект 19-08-00253).

1. Подводные робототехнические комплексы: системы, технологии, применение //А.В. Инзарцев, Л.В. Киселев, В.В. Костенко, Ю.В. Матвиенко, А.М. Павин, А.Ф. Щербатюк. [отв. ред. Л.В. Киселев]. Владивосток: ИПМТ ДВО РАН. 2018. 368 стр.

2. Городецкий В.И., Грушинский М.С., Хабалов А.В. Многоагентные системы (обзор) // *Новости искусственного интеллекта*, 1998, №2, с.64-116.
3. Ржевский Г.А., Скобелев П.О. Как управлять сложными системами? Мультиагентные технологии для создания интеллектуальных систем управления предприятиями. Самара: Офорт, 2015, 290 с.
4. Борейко А.А., Инзарцев А.В., Машошин А.И., Павин А.М., Пашкевич И.В. Система управления АНПА большой автономности на базе мультиагентного подхода // *Подводные исследования и робототехника*, 2019, №2 (28), с.23-31.
5. Petillot Y.R., Antonelli G., Casalino G., Ferreira F. Underwater Robots: From Remotely Operated Vehicles to Intervention-Autonomous Underwater Vehicles // *IEEE Robot. Autom. Mag.* 2019. V.26. P.94–101.
6. Galarza C., Masmitja I., Prat J., Gomariz S. Design of obstacle detection and avoidance system for Guanay II AUV // *Appl. Sci.* 2020. V.10. P.32-37.
7. Lin C., Wang H., Yuan J., Yu D., Li C. An improved recurrent neural network for unmanned underwater vehicle online obstacle avoidance // *IEEE J. Ocean. Eng.* 2019. V.44. P.120–133.
8. Степанов О.А., Торопов А.Б. Методы нелинейной фильтрации в задаче навигации по геофизическим полям // *Гироскопия и навигация*. – 2015. – №3. – С.102-125, 2015. – №4. – С.147-159.
9. Кебкал К.Г., Машошин А.И. Гидроакустические методы позиционирования автономных необитаемых подводных аппаратов // *Гироскопия и навигация*. – 2016. – Т. 24, №3 (94). – С.115-130.
10. Моргунов Ю.Н., Безответных В.В., Буренин А.В., Войтенко Е.А., Голов А.А. Экспериментальное тестирование технологии высокоточной подводной акустической дальнометрии // *Акустический журнал*. – 2018. – Т. 64, №2. – С.191-196
11. DARPA Broad Agency Announcement Positioning System for Deep Ocean Navigation (POSYDON). Strategic Technology Office, DARPA-BAA-15-30.
12. Melo J., Matos A. Survey on advances on terrain based navigation for autonomous underwater vehicles // *Ocean Eng.* 2017. V.139. P.250–264.
13. Голубев А.Г. Методы повышения эффективности систем цифровой связи с шумоподобными сигналами. – СПб: Буквально. 2019. 275с.

14. Кебкал К.Г., Машошин А.И., Мороз Н.В. Пути решения проблем создания сетевой подводной связи и позиционирования // Гироскопия и навигация, 2019, том 10, №3.

15. Указ Президента РФ №490 от 10.10.2019г.

***Л.А. Мартынова, Г.В. Конюхов, Т.А. Гриненкова, Г.А. Подшивалов,
А.И. Стариков, А.В. Червинский, Н.И. Горбачев, С.А. Сырцов***
**МЕТОД СНИЖЕНИЯ ВНУТРИОТСЕЧНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ
АВТОНОМНОГО НЕОБИТАЕМОГО ПОДВОДНОГО
АППАРАТА**

*АО «Концерн «ЦНИИ «Электронприбор», Санкт-Петербург,
martynowa999@bk.ru, kongv1@yandex.ru, t_silina@bk.ru, 930730@mail.ru,
alstarwar@yandex.ru, anton_ch007@mail.ru, n1ck-g1@yandex.ru,
s-syrcov@mail.ru*

***L.A. Martynova, G.V. Konyukhov, T.A. Grinenkova, G.A. Podshivalov,
A.I. Starikov, A.V. Chervinsky, N.I. Gorbachev, S.A. Syrsov***
**METHOD FOR REDUCING INTRACERABLE TEMPERATURE
AUTONOMOUS UNDERWATER VEHICLE**

*JSC Concern Central Research Institute Elektroprigor, St. Petersburg,
martynowa999@bk.ru, kongv1@yandex.ru, t_silina@bk.ru, 930730@mail.ru,
alstarwar@yandex.ru, anton_ch007@mail.ru, n1ck-g1@yandex.ru,
s-syrcov@mail.ru*

При движении автономного обитаемого подводного аппарата для определения собственного местоположения в навигационной системе используется бесплатформенная инерциальная навигационная система [1], на погрешность выдаваемых навигационных определений которой существенное влияние оказывают перепады температуры внутри корпуса аппарата [2]. Одной из причин повышение внутриотсечной температуры в сложном аппарате типа [3] является превышение токами потребителей номинальных токов и использование нескольких источников тока. Для снижения нагрева внутри корпуса аппарата в работе предложен метод, основанный на эвристическом алгоритме распределения подключения потребителей к токопроводам, которые подсоединены к источникам электропитания. Для получения количественных оценок влияния распределения потребителей на снижение внутриотсечной

температуры разработана имитационная модель, учитывающая токопотребление при движении аппарата. По результатам имитационного моделирования движения аппарата получены оценки изменения погрешностей навигационных определений с течением времени и вероятности успешного выполнения маршрутного задания при использовании предложенного метода.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 20-08-00130-а).

1. Пешехонов В.Г. Современное состояние и перспективы развития гироскопических систем // Гироскопия и навигация 2011 №1 с.3-17

2. Драницына, Е.В. Калибровка измерительного модуля прецизионной бинс на волоконно-оптических гироскопах. Дис. на соиск. уч.ст. канд.ртехн. наук. 2016. Санкт-Петербург. с.22-23, 89 с.

3. Orca Extra Large Unmanned Undersea Vehicles (XLUUVs). Электронный ресурс <https://www.globalsecurity.org/military/systems/ship/xluuv.htm>. (Дата обращения 29.03.2020).

***В.В. Сергеев, Ю.С. Прибылов, В.Н. Карпов,
В.А. Соколов, О.К. Пшеничная***

**АДАПТИВНАЯ СИСТЕМА ФОТО И ВИДЕО РЕГИСТРАЦИИ
ДЛЯ АВТОНОМНЫХ НЕОБИТАЕМЫХ ПОДВОДНЫХ
АППАРАТОВ**

АО «НИИ телевидения», Санкт-Петербург, npk62ypr@niitv.ru

***V.V. Sergeev, Yu.S. Pribylov, V.N. Karpov,
V.A. Sokolov, O.K. Pshenichnaya***

**ADAPTIVE PHOTO AND VIDEO SYSTEM FOR AUTONOMOUS
UNDERWATER VEHICLES**

*JSC «Television Scientific Research Institute», Saint Petersburg, Russia,
npk62ypr@niitv.ru*

В настоящее время уделяется повышенное внимание направлению создания автономных необитаемых подводных аппаратов (АНПА) оснащенных системами подводного видения.

При проектировании систем подводного видения АНПА в зависимости от класса и решаемых ими задач, предъявляются требования к дальности видимости, разрешающей способности, качеству получаемых фото и видео материалов, а также требования к массогабаритным характеристикам, рабочей глубине погружения и потребляемой мощности, определяющей время автономной работы АНПА от аккумуляторных батарей.

В докладе рассматриваются структура, составные части и основные технические решения, использованные в АО "НИИ телевидения" при создании адаптивной системы подводного видения (АСПВ) со светодиодной импульсной подсветкой для автономных необитаемых подводных аппаратов (АНПА). АСПВ предназначена для проведения фото и видео съёмки морского дна на дистанциях от 2 до 5 метров с возможностью разрешения объектов размером от 20 мм при скорости хода АНПА до 2-х узлов.

Показано, что при создании систем подводного видения АНПА целесообразно использовать импульсный режим подсветки, где время излучения согласовано с временем накопления в ТВ камере. Это позволяет при фото и видеосъёмке значительно уменьшить потребляемую мощность светодиодного осветителя и увеличить время автономной работы АНПА.

Рассмотрены следующие режимы адаптации:

- времени накопления ТВ камеры к скорости хода для уменьшения «смаза» изображений и обеспечения наблюдения заданного размера объектов;
- числа кадров фотосъёмки к скорости хода АНПА для оптимизации их числа и уменьшения требования к объёму накопителя;
- мощности излучения светодиодного осветителя к прозрачности водной среды и к дистанции съёмки для уменьшения мощности потребления.

В докладе описаны составные части и структура АСПВ, приведены характеристики ТВ камеры и светодиодного осветителя, даны рекомендации по их расположению на АНПА. Приведены результаты лабораторных испытаний выбора времени накопления ТВ камеры для наблюдения и съёмки объектов заданного размера.

Показано, что для повышения качества формируемых изображений необходимо использовать ТВ камеры с высокой контрастной чувствительностью и разрешением, применять пространственное разнесение источника света и ТВ камеры, а также использовать алгоритмы цифрового контрастирования.

В.В. Сергеев, Ю.С. Прибылов, В.А. Соколов
ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК
АКТИВНОЙ СИСТЕМЫ ПОДВОДНОГО ВИДЕНИЯ
В ЛАБОРАТОРНЫХ УСЛОВИЯХ

АО «НИИ телевидения», Санкт-Петербург, npk62ypr@niitv.ru

V.V. Sergeev, Yu.S. Pribylov, V.A. Sokolov
EVALUATION OF TECHNICAL CHARACTERISTICS
OF THE ACTIVE UNDERWATER VISION SYSTEM
UNDER LABORATORY CONDITIONS

*JSC «Television Scientific Research Institute», St.-Petersburg, Russia,
npk62ypr@niitv.ru*

При создании активных систем подводного видения (АСПВ) для автономных необитаемых подводных аппаратов (АНПА) требуется проведение продолжительных и дорогостоящих натурных испытаний для проверки работоспособности АСПВ в составе АНПА, особенно в процессе отладки программного обеспечения АСПВ. Разработка и тестирование новых алгоритмов цифровой обработки изображений возникают в процессе решения научных и прикладных задач освоения Мирового океана, задач оборонного значения, при выполнении поисковых и аварийно-спасательных операций.

В докладе рассматривается методика проведения испытаний для оценки технических характеристик разрабатываемых АСПВ для АНПА в лабораторных условиях без водной среды, которая не исключает натурных испытаний, но позволяет проверить основные технические решения в приближенных к натурным условиям наблюдения и, тем самым, сократить продолжительность испытаний АНПА в водной среде.

Суть методики испытаний состоит в том, чтобы создать в воздухе в лабораторных условиях такую освещенность объектов наблюдения, которая учитывала бы ослабление светового потока водной средой при заданных дистанциях наблюдения и относительной прозрачности воды.

Приводятся расчеты ослаблений светового потока водной средой в зависимости от дистанции наблюдения и относительной прозрачности воды. Описывается метод создания освещенности объектов наблюдения в воздушной среде с использованием светофильтров, коэффициенты ослабления которых соответствуют коэффициентам ослабления светового потока водной средой.

Для имитации перемещений объектов наблюдения в диапазоне скоростей хода АНПА в процессе испытаний и оценки возможности наблюдения и разрешения объектов заданного размера, предложена универсальная вращающаяся круглая мишень.

Приведены некоторые результаты лабораторных испытаний образца АСПВ, которые подтвердили возможность оценки технических характеристик АСПВ в режиме реального времени без уставки на АНПА и без водной среды. Предложенная методика испытаний позволяет проверить технические решения, оценить чувствительность ТВ камеры, мощность излучения светильника, выбрать время накопления ТВ камеры и длительность импульсов подсветки, проверить режимы фото и видео съёмки для наблюдения объектов на заданных дистанциях в диапазоне скоростей хода АНПА, промоделировать и отладить алгоритмы адаптации к скорости хода АНПА и алгоритмы цифровой обработки для повышения качества формируемых изображений.

А.С. Проценюк, А.В. Попов

**ОСОБЕННОСТИ СОЗДАНИЯ МОРСКОГО ПОЛИГОНА ДЛЯ
ПРОВЕДЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ И ОТРАБОТКИ
АЛГОРИТМИЧЕСКОГО, МАТЕМАТИЧЕСКОГО И
ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ НЕОБИТАЕМЫХ
ПОДВОДНЫХ АППАРАТОВ (НПА)**

ЦНИИ РТК, Санкт-Петербург, a.procenyuk@rtc.ru

A.S. Procenyuk, A.V. Popov

**SPECIFICS OF CREATING A MARINE TEST SITE FOR THE
TESTING AND DEBUGGING OF UNMANNED UNDERWATER
VEHICLES (UUV) ALGORITHMIC AND SOFTWARE**

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

В ходе проведения натурных испытаний необитаемых подводных аппаратов (НПА) «Клавесин-2Р», «Витязь» и «Юнона» проектанту и создателям НПА пришлось столкнуться с рядом организационных и технических проблем. Учитывая планы создания перспективных НПА целесообразно рассмотреть возможность создания морского полигона для проведения испытаний подводной ро-

бототехники. В настоящее время таких полигонов в Российской Федерации не существует. Испытания создаваемых НПА проводятся в слабо оборудованных полигонах, без должного обеспечения. Создание полигона позволит сократить время проведения испытаний, уменьшит финансовые затраты, позволит систематизировать процесс испытаний, накопления и обобщения опыта использования морской робототехники.

Такой полигон возможно разместить на акватории Ладожского озера или Чёрного моря. Предпочтительнее выглядит вариант с размещением в Черном море, так как это увеличивает время использования полигона в году, условия среды больше соответствуют рабочим. В пользу этого варианта служит то, что большинство предприятий занимающихся морской робототехникой находятся в европейской части страны.

На территории полигона должны быть участки дна с различным рельефом. Полигон необходимо оснастить затопленными типовыми целями, такими как: стандартный морской контейнер, торпеда, мина, летательный аппарат, катер, различными видами кабельных линий и трубопроводов, макетов манифольдов и запорной арматуры. Также необходимо оборудовать полигон заякоренными мишенями с известным радиус-эквивалентом, находящиеся в заданном отстоянии от грунта. Необходимо с высокой точностью отпозиционировать координаты всех объектов. Оборудовать полигон донными гидроакустическими маяками-ответчиками и антеннами звукоподводной связи для передачи команд управления, телеметрической информации и фотоизображений, дополнительно создав на берегу пункт управления и контроля за полигоном. Сформировать подводную мерную линию. В местах работы с манипуляторными устройствами разместить на дне видеокамеры. Предусмотреть возможность ограждения полигона или его части сетями для обеспечения безопасности НПА. Для проведения измерений должно быть предусмотрено метрологическое обеспечение.

Создание первого в РФ полигона по проведению испытаний подводной робототехники создаст задел на десятилетия вперёд. Позволит с высокой эффективностью определять маневренные элементы АНПА, отрабатывать режимы использования навигационного и гидроакустического оборудования, систем технического зрения, отлаживать алгоритмы поиска объектов и применения технических средств, отрабатывать программное обеспечение систем управления, оценивать эффективность применения технических средств в реальных условиях. Проигрывать различные сценарии

одиночного и группового применения робототехнических средств в контролируемых условиях.

Учитывая темпы проектирования и создания НПА в перспективе такой испытательный полигон должен стать многофункциональным испытательным центром вновь созданных морских робототехнических средств военного и гражданского назначения, а также учебным центром по подготовке операторов и расчётов морских робототехнических комплексов и систем.

Работа проводилась в рамках выполнения государственного задания Минобрнауки России № 075-01195-20-00 «Исследование путей создания многофункционального модульного реконфигурируемого гиперизбыточного необитаемого подводного аппарата для интеграции в робототехнический комплекс трех сред базирования».

А.О. Попко

**ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ОБИТАЕМОГО И НЕОБИТАЕМОГО
ПОДВОДНЫХ АППАРАТОВ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ПОДВОДНО-
ТЕХНИЧЕСКИХ РАБОТ**

АО «Концерн «НПО «Аврора», anpa_avrora@yandex.ru

А.О. Попко

**INTERACTION OF MANNED AND UNMANNED UNDERWATER
VEHICLES DURING HOLDING OF UNDERWATER MISSION**

JSC Concern NPO Aurora, anpa_avrora@yandex.ru

Необходимость наличия экономически оправданных технологий при освоении богатств Мирового океана и обслуживании подводной инфраструктуры Российской Федерации, как страны обладающей стратегическими интересами в прилегающих морях и Арктической зоне, является актуальной задачей в долгосрочной перспективе развития судостроительной и смежных с ней отраслях отечественной промышленности.

Учитывая уникальный опыт, накопленный за предыдущие десятилетия развития глубоководной техники, а также перспективные разработки, ведущиеся по тематике развития обитаемых глубоководных средств, автор в докладе предлагает модель совместного использования роботизированных необитаемых средств и обитаемого подводного аппарата для решения прикладных задач.

С помощью имитационной модели, выполненной с использованием созданного в АО «Концерн «НПО «Аврора» отладочно-моделирующего комплекса рассмотрены сценарии взаимодействия обитаемого (ОПА) и необитаемого подводных аппаратов (НПА) при решении задач:

- мониторинга морского магистрального трубопровода;
- обслуживания подводного добычного комплекса;
- проведения поисковых и аварийно-спасательных работ.

Автором произведена оценка технических возможностей существующих и перспективных образцов оборудования, способов использования и технико-экономических показателей эффективности работы комплекса (ОПА+АНПА).

М.Н. Плавинский, А.В. Попов, А.Н. Халтурин, В.В. Целуйко
**ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМЫ ВСТРОЕННОГО
КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКИ ДЛЯ НЕОБИТАЕМЫХ
ПОДВОДНЫХ АППАРАТОВ**

ЦНИИ РТК, Санкт-Петербург, plavinsky@rtc.ru

M.N. Plavinsky, A.V. Popov, A.N. Khalturin, V.V. Tseluyko
**FEATURES OF DEVELOPMENT BUILT-IN MONITORING AND
DIAGNOSTICS SYSTEM FOR UNMANNED UNDERWATER
VEHICLES**

CRDI RTC, St Petersburg, plavinsky@rtc.ru

В настоящее время в мире идёт активный процесс изучения Мирового океана с целью освоения его ресурсов. Это в свою очередь требует создания развитой подводной инфраструктуры, которое затруднено без использования автономных необитаемых подводных аппаратов (далее – АНПА).

Работа подводных робототехнических комплексов в условиях экстремального гидростатического давления сопряжена с риском потери дорогостоящего оборудования.

В ЦНИИ РТК была разработана интеллектуальная система встроенного контроля и диагностики (далее – ВСКД), позволяющая без участия человека-оператора:

- непрерывно контролировать состояние оборудования и процесс выполнения миссии;
- предотвращать столкновения АНПА с препятствиями и донной поверхностью;
- осуществить реализацию аварийного сценария;
- обеспечить продолжение выполнения миссии АНПА при выходе из строя вспомогательного или незадействованного в миссии оборудования;
- осуществить отдачу балласта и управление движительно-рулевым комплексом при затекании или отказе критически важного оборудования при возникновении нештатных ситуаций.

Разработанная ВСКД прошла отработку на цифровых моделях и планируется к натурным испытаниям в 2021 г.

Результаты были получены в рамках выполнения государственного задания Минобрнауки России № 075-00924-19-00

Д.А. Фролов, С.А. Половко

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И СИНТЕЗ
УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ СТЫКОВКИ АВТОНОМНОГО
НЕОБИТАЕМОГО ПОДВОДНОГО АППАРАТА**

ЦНИИ ПТК, Санкт-Петербург, d.frolov@rtc.ru, polovko@rtc.ru

D.A. Frolov, S.A. Polovko

**MATHEMATICAL MODELLING AND DESIGN OF THE
CONTROL SYSTEM FOR DOCKING OF AN AUTONOMOUS
UNDERWATER VEHICLE**

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

Целью данной работы является синтез алгоритмов и отработка системы управления стыковкой, а также оценка допустимого уровня внешних воздействий на автономный необитаемый подводный аппарат (АНПА) в процессе стыковки.

Рассматривается задача посадки АНПА в парковочный контейнер. Исходя из габаритов парковочного контейнера определяются геометрические параметры глиссадного коридора. Финальное

условие успешной стыковки определяется попаданием на посадочные штыри. В начальном положении аппарат находится на глубине 3-5 м над стыковочным контейнером. Необходимо привести аппарат в положение стыковки, учитывая геометрические ограничения, накладываемые габаритами контейнера, осуществляя одновременное погружение и компенсацию ошибок позиционирования АНПА.

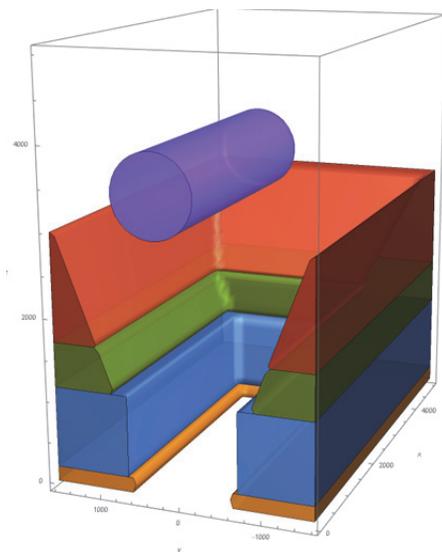


Рисунок 1 — Условное представление АНПА в исходном положении над контейнером.

Для решения задачи предлагается использовать двухуровневую систему управления стыковкой АНПА, в которой на нижнем уровне работают регуляторы боковых смещений, углов курса и дифферента. На верхнем же уровне происходит управление скоростью погружения в зависимости от положения АНПА внутри глиссадного коридора.

Проведена оценка влияния внешних факторов на процесс работы предложенной системы управления. Показано, как шум измерителей положения повлияет на качество управления, а также – какие возмущения внешней среды система управления способна компенсировать.

Е.И. Абрамова, А.А. Кошурина, М.С. Крашенинников
**РОБОТОТЕХНИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ОПЕРАТИВНОЙ
ЛИКВИДАЦИИ АВАРИЙНЫХ РАЗЛИВОВ
НЕФТЕПРОДУКТОВ НА АРКТИЧЕСКОМ ШЕЛЬФЕ**

*Нижегородский государственный технический университет
им. Р.Е. Алексеева (НГТУ), Нижний Новгород,
nttu@nntu.ru, lccm@list.ru, allakoshurina@yandex.ru*

E.I. Abramova, A.A. Koshurina, M.S. Krashenninikov
**FAST LIQUIDATION ROBOTIC COMPLEX OF EMERGENCY
OIL SPILLS ON THE ARCTIC SHELF**

*Nizhny Novgorod State Technical University n.a. R.E. Alekseev (NNSTU),
Nizhny Novgorod, nntu@nntu.ru, lccm@list.ru, allakoshurina@yandex.ru*

Ликвидация аварийных разливов нефти (ЛАРН) на территории арктического шельфа затруднена из-за сложных климатических условий, отсутствует оборудование для круглогодичных работ. ЛАРН негативно сказывается на состоянии особо охраняемых природных территорий, примыкающих к нефтегазоносным районам.

Предпосылки реализации проекта складываются из проблем и барьеров на рынке техники нефтегазодобывающей промышленности, среди которых необходимость повышения экологической безопасности, защита охраняемых природных территорий, сложные климатические условия и узкий временной диапазон для ведения работ ЛАРН.



Рисунок 1 — 3D-модель СВП с оборудованием ЛАРН в контейнере

Коллективом лаборатории композиционных и керамических материалов с применением к арктическим транспортным средствам (LCCM) предложена разработка робототехнического комплекса

быстрого реагирования на чрезвычайные ситуации. В основе проекта – носитель на воздушной подушке, на который можно устанавливать различное оборудование. Так же разработано технологическое оборудование и спроектирован контейнер с необходимыми средствами ликвидации разливов нефти.

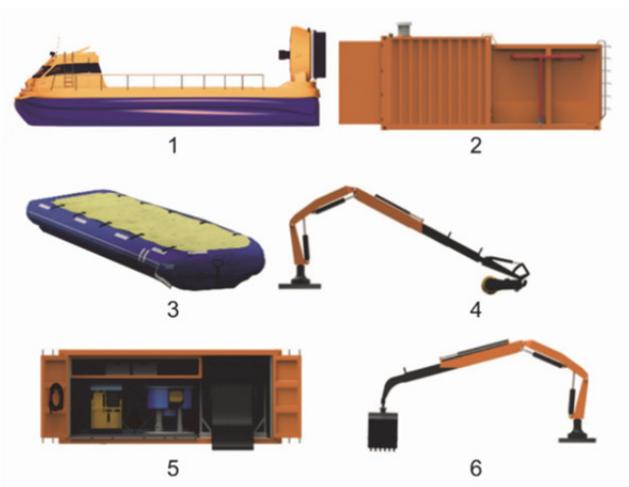


Рисунок 2 — Прочее оборудование ЛАРН. На рисунке 4 позициями обозначено: 1.Носитель на базе СВП; 2.Ледоплавильная установка; 3.Гибкий бронированный танк; 4.Ковшовый нефтесборщик; 5.Контейнер с оборудованием 6000 мм; 6.Гидравлический грейфер.

*В.А. Серов¹, И.В. Ковшов¹, С.А. Устинов¹, В.Н. Платонов¹,
Е.С. Брискин²*

**ПРИМЕНЕНИЕ РОБОТИЗИРОВАННЫХ ПЛАТФОРМ С
ЯКОРНО-ТРОСОВЫМИ ДВИЖИТЕЛЯМИ ПРИ ГЛУШЕНИИ
ПОДВОДНЫХ АВАРИЙНЫХ СКВАЖИН**

¹*АО «ФНПЦ «Титан-Баррикады», Волгоград*

²*Волгоградский государственный технический университет, Волгоград
dtm@vstu.ru*

*V.A. Serov¹, I.V. Kovshov¹, S.A. Ustinov¹, V.N. Platonov¹,
E.S. Briskin²*

**APPLICATION OF THE ROBOTIC PLATFORMS WITH
ANCHOR-ROPE PROPULSORS IN SEALING UNDERWATER
EMERGENCY WELLS**

¹*JSC «FSPC «Titan-Barricady», Volgograd*

²*Volgograd State Technical University, Volgograd
dtm@vstu.ru*

За последнее десятилетия добыча углеводородов на шельфе значительно увеличилась, при этом неуклонно растет опасность возникновения аварийных ситуаций как при освоении месторождений, так и при добыче нефти и газа. Особо тяжелыми – катастрофическими – являются аварии, сопровождаемые неуправляемым фонтанированием пластового флюида, помимо значительных экономических потерь, наносящие серьезный и зачастую невосполнимый урон окружающей среде [1].

Для глушения открытых аварийных скважин в настоящее время применяются превенторы, противовыбросовые заглушки и куполы, разгрузочные скважины, однако их установка в экстремальных подводных условиях сложнейшей технической задачей и практически не реализуема без применения робототехники [2].

Одним из вариантов решения проблемы является применение роботизированных платформ с якорно-тросовыми движителями [3].

Задачей такой роботизированной платформы является перемещение и установка на устье аварийной скважины специальной заглушки. Схема позиционирования роботизированной платформы над устьем скважины с помощью якорно-тросовых движителей представлена на рис. 1.

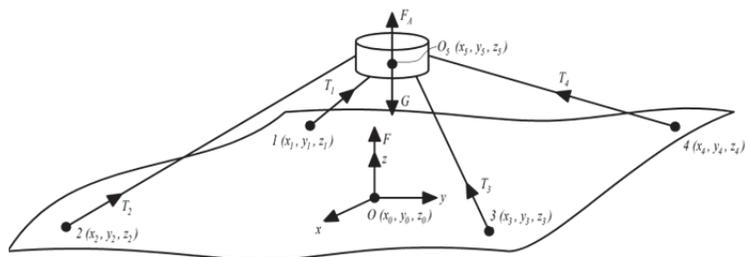


Рисунок 1 — Расчетная схема позиционирования роботизированной платформы над устьем скважины с помощью якорно-тросовых движителей

В результате выполненных исследований предложена математическая модель, определены управляющие воздействия и оценены параметры устойчивости динамической системы.

1. Робототехнический комплекс для устранения последствий аварий на подводных нефтяных и газовых месторождениях / В.А. Шурыгин, В.А. Серов, И.В. Ковшов, С.А. Устинов // XII мультиконференция по проблемам управления (МКПУ-2019) (Дивноморское, Геленджик, 23-28 сентября 2019 г.) : материалы конф. В 4 т. Т. 2 / редкол.: И. А. Каляев (отв. ред.), В. Г. Пешехонов, Д. А. Новиков [и др.] ; РФФИ, Южный научный центр РАН, ГНЦ РФ ОАО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор», Южный федеральный ун-т, Ин-т проблем управления им. В. А. Трапезникова РАН [и др.]. - Ростов-на-Дону; Таганрог, 2019. - С. 170-173.

2. Серов В.А., Ковшов И.В., Устинов С.А. Задачи технологических роботизированных шагающих платформ при освоении подводных (подлёдных) месторождений полезных ископаемых // Известия ЮФУ. Технические науки. - 2017. № 9 (194). С. 181-191.

3. Брискин Е.С. Управление движением подводного мобильного робота с якорно-тросовыми движителями / Е.С. Брискин, Н.Г. Шаронов, В.А. Серов, И.С. Пеньшин // Робототехника и техническая кибернетика. – №2(19). – Санкт-Петербург: ЦНИИ РТК. – 2018. – С. 39-45.

А.М. Маевский, В.Ю. Занин, И.В. Кожемякин, В.А. Рыжов
РАЗРАБОТКА СХЕМ ПРИМЕНЕНИЯ И СИСТЕМ
УПРАВЛЕНИЯ ГЕТЕРОГЕННЫМИ ГРУППАМИ МОРСКИХ
РОБОТОВ

*Южный Федеральный Университет, Ростов-на-Дону,
АО «НПП ПТ «Океанос», СПб ГМТУ, Санкт-Петербург,
maevskiy_andrey@mail.ru*

А.М. Maevskiy, V.U. Zanin, I.V. Kozhemyakin, V.A. Rizhov
DEVELOPMENT OF APPLICATION SCHEMES AND CONTROL
SYSTEMS FOR HETEROGENEOUS GROUPS OF MARINE
VEHICLES

*Southern Federal University and Oceanos JSC,
Saint-Petersburg State Marine Technical University, Rostov-on-Don and Saint-
Petersburg maevskiy_andrey@mail.ru*

Применение автономных необитаемых подводных аппаратов (АНПА), в целях инспекций, мониторинга, исследования или сервисных работ в случае резидентного базирования робототехники, является все более востребованным со стороны различных организаций, корпораций и компаний, силы которых направлены на освоение морского шельфа, добычу полезных ископаемых или же на исследование и наблюдение состояния окружающей среды. Сейчас сообщество ученых и заказчики прекрасно понимают, что для более быстрого и оптимального решения многих задач, необходимо использование группы подводных аппаратов. Такие группы должны быть способны оптимизированно выполнять текущую и/или модифицированную в процессе миссии задачу, обеспечивая ускоренный и всеохватывающий поток данных для анализа, моделирования или непосредственного обеспечения работ.

За рубежом данные разработки ведутся уже давно. Известны работы по использованию групп как традиционных АНПА, так и подводных глайдеров [1-5].

Как правило, в подобного рода работах используется схема централизованного управления, в которой один из аппаратов является ведущим, а еще один находится вблизи поверхности воды для обеспечения навигации, ретрансляции и конфигурирования внутри и вне групповых коммуникации.

В данной работе авторами предлагается сформировать гетерогенную группу аппаратов, включающую в себя волновой и подводный глайдер (на 1 этапе) с дальнейшей возможностью расширения

численности формации группы безэкипажными надводными и подводными робототехническими средствами, и беспилотными летательными аппаратами (на 2 этапе).

Данная группа должна выполнять типовые миссии, связанные с совместным перемещением аппаратов в условиях неопределенности среды с формированием и сохранением структуры строя, возможностью обхода препятствий и тд.

Предложенный алгоритм описан для случая использования группы из 4 глайдеров (или АНПА) и 1 волнового глайдера. Пример реализации алгоритма представлен на рис. 1,2.

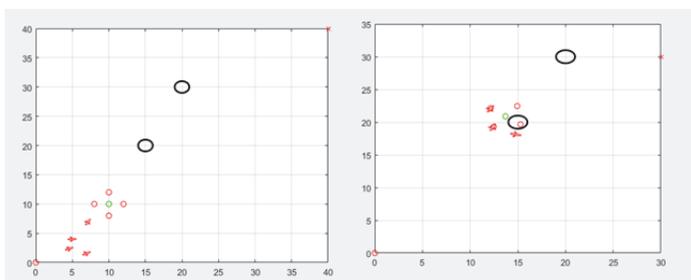


Рисунок 1 – процесс формирования строя и движения заданным строем к целевой точке

Как показывают результаты численного моделирования, разработанный алгоритм позволяет обеспечить аппаратам безопасный обход препятствия и в дальнейшем возвращение в строй формации. Также в рамках данного алгоритма рассматривается процесс сопряженного управления глайдер + волновой глайдер, когда подводный аппарат совершает циркуляции вокруг волнового глайдера или циркуляции в заданном секторе относительно волнового глайдера в процессе движения или патрулирования волнового глайдера. На ряду с этим, алгоритм может применяться и в 3D постановке, с учётом особенностей перемещения подводных планеров на задаваемых траекториях движения.

1. <https://cordis.europa.eu/project/id/284321/results>
2. Leonard, N.E., Paley, D.A., Davis, R.E., Fratantoni, D.M., Lekien, F. and Zhang, F. (2010), Coordinated control of an underwater glider fleet in an adaptive ocean sampling field experiment in Monterey Bay. *J. Field Robotics*, 27: 718-740. doi:10.1002/rob.20366

3. Chao, Yi, Li, Zhijin, Farrara, John D., Moline, Mark A., Schofield, Oscar M. E., Majumdar, Sharanya J., (2008), Synergistic applications of autonomous underwater vehicles and the regional ocean modeling system in coastal ocean forecasting, *Limnology and Oceanography*, 53, doi: 10.4319/lo.2008.53.5_part_2.2251.

4. Zhang, Yanwu & Kieft, Brian & Hobson, B. and etc. (2019). Autonomous Tracking and Sampling of the Deep Chlorophyll Maximum Layer in an Open-Ocean Eddy by a Long-Range Autonomous Underwater Vehicle. *IEEE Journal of Oceanic Engineering*. PP. 1-14. 10.1109/JOE.2019.2920217.

5. Habib Al-Khatib, Gianluca Antonelli and etc. (2015) Navigation, Guidance and Control of Underwater Vehicles within the Widely scalable Mobile Underwater Sonar Technology Project: an overview, *IFAC-PapersOnLine*, Volume 48, Issue 2 ,Pages 189-193,ISSN 2405-8963, doi.org/10.1016/j.ifacol.2015.06.031.

А.П. Коновальчик¹, М.А. Кудров², Д.Р. Махоткин², Н.Г. Колтоков²
АЛГОРИТМЫ РАСПОЗНАВАНИЯ ОБРАЗОВ НА
ГИДРОАКУСТИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЯХ НА ОСНОВЕ
ГЛУБОКИХ СВЕРТОЧНЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

¹АО «Концерн ВКО «Алмаз-Антей», г. Москва

²МФТИ, г. Жуковский

konovalchik@almaz-antey.ru, mkudrov@phystech.edu, mahotkin.dr@phystech.edu, koltok.ng}@phystech.edu

A.P. Konovalchik¹, M.A. Kudrov², D.R. Makhotkin², N.G. Koltok²
PATTERN RECOGNITION ALGORITHMS FOR SONAR IMAGES
BASED ON DEEP CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORKS

*¹«Almaz – Antey» Air and Space Defence Corporation», Joint Stock Company,
Moscow, Russia*

²MIPT, Zhukovsky, Russia

*konovalchik@almaz-antey.ru, mkudrov@phystech.edu,
mahotkin.dr@phystech.edu, koltok.ng}@phystech.edu*

При проведении поисково-спасательных, осмотровых, разведывательных и других видов подводных работ с помощью малогабаритных необитаемых подводных аппаратов для получения информации об окружающей обстановке используются главным образом

оптические и акустические средства. Акустические средства обладают большей дальностью применения по сравнению с оптическими средствами и, следовательно, большим размером кадра, что обуславливает их эффективность при крупномасштабных работах.

Повышение требований к перспективным системам распознавания образов для роботизированных морских платформ, в том числе требований к вероятности правильного обнаружения, определения положения, формы и размеров, а также идентификации объектов неизбежно приводят к необходимости разработки и реализации в железе перспективных систем технического зрения основанных на методах машинного обучения.

Работа посвящена повышению эффективности систем технического зрения подводных аппаратов за счет применения глубоких сверточных нейронных сетей для задач сегментации гидролокационных изображений (ГЛИ).

В работе поставлена задача многоклассовой сегментации ГЛИ. За искомые объекты были приняты все выделяющиеся на морском дне и в толще воды сущности, от крупных валунов до затопленных кораблей.

В ходе подготовки обучающей выборки были размечены около 326 км² ГЛИ дна Черного и Каспийского моря, рек Москва и Мка, всего получено 8035 ГЛИ с характерным размером 700x900 пикселей. В ходе работ для расширения обучающей выборки и увеличения разнообразия данных применялись различные методы аугментации.

Основными метриками были приняты точность выделения границ (Mean BF [1]) и среднее взвешенное перекрытие классов (Mean IoU).

Проведено обучение нейросетевых моделей FCN, U-Net [2], SegNet [3], SegNet (VGG-16) и DeepLabV3, среди которых наибольшую точность по указанным выше метрикам (Mean IoU 0.58 и Mean BF 0.61) продемонстрировала предобученная на оптических изображениях нейросеть SegNet (VGG-16). Также наибольший прирост точности дало применение пополнения с изменением яркости ГЛИ. На рисунке 1 приведены результаты сегментации ГЛИ.

В рамках работы показана применимость методов глубинного обучения для многоклассовой сегментации гидролокационных изображений, показана точность сегментации по метрике Mean IoU равная 0.58. Данная точность является удовлетворительной с технической точки зрения для задачи сигнализации объектов.

В дальнейшем планируется решение задачи классификации объектов на результатах сегментации и апробация разработанных алгоритмов в составе штатного программного обеспечения малогабаритных необитаемых подводных аппаратов (изделие).

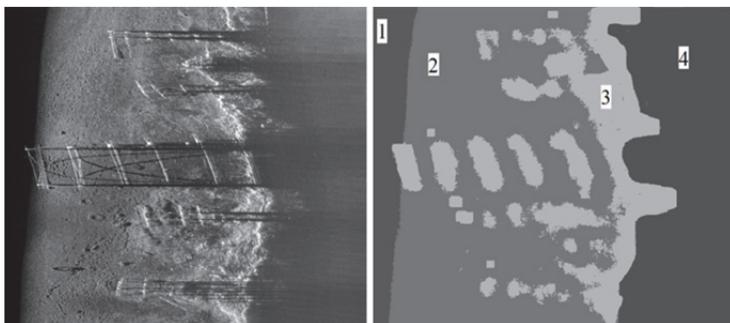


Рисунок 1 — Исходное изображение и разделение его на области:

- 1 – область воды, 2 – область дна высокого качества,
- 3 – объекты, 4 – область дна низкого качества

1. Csurka G., Larlus D., and Perronnin F.. "What is a good evaluation measure for semantic segmentation?" Proceedings of the British Machine Vision Conference, 2013, pp. 32.1–32.11.

2. Ronneberger O., Fischer P., and Brox T.. "U-Net: Convolutional Networks for Biomedical Image Segmentation." Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention (MICCAI). Vol. 9351, 2015, pp. 234–241.

3. Badrinarayanan V., Kendall A., and Cipolla R.. "Segnet: A Deep Convolutional Encoder-Decoder Architecture for Image Segmentation." arXiv. Preprint arXiv: 1511.0051, 2015.

А.В. Зуев^{1,2}, А.Н. Жирабок²

**МЕТОД ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО
ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ДВИЖИТЕЛЕЙ ПОДВОДНЫХ
РОБОТОВ**

¹*Институт автоматики и процессов управления ДВО РАН, Владивосток*

²*Институт проблем морских технологий ДВО РАН, Владивосток
zuev@dvo.ru, zhirabok@mail.ru*

A.V. Zuev^{1,2}, A.N. Zhirabok²

**METHOD OF CONSTRUCTING FUNCTIONAL DIAGNOSTIC
SYSTEMS FOR UNDERWATER ROBOT THRUSTERS**

¹*Institute of Automation and Control Processes FEB RAS, Vladivostok, Russia*

²*Institute of Marine Technology Problems FEB RAS, Vladivostok, Russia
zuev@dvo.ru, zhirabok@mail.ru*

Доклад посвящен исследованию вопросов повышения эффективности эксплуатации подводных роботов (ПР) за счет использования систем функционального диагностирования их движителей, которые обеспечивают онлайн обнаружение, локализацию и идентификацию возникающих незначительных дефектов. Для решения этой задачи предложен новый метод, содержащий два основных этапа. На первом этапе осуществляется построение банка диагностических наблюдателей для обнаружения и локализации возникающих дефектов [1]. При этом каждый наблюдатель строится по специальной процедуре таким образом, чтобы быть чувствительным к различному набору возможных дефектов. На втором этапе синтезируются дополнительные наблюдатели, работающие в скользящем режиме, для точной оценки величин ошибок в сигналах, получаемых от датчиков, и оценки отклонений параметров движителей от их номинальных значений, обусловленных появлением дефектов. При этом, в отличие от существующих решений, предлагается использовать редуцированную (имеющую меньшую размерность) модель исходной системы при построении указанных наблюдателей [2, 3]. Это дает возможность уменьшить сложность получаемых наблюдателей по сравнению с известными методами, где строятся наблюдатели полного порядка.

Результаты проведенных исследований показали работоспособность и высокое качество всех синтезированных наблюдателей. Во всех рассмотренных случаях удалось своевременно обнаружить факт появления типовых дефектов, а также обеспечить идентификацию их величин. На основе рассмотренного метода построения

систем диагностирования двигателей могут быть созданы высоконадежные системы управления ПР различного вида и назначения.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект №18-79-00143).

1. Шумский А.Е., Жиравок А.Н. Методы и алгоритмы диагностирования и отказоустойчивого управления динамическими системами. Владивосток: ДВГТУ, 2009.

2. Жиравок А.Н., Зуев А.В., Шумский А.Е. Диагностирование линейных динамических систем: подход на основе скользящих наблюдателей // Автоматика и телемеханика. 2020. №2. С.18-35.

3. Жиравок А.Н., Зуев А.В., Шумский А.Е. Идентификация дефектов в датчиках технических систем с использованием скользящих наблюдателей // Измерительная техника. 2019. № 10. С. 21-28.

А.В. Зуев^{1,2}, А.Н. Жиравок², А.Е. Шумский³
**РАЗРАБОТКА МЕТОДА ИДЕНТИФИКАЦИИ ДЕФЕКТОВ
В ДАТЧИКАХ МЕХАТРОННЫХ ОБЪЕКТОВ**

¹*Институт автоматизации и процессов управления ДВО РАН, Владивосток*

²*Институт проблем морских технологий ДВО РАН, Владивосток*

³*Дальневосточный федеральный университет, г. Владивосток*

zuev@dvo.ru, zhirabok@mail.ru, a.e.shumsky@yandex.com

A.V. Zuev^{1,2}, A.N. Zhirabok², A.Ye. Shumsky³
**DEVELOPMENT OF A METHOD FOR FAULT IDENTIFICATION
IN SENSORS OF MECHATRONIC OBJECTS**

¹*Institute of Automation and Control Processes FEB RAS, Vladivostok, Russia*

²*Institute of Marine Technology Problems FEB RAS, Vladivostok, Russia*

³*Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russia*

zuev@dvo.ru, zhirabok@mail.ru, a.e.shumsky@yandex.com

В докладе решается задача идентификации (определения величины) дефектов в датчиках мехатронных объектов, описываемых линейными дифференциальными уравнениями, в присутствии внешних возмущений неизвестного характера, действующих на динамику системы. Для решения поставленной задачи используются наблюдатели, работающие в скользящем режиме. Предложен

подход [1], который базируется на идее построения редуцированной (имеющей меньшую размерность) модели исходного мехатронного объекта, обладающей избирательной чувствительностью по отношению к дефектам и возмущению, когда модель нечувствительна к возмущению и чувствительна к определенным дефектам. Показано, что использование такой модели позволяет уменьшить сложность средств идентификации и ослабить ограничения, накладываемые на исходную систему, по сравнению с известными методами. Редуцированную модель предложено строить на основе идентификационной канонической формы, что позволяет получить простую процедуру синтеза, учитывающую дополнительные ограничения, связанные с особенностями реализации скользящего режима. На основе этой модели предложено два метода построения скользящих наблюдателей [2], формирующих оценку величины дефекта, отличающиеся друг от друга характером ограничений, накладываемых на исходную систему. Приведены доказательства существования скользящих режимов при выполнении определенных условий.

Результаты моделирования на примере идентификации типовых дефектов показали работоспособность и высокую эффективность предложенного метода робастного поиска и идентификации дефектов.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект №18-79-00143).

1. Жирабок А. Н., Шумский А. Е., Зуев А. В. Подход к диагностированию линейных систем на основе скользящих наблюдателей // Мехатроника, автоматизация, управление. 2017. Том 18, №11. С. 728-733.

2. Жирабок А.Н., Зуев А.В., Шумский А.Е. Идентификация дефектов в датчиках технических систем с использованием скользящих наблюдателей // Измерительная техника. 2019. № 10. С. 21-28.

**В.Ф. Филаретов^{1,2}, А.Ю. Коноплин^{1,3},
А.П. Юрманов^{2,3}, П.А. Пятавин^{2,3}**

**МЕТОД ФОРМИРОВАНИЯ ТРАЕКТОРИИ ПОДВОДНОГО
МАНИПУЛЯТОРА ДЛЯ СУПЕРВИЗОРНОГО ВЫПОЛНЕНИЯ
ОПЕРАЦИЙ**

¹*Институт автоматизации и процессов управления ДВО РАН, Владивосток*

²*Дальневосточный федеральный университет, Владивосток*

³*Институт проблем морских технологий ДВО РАН, Владивосток
konoplin@marine.febras.ru*

**V.F. Filaretov^{1,2}, A.Yu. Konoplin^{1,3},
A.P. Yurmanov^{2,3}, P.A. Pyatavin^{2,3}**

**METHOD FOR TRAJECTORY FORMING OF UNDERWATER
MANIPULATOR FOR SUPERVISORY IMPLEMENTATION OF
OPERATIONS**

¹*Institute for Automation and Control Processes, FEB RAS, Vladivostok*

²*Far Eastern Federal University, Vladivostok*

³*Institute of Marine Technology Problems FEB RAS, Vladivostok
konoplin@marine.febras.ru*

В настоящее время подавляющее большинство подводных манипуляционных операций выполняются в ручном режиме операторами подводных аппаратов (ПА), оснащенных многозвенными подводными манипуляторами (ПМ). В процессе управления ПМ операторы ориентируются только на видеоизображение, не имея прямого контакта с объектом манипулирования, что приводит к быстрой утомляемости, неизбежным ошибкам, и часто не позволяет качественно выполнять сложные операции. Для решения этих проблем в докладе предложен новый метод формирования траектории ПМ для супервизорного выполнения манипуляционных работ.

Этот метод позволяет спроецировать любую желаемую траекторию движения рабочего инструмента ПМ на сложную поверхность морского дна или объекта работ, а также обеспечить визуальный контроль за выполнением этой операции. Вначале с помощью известных методов [1, 2] и систем технического зрения строится триангуляционная поверхность дна или подводного объекта. На эту поверхность накладывается желаемая траектория движения ПМ, заданная в аналитическом виде. Причем оператор может определять места начала и конца траектории с помощью установленной на поворотной платформе телекамеры ПА [3], а также масштабировать или изменять вид этой траектории.

Для наложения желаемой траектории на триангуляционную поверхность строятся проецирующие лучи, направленные от этой траектории в сторону поверхности, после чего с помощью алгоритма Моллера-Трумбора [4] вычисляются точки пересечения проецирующих лучей и треугольников, из которых состоит поверхность. Количество проецирующих лучей определяется в зависимости от параметров желаемой траектории, а также от степени детализации сканирования подводного объекта. В результате полученные точки сортируются в последовательность точек, представляющую собой искомую траекторию движения рабочего органа ПМ, которая проходит по поверхности дна (см. рис. 1) или объекта работ.

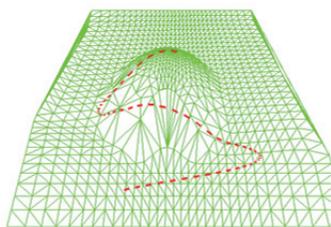


Рисунок 1 — Спроецированная траектория движения рабочего органа ПМ

Кроме того, для визуального контроля выполнения заданной манипуляционной операции реализован способ управления телекамерой ПА [5], обеспечивающий автоматического наведения продольной оси телекамеры на среднюю точку схвата ПМ в процессе его работы.

1. Marton Z., Rusu R. and Beetz M. On Fast Surface Reconstruction Methods for Large and Noisy Datasets. Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA), 2009, Kobe, Japan, pp. 3218-3223.
2. Point Cloud Library: Fast triangulation of unordered point clouds <http://ns50.pointclouds.org/>
3. Филаретов В. Ф., Коноплин А.Ю., Коноплин Н.Ю. Метод супервизорного управления манипулятором подводного робота // Мехатроника, автоматизация, управление. 2018. №2. С. 95–99.
4. Möller T. and Trumbore B. Fast, Minimum Storage Ray-Triangle Intersection. Journal of Graphics Tools (JGT), 2(1):21–28, October 1997.
5. Филаретов В.Ф., Коноплин А.Ю. Способ автоматического наведения телекамеры // патент РФ № 2556441, Бюл. № 19 от 10.07.2015.

*А.Ю. Коноплин^{1,2}, В.А. Денисов², Т.Н. Даутова²,
А.Л. Кузнецов², А.В. Москвитцева²*

**ТЕХНОЛОГИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТНПА
ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ГЛУБОКОВОДНЫХ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ ОПЕРАЦИЙ**

*¹Институт проблем морских технологий ДВО РАН, Владивосток
²Национальный научный центр морской биологии им. А.В. Жирмунского
ДВО РАН, Владивосток
konoplin@marine.febras.ru*

*A.Yu. Konoplin^{1,2}, V.A. Denisov², T.N. Dautova²,
A.L. Kuznetsov², A.V. Moskovtseva²*

**TECHNOLOGY OF THE ROV USING FOR PERFORMING
OF DEEP-WATER RESEARCH OPERATIONS**

*¹Institute of Marine Technology Problems FEB RAS, Vladivostok, Russia
²National Scientific Center of Marine Biology named A.V. Zhirmunsky FEB
RAS, Vladivostok, Russia
konoplin@marine.febras.ru*

Доклад посвящен технологии использования телеуправляемого необитаемого подводного аппарата (ТНПА) рабочего класса Comanche 18, позволяющей эффективно выполнять глубоководные исследовательские операции в условиях сильных придонных течений и сложного рельефа подводных гор. Приведены особенности планирования подводных работ, пилотирования ТНПА, организации погружений и взаимодействий с экипажем судна-носителя. Описаны созданные средства пробоотбора, обеспечивающие качественный сбор научного материала, а также разработанное программное обеспечение, предназначенное для интеллектуальной и информационной поддержки деятельности операторов ТНПА [1].

Предложенные технологические решения были использованы в глубоководной научно-исследовательской экспедиции ННЦМБ ДВО РАН, при участии Института проблем морских технологий ДВО РАН, по исследованию подводных гор и гайотов Императорского хребта (северо-западная часть Тихого океана) на НИС «Академик М.А. Лаврентьев» (рейс № 86) в июле–августе 2019 года. Целью этой экспедиции являлось комплексное исследование экосистем океанических поднятий с помощью ТНПА Comanche 18. В ходе 19 рабочих погружений аппарата было впервые проведено комплексное исследование глубоководных экосистем подводных гор, распределение типичных подводных ландшафтов и ключевых

обитателей уязвимых морских экосистем вершин и верхней части склонов подводных гор Коко, Джингу, Оджин и Нинтоку в диапазоне глубин от 338 до 2182 м.

Результаты экспедиционных работ показали, что предложенная технология использования ТНПА рабочего класса Comanche 18 позволяет этому аппарату успешно решать поставленные научно-исследовательские задачи обследования больших глубоководных полигонов. При этом на всем протяжении маршрутов движения аппарата в условиях сложного рельефа подводных гор и сильных придонных течений качественно выполнялись операции: видео и фотосъемка; съемка гидролокатором кругового обзора; профилирование; отбор проб воды; отбор осадочных слоев грунта; отбор образцов геологических пород; отбор животных (см. рис. 1).

В результате применения ТНПА было впервые изучено биоразнообразие и распределение кораллов *Ostocorallia* и губок *Hexactinellidae*, значительно расширен список родов морских перьев *Pennatulacea* Императорского хребта, сделаны уникальные и важные для биогеографии находки видов-индикаторов уязвимых морских экосистем. Получены новые данные о биоразнообразии макробентоса исследованной группы подводных гор и гайотов. Впервые показано изменение фауны кораллов в широтном направлении в районе Императорского хребта [2].

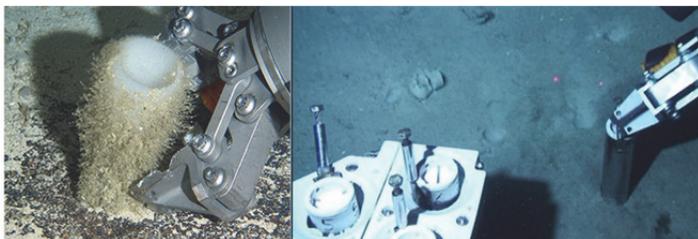


Рисунок 1 – Отбор проб манипулятором ТНПА

1. Филаретов В.Ф., Коноплин А.Ю., Коноплин Н.Ю. Разработка и натурные испытания системы интеллектуальной поддержки деятельности операторов ТНПА // Подводные исследования и робототехника. 2018. №2 (26). С. 12-20.
2. Даутова Т.Н., Галкин С.В., Табачник К.Р., Минин К.В., Киреев П.А., Московцева А.В., Адрианов А.В. Первые сведения о структуре уязвимых морских экосистем Императорского хребта – индикаторные таксоны, ландшафты, биогеография // Биология моря. 2019. Т.45. №6. С.374-383.

В.Ф. Филаретов^{1,2}, А.Ю. Коноплин^{1,3}, А.В. Зуев^{1,3}, Н.А. Красавин^{2,3}

**СИСТЕМА ВЫСОКОТОЧНОГО УПРАВЛЕНИЯ
ПЕРЕМЕЩЕНИЯМИ ПОДВОДНОГО МАНИПУЛЯТОРА**

¹*Институт автоматизации и процессов управления ДВО РАН, Владивосток*

²*Дальневосточный федеральный университет, Владивосток*

³*Институт проблем морских технологий ДВО РАН, Владивосток
konoplin@marine.febras.ru*

V.F. Filaretov^{1,2}, A.Yu. Konoplin^{1,3}, A.V. Zuev^{1,3}, N.A. Krasavin^{2,3}

**SYSTEM OF HIGH-PRECISION MOVEMENTS CONTROL
OF UNDERWATER MANIPULATOR**

¹*Institute for Automation and Control Processes, FEB RAS, Vladivostok*

²*Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russia*

³*Institute of Marine Technology Problems FEB RAS, Vladivostok, Russia
konoplin@marine.febras.ru*

Проблема высокоточного управления многозвенными манипуляторами (ММ), установленными на подводных аппаратах, сохраняет свою актуальность на сегодняшний день ввиду активного развития данной области робототехники. На движущиеся звенья таких ММ оказываются значительные динамические воздействия со стороны окружающей водной среды [1, 2], приводящие к возникновению взаимовлияний в степенях подвижности многозвенников. В результате чего снижается точность перемещения рабочих инструментов подводных ММ.

В докладе решается задача синтеза комбинированной системы, обеспечивающей высокоточное управление перемещениями рабочего органа (РО) ММ, движущегося с высокой скоростью в водной среде. При этом негативные моментные воздействия на шарниры ММ, обусловленные влияниями вязкой среды на его движущиеся звенья, в реальном масштабе времени рассчитываются с помощью рекуррентного алгоритма решения обратной задачи динамики для подводных ММ [1]. Для компенсации вычисляемых моментных воздействий используются самонастраивающиеся корректирующие устройства электроприводов ММ [3].

Чтобы сохранить высокую точность работы ММ в случаях, когда невозможно точно определить параметры влияния вязкой среды на его звенья (коэффициенты вязкого трения, величины присоединенных к звеньям масс жидкости и их моментов инерции) предложено использовать наблюдатели [4], позволяющие идентифицировать неучтенные внешние моменты на валах электроприводов ММ.

Эти внешние моменты также компенсируются с помощью дополнительных управляющих воздействий, подаваемых на электроприводы ММ самонастраивающимися корректирующими устройствами.

Результаты численного моделирования показали, что предложенная система позволяет сохранять высокую динамическую точность перемещения РО подводного ММ по произвольным пространственным траекториям на высоких скоростях.

1. Филаретов В.Ф., Коноплин А.Ю. Система автоматической стабилизации подводного аппарата в режиме зависания при работающем многозвенном манипуляторе. Часть 1 // Мехатроника, автоматизация, управление. 2014. №6. С. 53-56.
2. Куафе Ф. Взаимодействие робота с внешней средой. М.: Мир, 1985. 285 с.
3. Филаретов В.Ф. Самонастраивающиеся системы управления приводами манипуляторов. Владивосток: Изд-во ДВГТУ. 2000. 304 с.
4. Жирабок А.Н., Зуев А.В., Шумский А.Е. Методы диагностирования линейных систем на основе скользящих наблюдателей // Известия РАН. Теория и системы управления. 2019. № 6. С. 73-89.

Л.Д. Смирная, Е.С. Брискин
**УПРАВЛЕНИЕ НОРМАЛЬНЫМИ РЕАКЦИЯМИ
ШАГАЮЩИХ ДВИЖИТЕЛЕЙ ПОДВОДНЫХ РОБОТОВ
С ГРУНТОМ**

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

L.D. Smirnaya, E.S. Briskin
**CONTROL OF NORMAL REACTIONS OF WALKING
PROPULSION DEVICES OF UNDERWATER ROBOTS WITH
GROUND**

*Volgograd State Technical University, Volgograd, Russia
Center for Technology Components of Robotics and Mechatronics, Innopolis
University, Innopolis, Russia, dtm@vstu.ru*

Одна из задач, стоящая при разработке мобильных роботов, перемещающихся по неподготовленной поверхности, состоит в обеспечении должной профильной и опорной проходимости. Её решение возможно за счет применения шагающих движителей, способных преодолевать препятствия соизмеримые с размерами робота с одной стороны и имеющих развитую опорную поверхность для реализации тяговых свойств – с другой [1]. Существует достаточное количество технологических задач, которые нужно выполнять на дне водоемов. В последние годы достаточно интенсивно развивается подводная мобильная робототехника, для которой эта задача имеет свои специфические и требующие учета особенности:

- наличие выталкивающей силы, снижающей давление на грунт вплоть до его полного отсутствия;
- повышенная, по сравнению с наземными роботами, трудность идентификации профиля и физико-механических свойств грунта в значимой для движения окрестности робота;
- при применении шагающих движителей повышенное усилие для подъема стопы и её последующего переноса в новое положение за счет «компрессионного» эффекта [2, 3];
- повышенная сила сопротивления движению за счет перемещения в более плотной среде;
- возможность действия дополнительных произвольно ориентированных сил на корпус робота за счет течений, имеющих место в водной среде.

Рассматривается проблема управления нормальными реакциями шагающих движителей подводных роботов с грунтом. Для наземных шагающих роботов решение подобной задачи известно [4].

Целью исследования является повышение грунтовой проходимости подводных роботов с шагающими движителями.

Ставится задача по анализу особенностей взаимодействия опор шагающих движителей подводных роботов с грунтом; исследованию закономерностей влияния положения и величины выталкивающей силы на тяговые свойства ортогональных движителей, опирающихся на грунт; установлению закономерностей влияния распределения нормальных усилий на тяговые свойства движителей опирающихся на грунт и якорно-тросовых движителей, цепляющихся за грунт.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 18-71-10069.

1. Брискин Е.С., Чернышев В.В., Малолетов А.В., Шаронов Н.Г. Сравнительный анализ колесных, гусеничных и шагающих машин // Робототехника и техническая кибернетика. 2013. № 1 (1). С. 6-14.
2. Арыканцев В.В., Чернышев В.В. Модельные оценки влияния «компрессионной» силы на динамику глубоководного шагающего аппарата // В сборнике: Нелинейная динамика машин - School-NDM 2017 сборник IV Международной Школы-конференции молодых ученых. 2017. С. 113-119.
3. Брискин Е.С., Смирная Л.Д. Об отрыве стопы шагающего движителя мобильного подводного робота от грунта // Робототехника и техническая кибернетика. 2019. Т. 7. № 3. С. 215-223.
4. Шнейдер А.Ю., Гориневский Д.М. Управление опорными реакциями шагающего аппарата при движении по грунтам с различными несущими свойствами // Ин-т пробл. передачи информ. АН СССР. - Препр. - М. : ИППИ, 1986. - 72 с.

Н.А. Рудянов, В.С. Хрущев
**ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ
НАЗЕМНЫХ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ
ВОЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ
ОНТОЛОГИЧЕСКИХ БАЗ ЗНАНИЙ**

3 ЦНИИ МО РФ, г. Москва, rudianov_1980@mail.ru

N.A. Rudianov, V.S. Khruschev
**INTELLIGENT CONTROL SYSTEMS FOR MILITARY GROUND-
BASED ROBOTIC SYSTEMS BASED ON ONTOLOGICAL
KNOWLEDGE BASES**

3 CNI MO RF, Moscow, Russia, rudianov_1980@mail.ru

Все разработанные на настоящий момент наземные РТК ВН являются дистанционно управляемыми [1]. При этом требование устойчивой двусторонней связи при дистанционном управлении существенно ограничивает дальность действия и возможности применения РТК. Выходом из создавшейся ситуации является интенсификация исследований по повышению автономности и внедрение в военную робототехнику интеллектуальных систем принятия решений на этапах управления, в том числе группового, автономного движения и применения оборудования по назначению, включая вооружение.

В связи с этим, работы в области интеллектуализации систем управления и автоматизации операторской деятельности являются чрезвычайно актуальными для образцов вооружения и военной техники Сухопутных войск.

Любая интеллектуальная система основана на приобретении и формализации специальных знаний. Как показывает опыт разработок в области экспертных систем задача эта очень трудно реализуемая и требует больших временных и интеллектуальных усилий. Разработка интеллектуальных систем управления для каждого отдельного типа РТК ВН экономически и технологически нецелесообразна, а иногда невозможна, в связи с отсутствием специалистов по боевому применению и самих знаний, которые можно было бы формализовать.

Здесь, с нашей точки зрения, необходимо учитывать два обстоятельства.

С одной стороны, количество задач, которые предполагается решать с помощью перспективных наземных РТК ВН [2], велико и предполагаемый типаж этих роботов достаточно разнообразен. При этом автономные РТК ВН в ходе подготовки должны постоянно принимать решения при движении, обнаружении и идентификации целей и препятствий, распознавании ситуаций, выборе способов применения навесного оборудования. Наземные роботы военного назначения будут функционировать в заранее неопределенной среде, используя неполную и неопределенную информацию при не всегда четко сформулированном целеполагании.

С другой стороны, при всем разнообразии типов вооружения и военной техники Сухопутных войск, существуют общая терминология для разведывательных и огневых комплексов, общая классификация факторов, определяющих процесс управления движением, установления важности или опасности обнаруженных объектов противника, выбор цели для стрельбы, выбор типа огня и расхода боеприпасов. Так, например, факторами, влияющими на процесс выработки решения по управлению движением любого конкретного наземного робота военного назначения, являются тактико-технические характеристики базового шасси робота, которые подразделяются на постоянные, контролируемые и регулируемые параметры; параметры местности; типы и характеристики возможных препятствий и заграждений; параметры состояния внешней среды; помехи системам технического зрения, естественные и преднамеренные. При определении важности цели для обстрела для практически любого типа РТК ВН факторами, определяющими выбор являются: параметры движения цели, ее тип и, соответственно, потенциальная опасность для своих войск и объектов, назначенные сектора и эшелоны ответственности, вероятность поражения цели своими средствами и средствами соседних подразделений и другие.

Такие общие для различных типов РТК ВН данные и знания дают возможность создания некоторых универсальных баз знаний, являющихся своеобразным общим ядром для построения интеллектуальных систем управления различных РТК ВН.

Существуют различные модели представления знаний: формально-логическая, продукционная, фреймовая, семантическая сеть. Одним из современных средств представления знаний являются онтологии – формальные явные описания терминов предмет-

ной области и отношений между ними [4,5]. Некоторыми преимуществами онтологий являются возможность повторного использования знаний в предметной области, возможность сделать допущения в предметной области явными, отделение знаний в предметной области от оперативных знаний, возможность анализа знаний в предметной области.

В виду слабой формализуемости решаемых интеллектуальными системами управления РТК ВН задач очень важно иметь детальное непротиворечивое описание проблемы для принятия решения. Онтология позволяет создать такое описание. При принятии решений используются разнородные данные и знания. Так как онтология позволяет явно описывать семантику данных и знаний, она обеспечивает возможность их совместное использование при решении задач. При разработке систем принятия решений конкретных РТК ВН возможно использование онтологий, ранее разработанных для области знаний этих систем. Это позволяет резко сократить временные и интеллектуальные затраты на разработку при высоком качестве создаваемых систем и их совместимость с уже разработанными системами.

По нашему мнению, на основе онтологических баз знаний необходимо строить интеллектуальные системы управления наземных робототехнических комплексов военного назначения. Исследования и разработки в этой области должны способствовать решению задачи создания распределенной интеллектуальной системы, поддерживающей процесс решения тактических задач подразделениями РТК ВН, состоящей из системы, решающей задачи оперативно-го целеполагания на командном пункте и бортовые системы анализа типовых ситуаций боевой работы, предлагающие роботу эффективный способ решения оперативно назначенной задачи.

Параллельно необходимо проводить работы в области создания алгоритмов бортовых вычислительных систем, которые могли бы эффективно настраиваться на условия выполняемой задачи, в области оперативной реконфигурации системы управления РТК при отказах и боевых повреждениях, в области разработки процедур пополнения баз знаний в процессе их эксплуатации.

Интеллектуальные системы управления наземных робототехнических комплексов военного назначения на основе онтологических баз знаний становится приоритетной задачей в области создания и совершенствования робототехники военного назначения.

1. Рудианов Н.А., Рябов А.В., Хрущев В.С. Автономные робототехнические комплексы в системе вооружение Сухопутных войск. // Ракетно-техническое и артиллерийско-техническое обеспечение Вооруженных сил Российской федерации. Тематический сборник. «Информационный мост». – Москва: С. 49-51.
2. Рудианов Н.А., Хрущев В.С. Концептуальные вопросы построения и применения автономных робототехнических комплексов военного назначения // Военная мысль № 6, Москва, 2019, с. 55–61.
3. Иванов С.С., Дульнев П.А., Воронович А.В. Задачи, решаемые робототехническими комплексами военного назначения Сухопутных войск и требования к ним. Труды II-й Военно-научной конференции «Роботизация Вооруженных Сил Российской Федерации», Москва, 2017. – 537 с.
4. Загорулько Ю. А., Загорулько Г. Б., Онтологии и их практическое применение в системах, основанных на знаниях // Всероссийская конференция с международным участием "Знания - Онтологии - Теории" (ЗОНТ-2011). - Новосибирск, Институт математики им. С.Л. Соболева СО РАН. - 2011. - Том 1.
5. Панюшкина О.В., Королева Л.А., Подшивалова А.В., Шевчук К.О. Формализация описания проектируемых изделий на основе онтологического подхода// Фундаментальные исследования. – 2013. – № 10-15. – С. 3368-3372.

С.Г. Цариченко¹, О.П. Гойдин², С.А. Голь³

**МОБИЛЬНЫЕ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ ДЛЯ
ПРОВЕДЕНИЯ АВАРИЙНО-СПАСАТЕЛЬНЫХ И РЕМОНТНО-
ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫХ РАБОТ НА ОБЪЕКТАХ АТОМНОЙ
ОТРАСЛИ**

¹*Московский государственный строительный университет, Москва*

²*Всероссийский научно-исследовательский институт автоматики им.
Н.Л. Духова, Москва*

³*Рязанский государственный радиотехнический университет, Рязань
tdsarichenko_s@mail.ru, goidin@vniia.ru, likvon@list.ru*

S.G. Tsarichenko¹, O.P. Goidin², S.A. Goll³

**MOBILE ROBOTIC SYSTEMS FOR EMERGENCY RESCUE AND
REPAIR WORK AT NUCLEAR FACILITIES**

¹*Moscow State University of Civil Engineering, Moscow*

²*All-Russian Scientific Research Institute of Automation, Moscow*

³*Ryazan State Radio Engineering University, Ryazan
tdsarichenko_s@mail.ru, goidin@vniia.ru, likvon@list.ru*

Для выполнения технологических операций в зонах особого радиационного риска целесообразно использовать безлюдные роботизированные робототехнические комплексы различного назначения. Имеющийся отечественный опыт применения дистанционно управляемых машин показал их высокую эффективность. Толчком к развитию экстремальной робототехники явились работы по ликвидации последствий ядерной аварии с массовым использованием робототехнических комплексов на Чернобыльской АЭС.

В целях повышения эффективности и безопасности проведения аварийно-спасательных и ремонтно-восстановительных работ на объектах атомной отрасли предлагается использовать многофункциональную группировку робототехнических комплексов, обеспечивающую проведение мониторинга текущей обстановки, обследования и разведки обстановки на объекте в условиях аварии, локализации возможного источника аварийной ситуации, в том числе пожаротушение, выполнение работ по разбору конструкций и дезактивации, возведению защитных сооружений и транспортировке радиоактивно загрязненных материалов. В частности, разработанные технические решения в вопросах управления робототехническими комплексами, уже реализованные в существующих образцах,

позволяют вплотную подойти к решению одной из важных и достаточно трудных задач в процессе жизненного цикла атомных электростанций – демонтажу технологического оборудования реакторного отделения, включая реактор, парогенератор, циркуляционные насосы и другое оборудование, имеющее различные уровни радиационного загрязнения.

В зависимости от сложности и технических особенностей решаемых задач управление робототехническими комплексами может выполняться в дистанционном или автономном режимах. Для реализации последнего разработан унифицированный интеллектуальный модуль, который может быть использован для оснащения различных инженерных и транспортных роботизированных комплексов на различных этапах проведения аварийно-спасательных и ремонтно-восстановительных работ. Каждый тип подвижной платформы включает в себя подсистему электропитания, исполнительную подсистему и оснащен оборудованием телеуправления. Интеллектуальный модуль способен автономно управлять движением мобильного робота по следующим сценариям:

- «следуй за мной» – робот автономно преследует подвижный объект с активной меткой по его траектории;
- «мул» – робот запоминает траекторию при движении под внешним управлением и самостоятельно возвращается по ней при переходе на автономное управление;
- «трек» – робот планирует траекторию до пункта назначения и автономно движется по ней;
- «челнок» – робот автономно циклически двигается по замкнутой траектории.
- Все сценарии сопровождаются:
 - формированием высокоточной трехмерной цифровой модели окружающего пространства, не требующим постобработки зарегистрированных данных (в режиме реального времени);
 - определением положения и других параметров движения мобильного робота по текущим данным подсистемы технического зрения на основе лазерных сканирующих дальнометров и высокоточной трехмерной цифровой модели окружающего пространства в том числе и при недоступности данных ГНСС;
 - детектированием динамических объектов в окружающем пространстве и определением параметров их движения;
 - поиском и распознаванием объектов интереса.

Рассматриваемая схема организации работ основывается на реальных функциональных возможностях инженерных и транспортных машин с дистанционно-управляемым и автономным принципом управления, обусловленных спецификой работы в условиях повышенного уровня радиации как в закрытых помещениях, так и на открытой местности. Особо следует отметить, что практически все образцы робототехнических средств, предлагаемых для использования в составе многофункциональной группировки, являются действующим образцами, прошедшими практическую апробацию в различных условиях. Предлагается рассмотреть вопрос об организации их функциональной взаимосвязи в одном информационном пространстве, с учетом необходимых доработок на предприятиях Российской Федерации, обусловленных спецификой атомной отрасли.

И.А. Шипов, Е.В. Ветошкин
**КОМПЛЕКСИРОВАННАЯ НАВИГАЦИЯ НАЗЕМНЫХ
РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ**

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

I.A. Shipov, Ye.V. Vetoshkin
**INTEGRATED NAVIGATION OF UNMANNED GROUND
VEHICLES**

VNI Signal JSC, Kovrov, pil14@inbox.ru

Наземные робототехнические комплексы (РТК), как новый класс подвижных объектов, задают специфические технические требования к компонентам, входящим в их состав. Для эффективного решения функциональных задач информация о пространственном положении и углах ориентации является ключевой. Типовая структура комплексированной навигационной системы наземных РТК представлена на рис. 1.

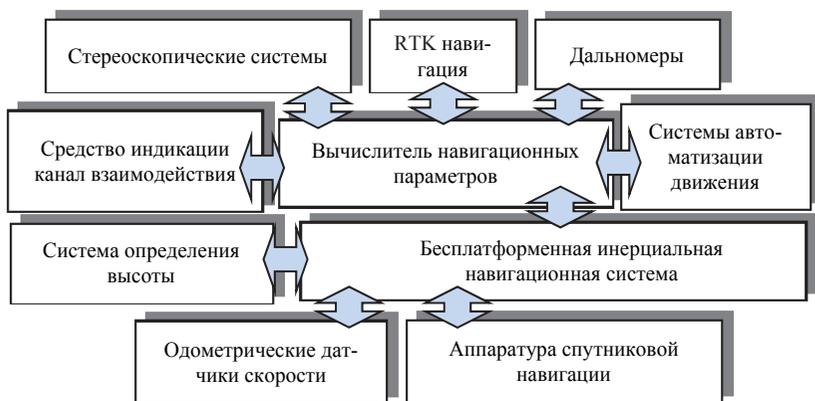


Рисунок 1 — Типовая структура комплексированной навигационной системы наземных РТК

Опыт создания наземных робототехнических комплексов и их навигационного оснащения показал, что требования, предъявляемые к точности определения пространственного положения объекта можно обеспечить только с помощью сложных, адаптивных алгоритмов комплексирования навигационных данных.

Посредством применения высокоточных систем ориентирования, погрешность определения начального дирекционного которых составляет не более 0.04° , и датчиков линейной скорости точность определения координат может достигать порядка $0,1\%$ от пройденного пути. Для целого ряда функциональных задач, выполняемых робототехническими комплексами, пропорциональная зависимость погрешности от продолжительности движения не применима, а необходима абсолютная погрешность. Также прецизионные системы ориентирования, как правило, обладают значительными массогабаритными характеристиками и высокой стоимостью, что зачастую неприменимо для легких и средних объектов.

Комплексирование данных, имеющихся в информационном пространстве наземного робота, может позволить повысить точность решения следующих задач:

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

Расширенный состав навигационной системы для РТК включает в себя: гироскопическую систему ориентирования, датчики линейной скорости, аппаратуру спутниковой навигации, систему опреде-

ления высоты, систему автоматизации движения, дальномеры, стереоскопические системы и RTK-навигация (кинематика реального времени). Опыт разработки автономных тяжелых и средних робототехнических комплексов показал, что RTK-системы позволяют достичь высокой точности определения текущего положения объекта на ограниченных участках местности и при локальном позиционировании.

Значимым фактором в работе алгоритмов комплексирования навигационных систем является приоритетность и диагностика достоверности информации получаемой от разных систем. В условиях возможности подмены данных спутниковых систем информация, полученная от автономного канала навигации, является наиболее независимой и может считаться за эталонную в течение определенного времени марша.

И.А. Кудрявцев

**НОВЫЙ ПОДХОД К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧ РАЗГРУЗКИ И
ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОВОООРУЖЕННОСТИ
ВОЕННОСЛУЖАЩЕГО В ЭКИПИРОВКЕ**

ООО «Мехатронные системы», г. Йошкар-Ола, kutko58@yandex.ru

I.A. Kudryavtsev

**A NEW APPROACH TO SOLVING PROBLEMS OF UNLOADING
AND INCREASING THE ENERGY CAPACITY OF A
SERVICEMAN IN EQUIPMENT**

Mechatronic systems LLC, Yoshkar-Ola, kutko58@yandex.ru

Целью применения экзоскелетных комплексов в боевой экипировке военнослужащего является повышение эффективности выполнения солдатами поставленных боевых задач при уменьшении потерь среди личного состава подразделений. Решаемые задачи для достижения цели: разгрузка военнослужащего от действия целевой нагрузки, повышение выносливости и энерговооруженности военнослужащего.

Классический подход к решению указанных задач - создание боевого экзоскелета, включающего: высокопрочный, охватывающий тело военнослужащего, каркас берущий на себя всю нагрузку от действия целевой нагрузки (экипировка); мощные приводы, повы-

шающие выносливость и перегрузочную способность военнослужащего; большая энерговооруженность (мощные аккумуляторные батареи) для обеспечения энергией высокоэффективных средств поражения, средств защиты и средств жизнеобеспечения.

Однако, у современных экзоскелетов есть существенный недостаток (который разработчиками практически не упоминается) - высокая скованность в движениях пользователя экзоскелетом, что является следствием значительной массы и это становится критически опасным для военнослужащего в условиях активных боевых действий.

Суть проекта заключается в следующем.

С бойцом связан подвижный роботизированный комплекс (РК) посредством сцепного устройства максимально не сковывающим движения бойца, представляющего собой шарнирный узел со степенями подвижности, достаточными для передвижения бойца, маневрирования, в том числе поворачивания, а также приседания и вставания, причем сцепное устройство выполнено быстро отстегиваемым от бойца, что может быть необходимым в критических ситуациях. РК конструктивно представляет собой приводную тележку.

РК берет на себя по максимуму целевую нагрузку бойца, кроме того создает дополнительную принудительную движущую силу в направлении движения бойца и принудительную подъемную силу телу бойца.

Комплекс датчиков фиксирует темп и направление движения бойца, и формирует управляющие сигналы системе управления РК для обеспечения его движения «след в след». Кроме того, РК может взять на борт значительное количество запасных сменных АКБ для бойца.

В результате с бойца снимается часть целевой нагрузки и увеличивается его выносливость за счет дополнительной внешней движущей силы, а также за счет частичного его обезвешивания.

Такой РК многофункционален, он может за счет дополнительных узлов преобразовываться в самостоятельную платформу для транспортирования самого бойца, а также пострадавших и значительных грузов, в том числе запасных сменных АКБ.

А.П. Чадов

ТЕХНОЛОГИЯ БЕСПИЛОТНЫХ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ АВИЦИОННЫХ СИСТЕМ СЕТЕЦЕНТРИЧЕСКОГО ТИПА

*Военная академия связи им. С.М. Будённого, Санкт-Петербург, Россия,
chadap@yandex.ru*

A.P. Chadnov

TECHNOLOGY OF AN UNMANNED INTELLCTUAL AVIATION SYSTEM OF NETWORK-CENTRIC TYPE

*The Military of telecommunications academy of S.M. Budyonny,
St. Petersburg, Russia, chadap@yandex.ru*

В настоящее время при создании инфотелекоммуникационной (ИТК) технологии на основе прототипирования технологии 5G особое внимание уделяется исследованию направлений интеллектуализации данной технологии и исследованию технологий сетевых беспилотных интеллектуальных авиационных, транспортных, медицинских и интеллектуальных мобильных роботизированных систем т.е. технологий построения и функционирования данных систем на основе глобальной защищенной ИТК сети.

Актуальность разработки технологии систем БИАС СТ

Современные подходы к оценке беспилотной авиации в мире кардинально изменились, роль данной авиации в гражданской и военной сферах существенно возросли.

Ориентация на широкомасштабное применение систем БИАС СТ в различных сферах общества и целесообразность унификации их построения и функционирования в воздушном пространстве (ВП) РФ обуславливает актуальность опережающего прорыва в разработке технологии данных систем.

Место систем БИАС СТ в общей авиационной системе РФ

Системы БИАС СТ – это новые компоненты общей авиационной системы РФ. Каждая из этих систем представляют собой организационно – технический комплекс взаимосвязанных элементов в составе одного или нескольких (в составе группировки) беспилотных летательных аппаратов (БЛА), станций внешнего экипажа (ВЭ) пунктов дистанционного пилотирования (ПДП), подсистемы комбинированной навигации, подсистемы безопасности, подсистемы связи, а также дополнительных подсистем и вспомогательных средств обслуживания.

Особенности сетевцентризма и сущность интеллектуализации систем БИАС СТ

Для осуществления сетевых принципов и реализации технологии искусственного интеллекта (ИИ) в качестве «обязательного элемента» данных систем ИТК технология предлагает новые возможности:

1) по сетевых интеграции систем БИАС СТ в глобальную защищенную ИТК сеть и по сетевому объединению их элементов в целостные сетевых системы (экосистемы);

2) по вписываемости систем БИАС СТ в единую систему организации воздушного движения (ЕС ОрВД) РФ и в единое информационно-телекоммуникационное пространство (ЕИТП) страны;

3) по обслуживанию систем БИАС СТ и ее элементов как специфических абонентов глобальной защищенной ИТК сети с предоставлением им необходимых защищенных сервисов с требуемыми характеристиками;

4) по поддержке глобального производства полетов БЛА в различных видах и классах ВП РФ на основе всеохватывающего покрытия сетями радиодоступа глобальной защищенной ИТК сети;

5) по организации сетей связи систем БИАС СТ с компонентами ИИ в качестве сетевых образующих данных систем на основе применения:

- методов беспроводной интеграции трафиков доступа и транзита;

- конвергенции технологий программно-определяемой сети и виртуализации сетевых функций;

- абонентских логических сегментов глобальной защищенной ИТК сети с необходимыми видами и характеристиками услуг;

6) по организации сетевого многоуровневого иерархического обслуживания систем БИАС СТ в глобальной защищенной ИТК сети;

7) по реализации на основе распределенного ИИ:

- а) когнитивных функций по предотвращению столкновений в ВП РФ и прогнозированию метеорологических условий на трассе полета БЛА;

- в) функций планирования дистанционного и автономного полета и реализации данного плана по правилам ППП в БЛА-БС при групповом полете (или в БЛА-АС при одиночном полете) с интеллектуальной коррекцией плана по результатам прогнозирования полета, анализа состояния группировки, окружающей воздушной и электромагнитной обстановки, метеорологических условий полета;

- г) функций когнитивного выбора и перестройки разрешенных радиочастот излучения некоторых БЛА-БС и БЛА-АС на основе

пассивного прослушивания эфира, анализа загруженности, а также прогнозов условий распространения радиоволн и электромагнитной совместимости с другими радиосредствами;

д) функций когнитивной адаптации в физических каналах радиолиний;

е) функций когнитивного противодействия преднамеренным помехам;

ж) функций когнитивной защиты от разнообразных сетевых атак;

з) функций когнитивного выбора подходящего регламента радиосвязи и перехода между регламентами в зависимости от плана полета, окружающей воздушной среды и электромагнитной обстановки полета.

А.А. Шаулин, А.В. Ершов
**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МИКРОПРОЦЕССОРОВ «ЭЛЬБРУС»
В РОБОТИЗИРОВАННЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ
КОМПЛЕКСАХ**

Военная академия связи имени Маршала Советского Союза С. М. Буденного, Санкт-Петербург, Maahkery@yandex.ru

A.A. Shaulin, A.V. Ershov
**USING «ELBRUS» MICROPROCESSORS IN ROBOTIC
TECHNOLOGICAL COMPLEXES**

Military Academy of communications named after Marshal of the Soviet Union S.M. Budyonny, St Petersburg, Russia, Maahkery@yandex.ru

В данной работе было проведено исследование возможности использования процессоров на архитектуре «Эльбрус» в роботизированных технологических комплексах. При разработке ТП сборки в РТК предпочтительна высокая концентрация операций, определяющая модели роботов, их функции, точность, оперативность, быстроедействие. Лучшим вариантом будет использование обучаемых роботов. Это роботы, которые могут приспосабливаться к различным случайным факторам, сопровождающим запрограммированную работу. Эта приспособляемость выражается в корректировке своей же программы на основе полученного «опыта» — результатов анализа и классификации возникающих отклонений и мето-

дов их устранения. Соответственно для них нужна электронная «начинка» соответствующего уровня. В микропроцессорах серии «Эльбрус» отсутствует сложная и энергоемкая аппаратура динамического распараллеливания, присущая традиционным микропроцессорам, и используется гораздо более высокий параллелизм. Данные преимущества, при использовании микропроцессоров «Эльбрус» в роботизированных технологических комплексах позволят значительно увеличить производительность. Гарантией тому может являться следующий факт. Традиционные микропроцессоры могут исполнять за один процессорный такт до 8 операций, а микропроцессоры с архитектурой «Эльбрус» до 25. В архитектуре «Эльбрус» заложен механизм, обеспечивающий эффективную совместимость с самой распространенной в мире микропроцессорной архитектурой Intel x86, x86-64 (зачастую называемой «стандартной» архитектурой). Уже были предприняты меры по внедрению процессоров «Эльбрус» в железнодорожную сферу, и результаты весьма впечатляют. Так, экономия от внедрения АПК ЭЛЬБРУС за 2015 год составила более 400 млн. кВт/ч, экономический эффект превысил 1 млрд. рублей, а по итогам 2016 года - 737 млн. кВт/ч на сумму более 2 млрд. рублей.

Выводы. 1. Использование данных микропроцессоров позволит увеличить производительность РТК. 2. Это поддержит отечественного производителя. 3. Использование отечественных процессоров позволит исключить вредоносные закладки на уровне электронного «железа» в аппаратуре.

А.В. Лобачев, А.В. Местников, А.М. Мудранов
**РАЗРАБОТКА АППАРАТНОГО КОМПЛЕКСА
ОБЪЕДИНЕНИЯ И СОГЛАСОВАНИЯ ГРУПП
БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАЮЩИХ АППАРАТОВ (ДРОНОВ)**

*Военная академия связи имени Маршала Советского Союза
С.М. Буденного, Санкт-Петербург, HappyUnFace@mail.ru*

A.V. Lobachev, A.V. Mestnikov, A.M. Mudranov
**DEVELOPMENT OF THE HARDWARE COMPLEX OF
COMBINATION AND ACCORDING TO UNMANNED AIRCRAFT
GROUPS (DRONES)**

*Military Academy of the Signal Corps named after Marshal of the Soviet Union
S.M. Budyonny, city of St. Petersburg, Russia, HappyUnFace@mail.ru*

В настоящее время использование компактных бесплотных летающих аппаратов, таких как дроны, представляет широкие возможности для решения множества задач в самых разных областях, как гражданских, так и военных.

Однако отдельные единицы весьма ограничены в своих возможностях и в выполняемых функциях. И некоторые из этих недостатков возможно решить с помощью объединения отдельных единиц в группы, что является перспективным направлением развития беспилотных летающих аппаратов. Такие объединения могут представлять собой группы в несколько единиц или формации в несколько сотен единиц, так же как и иметь разные формы и алгоритмы движения относительно друг друга. Подобное позволяет распределить функции, необходимые для решения комплексной задачи, на разные аппаратные платформы, а так же дублировать их для увеличения надёжности измерений. К тому же объединение дронов в группы позволяет им позиционироваться относительно друг друга, что увеличивает общую точность движения и позиционирования каждой единицы в отдельности.

Подобные объединения нашли своё применение в так называемых шоу дронов. К тому же подобные объединения нашли своё применение в военном деле, представленные на форуме «Армия» и в проекте «Стая 93».

В больших объединениях дронов, как правило, одной единице или нескольким отдаётся роль «центра управления и координации», относительно которого остальные аппаратные единицы координируют свои траектории, перемещения и позиции.

Однако в этом случае наделение каждой отдельной единицы полным спектром возможностей беспилотных летающих аппаратов экономически нецелесообразно, так как единицам, выступающим в качестве подчинённых звеньев, требуется только узкий круг этих возможностей. Таким образом, всё построение делится на три основные группы дронов: ведущие, ведущие в роли ведомых и ведомые.

Ведущие – полноценные беспилотные летательные аппараты, выполняющие роли центров, относительно которых ориентируют свои движение ведомые. Ведущие в роли ведомых так же наделены полным набором функций и выполняющие роль ведомых, которые в момент переформирования, потери текущего «центра» или разделения формирования способны взять на себя роль ведущих. Ведомые – автономные единицы, следующие по заданным заранее параметрам и алгоритмам за ведущими.

В настоящее время существует разного рода программное обеспечение для объединения дронов в группы. Но в настоящей работе предлагается реализовать функции управления ведомыми с помощью аппаратных средств в виде простых микроконтроллеров. В виде звеньев согласования и управления отдельными единицами рассматривались доступные, простые и недорогие модели микроконтроллеров: arduino, stm32.

Предлагается несколько основных идей формирования общего построения:

Относительно одного ведущего координируют свои действия все дроны-участники построения

Вокруг основного ведущего координируют свои действия только ведущие в роли ведомых, имеющие свои области влияния, а уже относительно них – ведомые. При этом все дроны ориентируют свои позиции относительно нескольких соседей.

А.В. Гордеев, А.М. Мудранов, А.В. Ершов
МЕХАТРОННОЕ КОЛЕСО ПОВЫШЕННОЙ
ПРОХОДИМОСТИ

*Военная академия связи имени Маршала Советского Союза
С.М. Буденного, Санкт-Петербург, gordeev-pure@yandex.ru*

A.V. Gordeev, A.M. Mudranov, A.V. Ershov
MECHATRONIC WHEEL WITH INCREASED OFF-ROAD
CAPABILITIES

*Military Academy of the Signal Corps named after Marshal of the Soviet Union
S.M. Budyonny, St. Petersburg, Russia, gordeev-pure@yandex.ru*

Конструкция обыкновенного круглого колеса имеет существенный недостаток – она обладает малой эффективностью при езде по завалам зданий, при езде по песку, по мокрому грунту, по лестницам. Это происходит из-за прокручивания колеса. В данном докладе описана конструкция колеса, призванная решить эту проблему.

На текущий момент данную проблему решают, применяя «агрессивные» протекторы, обычно пилообразной формы.

Такое колесо имеет более высокие показатели проходимости, но оно теряет свою эффективность при езде по подготовленному покрытию (асфальту). Так же, даже такая форма протектора не пол-

ностью решает проблему пробуксовки колеса, и мало помогает колесу при езде по, к примеру, по большим камням.

Предлагаемая конструкция трансформирующегося колеса повышенной проходимости призвана решить эти проблемы.

Конструкция представляет собой трансформирующееся колесо, имеющее два положения:

Сложенное положение – в этом положении колесо работает как обычное круглое колесо. Это состояние оптимально для передвижения по подготовленным, ровным дорогам.

Разложенное положение (положение повышенной проходимости) – в этом положении линейные актуаторы в колесе раздвигаются, и колесо трансформируется в конструкцию, напоминающую лопасти мельницы. Такое состояние оптимально для езды по каменистому грунту, или по рыхлой земле, так как в таком состоянии колесо не будет проскальзывать/проворачиваться. Так же, в данном состоянии повышается клиренс автомобиля/боевой машины/робота, что тоже положительно влияет на проходимость.

В конструкции используются линейные актуаторы. Они питаются от аккумулятора робота или автомобиля. Управление линейными актуаторами осуществляется при помощи микроконтроллера (arduino, stm32 или подобного). Передача данных на микроконтроллер осуществляется при помощи беспроводного Bluetooth-модуля.

Данную конструкцию колеса можно использовать при конструировании боевых машин, спасательных, грузовых автомобилей, спасательных и боевых роботов. Амортизация совершается по принципу безвоздушного колеса, при помощи отверстий в крышке. Также, при использовании некоторых линейных актуаторов возможно использовать ход линейного актуатора для амортизации. Детали колеса состоят из алюминиевого сплава, на наружную сторону колеса крепится специальная крышка из армированной резины.

Основные достоинства предлагаемой конструкции колеса повышенной проходимости:

Очень высокая проходимость. В разложенном состоянии такое колесо можно использовать для передвижения по завалам зданий, по песку, по мокрому грунту, по лестницам, что делает данную конструкцию эффективным вариантом для установки на роботов-спасателей, разведывательных роботов.

Адаптируемость. За счёт возможности трансформирования, колесо эффективно как при езде по асфальту, так и при езде по пересечённой местности.

Уменьшенные габариты, особенно в ширину. Такое колесо будет обладать уменьшенными габаритами по сравнению с другими решениями, что так же делает данный вариант более привлекательным для установки на робота.

Недостатками конструкции являются:

Увеличенная сложность конструкции. Такая трансформирующаяся конструкция заметно сложнее обыкновенного колеса, представляющего из себя простой металлический диск с резиновой покрышкой, и имеет большее количество движущихся частей.

Увеличенная стоимость. Каждое колесо требует применения шести линейных актуаторов, что увеличивает стоимость колеса.

Энергозависимость. Для управления таким колесом требуется электроэнергия, что уменьшает универсальность колеса.

Несмотря на вышеперечисленные недостатки, данное колесо может использоваться на роботах-спасателях, разведывательных роботах, машинах для экстремальной езды, боевых машинах, и т.д.

А.Ю. Волков, А.Н. Косенко, Д.С. Попов
**МОДУЛЬНОЕ РЕШЕНИЕ АРХИТЕКТУРЫ
РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

*ЦНИИ ПТК, Санкт-Петербург, a.volkov@rtc.ru, a.kosenko@rtc.ru,
d.popov@rtc.ru*

A.Y. Volkov, A.N. Kosenko, D.S. Popov
**MODULAR SOLUTION FOR THE ARCHITECTURE
OF ROBOTIC SYSTEMS**

*Russian State Scientific Center for Robotics and Technical Cybernetics,
St. Petersburg, a.volkov@rtc.ru, a.kosenko@rtc.ru, d.popov@rtc.ru*

При разработке робототехнических систем важно предусмотреть простоту обслуживания и замены отдельных блоков управления. В крупных робототехнических системах количество плат может достигать нескольких десятков. При таком количестве плат универсализация модулей управления выходит на передний план с

точки зрения скорости разработки, отладки и программирования модулей.

Для эффективной компоновки электронных устройств разработаны несколько стандартов, одним из которых является 19-дюймовый стандарт МЭК 297. Данный стандарт описывает такие параметры, как размеры печатных плат, необходимые крепежные размеры, шаг соединительных разъемов. Рекомендуемое расположение соединителей для модулей регламентировано стандартом МЭК 603-2. Также МЭК 297 описывает структуру модулей.

Существует два вида модулей: открытые и закрытые:

- открытые модули состоят из печатной платы, передней панели и соединителя;
- закрытые модули представляют собой печатную плату с соединителем, установленную во внешний корпус, который может выполнять функции механической защиты, электромагнитного экрана или радиатора.

Благодаря применению данного стандарта и единой разводки соединительных разъемов помимо удобства корпусирования устройства прослеживаются еще несколько преимуществ для отладки, программирования и замены блоков:

- существенно повышается скорость отладки и программирования благодаря общей модели кроссплатформенной платы отладки;
- появляется возможность подключения плат в любой последовательности;
- повышается скорость конечного изготовления благодаря заранее известному корпусу и габаритам плат.

Внешний вид центрального блока управления в стандартном корпусе представлен на рис. 1.

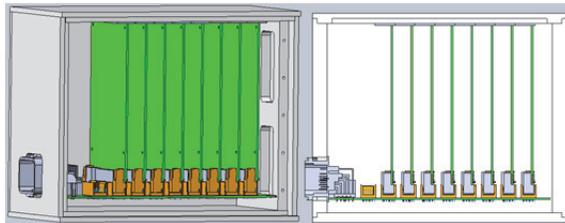


Рисунок 1 — Внешний вид центрального блока управления в стандартном корпусе

Вариант компоновки модулей на кроссплатформенной плате представлен на рис. 2.

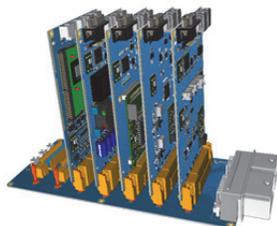


Рисунок 2 — Вариант компоновки модулей на кроссплатформенной плате

Любой модуль можно вставить в кроссплатформенную плату, и отлаживать её на едином стенде вне зависимости от проекта, внутренней логики схемы и наличия других модулей.

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

С.П. Кульгина, Д.С. Попов, И.Р. Черемный
**ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ АРХИТЕКТУРЫ
РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩЕЙ
СИСТЕМЫ МОБИЛЬНОГО РОБОТА С УЧЁТОМ
РАЗДЕЛЕНИЯ НА ПОДСИСТЕМЫ МЯГКОГО И ЖЁСТКОГО
РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ**

*ЦНИИ РТК, Санкт-Петербург, sofa221098@yandex.ru, d.popov@rtc.ru,
i.cheremnyy@rtc.ru*

S.P. Kulgina, D.S. Popov, I.R. Cheremnyy
**FEATURES OF BUILDING THE ARCHITECTURE OF A
DISTRIBUTED INFORMATION AND CONTROL SYSTEM OF A
MOBILE ROBOT, TAKING INTO ACCOUNT THE DIVISION
INTO SUBSYSTEMS OF SOFT AND HARD REAL TIME**

*Russian State Scientific Center for Robotics and Technical Cybernetics,
St. Petersburg sofa221098@yandex.ru, d.popov@rtc.ru, i.cheremnyy@rtc.ru*

На сегодняшний день с увеличением объёма обрабатываемой информации существенно возросли требования к производительности

сти бортовых вычислителей мобильных роботов. Прослеживается тенденция к увеличению числа используемых в работе процессоров, и вместе с этим — к разработке и внедрению информационно-управляющих систем (ИУС), основанных на распределении решаемых задач между процессорами.

Информационно-управляющую систему можно разделить на отдельные подсистемы, выполняющие задачи в режимах мягкого и жёсткого реального времени. В составе ИУС мобильных роботов сверхлёгкого и лёгкого классов часто выделяют:

- подсистему жёсткого реального времени, отвечающую за низкоуровневое управление роботом: сенсорами, приводами, системой энергообеспечения;
- подсистему жёсткого реального времени, отвечающую за низкоуровневое управление съёмным оборудованием, критичным к времени реагирования, например, манипулятором;
- подсистему мягкого реального времени, выполняющую обработку видеoinформации, решающую задачи автономной навигации и т. д.

Центральным элементов системы управления является вычислитель. Для построения вычислительного ядра могут быть применены различные элементы, в том числе:

- микроконтроллеры, включая специализированные;
- процессоры цифровой обработки сигналов;
- одноплатные компьютеры;
- программируемые логические интегральные схемы;
- системы на кристалле (System-on-a-Chip, SoC).

В составе крупных робототехнических комплексов вычислитель может состоять из нескольких логических блоков и включать в себя:

- высокопроизводительный промышленный компьютер, обеспечивающий решение общих высокоуровневых задач управления;
- специализированный компьютер, занимающиеся задачами технического зрения и обработки информации;
- сеть микроконтроллеров, обеспечивающую низкоуровневое управление в режиме жёсткого реального времени всеми приводами и периферийными устройствами.

Для небольших роботов, с учётом серьёзных ограничений на массогабаритные характеристики бортовой ИУС, большой интерес представляет применение SoC, являющихся комбинацией микропроцессора и микроконтроллера. В такой системе процессор, обладающий высокой вычислительной мощностью, позволяет осуществлять

обработку данных в режиме мягкого реального времени, в то время как микроконтроллер на низком уровне управляет элементами робота, требующими практически мгновенной реакции.

Такая декомпозиция вычислительного блока позволяет не только добиться снижения трудозатрат на разработку и отладку программного обеспечения, но и заметно повысить надёжность ИУС.

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

Д.С. Попов, О.А. Шмаков

**ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ КАНАЛОВ УПРАВЛЕНИЯ
И ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ В СОСТАВЕ МОБИЛЬНЫХ
РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ НАЗЕМНОГО
БАЗИРОВАНИЯ**

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

D.S. Popov, O.A. Shmakov

**FEATURES OF APPLICATION OF CONTROL AND DATA
TRANSMISSION CHANNELS AS PART OF GROUND-BASED
MOBILE ROBOTIC SYSTEMS**

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

В работе приводится краткий обзор каналов управления и передачи данных, применяемых в составе систем дистанционного управления наземными мобильными роботами (МР).

В первую очередь рассматриваются задачи, стоящие перед каналом передачи данных, основываясь на типе передаваемой информации между МР и пультом дистанционного управления (ПДУ):

- от МР к ПДУ: телеметрия;
- от МР к ПДУ: квитирование команд управления;
- от МР к ПДУ: видео и аудио;
- от МР к ПДУ: данные с полезных нагрузок;
- от ПДУ к МР: команды управления;
- от ПДУ к МР: данные для полезных нагрузок;
- сигналы управления сетью;
- ретрансляция информации.

Для решения поставленных задач возможно применение различных вариантов построения каналов:

- низкоскоростной канал управления и высокоскоростной канал передачи видео, аудио и телеметрии с МР;
- единый высокоскоростной канал обмена между МР и ПДУ;
- комбинации первого и второго, в том числе дополненные резервными приемопередатчиками.

При этом может использоваться широкий диапазон различных топологий сети управления и передачи данных, каждая из которых имеет свои преимущества и недостатки:

- точка-точка;
- точка-многоточка:
 - ПДУ, управляющий несколькими МР;
 - несколько ПДУ, управляющие одним МР;
- управление через ретранслятор;
- mesh-сети.

Описанные подходы к организации каналов связи можно сравнить по следующим основным критериям:

- возможная дальность связи;
- качество передачи видеoinформации:
 - время задержки видео;
 - качество видео (разрешение);
 - количество пропущенных кадров;
- качество передачи команд управления:
 - задержка передачи команд;
 - количество пропущенных пакетов;
- допустимое количество каналов в одной рабочей зоне;
- применение шифрования;
- защищённость и незаметность;
- потребляемая мощность;
- массогабаритные характеристики приемопередатчиков.

Проведённый обзор позволяет сравнить современные подходы к организации каналов управления и передачи данных и оценить тенденции развития.

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

И.Б. Прямыцын, А.В. Рогов, А.В. Полин
СФЕРА ПРИМЕНЕНИЯ УНИВЕРСАЛЬНОЙ
РОБОТИЗИРОВАННОЙ ПЛАТФОРМЫ

ЦНИИ ПТК, Санкт-Петербург, pib@rtc.ru, rogov@rtc.ru, polin@rtc.ru

I.B. Pryamitsyn, A.V. Rogov, A.V. Polin
UNIVERSAL ROBOTIC PLATFORM'S APPLICATION SCOPE

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

Задача замены человека при выполнении тяжелых, рутинных и, главное, опасных для жизни и здоровья операций продолжает оставаться актуальной. Техногенные аварии конца двадцатого и начала двадцать первого веков (Чернобыль, Фукусима, Чечня) особенно подчеркнули важность этой замены.

За последние десятилетия мировая робототехника и технологии, связанные с ними, развиваются стремительными темпами, приобретая все большую возможность использования роботов в различных областях человеческой деятельности. В первую очередь, это связано с постоянным совершенствованием характеристик двигателей для роботов, источников энергии, вычислительных средств бортовых систем и развития средств сенсорного оснащения.

В настоящее время все более актуальными для автономных платформ становятся задачи не просто перемещения в заданную точку и ведения наблюдения, но и выполнение в заданной точке манипуляций объектами и выполнение иных технологических операций, а современный уровень развития систем управления позволяет оператору автономной платформы уже сейчас выполнять сложные действия в режиме телеприсутствия или супервизорном режиме.

К ставшим уже привычными выполняемые универсальными роботизированными платформами задачам ликвидации аварийных ситуаций в опасных для жизни и здоровья человека условиях в настоящее время следует добавить и задачи мирного, рядового назначения.

Задачи, выполняемые универсальными роботизированными платформами, можно разбить на следующие группы:

- транспортировка оборудования;
- видеонаблюдение;
- выполнение опасных для человека операций;

- сервисные функции;
- строительные работы.

В перечень решаемых роботизированными мобильными платформами задач сейчас добавляются и сферы гражданского применения, такие как:

- сельское хозяйство (сбор урожая, мониторинг за состоянием посадок, опрыскивание);
- производство (логистика, перевозка крупногабаритных грузов);
- добыча полезных ископаемых (построение карт подземных разработок, помощь при чрезвычайных ситуациях, контроль за состоянием атмосферы в шахтах).

Перечисленные группы решаемых с помощью роботизированных платформ задач позволят освободить человека от выполнения тяжелых и рутинных работ, а главное, отдалить человека от выполнения опасных операций и при этом повысить производительность и качество выполнения этих операций.

Ф.М. Бельченко, И.Л. Ермолов
**РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ТЕЛЕМЕТРИИ РТК С
ВОЗМОЖНОСТЬЮ ВНЕСЕНИЯ ЦЕЛЕВЫХ ИСКАЖЕНИЙ
ОТОБРАЖАЕМОГО ПРОСТРАНСТВА**

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

F.M. Belchenko, I.L. Ermolov
**DESIGN OF A TELEMETRY SYSTEM FOR A ROBOT WITH THE
POSSIBILITY OF INTRODUCING TARGETED DISTORTIONS
OF THE DISPLAYED SPACE**

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

В работе исследуются пути повышения эффективности систем телеметрии современных робототехнических комплексов. Целью работы является повышение эффективности работы операторов дистанционно управляемых РТК путём внесения целевых искажений в видеоизображения, получаемые от средств телеметрии.

Предложены новые методы вывода видеоизображений, позволяющие повысить эффективность взаимодействия оператора и робота. Предложено внедрение результатов из теории представления перцептивного пространства в средствах телеметрии робототехнических комплексов [1]. Описаны проводимые в настоящее время разработки.

В докладе предложен ряд решений по совершенствованию систем телеметрии РТК [2]. В качестве основного решения данных проблем предлагается применить наработки в области теории отображения перцептивного пространства, ранее успешно использовавшиеся в космической отрасли. Благодаря стремительному развитию и удешевлению систем технического зрения данные разработки стало возможно внедрять в робототехнике.



Рисунок 1 — Три варианта представления перцептивного пространства [1]

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

В дальнейшем будет изучаться два направления использования данной системы телеметрии. В первом случае система будет целиком функционировать на оборудовании пункта управления и контроля оператора РТК. Второй вариант предполагает использование компонентов данной системы на бортовом оборудовании мобильных робототехнических комплексов.

По итогам разработки системы и её испытаний будет приниматься решение по предложению внедрения нового программного обеспечения потенциально заинтересованным организациям.

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. Алиев Р.Н., Ермолов И.Л. Преобразование изображения с камеры мобильного робота к системе перцептивной перспективы, Труды конференции "Робототехника и мехатроника – 2015" в составе МКПУ-2015, п. Геленджик, 2015.

СБОРНИК ТЕЗИСОВ

31-й Международной научно-технической конференции

ЭКСТРЕМАЛЬНАЯ РОБОТОТЕХНИКА

28-29 сентября 2020 года, Санкт-Петербург

ABSTRACTS

of the 31st International Scientific and Technological Conference

EXTREME ROBOTICS

September 28-29, 2020, Saint-Petersburg, Russia



Подписано в печать 18.09.2020

Формат А5. Печать – цифровая. Тираж 300 экз.

Отпечатано в ООО «Издательско-полиграфический комплекс «Гангут»

с оригинал-макета заказчика