

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ЮЖНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
КЫРГЫЗСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
им. И. РАЗЗАКОВА

**Компьютерные и информационные  
технологии в науке, инженерии  
и управлении**

«КомТех-2023»

Материалы Всероссийской научно-технической  
конференции с международным участием

*В двух томах*

**Том II**

Ростов-на-Дону – Таганрог  
Издательство Южного федерального университета  
2023

УДК 004:[001+62+005](063)

ББК 32.973-018.2+32.81я31

К63

*Ответственный редактор С. И. Клевцов*

К63 Компьютерные и информационные технологии в науке, инженерии и управлении «КомТех-2023» : материалы Всероссийской научно-технической конференции с международным участием : в 2 т. / Южный федеральный университет. – Ростов-на-Дону ; Таганрог : Издательство Южного федерального университета, 2023.

ISBN 978-5-9275-4442-4

Т. 2. – 313 с.

ISBN 978-5-9275-4444-8 (Т. 2)

В настоящее издание вошли доклады по материалам Всероссийской научно-технической конференции с международным участием имени профессора О. Н. Пьявченко «Компьютерные и информационные технологии в науке, инженерии и управлении», рекомендованные к опубликованию Оргкомитетом.

Во второй том материалов конференции вошли доклады участников конференции, посвященные авиационным системам, технологиям беспилотных летательных аппаратов, локальным и распределенным системам мониторинга и управления, современным микро- и нанoeлектронным системам и технологиям, системам связи и навигации, моделированию физических процессов, контролю и управлению в технических системах, системам диагностики состояния биологических и технических объектов, вопросам промышленного дизайна и аддитивным технологиям, компьютерным технологиям в инженерной подготовке, методам, системам и средствам обработки физических сигналов, проблемам мехатроники и робототехники.

Доклады могут быть интересны научным работникам, преподавателям, инженерам и студентам, специализирующимся в применении компьютерной обработки информации в различных областях деятельности человека.

УДК 004:[001+62+005](063)

ББК 32.973-018.2+32.81я31

ISBN 978-5-9275-4444-8 (Т. 2)

ISBN 978-5-9275-4442-4

© Южный федеральный университет, 2023

## СОДЕРЖАНИЕ

### Секция – **Компьютерные технологии в инженерной подготовке**

|  |    |
|--|----|
| Зарайченков Марк Максимович<br>РОЛЬ КОМПЬЮТЕРНЫХ БАЗ ДАННЫХ В ИНЖЕНЕРНОЙ ПРАКТИКЕ.....   | 8  |
| Зарайченков Станислав Максимович<br>ВИРТУАЛЬНАЯ И ДОПОЛНЕННАЯ РЕАЛЬНОСТЬ:<br>ПОТЕНЦИАЛ И ОГРАНИЧЕНИЕ В РАЗНЫХ СФЕРАХ ПРИМЕНЕНИЯ.....   | 12 |
| Гушанский Сергей Михайлович, Козловская Мария Алексеевна,<br>Коробейникова Наталия Михайловна<br>К ПРОБЛЕМЕ ДЕКОГЕРЕНТНОСТИ ПРОЦЕССА КОРРЕКЦИИ<br>КВАНТОВЫХ ОШИБОК.....  | 17 |
| Максимов Александр Викторович, Панычев Сергей Андреевич,<br>Панычев Андрей Иванович, Максимов Дмитрий Александрович<br>ИСПОЛЬЗОВАНИЕ САПР ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ<br>DELTA DESIGN В ПОДГОТОВКЕ РАДИОИНЖЕНЕРОВ..... | 22 |

### Секция – **Инфокоммуникационные технологии**

|   |    |
|---|----|
| Агаркова Екатерина Владимировна<br>ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА С ПОМОЩЬЮ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ.....                     | 30 |
| Агаркова Екатерина Владимировна<br>ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЗНАНИЙ УЧЕНИКОВ.....  | 34 |
| Агаркова Екатерина Владимировна<br>ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СВЕРТОЧНЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ РАСПОЗНАВАНИЯ РУКОПИСНОГО ТЕКСТА.....                   | 38 |
| Хайруллина Лилия Эмитовна, Хакимов Зульфат Ниязович<br>ФОРМИРОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО ПОРТФЕЛЯ ЦЕННЫХ БУМАГ МЕТОДАМИ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ..... | 43 |
| Мирошниченко Дарья Вячеславовна<br>КИБЕРАТАКИ НА КРУПНЫЕ КОРПОРАЦИИ: ПРИЧИНЫ, ПОСЛЕДСТВИЯ И МЕТОДЫ ЗАЩИТЫ.....                          | 50 |

|   |     |
|---|-----|
| Оргдаев Арлан Анатольевич, Поленов Максим Юрьевич<br>ОПТИМИЗАЦИЯ МАРШРУТНОЙ ИНФОРМАЦИИ В<br>ВЫСОКОНАГРУЖЕННЫХ СЕТЯХ.....  | 57  |
| Мирошниченко Дарья Вячеславовна<br>ЭФФЕКТ ЦВЕТА НА ВЫБОР ПОТРЕБИТЕЛЕЙ: ИССЛЕДОВАНИЕ,<br>ПОКАЗЫВАЮЩЕЕ, КАК ЦВЕТОВАЯ ГАММА ВЛИЯЕТ НА<br>РЕШЕНИЯ ПОКУПАТЕЛЕЙ.....                  | 63  |
| Мирошниченко Дарья Вячеславовна<br>ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИСКУССТВЕННОГО<br>ИНТЕЛЛЕКТА В ПОВЫШЕНИИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЗАЩИТЫ<br>ОТ ХАКЕРСКИХ АТАК.....                            | 70  |
| Падня Владислав Михайлович<br>АНАЛИЗ СТАНДАРТОВ СВЯЗИ И ПРОТОКОЛОВ<br>БЕЗОПАСНОСТИ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В ПРОМЫШЛЕННЫХ<br>ИЮТ-УСТРОЙСТВАХ.....   | 76  |
| Марьев Александр Александрович<br>О ВЫБОРЕ ПАРАМЕТРОВ ШИРОТНО-ИМПУЛЬСНОЙ<br>МОДУЛЯЦИИ ДЛЯ ЦИФРОАНАЛОГОВОГО<br>ПРЕОБРАЗОВАНИЯ.....   | 83  |
| Пилипенко Александр Михайлович<br>СОВРЕМЕННЫЕ СРЕДСТВА СХЕМОТЕХНИЧЕСКОГО<br>МОДЕЛИРОВАНИЯ РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ И<br>ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ УСТРОЙСТВ.....                             | 90  |
| Гаджиев Тимур Эфлетдинович, Варакин Ян Сергеевич<br>СРЕДСТВА ДОВЕРЕННОЙ ЗАГРУЗКИ ОС НА ОСНОВЕ<br>ТЕХНОЛОГИИ ХЭШИРОВАНИЯ КОНТРОЛЬНЫХ СУММ СРЕДЫ                                  | 98  |
| Понимаш Захар Алексеевич<br>ДЕМОДУЛЯЦИЯ ЦИФРОВЫХ СИГНАЛОВ С<br>ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ.....  | 111 |
| Тарасова Анна Алексеевна, Назаренко Максим Витальевич<br>СИСТЕМА ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ КАК<br>ФАКТОР НАУЧНОЙ ПРОДУКТИВНОСТИ И УСПЕШНОСТИ<br>ДЕЯТЕЛЬНОСТИ УЧЕНОГО..... | 116 |

## Секция – Системы связи и навигации

|  |     |
|--|-----|
| Косак Роман Эдуардович<br>ВЛИЯНИЕ СИНУСОИДАЛЬНОГО РИФЛЕНИЯ КРОМКИ<br>ИЗЛУЧАТЕЛЯ ВИВАЛЬДИ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ<br>ИЗЛУЧЕНИЯ.....   | 124 |
| Нагаенко Александр Владимирович, Дыкина Любовь Александровна,<br>Карюков Егор Владимирович, Власов Алексей Юрьевич<br>ПЬЕЗОКЕРАМИЧЕСКИЙ МАТЕРИАЛ ДЛЯ КОМПОЗИТОВ СО<br>СВЯЗНОСТЯМИ 1–3 И 3–3..... | 129 |
| Войцеховский Вадим Николаевич, Черников Дмитрий Юрьевич,<br>Цыпцова Арина Витальевна<br>СТАТИСТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СКОРОСТИ ПЕРЕДАЧИ<br>ИНФОРМАЦИИ В РАДИОКАНАЛЕ СЕТИ <i>Wi-Fi</i> .....      | 135 |
| Ермаков Александр Сергеевич<br>АНАЛИЗ СИСТЕМ БЕСПРОВОДНОЙ СВЯЗИ В КОНТЕКСТЕ<br>ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЗАЩИТЫ ОБЪЕКТОВ КРИТИЧЕСКОЙ<br>ИНФОРМАЦИОННОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ.....                                     | 144 |
| Плаксиенко Владимир Сергеевич<br>КОМБИНИРОВАНИЕ ПРИ РАЗНЕСЕННОМ ПРИЕМЕ<br>СИГНАЛОВ.....  | 151 |

## Секция – Мехатроника и робототехника

|   |     |
|---|-----|
| Чикрин Дмитрий Евгеньевич, Смольникова Камилла Рустемовна<br>КОЛЛАБОРАТИВНЫЕ РОБОТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ: ОБЗОР<br>ЮРИДИКО-СИСТЕМНЫХ АСПЕКТОВ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ С<br>НИМИ..... | 157 |
| Майдаченко Владислав Владиславович<br>ЭЛЕКТРОМОБИЛИ И СОВРЕМЕННЫЕ СИСТЕМЫ<br>НАКОПЛЕНИЯ И ХРАНЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ .....   | 164 |
| Горелов Марк Олегович<br>ТЕХНОЛОГИИ БЕСПРОВОДНОЙ ПЕРЕДАЧИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ<br>ЭНЕРГИИ.....   | 171 |
| Гисцов Владислав Геннадьевич<br>МОДЕЛИРОВАНИЕ МРРТ КОНТРОЛЛЕРА СОЛНЕЧНОЙ<br>БАТАРЕИ В СРЕДЕ MATLAB/SIMULINK.....  | 178 |

|   |     |
|---|-----|
| Грунтовский Всеволод Игоревич<br>АНАЛИЗ И СБОР ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ СОЗДАНИЯ КОНЦЕПЦИИ<br>РОБОТА-МЕДБРАТА.....  | 184 |
| Юров Юрий Юрьевич<br>НАЗЕМНАЯ ПЛАТФОРМА ДЛЯ БПЛА ДОСТАВКИ.....  | 191 |
| Делшан Диб, Сайпулаев Гасан Русланович<br>РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ ОПТИМАЛЬНОЙ ПО<br>ЭНЕРГОЗАТРАТАМ СТАБИЛИЗАЦИИ ПОЛОЖЕНИЯ<br>АКТИВНОГО ЭКЗОСКЕЛЕТА ЧЕЛОВЕКА.....  | 197 |
| Галиуллин Искандер Гаязович, Сабиров Раис Фаритович<br>Кокунин Петр Анатольевич<br>ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЙ КОМПЛЕКС СЕГМЕНТАЦИИ<br>ПРЕПЯТСТВИЙ С АРХИТЕКТУРОЙ U-NET ДЛЯ АВТОНОМНОЙ<br>СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ..... | 203 |
| Конченков Владимир Игоревич, Цыганков Владимир Андреевич<br>РАЗРАБОТКА МИКРОПРОЦЕССОРНОЙ СИСТЕМЫ<br>РАСХОДОМЕРА ТОПЛИВА, ПЕРЕДАЮЩЕГО ДАННЫЕ ПО<br>CAN-ШИНЕ АВТОМОБИЛЯ.....  | 209 |
| Михайленко Егор Дмитриевич, Будко Артем Юрьевич<br>РОЕВОЙ ИНТЕЛЛЕКТ ГРУППЫ РТК ДЛЯ СОВМЕСТНОЙ ДОБЫ-<br>ЧИ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ В КОСМОСЕ.....  | 217 |
| Зборомирский Артем Вячеславович, Пивнев Виталий Викторович<br>СИСТЕМНОЕ ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗРЕНИЕ БИОРОБОТОВ.....  | 224 |
| Нельсон Гутьеррес<br>ПРОЕКТИРОВАНИЕ И СБОРКА КАРТИНГА С<br>ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ПРИВОДОМ.....  | 228 |
| <b>Секция – Системы мониторинга, диагностики и управления</b><br>Мангушев Александр Вячеславович, Зыбин Валерий Андреевич,<br>Полухин Игорь Дмитриевич<br>РАЗРАБОТКА АНАЛИЗАТОРА СЕТЕВОГО ТРАФИКА<br>НА ПЛИС.....     | 239 |
| Виноградова Наталья Викторовна<br>ПРОБЛЕМЫ ИНТЕГРАЦИИ ERP И MES СИСТЕМ НА<br>ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ПРЕДПРИЯТИИ.....   | 245 |

|  |     |
|--|-----|
| Батура Александр Александрович<br>УЧЁТ УСТОЙЧИВЫХ И ВРЕМЕННЫХ ОТКАЗОВ<br>ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ ЭЛЕКТРОННОЙ СИСТЕМЫ<br>БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ОЦЕНКЕ ЕЁ НАДЁЖНОСТИ.....  | 252 |
| Зарайченков Станислав Максимович<br>РАЗВИТИЕ ТЕХНОЛОГИЙ СИСТЕМ МОНИТОРИНГА,<br>ДИАГНОСТИКИ И УПРАВЛЕНИЯ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ.....  | 259 |
| Кадыркулова Кыял Кудайбердиевна, Акунов Алим Акунович<br>СИСТЕМА МОНИТОРИНГА ПАРАМЕТРОВ МИКРОКЛИМАТА В<br>СЕРВЕРНЫХ ПОМЕЩЕНИЯХ.....  | 266 |
| Шпаковская Оксана Юрьевна, Шпаковская Альбина Васильевна<br>ОБЗОР МЕТОДОВ И ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ,<br>НАПРАВЛЕННЫХ НА КОРРЕКЦИЮ ОСАНКИ ШКОЛЬНИКА.....  | 271 |
| Емелина Елизавета Александровна, Леонова Антонина Валерьевна,<br>Шпаковская Оксана Юрьевна<br>АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ<br>РЕАБИЛИТАЦИИ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ<br>ЧЕЛОВЕКА ПОСЛЕ ПЕРЕНЕСЕННОГО COVID-19..... | 276 |
| Михеева Наталья Ивановна, Михеев Дмитрий Иванович,<br>Кульчинов Тимур Ташибаевич<br>АВТОМАТИЗАЦИЯ КОНТРОЛЯ РАСХОДА ВОДЫ<br>ПРИ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ.....  | 283 |
| Луговой Артём Романович, Пьявченко Алексей Олегович<br>ВОПРОСЫ ПОСТРОЕНИЯ РЕГИСТРАТОРА ДАННЫХ РЕЙСА<br>ДЛЯ МАЛОМЕРНЫХ СУДОВ РЕЧНОГО ФЛОТА.....   | 291 |
| Анферова Маргарита Сергеевна, Белевцев Андрей Андреевич,<br>Белевцев Андрей Михайлович<br>АНАЛИЗ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ТРЕНДОВ.....  | 300 |
| Карпов Антон Александрович<br>РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ<br>АДАПТИВНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ПЕРЕХОДНОГО<br>ПРОЦЕССА DC-DC ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ.....  | 307 |

**Секция – Компьютерные технологии в инженерной  
подготовке**

УДК 621.396

Зарайченков Марк Максимович

**РОЛЬ КОМПЬЮТЕРНЫХ БАЗ ДАННЫХ В ИНЖЕНЕРНОЙ  
ПРАКТИКЕ**

*В современном мире компьютерные базы данных являются неотъемлемой частью инженерной практики. Они играют ключевую роль в управлении, хранении и обработке данных, что позволяет инженерам эффективно решать сложные задачи и повышать качество своих проектов. В данной статье мы рассмотрим роль компьютерных баз данных в инженерной практике, их применение и преимущества для инженеров.*

Zaraichenkov Mark Maksimovich

**THE ROLE OF COMPUTER DATABASES IN ENGINEERING  
PRACTICE**

*In today's world, computer databases are an integral part of engineering practice. They play a key role in data management, storage and processing, which allows engineers to effectively solve complex problems and improve the quality of their projects. In this article, we will discuss the role of computer databases in engineering practice, their applications and benefits for engineers.*

**Введение**

Компьютерные базы данных (КБД) представляют собой инструменты, разработанные для организации, хранения и обработки больших объемов данных. Они широко применяются в различных областях, включая инженерную практику. КБД позволяют инженерам управлять и обрабатывать разнообразную информацию, от схем и чертежей до технических спецификаций и результатов испытаний. В этой статье мы рассмотрим роль компьютерных баз данных в инженерной практике и рассмотрим их важные аспекты и преимущества.

Централизация данных в КБД также обеспечивает безопасность и целостность информации. Важно, чтобы данные были хранены в защищенной среде, с ограниченным доступом только для авторизованных пользо-

вателей. Это позволяет предотвратить несанкционированный доступ, повреждение или потерю данных. КБД также обеспечивают механизмы резервного копирования и восстановления данных, что гарантирует их сохранность в случае сбоев системы или человеческих ошибок.

Кроме того, использование КБД в инженерной практике позволяет автоматизировать процессы обработки данных. Например, инженеры могут создать программные скрипты или запросы, которые позволят автоматически анализировать и обрабатывать большие объемы данных. Это позволяет сэкономить время и ресурсы, которые ранее были бы затрачены на ручную обработку информации.

Рассмотрим пример применения компьютерных баз данных (КБД) в инженерной практике на случае проектирования и строительства крупного международного аэропорта.

В процессе проектирования и строительства аэропорта возникает множество сложностей и требований, которые необходимо учитывать. КБД позволяют управлять всеми данными, связанными с проектом, и обеспечивать их эффективное хранение, доступ и обмен между участниками проектной команды. Вот несколько примеров применения КБД в этом контексте:

**Централизованное хранение чертежей и документации:** В КБД можно хранить все чертежи, спецификации и техническую документацию, связанную с аэропортом. Каждый инженер или архитектор может получить доступ к этим данным и получить актуальную информацию о проекте. Например, инженеры, занимающиеся проектированием электрической системы, могут получить доступ к чертежам, спецификациям и руководствам по установке, чтобы правильно разработать и реализовать систему.

**Управление информацией о материалах и оборудовании:** КБД может содержать информацию о доступных материалах и оборудовании для строительства аэропорта. Инженеры могут использовать КБД для отслеживания запасов материалов, сроков поставки и информации о поставщиках. Например, если строительство требует большого количества стали, инженеры могут использовать КБД для поиска надежных поставщиков и оценки их предложений.

**Управление бюджетом и расходами:** КБД может включать информацию о бюджете проекта, расходах и затратах на различные этапы строительства. Инженеры и финансовые специалисты могут использовать КБД для отслеживания затрат, анализа расходов и планирования финансовых

ресурсов. Например, они могут проводить анализ стоимости различных строительных решений и оптимизировать расходы в рамках заданного бюджета.

Управление графиком выполнения работ: КБД может использоваться для создания и управления графиком выполнения работ. Инженеры могут отслеживать прогресс каждого этапа проекта, устанавливать зависимости между задачами и контролировать сроки выполнения. Например, они могут использовать КБД для определения даты завершения определенной фазы строительства и уведомления о возможных задержках.

Применение компьютерных баз данных в инженерной практике также способствует рационализации и оптимизации рабочих процессов. Инженеры могут использовать КБД для отслеживания статуса проектов, контроля сроков выполнения задач и управления ресурсами. Например, КБД может предоставлять информацию о наличии необходимых материалов, доступности оборудования или выделенных бюджетных средствах. Это позволяет эффективно планировать работу, избегать простоев и оптимизировать использование ресурсов.

Рационализация рабочих процессов включает в себя изучение текущих рабочих процессов с целью выявления недостатков, избыточности и неэффективности. Это может включать анализ последовательности операций, использование ресурсов, перегрузку задачами, недостаточную автоматизацию и другие проблемы, которые могут замедлять рабочий процесс или приводить к ошибкам. Путем идентификации этих проблем инженеры могут предложить и внедрить изменения, которые позволят улучшить производительность и качество работы.

Оптимизация рабочих процессов, с другой стороны, означает поиск наилучшего способа выполнения работы с использованием наиболее эффективных ресурсов. Она основана на анализе текущих процессов и определении оптимальной последовательности операций, распределении ресурсов, автоматизации и других факторов, которые могут сократить время выполнения задачи и повысить эффективность процесса. Оптимизация может также включать внедрение новых технологий и инструментов, которые могут улучшить процесс работы.

Примером рационализации и оптимизации рабочих процессов в инженерной практике может быть внедрение компьютерных баз данных (КБД) для управления информацией о проектах, материалах, оборудовании и других ресурсах. КБД обеспечивает централизованное хранение данных,

легкий доступ к информации и возможность автоматизации процессов, таких как отслеживание запасов, планирование задач и координация работ. Это позволяет инженерам сократить время, затрачиваемое на поиск информации, и сосредоточиться на более важных аспектах проекта.

Другим примером может быть применение алгоритмов и программного обеспечения для оптимизации расчетов, моделирования и симуляции в инженерных проектах. Например, использование численных методов и математических моделей позволяет инженерам проводить точные расчеты и анализ в более короткие сроки. Это может существенно сократить время проектирования и разработки, а также улучшить точность результатов.

Наконец, КБД также играют важную роль в аналитике и принятии решений. Инженеры могут использовать данные, хранящиеся в КБД, для анализа производственных процессов, выявления тенденций, предсказания потенциальных проблем и определения оптимальных решений. Например, анализ данных о производительности оборудования может помочь в определении наиболее эффективных методов обслуживания и планирования ремонтных работ.

Таким образом, роль компьютерных баз данных в инженерной практике невозможно недооценить. Они обеспечивают централизацию, управление и организацию данных, упрощают совместную работу, повышают безопасность и целостность информации, автоматизируют процессы обработки данных, оптимизируют рабочие процессы и предоставляют возможности для аналитики и принятия обоснованных решений. Примеры применения КБД включают проекты в области инженерии, строительства, производства, транспорта и других отраслях, где эффективное управление и анализ данных являются ключевыми факторами успеха.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Баранова Е.А.* (2018). Роль компьютерных баз данных в оптимизации инженерных решений. Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Компьютерные науки, 2(266), 51-56.
2. *Гаврилов А.А.* (2015). Применение компьютерных баз данных в инженерной практике. Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Компьютерные науки, 1(205), 10-15.
3. *Козырев В.В.* (2014). Роль компьютерных баз данных в проектировании и управлении инженерными системами. Вестник Пермского национального

исследовательского политехнического университета. Информатика и вычислительная техника, 2(10), 38-43.

4. Максимов А.В., Карелин Д.И. (2019). Применение компьютерных баз данных в инженерных системах. Труды Института системного программирования РАН, 26(3), 153-165.
5. Рыбаков А.В., Шаров Д.С. (2017). Роль компьютерных баз данных в управлении информационными потоками в инженерной практике. Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Информационные системы и технологии, 21(1), 126-133.
6. Смирнов В.И., Иванов П.Н. (2016). Компьютерные базы данных в инженерной практике: проблемы и перспективы. Вестник Северо-Кавказского федерального университета. Серия: Технические науки, 2(141), 61-67.
7. Тарасов Д.В., Петрова Н.А. (2020). Использование компьютерных баз данных в инженерной практике для оптимизации процессов проектирования. Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики, 20(5), 892-900.

УДК 621.396

Зарайченков Станислав Максимович

**ВИРТУАЛЬНАЯ И ДОПОЛНЕННАЯ РЕАЛЬНОСТЬ:  
ПОТЕНЦИАЛ И ОГРАНИЧЕНИЕ В РАЗНЫХ СФЕРАХ  
ПРИМЕНЕНИЯ**

*В данной статье представлено исследование влияния виртуальной и дополненной реальности на образование, медицину, развлечения и другие сферы. Проведен анализ их потенциала и ограничений, на основе результатов современных исследований и примеров использования данных технологий в реальной жизни. В результате можно сделать вывод, что виртуальная и дополненная реальность имеют огромный потенциал применения в различных областях, но одновременно существует ряд ограничений, связанных с этикой и безопасностью.*

*Дополненная реальность, AR-технологии, виртуальная реальность.*

Zaraychenkov Stanislav Maksimovich

## **VIRTUAL AND AUGMENTED REALITY: POTENTIAL AND CAPTURE IN DIFFERENT AREAS**

*In this article we explore the impact of virtual and augmented reality on education, medicine, entertainment, and other fields. We analyze their potential and limitations based on current research and examples of the use of these technologies in real life. As a result, we conclude that virtual and augmented reality have enormous potential for application in various fields, but there are also serious ethical and safety limitations.*

*Augmented reality, AR technology, virtual reality.*

### **Введение**

Виртуальная и дополненная реальность - это технологии, которые быстро развиваются и находят применение в различных сферах жизни. Они имеют огромный потенциал для образования, медицины, развлечений и других сфер. Однако, вместе с возможностями, связанными с этими технологиями, существуют и ограничения, в том числе этические и безопасностные.

Виртуальная реальность позволяет создавать искусственные миры, в которых пользователь может находиться и взаимодействовать с окружающей средой. Это открывает новые возможности для обучения, например, создание симуляций для тренировки врачей, пилотов или военных. Также, виртуальная реальность может быть использована для создания интерактивных уроков, что сделает обучение более увлекательным и понятным для учеников.

VR может помочь медицинским студентам улучшить свои навыки и опыт, создавая трехмерные модели органов и систем тела. Это позволяет студентам учиться на практике и иметь больше возможностей для ошибок, без риска повреждения живых тканей.

### **Основная часть**

Программа VirtaMed ArthroS™ позволяет медицинским студентам тренироваться в хирургическом лечении травм коленного сустава, используя VR-симуляцию. Во время тренировки студенты могут практиковать различные процедуры, такие как устранение поврежденного мениска или ремонт связок, и получать обратную связь о своей работе. [\[8\]](#)

Приложение 3D Organon VR Anatomy позволяет медицинским студентам изучать анатомию человеческого тела в виртуальной реальности. Они могут исследовать трехмерные модели органов и систем тела, изучая их функции и связи. Приложение также предоставляет дополнительную информацию о болезнях и состояниях органов. [9]

SimX VR Simulation Platform - это программное обеспечение для обучения врачей и медицинских сестер. Оно использует VR-технологии, чтобы создать сценарии медицинских случаев и тренировать медицинский персонал в решении различных медицинских проблем. Сценарии включают в себя такие задачи, как проведение реанимации пациента, управление пациентом с сердечно-сосудистыми проблемами и диагностика пациента с острыми болезнями. [10]

Другой областью применения VR является психотерапия. Техника экспозиционной терапии в виртуальной реальности, когда пациент постепенно изучает и привыкает к страшным ситуациям, может помочь людям, страдающим от фобий и тревожных расстройств, без необходимости физической экспозиции.

Университет Южной Калифорнии разработал программу Virtual Iraq/Afghanistan, которая помогает ветеранам, страдающим от посттравматического стрессового расстройства (ПТСР). С помощью VR-симуляции ветераны могут постепенно изучать и привыкать к ситуациям, которые могут вызывать у них стресс и тревогу, таким как взрывы или огонь. Это позволяет им снизить свою реакцию на стрессовые ситуации и улучшить свою психологическую комфортность. [11]

Приложение Fearless предлагает VR-терапию для людей, страдающих от высокоуровневой тревожности и социальной фобии. Приложение использует VR-симуляцию, чтобы помочь пациентам привыкнуть к различным ситуациям, таким как говорить на публике или вести переговоры. Пациенты могут практиковать взаимодействие с виртуальными персонажами и получать обратную связь о своей работе. [12]

Университетский медицинский центр Колумбии разработал программу Bravemind, которая помогает ветеранам, страдающим от ПТСР. С помощью VR-симуляции ветераны могут практиковать различные сценарии, связанные с их службой, такие как патрулирование, проведение расследований и участие в боевых действиях. Это помогает им снизить свою реакцию на стресс и улучшить свое психологическое состояние. Дополненная реальность, в свою очередь, позволяет добавлять в реальный

мир цифровые объекты, улучшающие восприятие окружающей среды. Например, использование дополненной реальности в медицине может упростить процесс лечения и диагностики, позволяя врачам просматривать внутренние органы пациента в режиме реального времени, и даже проводить операции с использованием дополненной реальности. [13]

Необходимо отметить, что вместе с возможностями, существуют и ограничения их применения. Использование виртуальной реальности может привести к эмоциональным и психологическим проблемам у пользователей, особенно у детей.

Одним из примеров, когда использование виртуальной реальности может привести к психологическим проблемам у детей, является исследование, опубликованное в журнале "Cyberpsychology, Behavior, and Social Networking". В исследовании было показано, что дети, которые проводят много времени в виртуальной реальности, могут испытывать повышенный уровень тревоги и депрессии. Было обнаружено, что дети, которые играли в компьютерные игры виртуальной реальности, более склонны к симптомам тревожности, чем дети, играющие в обычные компьютерные игры. Это может быть связано с тем, что в виртуальной реальности могут быть созданы более реалистичные и устрашающие сцены и персонажи, которые могут вызывать у детей более сильные эмоциональные реакции. [14]

### **Заключение**

Кроме того, использование виртуальной и дополненной реальности влечет за собой некоторые этические проблемы. Например, создание искусственных миров может привести к замещению реальной жизни, что может негативно повлиять на социальное взаимодействие и здоровье пользователей.

Одним из примеров негативного влияния виртуальной реальности на социальное взаимодействие и здоровье пользователей является исследование, проведенное в 2019 году в Университете Пурдью (Purdue University). В ходе исследования было обнаружено, что у студентов, которые проводили больше времени в виртуальной реальности, было меньше эмпатии и межличностных навыков, чем у тех студентов, которые проводили меньше времени в виртуальном мире. Это может указывать на то, что использование виртуальной реальности может приводить к уменьшению способности людей к эмоциональному восприятию и социальной адаптации в реальном мире.

В заключении хотелось бы сказать, что виртуальная и дополненная реаль-

ность - это технологии, которые имеют огромный потенциал для использования в различных областях, включая образование, медицину, развлечения и другие сферы. Однако, вместе с возможностями, существуют и ограничения, которые должны быть учтены при использовании этих технологий. Необходимо проводить более глубокие исследования, чтобы понять эффекты виртуальной и дополненной реальности на пользователей и общество в целом, и разработать соответствующие меры для решения этических и безопасностных проблем.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Белов М. (2019). Виртуальная реальность: преимущества, недостатки, риски и перспективы. Экономический журнал Высшей школы экономики, 23(2), 218-232.
2. Герасименко Г. (2018). Дополненная реальность в медицине. Интернет-журнал "Научные исследования и разработки", 7(6), 9-14.
3. Громова О., Назарова Е. (2017). Виртуальная реальность в образовании. Научный результат. Серия Педагогика и психология образования, 3(3), 17-25.
4. Евдокимов М. (2018). Этические проблемы использования виртуальной реальности в образовании. Информационные технологии в образовании, 22, 184-190.
5. Кузьменко О. (2020). Дополненная реальность: технологии и применение. Технологии банковского и финансового дела, 1(3), 39-47.
6. Мещерякова Л. (2019). Влияние виртуальной реальности на психическое и физическое здоровье человека. Социально-экономические и технологические системы управления, 5(3), 157-163.
7. Николаев А. (2017). Этические проблемы использования дополненной реальности. Юридический журнал, 7, 115-120.
8. VirtaMed ArthroS: <https://www.virtamed.com/en/simulators/arthros>
9. 3D Organon VR Anatomy: <https://www.3dorganon.com/>
10. SimX VR Simulation Platform: <https://simxar.com/>
11. Iraq/Afghanistan <https://ict.usc.edu/projects/virtual-iraq-afghanistan/>
12. Fearless - <https://www.fearless.app/>
13. Bravemind - <https://www.bravemind.org/>
14. "Cyberpsychology Behavior and Social Networking"  
<https://www.liebertpub.com/doi/10.1089/cyber.2013.0092>

15. *Bailenson J. N., Blascovich J., Beall A. C., Loomis J. M. (2003). Interpersonal distance in immersive virtual environments. Personality and Social Psychology Bulletin, 29(7), 819-833.*

**Зарайченков Станислав Максимович**, студент ПИ (филиала) ДГТУ в г. Таганроге, Россия, город Таганрог, улица Фрунзе 112, 347904, телефон: +7 (952) 602-71-79, email: royultra77@gmail.com.

**Zaraychenkov Stanislav Maksimovich**, student of the PI (branch) of the DSTU in Taganrog, Russia, Taganrog city, Frunze street 112, 347904, phone: +7 (952) 602-71-79, email: royultra77@gmail.com.

УДК 004.27:004.056.55

Гушанский Сергей Михайлович, Козловская Мария Алексеевна,  
Коробейникова Наталия Михайловна

### **К ПРОБЛЕМЕ ДЕКОГЕРЕНТНОСТИ ПРОЦЕССА КОРРЕКЦИИ КВАНТОВЫХ ОШИБОК**

*Настоящая работа посвящена проблеме декогерентности, которая может возникнуть в результате взаимодействия квантовой системы и окружающей среды. Подобное взаимодействие приводит к возникновению квантовых ошибок, что оказывает влияние на исправное функционирование квантовой системы. В данной статье предложено решение, основанное на применении корректирующего трехкубитового флип-кода, которое способно устранить такого вида ошибки.*

*Квантовая среда, декогерентность, квантовые ошибки, битовый флип код.*

Gushansky Sergey Mikhailovich, Kozlovskaya Maria Alekseevna,  
Korobeynikova Natalia Mikhailovna

### **ON THE PROBLEM OF DECOHERENCE OF THE QUANTUM ERROR CORRECTION PROCESS**

*This work is devoted to the problem of decoherence, which may arise because of the interaction of a quantum system and the environment. Such an interaction leads to the occurrence of quantum errors, which affects the correct functioning of the quan-*

*tum system. This article proposes a solution based on the use of a corrective three-bit flip code that can eliminate this type of error.*

*Quantum environment, decoherence, quantum errors, bit flip code.*

## **Введение**

Под декогерентностью понимается т. н. «разрушение» суперпозиции, т. е. переход от квантово-механической системы к классической [1]. Взаимодействия квантовой системы с окружающей средой приводит к возникновению декогерентности, и вероятность ее появления возрастает с увеличением размера квантовой системы, поэтому необходимо изолировать квантовую систему от воздействия окружающего мира [2].

Информация, хранящаяся в квантовой системе, коррелируется между кубитами и окружающей средой. При возникновении декогерентности проведение преобразований квантовой системы не представляется возможным. Более того, возникают ошибки, которые приводят к потере хранимой информации [3, 5].

Сделаем предположение о том, что в процессе хранения информации ошибки не возникают, однако каждое унитарное преобразование включает в себя ошибку, имеющую вид:

$$U = U_0(1 + O(\varepsilon)). \quad (1)$$

Существует высокая вероятность того, что после срабатывания гейта  $\frac{1}{\varepsilon}$  возникнет серьезная ошибка.

**Классическая трехкубитовая коррекция ошибок.** Представляет собой один из оптимальных способов исправления квантовых ошибок, заключающийся в использовании трех кубитов вместо одного. Таким образом, если один из трех кубитов будет содержать ошибку, то его выполнение не окажет критического воздействия, однако, если два или три кубита ошибочны, то конечный результат будет содержать ошибку.

Предположим, что вероятность одной ошибки равна  $\varepsilon$ . Вероятность достижения правильного трехкубитового результата будет выше, чем достижение правильного однокубитного результата, если:

$$\varepsilon < \frac{1}{2}. \quad (2)$$

Основная особенность данного корректирующего кода состоит в том, что каждая отдельная кубитовая ошибка имеет одинаковую вероятность. Однако могут возникнуть ошибки, которые включают в себя несколько кубитов одновременно. Тем не менее использование такого корректирующего кода приносит улучшения в работу квантовой системы [4].

**Предложения по исправлению квантовых ошибок.** Необходимо использовать квантовое состояние  $|\psi\rangle = a|000\rangle + b|111\rangle$ . Если производить измерения одного кубита, то в результате будет получен, либо гейт  $|000\rangle$ , либо гейт  $|111\rangle$ . Это означает, что нет возможности измерить один кубит, не уничтожив информацию в двух других.

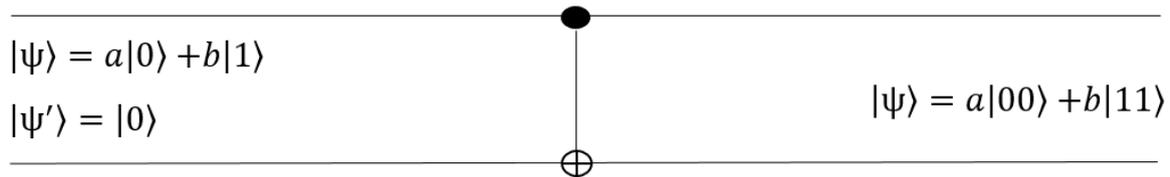


Рис. 1. Квантовая схема состояния  $|\psi\rangle$

Следует отметить, что, как и в классических компьютерах, возникают ошибки битового флипа:

$$\begin{aligned} |0\rangle &\rightarrow |1\rangle, \\ |1\rangle &\rightarrow |0\rangle. \end{aligned} \quad (3)$$

Кроме того, возникают фазовые ошибки:

$$\begin{aligned} |0\rangle &\rightarrow |0\rangle, \\ |1\rangle &\rightarrow -|1\rangle. \end{aligned} \quad (4)$$

Фазовые ошибки приводят к серьёзным негативным последствиям, так как состояние  $\frac{1}{\sqrt{2}}(|0\rangle + |1\rangle)$  преобразуется в ортогональное состояние  $\frac{1}{\sqrt{2}}(|0\rangle - |1\rangle)$ . Классическое кодирование ошибок не предоставляет никаких корректирующих схем для решения подобной проблемы. Поэтому следует рассмотреть кубитную коррекцию ошибок при битовом флипе.

**Кубитная коррекция ошибок при битовом флипе.** При наличии трех состояний кубитов  $(q_1, q_2, q_3)$  необходимо определить в каком месте возникла ошибка и исправить ее. Так как нет возможности выполнить простое измерение одного кубита (это привело бы к уничтожению информации), необходимо измерить два кубита одновременно, например,  $q_1$  и  $q_2$ . Таким образом имеем:  $|q_2\rangle \rightarrow |q_1 \oplus q_2\rangle$ .

Необходимо выполнить измерение кубитов  $(q_1, q_2)$  и  $(q_1, q_3)$ . Из полученных результатов станет возможным определить в каком месте произошла ошибка. Начинаем с  $|\psi\rangle = a|000\rangle + b|111\rangle$ . Далее следует рассмотреть одно из четырех состояний – состояние без ошибки или три состояния, в которых присутствует одна кубит-ошибка:

$a|000\rangle + b|111\rangle, a|100\rangle + b|011\rangle, +a|010\rangle + b|101\rangle, +a|001\rangle + b|110\rangle,$  (5)  
 где  $|q_2\rangle \rightarrow |q_1 \oplus q_2\rangle$ .

$a|000\rangle + b|101\rangle, a|110\rangle + b|011\rangle, +a|010\rangle + b|111\rangle, +a|001\rangle + b|100\rangle.$  (6)

Далее следует выполнить измерение кубита  $q_2$ . После этого, на заключительном этапе принимаем состояние  $|q_3\rangle \rightarrow |q_1 \oplus q_3\rangle$ .

$a|000\rangle + b|100\rangle, a|111\rangle + b|011\rangle, +a|010\rangle + b|110\rangle, +a|001\rangle + b|101\rangle.$  (7)  
 Выполним преобразование:

$(a|0\rangle + b|1\rangle)|00\rangle, (a|1\rangle + b|0\rangle)|11\rangle, a|0\rangle + b|1\rangle)|10\rangle, a|0\rangle + b|1\rangle)|01\rangle.$  (8)

Из (8) видно – кубит  $q_1$  не содержит ошибку.

Далее необходимо осуществить повтор такой операции для кубитов  $q_2$  и  $q_3$ .

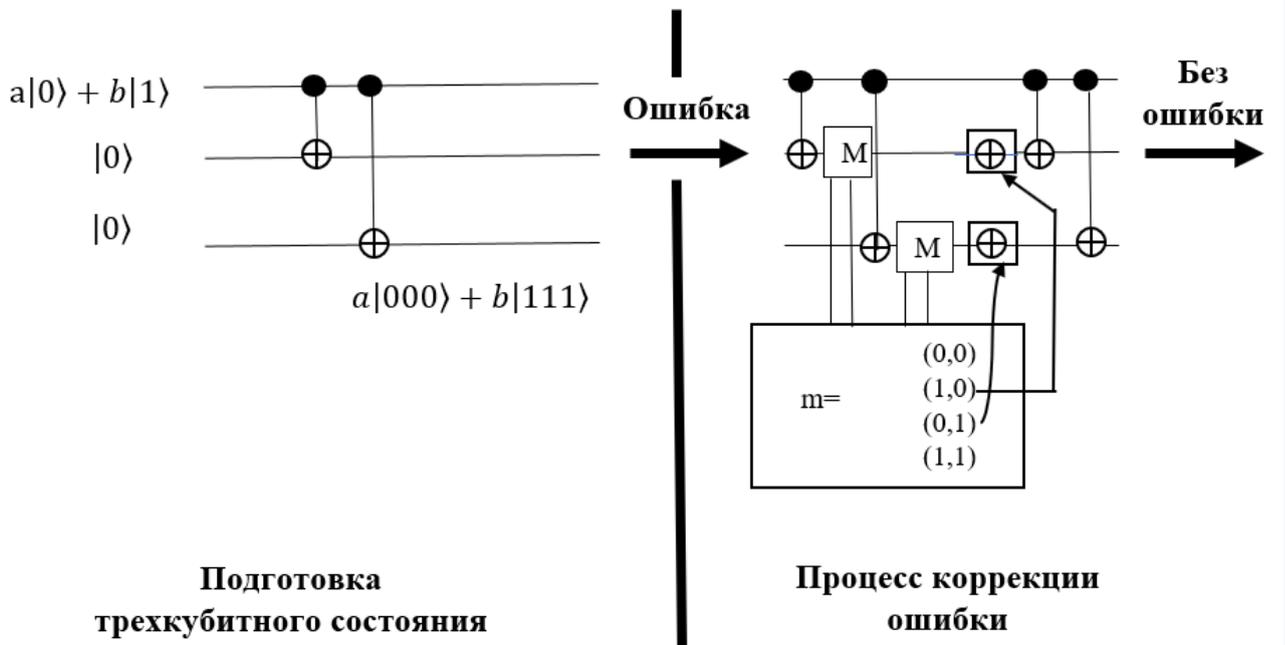


Рис. 2. Квантовая схема трехкубитной коррекции ошибок при возникновении битового флипа

Изображённая на рис. 2 квантовая схема трехкубитной коррекции ошибок при возникновении битового флипа осуществляет коррекцию квантовых ошибок, а также устраняет фазовые ошибки.

**Заключение.** В статье была рассмотрена проблема декогерентности, которая приводит к возникновению квантовых ошибок в квантовой системе, что является помехой для корректного функционирования такой системы. Для коррекции квантовых ошибок предложена трехкубитовая квантовая схема, состоящая из двух основных частей, как показано на рис.2: на

первом этапе происходит подготовка трехкубитного состояния, а также выявляется ошибка, которая корректируется на втором этапе. За счёт предлагаемого решения появляется возможность устранить проблему, связанную с декогерентностью.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Гушанский С. М., Буглов В. Е., Козловская М. А.* Коррекция ошибок квантовых битов в сверхпроводящих схемах // Наука, технологии, общество (НТО-2021) / Сборник трудов Всероссийской научной конференции, г. Красноярск, 29-31 июля 2021 г. ; Красноярск: Изд-во Общественное учреждение "Красноярский краевой Дом науки и техники Российского союза научных и инженерных общественных объединений", 2021 ; С.35-40.
2. *R. Chao and B. W. Reichardt*, Quantum Error Correction with Only Two Extra Qubits, *Phys. Rev. Lett.* 121, 050502 (2018).
3. *R. Harper and S. T. Flammia*, Fault-Tolerant Logical Gates in the IBM Quantum Experience, *Phys. Rev. Lett.* 122, 080504 (2019).
4. *C.K. Andersen, A. Remm, S. Lazar, S. Krinner, N. Lacroix, G. J. Norris, M. Gabureac, C. Eichler, and A. Wallraff*, Repeated Quantum Error Detection in a Surface Code, *Nat. Phys.* 16, 875 (2020).
5. *Гушанский С. М., Божич В. И., Потапов В. С.* Разработка корректирующих кодов для исправления нескольких видов квантовых ошибок // Известия ЮФУ. Технические науки, г. Ростов-на-Дону, Таганрог: Изд-во Южного федерального университета, 2020; Номер 3; С.40-46.

**Гушанский Сергей Михайлович**, к.т.н., доцент кафедры вычислительной техники Института компьютерных технологий и информационной безопасности Южного федерального университета, Россия, город Таганрог, улица Энгельса 1, 347900, телефон: +7 (8634) 37-16-56, email: smgushanskiy@sfnedu.ru

**Козловская Мария Алексеевна**, магистрантка кафедры вычислительной техники Института компьютерных технологий и информационной безопасности Южного федерального университета, Россия, город Таганрог, улица Энгельса 1, 347900, телефон: +7 (8634) 37-16-56, email: arhipenko@sfnedu.ru.

**Коробейникова Наталия Михайловна**, ассистент кафедры вычислительной техники Института компьютерных технологий и информационной безопасности Южного федерального университета, Россия, город Таганрог, улица Энгельса 1, 347900, телефон: +7 (8634) 37-16-56, email: nkorobeynikova@sfnedu.ru

**Gushansky Sergey Mikhailovich**, Ph.D., Associate Professor of Computer Engineering at the Institute of Computer Technology and Information Security of the Southern Federal University, Engels Street 1, 347900, Taganrog, Russia, phone: +7 (8634) 37-16-56, email address: smgushanskiy@sfnedu.ru

**Kozlovskaya Maria Alekseevna**, Undergraduate student of the Department of Computer Engineering at the Institute of Computer Technology and Information Security of the Southern Federal University, Engels Street 1, 347900, Taganrog, Russia, phone: +7 (8634) 37-16-56, email address: arhipenko@sfnedu.ru.

**Korobeynikova Natalia Mikhailovna**, Assistant of the Department of Computer Engineering at the Institute of Computer Technology and Information Security of the Southern Federal University, Engels Street 1, 347900, Taganrog, Russia, phone: +7 (8634) 37-16-56, email address: nkorobeynikova@sfnedu.ru.

УДК 519.6:004.3

Максимов Александр Викторович, Паньчев Сергей Андреевич,  
Паньчев Андрей Иванович, Максимов Дмитрий Александрович

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ САПР ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ DELTA DESIGN В ПОДГОТОВКЕ РАДИОИНЖЕНЕРОВ**

*Обсуждается опыт использования отечественной САПР электронных устройств Delta Design в рамках изучения дисциплины «Основы конструирования и технологии проектирования радиоэлектронных средств», входящей в состав обязательной части основной профессиональной образовательной программы направления подготовки бакалавриата 11.03.01 Радиотехника, профиль «Радиотехнические средства связи, локации и защиты информации». Отмечены особенности введения данной САПР в учебный процесс как импортозамещающего программного обеспечения.*

*САПР, инженерное образование, импортозамещение.*

Aleksandr Viktorovich Maksimov, Sergey Andreevich Panychev,  
Andrey Ivanovich Panychev, Dmitriy Aleksandrovich Maksimov

## **USAGE OF CAD ELECTRONIC DEVICES DELTA DESIGN IN THE RADIO ENGINEERS TRAINING**

*The experience of using the domestic CAD of electronic devices Delta Design as part of the study of the discipline "Fundamentals of design and technology of design of electronic means" is discussed, which is part of the mandatory part of the main professional educational program of the bachelor's degree 11.03.01 Radio Engineering, profile "Radio communications, location and information protection". The features of this CAD introduction into the educational process as an import substituting software are noted.*

*CAD, engineering education, import substitution.*

### **Введение**

В соответствии с действующим федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования – бакалавриата по направлению подготовки 11.03.01 Радиотехника и разработанной в Южном федеральном университете (ЮФУ) основной профессиональной образовательной программой этого направления подготовки, профиль «Радиотехнические средства связи, локации и защиты информации», учебная дисциплина «Основы конструирования и технологии проектирования радиоэлектронных средств» относится к обязательной части образовательной программы.

Одной из основных задач дисциплины является освоение конструкторского проектирования печатных плат (англ. printed circuit board, PCB) радиоэлектронных средств (РЭС), размещения компонентов и разводки печатной платы в среде системы автоматизированного проектирования (САПР, англ. computer-aided design, CAD) электронных устройств.

Еще недавно указанная задача решалась с использованием импортных САПР, доступных по лицензиям ЮФУ. Однако в связи с отзывом лицензий возникла необходимость в кратчайшие сроки внедрить в учебный процесс отечественную САПР электронных устройств.

### **Обзор САПР электронных устройств**

Достаточно полный набор доступных в настоящее время САПР для разводки печатных плат с указанием их основных потребительских свойств приведен в [1] и представлен в табл. 1. Разработчики прикладного программного обеспечения предлагают самый разнообразный спектр раз-

работки печатных плат: от профессиональных систем автоматизированного проектирования, предоставляющих широчайшие возможности по созданию электронных устройств, до простейших онлайн САПР.

Таблица 1

Основные САПР для разводки печатных плат

| Название             | Краткое описание   |
|----------------------|--|
| P-CAD                | Легендарная система автоматизированного проектирования печатных плат радиоэлектронных и вычислительных устройств. Последняя официальная версия P-CAD 2006 SP2 вышла в 2006 году  |
| Altium Designer      | Профессиональная система автоматизированного проектирования печатных плат от разработчиков легендарного P-CAD, предоставляющая широчайшие возможности по созданию электронных устройств  |
| TARGET 3001!         | Мощная CAD-программа для разработки схем и печатных плат. Есть демоверсия с ограничениями  |
| VUTRAX               | Мощная CAD-программа для разработки схем и печатных плат   |
| CADintPCB            | Мощный CAD-инструмент для разработки печатных плат   |
| NI Ultiboard         | Популярный программный комплекс для разработки и подготовки к производству печатных плат   |
| Delta Design         | Современная отечественная система автоматизированного проектирования печатных плат, реализующая сквозной цикл проектирования   |
| Mentor Graphics PADS | Профессиональный инструмент проектирования печатных плат, включающий все необходимое для создания схемы, размещения компонентов, трассировки, моделирования, проверки электромагнитной совместимости, целостности сигналов, наводок и окончательной подготовки к производству. Есть бесплатная 30-дневная ознакомительная версия |
| PCB-Investigator     | Программное обеспечение для анализа, редактирования, сравнения, визуализации и подготовки к производству печатных плат PCB. Есть ознакомительная 30-ти дневная Trial-версия  |
| EDWinXP              | Программное обеспечение для проектирования электронных устройств, включающее все основные этапы моделирования и разработки печатных плат. В состав PCB Layout Editor входят автотрассировщики Arizona, SPECCTRA и MaxRoute. Есть бесплатная 14-дневная ознакомительная версия  |
| CAM350               | Набор инструментов для автоматизированной подготовки печат-  |

|                          |  |
|--------------------------|--|
|                          | ных плат к производству. Есть демоверсия   |
| Торор                    | Высокопроизводительный автоматический трассировщик и редактор топологий печатных плат. Российская разработка   |
| BoardMaker3              | Интегрированная среда для разработки печатных плат   |
| Layo1 PCB                | Программное средство, предназначенное для автоматической трассировки печатных плат. В демоверсии нельзя сохранить результаты работы  |
| DesignSpark PCB          | Мощная и удобная система проектирования для профессионального создания схем и печатных плат с функцией автотрассировки. Поддерживается экспорт в Spice-симуляторы. Бесплатная  |
| PCB Elegance             | Программный комплекс для разработки печатных плат как аналоговой, так и цифровой электроники   |
| Kicad                    | САПР сквозного проектирования, позволяющая создавать профессиональные электрические схемы и разрабатывать для них печатные платы. Существует возможность использовать внешние трассировщики, например, FreeRouter и Торор, есть калькулятор печатных плат и опция автоматического и ручного размещения компонентов. Бесплатная |
| DipTrace                 | Система автоматизированного сквозного проектирования электрических схем и разводки печатных плат. Состоит из модулей: Schematic и PCB Layout (для разработки плат с помощью ручной или автоматической трассировки). Есть бесплатная версия с ограничениями   |
| Eagle                    | Популярное ПО для черчения электрических схем и последующей автотрассировки печатных плат. Есть бесплатная версия с ограничениями  |
| FreePCB                  | Программный пакет с открытым исходным кодом, специализирующийся на профессиональной разработке и проектировании печатных плат. Бесплатная  |
| Sprint-Layout            | Простой и эффективный программный пакет для проектирования и разводки печатных плат малой и средней сложности. Популярен среди радиолюбителей. Бесплатная  |
| ZofzPCB 3D Gerber Viewer | Маленькое по размеру, но удобное в использовании приложение, созданное для чтения файлов форматов Gerber и Excellon и отображения печатных плат в 3D   |
| ExpressPCB               | Простая в изучении и удобная в работе система ручного проектирования печатных плат. Основные достоинства: легкость освое-  |

|                 |   |
|-----------------|---|
|                 | ния, быстрота создания собственной базы радиодеталей и микросхем, корректность работы программы. Бесплатная   |
| PCB123          | Программное обеспечение, позволяющее рисовать схемы, проектировать и разводить печатные платы. Есть функция построения объемного 3D-изображения платы будущего устройства, возможен импорт DXF файлов. Бесплатная |
| ZenitPCB        | Простая САД-система, предназначенная для создания принципиальных схем и проектирования печатных плат. Бесплатная  |
| SoloPCB Design  | Небольшая программа для разработки печатных плат  |
| Pad2Pad         | Небольшое и удобное программное обеспечение для конструирования печатных плат различной степени сложности. Есть бесплатная версия с ограничениями   |
| PCB Artist      | Программный пакет для черчения электронных схем и подготовки к производству печатных плат. Бесплатная   |
| CADSTAR Express | Вариант программного обеспечения CADSTAR – мощного комплекса автоматизированного проектирования от компании Zuken. Бесплатная   |
| PCBWeb          | Онлайн система автоматизированного проектирования для начертания схем и создания печатных плат электронных устройств. Бесплатная  |
| CometCAD        | Простейшая система автоматизированного проектирования для рисования принципиальных схем и разводки печатных плат. Есть бесплатная версия с ограничениями  |
| GerberLogix     | Простое приложение для просмотра файлов в формате Gerber. Бесплатная  |

### **Постановка задачи и выбор САПР**

В связи с возникшей необходимостью оперативной замены используемой в лабораторном практикуме САПР электронных устройств был проведен предварительный анализ импортозамещающих систем проектирования с точки зрения их функциональных возможностей и наглядности интерфейса.

Практически все промышленные САПР имеют информативный и логично структурированный интерфейс рабочей области и позволяют наравне с усвоением основных навыков проектирования развивать творческий подход к разработке печатных плат радиоэлектронных устройств.

В результате проведенного анализа для использования в учебном процессе выбрана система автоматизированного проектирования Delta Design [2]. На наш взгляд, данная САПР является универсальным инструментом разработки электронных устройств, объединяющим различные средства автоматизированного проектирования, характеризуется оптимальным сочетанием интуитивно понятного интерфейса, грамотной структурой меню, развитой библиотекой радиоэлектронных компонентов, эффективными средствами цифрового и аналогового моделирования, возможностью автоматической и интерактивной трассировки печатных плат, другими техническими средствами.

### Анализ внедрения Delta Design в учебный процесс

На рис. 1 указана структура САПР электронных устройств Delta Design. Благодаря данной структуре ПО обеспечивается освоение студентами базовых знаний, навыков и умений, необходимых для выполнения полного цикла автоматизированной разработки электронных устройств.



Рис. 1. Структура САПР электронных устройств Delta Design

Применение САПР Delta Design в лабораторном практикуме дисциплины «Основы конструирования и технологии проектирования радиоэлектронных средств» обеспечивает освоение следующих основных операций разработки печатной платы (эти возможности использования Delta Design в учебном процессе отмечаются также в [3]):

- формирование базы данных радиоэлектронных компонентов и поддержание ее в актуальном состоянии;
- разработка схем электрических принципиальных;

- проведение моделирования аналоговых и цифровых схем; анализ результатов моделирования;
- разработка конструкции печатных плат;
- расположение компонентов и проведение полуавтоматической и автоматической трассировки печатных плат;
- выпуск конструкторской документации (в соответствии со стандартами);
- выпуск производственной документации, в том числе для автоматизированных производственных линий;
- подготовка данных для составления перечня закупаемых изделий и материалов, необходимых для реализации проекта;
- использование инновационной модели компонентов; простое создание базы данных электрорадиоизделий.

Наряду с положительным мнением о САПР Delta Design следует отметить некоторые методические сложности, возникшие при выполнении лабораторного практикума в сетевой версии программы:

- недостаточная гибкость настройки прав доступа для различных категорий пользователей (преподаватель, студент, инженер);
- в связи общим доступом к библиотеке компонентов есть вероятность ее несанкционированной корректировки студентами, что невозможно оперативно отследить администратору системы ввиду отсутствия индикатора изменений;
- для исключения несанкционированного доступа к папкам и файлам их владельцы должны настраивать права доступа, что неудобно в учебном процессе.

### **Выводы**

Опыт использования в подготовке радиоинженеров отечественной импортозамещающей САПР электронных устройств Delta Design подтвердил эффективность данной промышленной системы автоматизированного проектирования в учебном процессе. Однако обнаружены некоторые методические сложности, заключающиеся, в основном, в необходимости настройки прав доступа разных категорий пользователей, их папок и файлов.

### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. URL: [https://cxem.net/software/soft\\_PCB.php](https://cxem.net/software/soft_PCB.php) (дата обращения: 15.05.2023).

2. URL: <https://www.eremex.ru/products/delta-design/> (дата обращения: 15.05.2023).
3. Саликова Е. В. Проектирование электронных устройств в системе Delta Design. Оформление конструкторской документации : учебное пособие / Е. В. Саликова. – Кострома: Костромской государственный университет, 2020. – 99 с.

**Максимов Александр Викторович**, кандидат технических наук, доцент института радиотехнических систем и управления Южного федерального университета, Россия, Таганрог, пер. Некрасовский, 44, 347922, телефон: +7 (8634) 37-16-34, email: avmaksimov@sfedu.ru.

**Панычев Сергей Андреевич**, кандидат технических наук, научно-образовательный центр «Школа молодого преподавателя ЮФУ», Россия, Таганрог, пер. Некрасовский, 44, 347922, email: panychev@sfedu.ru.

**Панычев Андрей Иванович**, кандидат технических наук, доцент института радиотехнических систем и управления Южного федерального университета, Россия, Таганрог, пер. Некрасовский, 44, 347922, телефон: +7 (8634) 37-16-34, email: aipanychev@sfedu.ru.

**Максимов Дмитрий Александрович**, студент института компьютерных технологий и информационной безопасности Южного федерального университета, Россия, Таганрог, пер. Некрасовский, 44, 347922, email: avmaksimov@sfedu.ru.

**Maksimov Aleksandr Viktorovich**, Candidate of Technical Sciences (Ph.D), associate Professor of the Institute of Radio Engineering Systems and Control of the Southern Federal University, Russia, Taganrog, per. Nekrasovsky 44, 347922, phone: +7 (8634) 37-16-34, email: avmaksimov@sfedu.ru.

**Panychev Sergey Andreevich**, Candidate of Technical Sciences (Ph.D), Institute of Computer Technologies and Information Security of the Southern Federal University, Russia, Taganrog, per. Nekrasovsky 44, 347922, phone: +7 (8634) 37-17-37, email: panychev@sfedu.ru.

**Panychev Andrey Ivanovich**, Candidate of Technical Sciences (Ph.D), associate Professor of the Institute of Radio Engineering Systems and Control of the Southern Federal University, Russia, Taganrog, per. Nekrasovsky 44, 347922, phone: +7 (8634) 37-16-34, email: aipanychev@sfedu.ru.

**Maksimov Dmitry Alexandrovich**, student, Institute of Computer Technologies and Information Security of the Southern Federal University, Taganrog, Russia. Nekrasovsky, 44, 347922, email: dmaksimov@sfedu.ru .

УДК 621.396

Агаркова Екатерина Владимировна

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА С ПОМОЩЬЮ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ**

*В статье разобраны преимущества использования нейронных сетей в образовании. Целью статьи рассмотреть возможности применения нейронных сетей для повышения эффективности образовательного процесса. Задачей исследования является оценка перспективности использования нейронных сетей для персонализации образования и оптимизации работы педагогов. В ходе анализа использования нейронных сетей в статье были выделены основные перспективы внедрения машинного обучения в образовательную сферу.*

*Нейронные сети, машинное обучение, образование, персонализированное обучение, оптимизация процессов.*

Agarkova Ekaterina Vladimirovna

## **IMPROVING THE EFFICIENCY OF THE EDUCATIONAL PROCESS WITH THE HELP OF NEURAL NETWORKS**

*The article examines the advantages of using neural networks in education. The purpose of the article is to consider the possibilities of using neural networks to improve the efficiency of the educational process. The objective of the study is to assess the prospects of using neural networks to personalize education and optimize the work of teachers. During the analysis of the use of neural networks, the article highlighted the main prospects for the introduction of machine learning in the educational sphere.*

*Neural networks, machine learning, education, personalized learning, process optimization.*

### **Введение**

Современное общество сталкивается с огромными изменениями, вызванными быстрым темпом технологического прогресса, что имеет немалые последствия на все сферы жизни, включая образование. Перед современной системой образования стоит задача не только следить, чтобы ученики получали достаточное количество знаний, но и обеспечить их персонализированное обучение. Это означает, что образовательные программы

не должны быть одинаковыми и универсальными, а должны учитывать индивидуальные потребности каждого ученика. Именно здесь нейронные сети играют ключевую роль.

### **Основная часть**

Нейронные сети – это программы, которые подражают работе человеческого мозга и могут обрабатывать и анализировать большое количество информации. В образовании они могут быть применены в нескольких направлениях. Одним из основных является персонализированное обучение.

Персонализированное обучение является одним из наиболее перспективных направлений в образовании, которое направлено на индивидуальную адаптацию учебного процесса под потребности каждого ученика. Нейронные сети могут использоваться для создания индивидуальной программы образования для каждого ученика. Система персонализированного обучения на основе алгоритмов машинного обучения может подобрать оптимальный уровень сложности и при этом онлайн находиться в определенной рамке, соответствующей уровню ученика. Это означает, что ученик будет получать знания именно в тех областях, в которых нуждается и на том уровне, который ему соответствует. Нейронные сети могут также мониторить успеваемость учеников и давать рекомендации по повышению знаний в сложных областях.

Главная задача использования нейронных сетей в школах — это создание адаптивной программы обучения. При использовании такой программы, нейронная сеть анализирует пройденные и необходимые для дальнейшего обучения учебные материалы, и определяет сильные и слабые стороны каждого учащегося. На основе этой информации, нейронная сеть модифицирует программу обучения индивидуально, чтобы она максимально соответствовала его учебным потребностям и возможностям.

Такая адаптивная программа обучения способна не только помочь ученикам, но и учителям. Например, нейронная сеть может стать отличным инструментом для анализа прогресса каждого ученика. Учителя могут получить доступ к отчетам о том, как ученики выполняют задания, а также получить более точные и объективные результаты оценки. Кроме того, адаптивная программа обучения может помочь учителям в определении более эффективных подходов к преподаванию, благодаря чему они смогут более точно определять, какой тип материала, методика и темп достаточны для каждого ученика.

Более того, нейронные сети могут помочь учителям лучше понять потребности своих учеников и подходить к ним более индивидуально. Использование алгоритмов машинного обучения позволяет выделить индивидуальные особенности каждого ученика и создать для него наиболее подходящую программу обучения. Это особенно важно для учеников с разными формами нарушений развития, которые могут иметь особые потребности в обучении.

Нейронные сети могут использоваться для прогнозирования успеваемости учеников. С помощью алгоритмов машинного обучения система анализирует данные об успеваемости учеников в прошлом, анализирует прогресс в текущее время и делает прогноз, какой успеваемости можно ожидать в будущем. Это позволяет учителям не только оперативно реагировать на возникающие проблемы, но и предпринимать меры для предотвращения их возникновения заранее. Так же сети могут анализировать количество и структуру уроков, что позволяет определить оптимальную длительность и порядок проведения уроков.

Важно понимать, что использование нейронных сетей в образовании не является панацеей и не может заменить традиционный подход к обучению. Нейронные сети могут помочь оптимизировать процесс обучения, но никогда не заменят роли учителя в преподавании. Нейронные сети могут быть использованы как инструмент, который помогает учителю лучше понять своих учеников, и создать для них наиболее подходящую программу обучения.

Также необходимо учитывать этику и приватность при использовании нейронных сетей в обучении. Собираение и анализ персональных данных учеников должно осуществляться с соблюдением правил конфиденциальности и с обеспечением безопасности данных.

В целом, использование нейронных сетей в образовании может быть важной попыткой оптимизировать процесс обучения и помочь учителям более эффективно работать со своими учениками. Однако для максимальной эффективности, развития технологий и оптимизации процесса обучения, необходимо непрерывное и взаимодействие между учителями и разработчиками нейронных сетей.

### **Вывод**

Благодаря нейронным сетям возможно создание интеллектуальных систем, которые могут помочь различным участникам образовательного процесса. Они предоставляют персонализированный подход к обучению и

позволяют оптимизировать работу учителей и повысить эффективность образовательной системы в целом. Однако следует помнить, что любое обучение, даже при использовании высокотехнологичных методов, требует наличия мотивации со стороны ученика. Поэтому нейронные сети могут служить только вспомогательным инструментом для повышения эффективности образования.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Применение нейросетей в профессиональном образовании URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-neyrosetey-v-professionalnom-obrazovanii> (дата обращения: 27.05.2023).
2. Актуальность использования нейросетей в образовательных целях URL: <https://moluch.ru/archive/460/101127/> (дата обращения: 27.05.2023).
3. Развитие нейронных сетей: перспективы и будущее технологии URL: <https://neiroseti.tech/interesnoe/razvitie-technology/> (дата обращения: 28.05.2023).
4. Нейросетевые технологии как средство организации образовательного процесса URL: <https://neiroseti.tech/interesnoe/razvitie-technology/> (дата обращения: 28.05.2023).
5. Нейронные сети: будущее искусственного интеллекта и его влияние на общество URL: <https://habr.com/ru/articles/708894/> (дата обращения: 28.05.2023).
6. *Босов А.В.* Применение самоорганизующихся нейронных сетей к процессу формирования индивидуальной траектории обучения // Информатика и ее применения. 2022.
7. *Мицель А.А., Погуда А.А., Семенов К.А., Утешева А.Е.* Методы тестирования знаний на основе применения аппарата нейронной сети // Открытое образование. 2013.
8. Проблемы и перспективы применения нейронных сетей в сфере образования URL: <https://doi.org/10.21686/1818-4243-2022-6-4-10> (дата обращения: 29.05.2023).
9. *Бешапошников Н.О., Дьяченко М.С., Леонов А.Г., Матюшин М.А., Орловский А.Е.* Использование машинного обучения и нейронных сетей для автоматической верификации заданий в текстовом и графическом представлении и помощи преподавателю // Успехи кибернетики. 2020

10. Применение нейронных сетей для контроля и прогнозирования результатов учебного процесса в вузе URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=32532190> (дата обращения: 29.05.2023).

**Агаркова Екатерина Владимировна**, студентка Донского государственного технического университета, Россия, город Ростов-на-Дону, площадь Гагарина 1, 344018, телефон: +7 (918) 589-00-31, email: [agarkat@yandex.ru](mailto:agarkat@yandex.ru).

**Agarkova Ekaterina Vladimirovna**, student of the Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russia, Gagarin Square 1, 344018, phone: +7 (918) 589-00-31, email: [agarkat@yandex.ru](mailto:agarkat@yandex.ru).

УДК 621.396

Агаркова Екатерина Владимировна

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЗНАНИЙ УЧЕНИКОВ**

*В статье описаны варианты использования нейронных сетей в образовании. Целью статьи рассмотреть возможности применения нейронных сетей для оценки знаний учеников. Задачей исследования является оценка перспективности использования нейронных сетей для проверки устных и письменных работ. В ходе анализа использования нейронных сетей в статье были выделены основные перспективы внедрения машинного обучения в образовательную сферу.*

*Нейронные сети, машинное обучение, алгоритм глубокого обучения, образование, устная проверка, письменная проверка.*

Agarkova Ekaterina Vladimirovna

## **USING NEURAL NETWORKS TO ASSESS STUDENTS' KNOWLEDGE**

*The article describes the options for using neural networks in education. The purpose of the article is to consider the possibilities of using neural networks to assess students' knowledge. The objective of the study is to assess the prospects of using neural networks to test oral and written works. During the analysis of the use of neural networks, the article highlighted the main prospects for the introduction of machine learning in the educational sphere.*

*Neural networks, machine learning, deep learning algorithm, education, oral verification, written verification.*

## **Введение**

Нейронные сети являются одним из самых перспективных и эффективных методов анализа информации в настоящее время. Их применение в образовании позволяет существенно улучшить процесс оценки знаний учеников. Для того чтобы оценить знания, ранее учителя использовали традиционные методы, которые часто бывали субъективными, но использование нейронных сетей может устранить эту проблему. Алгоритмы глубокого обучения позволяют создавать более точные и объективные тесты для оценки усвоения информации учениками. Нейронная сеть может быть обучена на большом количестве тестовых заданий, что позволяет учесть все возможные ответы и их написание, а также учитывать все возможные ошибки учеников.

## **Основная часть**

Использование нейронных сетей для оценки знаний учеников позволяет проводить анализ результатов обучения и улучшать качество образования. Анализ данных об ответах учеников может помочь учителям оценить эффективность обучения и принять меры по оптимизации учебного процесса. В конечном итоге, использование машинного обучения для оценки знаний учеников становится важным шагом к более точному и эффективному образованию.

Хотя внедрение нейронных сетей для оценки знаний стало возможным только недавно, было найдено много способов, как она может быть использована для усовершенствования обучения. Обучение на основе данных об уже выполненных заданиях и процессы проверки ответов помогут учителям лучше понимать потребности и проблемы учеников, а также улучшат качество обучения в целом. Использование нейронных сетей для оценки знаний также позволяет выявлять и анализировать слабые места учеников. Анализ ответов каждого ученика на тест позволяет преподавателям понять, с какими темами или типами заданий ученики имеют наибольшие проблемы. Такое знание позволяет выделить учеников, которые нуждаются в дополнительной помощи, и принять меры по их поддержке.

Процесс проверки объемных работ учащихся занимает много времени. Одним из способов упрощения процесса является использования

нейронных сетей для улучшения устной проверки знаний учеников. В классической проверке учителям достаточно сложно выявлять уровень знаний учеников, особенно если это касается большого количества учащихся в классе. Машинное обучение и нейронные сети могут быть использованы для сбора и анализа большого количества данных, связанных с уровнем знаний каждого ученика, и создания персонализированных тестов и заданий для устной проверки знаний.

Например, используя специальное программное обеспечение, учитель может записать ответы учеников во время устной проверки и отправить эти данные для автоматической обработки нейронной сети. Нейросеть может анализировать ответы учеников и определять, где они совершают ошибки, и предлагать индивидуализированные задания и тесты в зависимости от уровня их знаний. Кроме того, такие системы также могут использоваться для оценки произношения каждого ученика. Нейросеть может использовать звуковые данные, записанные во время проверки знаний, и анализировать произношение учеников, выделяя в нем основные ошибки и давая рекомендации по улучшению произношения. Также алгоритмы глубокого обучения могут быть использованы для создания синтезированных голосовых знаков для каждого ученика. Эти знаки могут быть разработаны на основе записей голоса ученика и использоваться для проверки знаний в будущем.

Следовательно, использование нейронных сетей в устной проверке знаний учеников может помочь учителям более эффективно определить уровень знаний каждого ученика и предложить персонализированные задания и тесты для улучшения их обучения.

Ещё одним этапом проверки знаний учащихся являются письменные работы. Одним из преимуществ использования нейронных сетей для проверки письменных работ является то, что они способны обрабатывать большой объем данных за короткий промежуток времени. Это позволяет преподавателям быстро проверять работы учеников и выдавать им результаты, что увеличивает эффективность учебного процесса.

Алгоритмы глубокого обучения могут анализировать тексты на предмет правильности грамматики и орфографии. Таким образом, ученики получают обратную связь о своих ошибках и могут улучшить свои навыки письма. Кроме того, преподаватели могут использовать эти данные для анализа и совершенствования своих методов обучения. Также использование нейронных сетей для проверки письменных работ помогает избежать

субъективности в оценке работ, что является проблемой для многих преподавателей. Нейронные сети работают по заранее заданным правилам и критериям, что позволяет получать объективную оценку каждой работы. Это улучшает качество образования и повышает уровень профессионализма как преподавателей, так и учеников.

В целом, использование машинного обучения для проверки письменных работ обучающихся имеет множество преимуществ. Они ускоряют процесс проверки, улучшают качество обратной связи и позволяют получить объективную оценку работ. Это делает обучение эффективнее и помогает ученикам достигать более высоких результатов в учебном процессе.

Нейронные сети в образовании имеют огромный потенциал и являются мощным инструментом в области обучения и проверки знаний. Использование нейронных сетей может улучшить процесс обучения, повысить качество работы учителей и помочь ученикам углубить свои знания и навыки. Однако, необходимо помнить, что использование нейронных сетей не должно заменять роль учителей в обучении учеников.

### **Выводы**

Используя алгоритмы машинного обучения и нейронные сети, можно разработать систему автоматической проверки знаний учеников, что уменьшает нагрузку на преподавателей и повышает объективность оценки. Таким образом, применение нейронных сетей для оценки знаний учеников может значительно упростить работу преподавателя и повысить эффективность обучения.

### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Позднеев Б.М., Кабак И.С., Суханова Н.В. Контроль знаний студентов на основе нейронных сетей // Открытое образование. 2011.
2. Актуальность использования нейросетей в образовательных целях
3. URL: <https://moluch.ru/archive/460/101127/> (дата обращения: 27.05.2023).
4. Развитие нейронных сетей: перспективы и будущее технологии URL: <https://neiroseti.tech/interesnoe/razvitie-technology/> (дата обращения: 28.05.2023).
5. Нейросетевые технологии как средство организации образовательного процесса URL: <https://neiroseti.tech/interesnoe/razvitie-technology/> (дата обращения: 28.05.2023).

6. Нейронные сети: будущее искусственного интеллекта и его влияние на общество URL: <https://habr.com/ru/articles/708894/> (дата обращения: 28.05.2023).
7. *Босов А.В.* Применение самоорганизующихся нейронных сетей к процессу формирования индивидуальной траектории обучения // Информатика и ее применения. 2022.
8. Использование машинного обучения и нейронных сетей для автоматической верификации заданий в текстовом и графическом представлении и помощи преподавателю URL: <https://doi.org/10.51790/2712-9942-2020-1-2-4> (дата обращения: 29.05.2023).
9. Проблемы и перспективы применения нейронных сетей в сфере образования URL: <https://doi.org/10.21686/1818-4243-2022-6-4-10> (дата обращения: 29.05.2023).
10. *Бесшапошников Н.О., Дьяченко М.С., Леонов А.Г., Матюшин М.А., Орловский А.Е.* Использование машинного обучения и нейронных сетей для автоматической верификации заданий в текстовом и графическом представлении и помощи преподавателю // Успехи кибернетики. 2020
11. Применение нейронных сетей для контроля и прогнозирования результатов учебного процесса в вузе URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=32532190> (дата обращения: 29.05.2023).

**Агаркова Екатерина Владимировна**, студентка Донского государственного технического университета, Россия, город Ростов-на-Дону, площадь Гагарина 1, 344018, телефон: +7 (918) 589-00-31, email: [agarkat@yandex.ru](mailto:agarkat@yandex.ru).

**Agarkova Ekaterina Vladimirovna**, student of the Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russia, Gagarin Square 1, 344018, phone: +7 (918) 589-00-31, email: [agarkat@yandex.ru](mailto:agarkat@yandex.ru).

УДК 621.396

Агаркова Екатерина Владимировна

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СВЕРТОЧНЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ РАСПОЗНАВАНИЯ РУКОПИСНОГО ТЕКСТА**

*В докладе разобраны преимущества использования сверточных нейронных сетей при распознавании рукописного текста. Целью статьи является рассмотрение преимуществ использования сверточных нейронных сетей при рас-*

познавании рукописного текста. Задачей исследования является проведение сравнения нейронных сетей и архитектур, предназначенных для распознавания текста. В ходе анализа использования сверточных нейронных сетей в статье были выделены основные перспективы использования архитектуры сверточных нейронных сетей при распознавании рукописного текста.

*SVM, сверточные нейронные сети, распознавание, рукописный текст, обучение, глубокие архитектуры.*

Agarkova Ekaterina Vladimirovna

## **USING CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORKS FOR HANDWRITING RECOGNITION**

*The article examines the advantages of using convolutional neural networks in handwriting recognition. The purpose of the article is to consider the advantages of using convolutional neural networks in handwriting recognition. The objective of the study is to compare neural networks and architectures designed for text recognition. During the analysis of the use of convolutional neural networks, the article highlighted the main prospects for using the architecture of convolutional neural networks in handwriting recognition.*

*SVM, convolutional neural networks, recognition, handwriting, learning, deep architectures.*

### **Введение**

В настоящее время распознавание рукописного текста является одной из наиболее актуальных задач в области машинного обучения. Это связано с тем, что большая часть текстов находится в форме рукописных записей, и автоматическое распознавание таких текстов может значительно упростить многие задачи, связанные с обработкой информации. В данной статье будет рассмотрено использование сверточных нейронных сетей для распознавания рукописного текста.

### **Основная часть**

В настоящее время обработка естественного языка (Natural Language Processing, NLP) является одной из наиболее актуальных областей искусственного интеллекта. Одним из важных аспектов NLP является распознавание рукописного текста. В прошлом для этой задачи часто использовали подход на основе метода Support Vector Machines (SVM), однако в настоящее время SVM для этой задачи используется меньше, в связи с некоторы-

ми недостатками этого метода. SVM не всегда дает высокую точность распознавания, особенно в случае с трудными для идентификации буквами или при нескольких вариантах написания одной и той же буквы.

Использование SVM для распознавания рукописного текста уже не является актуальным. Это связано с несколькими причинами:

- сложность выбора признаков: для использования SVM необходимо вручную выбирать и извлекать признаки из изображений символов. Это является трудоемким и неэффективным процессом.

- нет возможности учитывать контекст символов: SVM работает с каждым символом отдельно, не учитывая контекст других символов на изображении. Это может приводить к ошибкам в распознавании, особенно в случаях, когда символы находятся близко друг к другу.

- ограниченная масштабируемость: SVM может работать только с относительно небольшими наборами данных. В современных задачах распознавания, таких как распознавание рукописного текста на больших наборах данных, использование SVM становится проблематичным.

- низкая точность: SVM имеет низкую точность в задачах распознавания рукописного текста по сравнению со сверточными нейронными сетями и другими современными методами.

В связи с этим, многие исследователи обратили свое внимание на использование сверточных нейронных сетей для распознавания рукописного текста, которые позволяют автоматически извлекать признаки из изображений и учитывать контекст символов на изображении, что приводит к гораздо более высокой точности в распознавании.

Свойства сверточных нейронных сетей позволяют им эффективно распознавать рукописный текст. Архитектура таких сетей включает в себя слои свертки и слои пулинга, которые обеспечивают локальную инвариантность к особенностям изображения. Эти методы выявляют общие черты в разных частях изображения, что позволяет нейронной сети точно определять изображение, несмотря на некоторые его недостатки.

Для реализации сверточной нейронной сети в задаче распознавания рукописного текста необходимо разработать соответствующую архитектуру сети и обучить ее на наборе данных с рукописными символами. В качестве набора данных можно использовать общедоступные наборы рукописных символов, такие как MNIST, или собрать свой собственный набор данных.

Точность распознавания рукописного текста при использовании сверточных нейронных сетей зависит от многих факторов, включая размер обучающего набора данных, архитектуру сети и настройки обучения. Несмотря на это, многие исследования показали, что сверточные нейронные сети могут значительно повысить точность распознавания рукописного текста по сравнению с другими методами, такими как SVM.

Преимущества сверточных нейронных сетей в задаче распознавания рукописного текста являются множественными. Некоторыми из них являются:

- использование сверточных слоев позволяет сети автоматически выявлять наиболее важные признаки в изображениях рукописного текста, такие как контуры и локальные шаблоны.

- слои пулинга позволяют уменьшить размерность изображения, что упрощает вычисления и уменьшает количество параметров сети.

- свойства сверточных нейронных сетей гарантируют их инвариантность к небольшим изменениям положения искомым символов на изображении.

- многие архитектуры сверточных нейронных сетей являются глубокими, то есть они содержат множество слоев, каждый из которых выполняет определенный тип обработки. Глубокие сети могут обеспечить значительно высокую точность распознавания рукописного текста.

- свойства сверточных нейронных сетей позволяют им учитывать контекст символов, что помогает подавлять шум и уменьшить количество ошибок при распознавании.

- обучение сверточной нейронной сети может быть выполнено с использованием стохастического градиентного спуска или других эффективных методов оптимизации, что позволяет достичь высокой точности распознавания при относительно небольшом количестве обучающих данных.

- сверточные нейронные сети могут быть использованы для распознавания рукописных текстов на различных языках и при различных условиях освещения и съемки.

Вышеперечисленные возможности делают сверточные нейронные сети мощным инструментом для распознавания рукописного текста. Их преимуществами являются автоматическое выделение признаков, уменьшение размерности изображения, гарантированная инвариантность к некоторым изменениям положения символов и высокая точность распознавания при использовании глубоких архитектур. Эти преимущества делают сверточ-

ные нейронные сети более эффективными и точными, чем другие методы распознавания рукописного текста. Кроме того, сверточные нейронные сети могут использоваться на различных языках и при различных условиях съемки, что делает их универсальным решением для многих задач распознавания рукописного текста.

### **Вывод**

В заключение, использование сверточных нейронных сетей для распознавания рукописного текста является перспективным направлением развития области машинного обучения. Эти сети имеют высокую точность распознавания и могут использоваться в широком спектре задач, связанных с обработкой рукописных записей, включая системы распознавания рукописных подписей и системы локализации и классификации писем.

### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Применение сверточной нейронной сети для распознавания рукописных цифр URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-svertochnoy-neyronnoy-seti-dlya-raspoznavaniya-rukopisnyh-tsifr> (дата обращения: 27.05.2023).
2. Архитектуры сверточных нейронных сетей для распознавания рукописного текста / В.С. Ручкин, А.Л. Халявин, И.С. Зотова, и др. // Вестник НГТУ. - 2018. - Т. 68. - № 3. - С. 90-100.3. Развитие нейронных сетей: перспективы и будущее технологии.
3. Нейронные сети. Теория и практика / Бронштейн М.Д., Смирнов Д.А. - Москва: ООО "ДМК Пресс", 2018.
4. Шевченко В. В., Комарова И. В. "Использование сверточных нейронных сетей для распознавания рукописного текста на примере английского языка". Информатика и ее применения, 2016.
5. Анализ тональности текстов с помощью сверточных нейронных сетей URL: <https://habr.com/ru/companies/vk/articles/417767/> (дата обращения: 29.05.2023).
6. Применение сверточных нейронных сетей для задач NLP URL: <https://itnan.ru/post.php?c=1&p=353060> (дата обращения: 29.05.2023).
7. Классификация текстов с помощью сверточных нейронных сетей URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/klassifikatsiya-tekstov-s-pomoschyu-svertochnyh-neyronnyh-setey> (дата обращения: 29.05.2023).
8. Бердюкова С.С. Исследование применения сверточных нейронных сетей для анализа тональности текста / С.С. Бердюкова, И.А. Коломойцева //

Современные Информационные Технологии в Образовании и Научных Исследованиях – 7-ая международная научно-техническая конференция (СИТОНИ-2021) – С. 378-383.

9. Векторное представление слов русского языка посредством нейросетевых моделей сверточного автоэнкодера URL: <https://top-technologies.ru/ru/article/view?id=38954> (дата обращения: 29.05.2023).

**Агаркова Екатерина Владимировна**, студентка Донского государственного технического университета, Россия, город Ростов-на-Дону, площадь Гагарина 1, 344018, телефон: +7 (918) 589-00-31, email: [agarkat@yandex.ru](mailto:agarkat@yandex.ru).

**Agarkova Ekaterina Vladimirovna**, student of the Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russia, Gagarin Square 1, 344018, phone: +7 (918) 589-00-31, email: [agarkat@yandex.ru](mailto:agarkat@yandex.ru).

УДК 004.942

Хайруллина Лилия Эмитовна, Хакимов Зульфат Ниязович

## **ФОРМИРОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО ПОРТФЕЛЯ ЦЕННЫХ БУМАГ МЕТОДАМИ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ**

*Методы машинного обучения находят широкое применение в самых различных областях. Целью данной работы является демонстрация возможностей сетей Хопфилда и генетического алгоритма в построении оптимального портфеля ценных бумаг. Опираясь на прогнозы аналитиков, были отобраны семь ценных бумаг из разных секторов экономики и с помощью языка программирования Python построены оптимальные портфели. По соотношению риск/доходность наиболее привлекательным оказался портфель на базе сетей Хопфилда.*

*Модель Марковица, сети Хопфилда, генетический алгоритм, оптимальный портфель.*

Khairullina Lilia Emitovna, Khakimov Zulfat Niyazovich

## **FORMATION OF AN OPTIMAL SECURITIES PORTFOLIO BY MACHINE LEARNING METHODS**

*Machine learning methods are widely used in a variety of fields. The purpose of this work is to demonstrate the capabilities of Hopfield networks and a*

*genetic algorithm in building an optimal portfolio of securities. Based on analysts' forecasts, seven securities from different sectors of the economy were selected and optimal portfolios were built using the Python programming language. According to the risk/return ratio, the portfolio based on Hopfield networks turned out to be the most attractive.*

*Markowitz model, Hopfield networks, genetic algorithm, optimal portfolio.*

## **Введение**

В условиях текущей высокой волатильности экономической ситуации, все большую важность приобретает достижение постоянного дохода и сохранение накоплений. Одним из способов решения этой задачи является использование различных инвестиционных инструментов, включая портфельное инвестирование. Идея портфельного инвестирования заключается в распределении доступных инвестиционных ресурсов между различными видами активов, исходя из своих целей и задач. На сегодняшний день очень многие банки предлагают инвестиционные продукты. При этом следует отметить, что большинство современных инвестиционных приложений ориентированы на то, чтобы инвесторы самостоятельно формировали свои портфели. Данная статья имеет своей целью демонстрацию методов машинного обучения для самостоятельного прогнозирования оптимальных портфелей и сравнения их привлекательности.

### **1. Сущность портфельных инвестиций. Модель Марковица**

Портфельная теория Марковица - это концептуальный подход, разработанный Гарри Марковицем (Harry Max Markowitz) в 1950-х годах, в основе которого лежит идея оптимального выбора активов, исходя из требуемого соотношения доходность/риск. Автором были математически формализованы понятия «доходность» и «риск».

Доходность – это количественная мера эффективности финансовых операций. Доходностью портфеля обычно называют удельный прирост его стоимости за период времени [6]. Ожидаемой доходностью  $m_i$  называют математическое ожидание доходности  $i$ -го актива за период времени. Средний или ожидаемый доход  $E(x)$  портфеля ценных бумаг определяется следующим образом:

$$E(x) = \sum_{j=1}^N m_j x_j .$$

Здесь  $x_j$  – доля ценной бумаги вида  $j$  в портфеле,  $N$  – количество активов в портфеле; сумма долей активов в портфеле должны быть равна 1.

Риск представляет собой вероятность возможной нежелательной потери. Марковиц связал риск с волатильностью акции – чем выше разброс цен на акцию, тем больше риск инвестора. Риск всего портфеля определяется по формуле

$$\delta_p = \sqrt{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N x_i x_j \text{cov}_{ij}},$$

где  $\text{cov}_{ij}$  – ковариация доходности  $i$ -й и  $j$ -й акции.

В своей теории портфельных инвестиций Марковиц предложил субоптимизационные математические модели формирования оптимального портфеля ценных бумаг при определенных условиях [10]:

- портфель минимального риска при условии, что доходность портфеля не должна быть меньше заданной величины  $m$ ;
- портфель максимальной доходности при условии, что риск должен быть не больше заданной величины  $\delta$ .

Модель Марковица имеет свои ограничения, так как она основана на предположении о нормальном распределении доходности активов, которое не всегда справедливо. Кроме того, метод Марковица не учитывает изменчивость рыночных условий и может давать неустойчивые результаты в периоды экономической нестабильности.

Перспективным направлением решения этих проблем является применение алгоритмов машинного обучения [1, 3-4].

## **2. Методы машинного обучения**

Алгоритмы машинного обучения занимаются созданием математических моделей на основе специально отобранных начальных данных, известных как выборка обучения. После обучения алгоритма на этой выборке, производится прогноз, который используется для принятия решений.

### **2.1. Сети Хопфилда**

Сети Хопфилда являются моделью искусственных нейронных сетей, разработанной Джоном Хопфилдом в 1982 году. Сети Хопфилда стали одной из первых успешных моделей рекуррентных нейронных сетей и получили широкое применение в различных областях.

Функция активации в сети Хопфилда обычно определяется как пороговая функция, которая возвращает 1, если входное значение превышает определенный порог, и 0 в противном случае. В контексте портфельной теории, каждый нейрон в сети Хопфилда может представлять актив в

портфеле, и его состояние (0 или 1) отражает наличие или отсутствие данного актива в портфеле. Взаимодействие между нейронами определяется весами, которые отражают корреляцию между инструментами.

Алгоритм обучения сети Хопфилда основан на принципе ассоциативной памяти - вместо последовательного приближения к устойчивому состоянию с вычислением и коррекцией ошибок, все коэффициенты матрицы рассчитываются за один цикл и сеть становится пригодной к работе. Обучение сети Хопфилда происходит по правилу Хебба:

$$w_{ij} = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^m x_{ik} x_{jk},$$

где  $N$  – количество активов,  $x_{ij}$  – ожидаемая доходность актива  $i$  в выходном  $j$ -м векторе,  $m$  – количество запоминаемых выходных векторов,  $k$  – номер запоминаемого выходного вектора.

Сети Хопфилда позволяют обучать портфельное распределение активов на основе исторических данных и оптимизировать его с целью достижения желаемого критерия, например, максимизации доходности или минимизации риска. После обучения сеть может использоваться для прогнозирования будущих состояний портфеля и принятия решений по его ребалансировке [1, 7].

## 2.2. Генетический алгоритм

Исходя из модели эволюции, генетический алгоритм стремится найти решения, которые обладают наиболее оптимальными значениями всех заданных критериев выбора. Этот процесс аналогичен эволюции в природе, где путем комбинирования и изменения генетической информации, новые особи формируются и приспособляются к изменяющимся условиям окружающей среды [8-9]. Применительно к портфельной теории генетический алгоритм включает следующие шаги:

1. Определение параметров: размер портфеля, доступные активы, допустимые значения весов активов и функцию целевой оптимизации.
2. Инициализация популяции: создается начальная популяция портфелей, где каждый портфель представлен набором генетических хромосом, представляющих веса активов.
3. Определение функции приспособленности: оценивается приспособленность каждого портфеля в популяции на основе выбранной функции целевой оптимизации.

4. Отбор родителей: выбираются наиболее приспособленные портфели в популяции в соответствии с функцией приспособленности для размножения.
5. Генетические операторы: путем скрещивания и мутации происходит создание новых портфелей.
6. Обновление популяции: новые портфели заменяют менее приспособленные портфели в популяции.
7. Повторение шагов 3-6 до достижения заданного критерия остановки, такого как достижение определенной приспособленности или сходимость оптимального решения.
8. Отбор лучшего решения – оптимального портфеля.

### 3. Эмпирическое исследование

Ориентируясь на прогнозы аналитиков [2, 5], отберем для анализа акции представителей различных секторов экономики, имеющие наибольший потенциал роста: Лукойл, Сбербанк, Яндекс, Газпром, Норникель, Сургутнефтегаз, Фос-Агро. Эмпирическое исследование проведем по ежемесячным котировкам закрытия за период с 1.05.2020 по 30.04.2023. Исторические данные будем извлекать с МосБиржи с помощью библиотеки MOEX ISS API языка программирования Python. Для проведения расчетов по описанным выше моделям нам также понадобятся библиотеки numpy, pandas, SciPy.

За рассматриваемый период некоторые акции показали отрицательную доходность. Наибольшую ожидаемую доходность показали акции Фос-Агро:

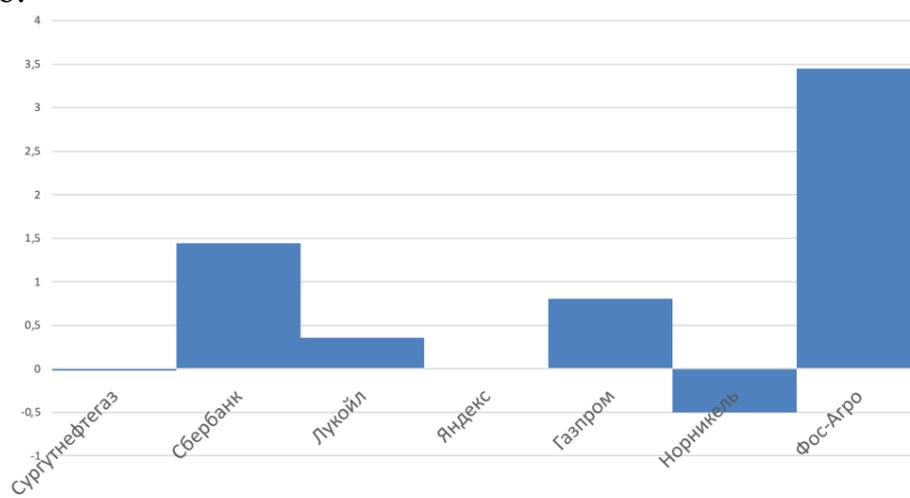


Рис.1. Ожидаемые доходности ценных бумаг, %

При моделировании портфеля сетями Хопфилда с целевой функцией минимизации риска был получен портфель 1 (табл. 1). Доходность портфеля составила 2,44%, риск – 6,99%.

Прогнозируемый с помощью генетического алгоритма портфель представлен в столбце «Портфель 2» табл.1. Он имеет доходность 3,31% и риск 11,9%.

Таблица 1

| Структура оптимальных портфелей |                            |                                    |
|---------------------------------|----------------------------|------------------------------------|
| Акции                           | Портфель 2 (сети Хопфилда) | Портфель 3 (генетический алгоритм) |
| Сургутнефтегаз                  | 0                          | 0,0011                             |
| Сбербанк                        | 0,24                       | 0,0035                             |
| Лукойл                          | 0,06                       | 0,0052                             |
| Яндекс                          | 0                          | 0,0035                             |
| Газпром                         | 0,13                       | 0,013                              |
| Норникель                       | 0                          | 0,0156                             |
| Фос-Агро                        | 0,57                       | 0,958                              |
| <b>Доходность, %</b>            | <b>2,44</b>                | <b>3,31</b>                        |
| <b>Риск, %</b>                  | <b>6,99</b>                | <b>11,9</b>                        |

Отметим, что структура портфеля 1 близка к портфелю Марковица минимального риска, в котором в соответствии с принципами Марковица в расчет не принимались акции с отрицательными доходностями: (0; 0,207; 0,181; 0; 0,159; 0; 0,453), доходность – 2,06%, риск – 6,6%.

### **Выводы**

В данной работе были представлены две модели машинного обучения для построения оптимального портфеля ценных бумаг. Описанные модели могут быть полезны для сравнения привлекательности портфелей. На основе реальных данных с помощью языка программирования Python были получены два оптимальных портфеля, причем портфель, смоделированный с помощью нейронных сетей Хопфилда, оказался лучшим по соотношению риск/доходность.

**Работа выполнена за счет средств Программы стратегического академического лидерства Казанского (Приволжского) федерального университета ("ПРИОРИТЕТ-2030").**

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Галкина С.А.* Использование методов машинного обучения для построения оптимального портфеля ценных бумаг // International Journal of Open Information Technologies. 2014. №6. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-metodov-mashinnogo-obucheniya-dlya-postroeniya-optimalnogo-portfelya-tsennyh-bumag> (дата обращения: 25.05.2023).
2. Инвестиции 2023: что купить. Полное руководство с прогнозами. URL: <https://bcs-express.ru/novosti-i-analitika/investitsii-2023-chto-kupit-polnoe-rukovodstvo-s-prognozami> (дата обращения: 25.05.2023)
3. *Казанская А.А. Мишура Л.Г.* Использование машинного обучения в инвестиционной деятельности [Текст] // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия Экономика и экологический менеджмент 2020, № 2.
4. *Ковальчук А.И.* Современные методы формирования оптимального инвестиционного портфеля, методы машинного обучения / А. И. Ковальчук, Е. А. Разумовская // Весенние дни науки : сборник докладов, Екатеринбург, 21–23 апреля 2022 года. – Екатеринбург: Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, 2022. – С. 1172-1176. – EDN РСЕНРО.
5. Портфель акций на 2023 год. URL: <https://journal.openbroker.ru/analitika/portfel-akcij-na-2023-god/> (дата обращения: 26.05.2023)
6. *Сидельцев С.В.* Моделирование портфелей ценных бумаг по ключевым показателям эффективности // ОмГТУ. 2014. №3. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/modelirovanie-portfeley-tsennyh-bumag-po-klyuchevym-pokazatelyam-effektivnosti> (дата обращения: 20.05.2023)
7. *Френкель М.Б.* Генетический подход к формированию оптимального портфеля ценных бумаг с использованием количественного анализа финансовых рынков // Материалы V-й международной научно-практической конференции «Результаты и проблемы социально-экономического развития Астраханской области». - Астрахань, 2006. С.236-240.
8. *Li He, Shi Naiyu.* Application of Genetic Optimization Algorithm in Financial Portfolio Problem. Computational Intelligence and Neuroscience. 2022. 1-9. 10.1155/2022/5246309. URL: <https://www.hindawi.com/journals/cin/2022/5246309/>
9. *Liu, Q., et al.* A one-layer recurrent neural network for constrained pseudoconvex optimization and its application for dynamic portfolio optimization // Neural Networks, 2011. doi:10.1016/j.neunet.2011.09.001

10. *Markowitz H. Portfolio Selection // The Journal of Finance. 1952. Vol. 7, No. 1. P. 77-91.*

**Хайруллина Лилия Эмитовна**, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры информационных систем Института вычислительной математики и информационных технологий КФУ, Россия, город Казань, улица Кремлевская, 35, 420111, телефон: +7 (9272) 46-40-03, email: [lxayrullina@yandex.ru](mailto:lxayrullina@yandex.ru).

**Хакимов Зульфат Ниязович**, аспирант, Институт вычислительной математики и информационных технологий КФУ, Россия, город Казань, улица Кремлевская, 35, 420111, email: [znkhakimov@stud.kpfu.ru](mailto:znkhakimov@stud.kpfu.ru).

**Khairullina Lilia Emitovna**, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor of the Department of Information Systems of the Institute of Computational Mathematics and Information Technologies of KFU, Kazan, 35 Kremlevskaya Street, 420111, Russia, phone: +7 (9272) 46-40-03, email: [lxayrullina@yandex.ru](mailto:lxayrullina@yandex.ru).

**Khakimov Zulfat Niyazovich**, PhD student, Institute of Computational Mathematics and Information Technologies of KFU, Kazan, 35 Kremlevskaya Street, 420111, Russia, email: [znkhakimov@stud.kpfu.ru](mailto:znkhakimov@stud.kpfu.ru)

УДК 621.396

Мирошниченко Дарья Вячеславовна

## **КИБЕРАТАКИ НА КРУПНЫЕ КОРПОРАЦИИ: ПРИЧИНЫ, ПОСЛЕДСТВИЯ И МЕТОДЫ ЗАЩИТЫ**

*Кибератаки на крупные корпорации представляют серьезную угрозу для их безопасности, финансовой устойчивости и репутации. Целью данного исследования было рассмотрение причин, последствий и методов противодействия кибератакам. Для достижения данной цели были поставлены задачи: изучить основные типы кибератак, провести анализ причин кибератак, оценить ущерб, предложить методы защиты и рекомендации по улучшению кибербезопасности корпораций.*

*Исследование выявило, что главной причиной кибератак является человеческий фактор. Эффективными методами защиты являются сетевые меры, защищенные облачные хранилища, системы шифрования данных и регулярные тестирования на проникновение. Компании должны улучшить процессы управления уязвимостями, контроль входа в системы, дифференцирование доступа и*

*обучение персонала по кибербезопасности. Это позволит понизить риски и предотвратить кибератаки на крупные корпорации.*

*Кибератаки, корпорации, причины, последствия, методы защиты, кибербезопасность, уязвимости.*

Miroshnichenko Daria Vyacheslavovna

## **CYBER ATTACKS ON LARGE CORPORATIONS: CAUSES, CONSEQUENCES AND PROTECTION METHODS**

*Cyber attacks on a large serious corporation for their security, financial stability and reputation. The purpose of this study was to investigate the causes, consequences and methods of counteracting cyber attacks. To achieve the goals set, the following tasks were set: to be guided by the main types of cyber attacks, analyze the causes of a cyber attack, assess the damage, offer protection measures and recommendations for corporate cyber security security.*

*The study revealed that the main cause of cyber attacks is the human factor. Effective protection methods are network measures, secure cloud storage, data encryption systems and regular penetration testing. Companies need to improve vulnerability management processes, login controls, differentiated access, and cybersecurity training for staff. This will reduce risks and prevent cyber attacks on large corporations.*

*Cyber attacks, corporations, causes, consequences, protection methods, cyber security, vulnerabilities.*

### **Введение**

Кибератаки стали неотъемлемой частью современного мира. Крупные корпорации, многие из которых хранят и обрабатывают большие объемы важной информации, оказываются особенно уязвимыми перед кибератаками. В этой статье мы рассмотрим причины, последствия и методы защиты от кибератак на крупные корпорации.

### **Основная часть**

Один из главных мотивов кибератак на крупные корпорации – это финансовое вознаграждение. Злоумышленники могут использовать различные способы для получения доступа к конфиденциальной информации, такой как номера кредитных карт, данные клиентов, банковские счета и другие ценности. После того, как злоумышленник получит доступ к этой информации, он может ее продать на черном рынке или использовать ее самостоятельно для мошеннических действий.

Однако не все кибератаки связаны с финансовыми мотивами. В некоторых случаях злоумышленники могут проводить атаки с целью нанесения ущерба репутации компании или даже отомстить за пережитые обиды. Например, хакеры известной группировки AnonymouS в 2011 году провели серию атак на компании, которые они считали приверженцами законопроектов по борьбе с пиратским контентом в Интернете.

Также стоит упомянуть, что кибератаки могут быть проведены не только злоумышленниками извне, но и внутри самой компании. Сотрудники, имеющие доступ к конфиденциальным данным, могут использовать этот доступ для своих личных или частных целей. В этом случае кибератаки могут быть вызваны не только внешними факторами, но и внутренней безопасностью компании.

Кроме того, кибератаки могут быть направлены и на государственные учреждения, включая правительства, армии и различные организации. Такие атаки могут иметь различные цели, такие как получение конфиденциальной информации, нанесение ущерба инфраструктуре или даже просто вызов хаоса и нарушение общественной безопасности.

Кибератаки могут стать причиной серьезных экономических потерь для компаний и государств, не только из-за утечки конфиденциальной информации, но и из-за простоя бизнеса и необходимости проведения расследований и восстановления после атаки.

Для защиты от кибератак необходимо принимать меры по повышению уровня безопасности информационных систем и сетей, проводить регулярные аудиты и тестирования на проникновение, обучать сотрудников основам кибербезопасности и создавать культуру безопасности внутри компании. Также важно следить за новыми методами и видами кибератак и принимать меры по их предотвращению.

Кибератаки на крупные корпорации могут иметь различные последствия, включая утечку конфиденциальной информации, потерю данных, нарушение работы сайта или другого программного обеспечения. Кроме того, кибератаки могут нанести серьезный ущерб репутации компании и привести к потере доверия со стороны клиентов и партнеров.

Некоторые из наиболее заметных кибератак на крупные корпорации, произошедших в последние годы, включают следующие:

1. Кибератака на Sony Pictures в 2014 году. В результате атаки была украдена большая часть конфиденциальной информации, включая финансовые данные, персональную информацию сотрудников и производствен-

ные материалы. Это привело к значительным убыткам и существенному ущербу для репутации компании.

2. Атака WannaCry в 2017 году. В результате атаки WannaCry были заражены компьютеры в более чем 150 странах, включая многие крупные корпорации и организации, такие как FedEx, Deutsche Bahn и Nissan. Атака повлекла за собой значительные убытки, прервала работу многих предприятий и показала уязвимость многих систем безопасности.

3. Кибератака на Equifax в 2017 году. В результате атаки были украдены персональные данные около 147 миллионов клиентов компании, включая имена, адреса, номера социального страхования и другую конфиденциальную информацию. Эта кибератака стала одной из самых крупных кибератак в истории.

4. Кибератака на Marriott International в 2018 году. В результате атаки были украдены данные около 500 миллионов клиентов, включая имена, адреса электронной почты, номера телефонов и другую конфиденциальную информацию. Это вызвало серьезный ущерб репутации компании и потерю доверия со стороны клиентов.

Существует множество способов защиты от кибератак на крупные корпорации, некоторые из которых включают следующие:

1. Контроль доступа. Для обеспечения контроля доступа к конфиденциальной информации, компании могут использовать различные технологии и методы. Один из самых распространенных способов – это использование паролей для авторизации пользователей на системе. Также может быть применена двухфакторная аутентификация, которая требует от пользователя двух разных форм подтверждения своей личности (например, кода из SMS или отпечатка пальца). Другие технологии, такие как управление правами доступа и сетевые настройки, могут также использоваться для обеспечения безопасного доступа к информации.

Примером контроля доступа может служить использование системы управления правами доступа (Access Control System), которая позволяет определить, какие пользователи могут получать доступ к каким данным и функциям в системе. К примеру, врачи в госпитале могут иметь доступ только к медицинским данным своих пациентов, а учетные записи бухгалтеров корпорации могут иметь доступ только к финансовой информации. В этом случае, управление правами доступа не только обеспечивает безопасность данных, но и предотвращает случайное или злоумышленное использование конфиденциальной информации.

2. Шифрование данных. Шифрование является эффективным способом защиты конфиденциальной информации от несанкционированного доступа. Это процесс преобразования данных в непонятный для посторонних вид, чтобы только авторизованные пользователи могли расшифровать их. Шифрование может применяться для защиты данных, хранящихся на серверах, в передаваемых сообщениях и на устройствах пользователей.

Примером использования шифрования данных может служить передача платежной информации между банком и клиентом через интернет-банкинг. Зашифрованные данные сначала отправляются с компьютера клиента на сервер банка, где они расшифровываются при помощи ключа шифрования. Это обеспечивает защиту от возможных кибератак, при которых злоумышленник может перехватить персональную информацию и использовать ее в своих целях.

3. Обновление программного обеспечения. Регулярное обновление программного обеспечения и патчей является важным мероприятием для обеспечения безопасности системы. Обновления содержат исправления ошибок и уязвимостей, которые могут быть использованы злоумышленниками для проведения атак. Компании должны следить за новыми обновлениями и патчами, чтобы оперативно обеспечивать безопасность своих систем.

Примером регулярного обновления программного обеспечения является использование системы обновления Microsoft Windows на компьютерах в офисе. Windows Update позволяет автоматически загружать и устанавливать обновления безопасности и исправлений ошибок, которые могут быть использованы злоумышленниками для проведения атак на компьютеры в сети.

4. Мониторинг систем безопасности. Частый мониторинг систем безопасности поможет обнаруживать потенциальные угрозы и предотвращать атаки. Это может включать регулярное сканирование систем на наличие вирусов и другого вредоносного программного обеспечения, мониторинг сетевых трафиков и логирование событий.

Примером мониторинга систем безопасности может служить использование инструментов Network Intrusion Detection System (NIDS). NIDS постоянно сканирует трафик в сети компании, чтобы обнаруживать потенциальные угрозы, такие как попытки несанкционированного доступа или передача конфиденциальной информации через интернет-протоколы.

5. Обучение сотрудников. Обучение сотрудников в области кибербезопасности является важным компонентом успешной стратегии защиты от кибератак. Регулярное проведение тренингов и обучающих семинаров помогает сотрудникам распознавать потенциальные угрозы и принимать меры по защите от них. Обучение может включать основы информационной безопасности, политику безопасности компании и процедуры реагирования на инциденты.

Примером проведения обучения сотрудников может служить проведение тренингов внутри компании, где сотрудники изучают основы кибербезопасности и проходят практические задания. Например, сотрудники банка могут получить тренинг по защите от фишинга, который включает обучение распознаванию поддельных электронных писем и рассмотрению случаев, когда клиенты банка были обмануты злоумышленниками. Обучение сотрудников - это важный элемент успешной стратегии защиты от кибератак, поскольку даже самые надежные системы могут подвергнуться атакам, если пользователи не обладают достаточными знаниями в области информационной безопасности.

Примером успешной защиты от кибератаки на крупную корпорацию может служить компания Google. Компания инвестирует большие средства в разработку и технологии безопасности и регулярно обновляет свои методы защиты. В 2017 году Google заметил необычную активность в своей системе и быстро среагировал на это, предотвратив возможную кибератаку.

### **Выводы**

Кибератаки на крупные корпорации могут иметь серьезные последствия, как для самой компании, так и для ее клиентов. Поэтому защита от кибератак является важной частью бизнес-стратегии любой компании.

Крупные корпорации должны регулярно обновлять свои методы защиты и следить за появлением новых угроз. Использование современных технологий и моделей безопасности может помочь предотвратить кибератаки или быстро реагировать на них в случае возникновения.

Наконец, важно понимать, что защита от кибератак – это не только дело технических специалистов, но и всех сотрудников компании. Регулярное обучение персонала в области кибербезопасности и принятие мер по укреплению безопасности данных поможет уменьшить риск кибератаки на крупную корпорацию.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. RSA Security: «Анатомия кибератаки» URL: <https://www.rsa.com/en-us/blog/2017-12/anatomy-of-a-cyber-attack> (дата обращения: 25.04.2023).
2. «Делойт»: «Кибер-риск в гиперподключенном мире» URL: <https://www2.deloitte.com/us/en/pages/risk/articles/cyber-risk-in-a-hyperconnected-world.html> (дата обращения: 25.04.2023).
3. Forbes: «Главные угрозы кибербезопасности, на которые стоит обратить внимание в 2019 году» URL: <https://www.forbes.com/sites/forbetechcouncil/2019/01/30/the-top-cybersecurity-threats-to-watch-for-in-2019/#6bfed6c7689d> (дата обращения: 25.04.2023).
4. Norton: «Что такое кибератаки и как от них защититься» URL: <https://us.norton.com/internetsecurity-malware-what-is-a-cyber-attack.html> (дата обращения: 25.04.2023).
6. IBM X-Force: «Исследование стоимости утечки данных в 2018 году: глобальный обзор» URL: <https://www.ibm.com/security/data-breach> (дата обращения: 25.04.2023).
7. «Лаборатория Касперского»: «Кибератаки: самые большие угрозы 2019 года» URL: <https://www.kaspersky.com/resource-center/threats/cybercrime> (дата обращения: 25.04.2023).
8. Gartner: «8 главных тенденций в области безопасности и рисков на 2019 год» URL: <https://www.gartner.com/smarterwithgartner/top-8-security-and-risk-trends-for-2019/> (дата обращения: 25.04.2023).
9. CSO Online: «6 типов угроз кибербезопасности и способы их смягчения» URL: <https://www.csoonline.com/article/2117843/6-cybersecurity-threats-to-watch-for-in-2019.html> (дата обращения: 25.04.2023).
10. The Economist: «Почему компании не могут позволить себе игнорировать угрозы кибербезопасности» URL: <https://www.economist.com/business/2019/06/01/why-companies-cant-afford-to-ignore-cyber-> угрозы безопасности (дата обращения: 25.04.2023).
11. McKinsey & Company: «Угроза кибербезопасности реальна: как защитить свою компанию» URL: <https://www.mckinsey.com/business-functions/mckinsey-digital/our-insights/the-cybersecurity-threat-is-real-как-защитить-свою-компанию> (дата обращения: 25.04.2023).

**Мирошниченко Дарья Вячеславовна**, студентка Донского государственного технического университета, Россия, город Ростов-на-Дону, площадь Гагарина 1, 344018, телефон: +7(988)552-45-61, email: miroshnichenkodascha@gmail.com.

**Miroshnichenko Daria Vyacheslavovna**, student of the Don State Technical University, Russia, Rostov-on-Don, Gagarin Square 1, 344018, phone: +7(988)552-45-61, email: miroshnichenkodascha@gmail.com.

УДК 004.738

Оргдаев Арлан Анатольевич, Поленов Максим Юрьевич

## **ОПТИМИЗАЦИЯ МАРШРУТНОЙ ИНФОРМАЦИИ В ВЫСОКОНАГРУЖЕННЫХ СЕТЯХ**

*В современных компьютерных сетях отмечается экспоненциальный рост сетевой нагрузки. Это связано, в том числе, с широким распространением стриминговых онлайн-сервисов, которые предоставляют пользователям мультимедийный контент в высоком качестве. Также рост нагрузки связан с ростом числа пользователей, требовательных к скорости работы сетевых приложений и объемам передаваемых данных. Такой рост нагрузки приводит к снижению качества предоставляемых сетевых услуг. Для решения данной проблемы, в случае возникновения нештатных ситуаций в высоконагруженных сетях, предлагается использовать модули перестроения маршрутной информации, реализация которых рассмотрена в данной работе.*

*Компьютерные сети, рост сетевой нагрузки, модули перестроения маршрутной информации, высоконагруженные сети.*

Orgdaev Arlan A., Polenov Maxim Yu.

## **OPTIMIZATION OF ROUTING INFORMATION IN HIGH-LOAD NETWORKS**

*In modern computer networks, there is an exponential increase in network load. This is due, among other things, to the widespread use of streaming online services that provide users with multimedia content in high quality. Also, the increase in load is associated with an increase in the number of users demanding the speed of network applications and the amount of data transmitted. Such growth in the load leads to a decrease in the quality of provided network services. To solve this problem, in case of*

*emergency situations in high-loaded networks, it is proposed to use modules for rebuilding routing information, the implementation of which is considered in this paper.*

*Computer networks, network load growth, route information rebuilding modules, high-load networks*

## **Введение**

Современные компьютерные сети предоставляет пользователям мульти-сервисные услуги, обеспечивая при этом высокую пропускную способность и надежность передачи данных [1]. Однако нагрузка на сеть постоянно растёт, причем растет экспоненциально. Так, в последнее время широкое распространение получили стриминговые онлайн-сервисы, которые предоставляют контент пользователям в высоком качестве. Также рост нагрузки связан с ростом числа пользователей, требовательных к скорости работы сетевых приложений и объемам передаваемых данных в реальном времени. При этом существует вероятность того, что сеть не справится с таким потоком данных и произойдет снижение качества предоставляемых сетевых услуг в высоконагруженных сетях.

В связи с этим, в настоящее время растет актуальность решения задач связанных с организацией высоконагруженных сетей и с вариантами использования различных протоколов динамической маршрутизации [2]. При этом необходимо учитывать, что протоколы динамической маршрутизации также оказывают воздействие на нагрузку в сети за счёт собственного служебного трафика. Все это приводит к необходимости решения задачи повышения качества функционирования протоколов динамической маршрутизации и алгоритмов поиска оптимального маршрута [3].

## **Протоколы динамической маршрутизации**

Вопросы связанные с оптимизацией маршрутизации, активно исследуются в последнее время. Вследствие увеличения объёма передаваемого трафика в сетях возникла потребность в разработке алгоритмов оптимизации процесса передачи данных между различными узлами сети. Так, в работе [4] авторами представлено решение проблемы, связанной с повышением производительности сети при пиковых нагрузках. Для этого используются протоколы динамической маршрутизации, а именно, Open Shortest Path First (OSPF) и Enhanced Interior Gateway Routing Protocol (EIGRP), а также предложен метод, повышающий производительность сети за счёт перерасчёта маршрутов в случае снижения их производительности.

В исследовании [5] предложено повысить производительность функционирования протокола EIGRP при помощи программно-определяемой сети SDN, в которой функционирует интеллектуальный динамический, диспетчерский контроллер-корректор. Данный контроллер осуществляет обнаружение места возникновения потенциальной перегрузки с последующим устранением этой перегрузки за счёт использования специализированного алгоритма. Данный алгоритм выполняет одно из следующих действий (или все три последовательно) для устранения перегрузки:

- распределение потока возможных преемников;
- определение временного преемника;
- очистка маршрута.

В работе [6] предложен подход к решению проблемы балансирования увеличивающейся нагрузки в IP-сетях. Для этого используется специализированный алгоритм оптимальной маршрутизации по кратчайшему пути. Кроме того, выполнено расширение многолучевого распространения с равными затратами, а также поиск локальных соседей для балансировки потока данных. Для измерения производительности предложенного алгоритма на основе мультимодальной потоковой регуляции использовалось расширение эвристического метода в пределах нескольких процентов.

В исследовании [7] предложено адаптивное балансирование нагрузки в OSPF-сетях за счёт использования распределённого подхода. Реализовано объединение примитивно-двойных методов с адаптивной эвристикой для оптимизации весов OSPF. Полученные результаты свидетельствуют о том, что оптимизация коэффициентов разделения трафика приводит к повышению производительности сети в сравнении с равным разделением.

#### **Анализ протоколов динамической маршрутизации**

В работах [8, 9] выполнен сравнительный анализ протоколов RIPv2, EIGRP, OSPF, IS-IS. В качестве критериев сравнения использовались:

- а) время конвергенции;
- б) объем служебного трафика;
- в) административная дистанция.

Было выполнено конфигурирование выбранных протоколов динамической маршрутизации, а результаты представлены в табл. 1.

| Результаты экспериментов       |          |          |          |          |
|--------------------------------|----------|----------|----------|----------|
| Критерий                       | RIP v2   | EIGRP    | OSPF     | IS-IS    |
| Время конвергенции, сек        | 8,590100 | 0,609551 | 9,867057 | 9,467620 |
| Объем служебного трафика, байт | 356      | 596      | 706      | 2517     |

Далее было выполнено сравнение алгоритмов каждого протокола с целью вычисления метрики. Из таблицы 1 видно, что протокол EIGRP [10] является лучшим решением для применения в высоконагруженных сетях.

Данный протокол был выбран в качестве основного для решения задач оптимизации маршрутной информации. Проверка работоспособности предложенного метода оптимизации была произведена при помощи собранного сетевого лабораторного стенда, представленного на рис.1.

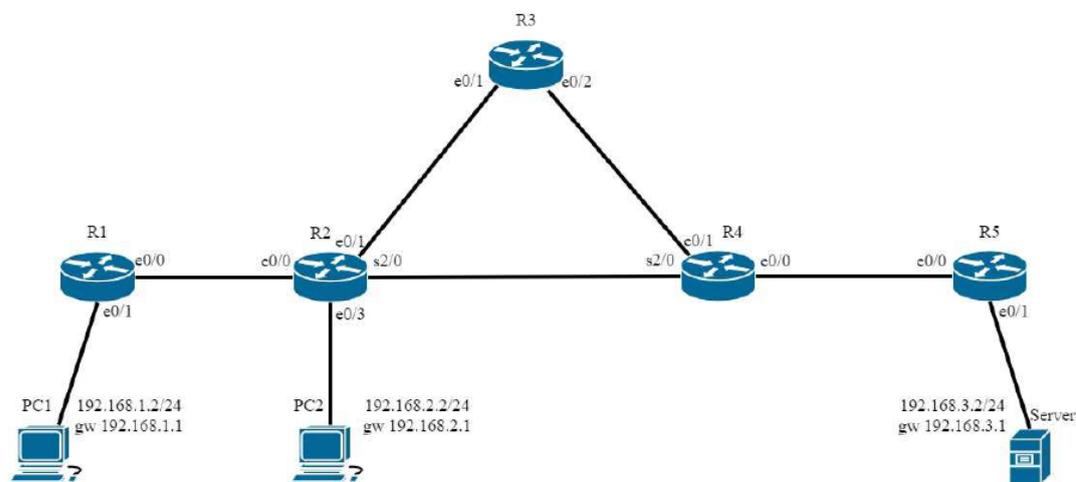


Рис. 1. Экспериментальный сетевой стенд

Лабораторный стенд включает пять маршрутизаторов. IP-адреса назначались следующим образом: сначала на интерфейсы, которые «смотрят» в сторону сетевых узлов (ПК), сервера и являются шлюзами с адресами 192.168.A.1, где A – номер ПК, сервера ( $PC_1, PC_2, Server$ ). Затем интерфейсам маршрутизаторам назначаются IP-адреса в соответствии со следующим правилом: 10.0.XY.X(Y), где X и Y – номера маршрутизаторов ( $R_1 – R_5$ ). Так, интерфейсу e0/0 маршрутизатора R1 присвоен адрес 10.0.12.1/24, а интерфейсу e0/0 маршрутизатора R2 – 10.0.12.2/24 (табл. 1).

Для того, чтобы обеспечить сетевую доступность ПК и маршрутизаторов выполняется настройка маршрутизации. Для этого используется протокол динамической маршрутизации EIGRP. После того, как выполнена настройка протокола динамической маршрутизации EIGRP, на маршрутизаторах осуществляется построение таблиц маршрутизации и далее выполняется корректировка параметра *bandwidth* на интерфейсах R2-e0/1, R3-e0/1, R3-e0/2, R4-e0/1. Это выполняется с целью того, чтобы значение метрики резервного маршрута R2–R3–R4 было больше, чем значение метрики

основного маршрута R2–R4. Ширина полосы пропускания будет уменьшена за счёт выполнения команды “bandwidth 1200”. На представленном ниже рис. 2 продемонстрированы значения метрик маршрутов до подсети 192.168.3.0 маршрутизатора R2 до изменения параметра *bandwidth* и после его изменения.

```
P 192.168.3.0/24, 1 successors, FD is 359403, serno 17
  via 10.0.23.3 (359403/333803), Ethernet0/1
  via 10.0.2.4 (2227557/308203), Serial2/0
```

---

```
P 192.168.3.0/24, 1 successors, FD is 359403, serno 21
  via 10.0.2.4 (2227557/308203), Serial2/0
  via 10.0.23.3 (2244013/2218413), Ethernet0/1
```

*Рис. 2. Значения метрик маршрутов*

В результате получаем присвоенные IP-адреса интерфейсам на маршрутизаторах, настроенные коэффициенты для расчёта метрик, скорректированные значения ширины полосы пропускания и построенные таблицы маршрутизации посредством протокола EIGRP. Далее необходимо добавить в конфигурацию «скрипты», посредством которых будет осуществляться реализация модулей оптимизации маршрутизации.

Были разработаны следующие модули, выполняющие оптимизацию маршрутизации. Первый модуль, предназначенный для предотвращения потерь пакетов, продемонстрировал свою работоспособность. При тестировании работоспособности второго модуля было установлено, что данный модуль будет корректно функционировать только при использовании в тех сетях, в которых существует канал с небольшой пропускной способностью и при достаточно большой длине очереди.

### **Выводы**

Для решения проблемы роста нагрузки в современных компьютерных сетях предложено использовать модули перестроения маршрутной информации. Данные модули позволят перераспределить нагрузку в случае возникновения нештатных ситуаций в высоконагруженных сетях.

### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. *Шонов А. И.* Особенности проектирования мультисервисных сетей // Вестник Волжского университета им. В. Н. Татищева. – 2009. <https://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-proektirovaniya-multiservisnyh-setey> (дата обращения 20.05.2023)

2. *Мищенко П. В.* Маршрутизация в составных сетях: учеб.-метод. пособие. – Новосибирск : НГТУ, 2016. – 72 с.
3. *Васильев А. С.* Сравнение протоколов динамической маршрутизации // Молодой учёный. – 2020. – №8. – С.10-14.
4. *Сопелев А. В.* Методы повышения производительности сети при пиковых нагрузках. – Красноярск, 2018. – 67 с.
5. *Hasan H.* Improvement of Performance of EIGRP Network by Using a Supervisory Controller with Smart Congestion Avoidance Algorithm // 2016 International Conference on Telecommunications and Multimedia. <https://clck.ru/32kdNF> (дата обращения 20.05.2023).
6. *Johansson M.* OSPF Weight Tuning for Efficient Routing in IP Networks. – Stockholm, 2004.
7. *Susitaival R., Aalto S.* Adaptive load balancing with OSPF // Proceedings of the Second International Working Conference on Performance Modelling and Evaluation of Heterogeneous Networks (HET-NETs 2004). 2004.
8. *Томас М.* Структура и реализация сетей на основе протокола OSPF: Справочник по проектированию / М. Томас. Изд. 2-е – Москва: Вильямс, 2004. – 816 с.
9. *Gredler H., Goralski W.* The complete IS-IS routing protocol / Springer, 2005.
10. Enhanced Interior Gateway Routing Protocol : Cisco Systems, Inc. – <https://www.cisco.com/c/en/us/support/docs/ip/enhanced-interior-gateway-routingprotocol-eigrp/16406-eigrp-toc.html> (дата обращения 20.05.2023).

**Оргдаев Арлан Анатольевич**, студент Института компьютерных технологий и информационной безопасности Южного федерального университета, Россия, город Таганрог, пер. Некрасовский 44, 347922: телефон +7(937)460-04-99, e-mail: [orgdaev@sfnedu.ru](mailto:orgdaev@sfnedu.ru)

**Поленов Максим Юрьевич**, кандидат технических наук, доцент кафедры вычислительной техники Института компьютерных технологий и информационной безопасности Южного федерального университета, Россия, город Таганрог, пер. Некрасовский, 44, 347922, телефон: +7(8634)37-16-56, e-mail: [mypolenov@sfnedu.ru](mailto:mypolenov@sfnedu.ru)

**Orgdaev Arlan Anatolievich.** student of the Institute of Computer Technologies and Information Security, Southern Federal University, Russia, Taganrog, 44, Nekrasov-sky lane, 347922, Phone: +7 (8634) 37-16-56, e-mail: [orgdaev@sfnedu.ru](mailto:orgdaev@sfnedu.ru)

**Polenov Maxim Yurievich**, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor of the Department of Computer Engineering, Institute of Computer Technologies and Information Security, Southern Federal University, Russia, Taganrog, 44, Nekrasovskiy lane, 347922, Phone: +7 (8634) 37-16-56, e-mail: mypolenov@sfnu.ru

УДК 621.396

Мирошниченко Дарья Вячеславовна

## **ЭФФЕКТ ЦВЕТА НА ВЫБОР ПОТРЕБИТЕЛЕЙ: ИССЛЕДОВАНИЕ, ПОКАЗЫВАЮЩЕЕ, КАК ЦВЕТОВАЯ ГАММА ВЛИЯЕТ НА РЕШЕНИЯ ПОКУПАТЕЛЕЙ**

*Доклад направлен на изучение влияния цвета на поведение потребителей. Цель работы заключается в определении роли цвета в принятии решений покупателями. Для достижения этой цели были поставлены задачи: анализ цветовых предпочтений покупателей, исследование психологических механизмов, лежащих в основе восприятия цвета, а также определение связи между предпочтениями в цвете и типом товаров.*

*В результате исследования пришли к выводу, что цвет оказывает существенное влияние на поведение потребителей и принятие ими решений о покупке. В частности, было установлено, что цвет может влиять на эмоциональное состояние покупателя, вызывая различные чувства и ассоциации, что в свою очередь может повлиять на выбор товара. Также было выявлено, что наиболее удачная цветовая гамма зависит от типа товара и целевой аудитории. В итоге статья показывает важность цвета в маркетинге, анализирует его влияние на потребителя и выделяет основные принципы использования цвета в бизнесе.*

*Цвет, маркетинг, потребители, психология, эмоции, выбор товара, цветовая гамма, тип товара, целевая аудитория, принятие решений, поведение потребителей.*

Miroshnichenko Daria Vyacheslavovna

## **CYBER ATTACKS ON LARGE CORPORATIONS: CAUSES, CONSEQUENCES AND PROTECTION METHODS**

*The article is aimed at studying the effect of color on consumer behavior. The purpose of the work is to determine the role of color in decision-making by buyers. To achieve this goal, the following tasks were set: to analyze the color preferences of*

*buyers, to study the psychological mechanisms underlying the perception of color, and to determine the relationship between color preferences and the type of goods.*

*As a result of the study, came to the conclusion that color has a significant impact on consumer behavior and their purchase decisions. In particular, it was found that color can affect the emotional state of the buyer, causing various feelings and associations, which in turn can affect the choice of product. It was also found that the most successful color scheme depends on the type of product and the target audience. As a result, the article shows the importance of color in marketing, analyzes its impact on the consumer and highlights the basic principles of using color in business.*

*Color, marketing, consumers, psychology, emotions, product choice, colors, product type, target audience, decision making, consumer behavior.*

## **Введение**

Изучение влияния цвета на выбор потребителей является одной из важных задач в маркетинге и продажах. Цвет может вызывать различные эмоции и ассоциации, и в конечном итоге, повлиять на выбор потребителя. Поэтому, понимание роли цвета является необходимым для тех, кто занимается продажей товаров или услуг. Однако несмотря на то, что это явление известно давно, оно все еще остается сложным и многогранным. Существует множество теорий о том, как цвет влияет на наше восприятие и решения. В этой статье будет рассмотрено исследование, направленное на изучение влияния цветовой гаммы на выбор потребителей и выявление принципов использования цвета в бизнесе. В исследовании были учтены психологические особенности восприятия цвета, предпочтения разных групп потребителей и его влияние на выбор товара. Также рассмотрены наиболее удачные цветовые сочетания в зависимости от типа товара и целевой аудитории. В итоге, эта статья поможет пролить свет на сложный вопрос о том, как цвет может влиять на поведение потребителей при принятии решений покупки.

## **Основная часть**

Влияние цвета на поведение потребителей - одна из важнейших тем в маркетинговой индустрии. Исследования показывают, что выбор цвета может оказать ключевое влияние на решения покупателей и стать фактором, определяющим успех или неудачу продукта.

Цвет является мощным коммуникатором, способным вызывать различные ассоциации и эмоции у людей. К примеру, красный цвет может вызывать чувство возбуждения, голубой - спокойствия, зеленый - свежести и

роста, а желтый - радости и оптимизма. Понимание, как цвет влияет на потребителей, может помочь маркетологам создавать более привлекательные продукты и увеличивать продажи.

В данной статье рассмотрим исследование, демонстрирующее влияние цветовой гаммы на поведение покупателей. Исследование было проведено на основе эксперимента, в котором участникам предлагалось выбрать продукт из двух вариантов с разными цветовыми гаммами. Результаты эксперимента показали, что цветовая гамма может оказывать значительное влияние на выбор потребителей.

В частности, исследование выявило, что яркие и насыщенные цвета могут привлекать больше внимания и вызывать положительные эмоции у потребителей. Также было обнаружено, что использование определенных цветовых комбинаций может подчеркивать определенные характеристики продукта и увеличивать его привлекательность для покупателей.

Исследование также обратило внимание на то, что выбор цвета может различаться в зависимости от типа продукта и целевой аудитории. К примеру, для продуктов, связанных с здоровьем и благополучием, может быть более эффективным использование зеленых и голубых оттенков, а для продуктов, связанных с детскими игрушками и развлечениями, - ярких и красочных цветов.

Изучение воздействия цвета на поведение потребителей имеет большое значение для маркетинговой стратегии компаний. Правильный выбор цветовой гаммы может привести к увеличению продаж и укреплению бренда в глазах потребителей. Однако при этом необходимо учитывать специфику продукта, целевую аудиторию и другие факторы, которые могут влиять на выбор цвета.

Таким образом, исследование демонстрирует важность выбора правильной цветовой гаммы для маркетинговых целей. Компании, учитывающие психологические аспекты воздействия цвета на потребителей, могут повысить свою конкурентоспособность и достичь большего успеха на рынке. Однако, не стоит забывать о том, что цвет — это всего лишь один из факторов, влияющих на выбор потребителей. Другие аспекты, такие как цена, качество продукта, удобство использования и другие, также могут иметь значительное влияние.

Основываясь на полученных результатах исследования, можно сделать вывод, что цвет является очень важным элементом при разработке маркетинговой стратегии, особенно в онлайн-бизнесе, где первое впечат-

ление о продукте формируется именно за счет его дизайна. Правильный выбор цвета может помочь более эффективно передать концепцию продукта и привлечь больше внимания со стороны потенциальных покупателей.

Таким образом, для компаний, желающих повысить конверсию и увеличить продажи, следует уделить большое внимание выбору цветовой гаммы своих продуктов и сайта. Конечно, каждый случай уникален, и не существует универсальной цветовой гаммы, которая подошла бы всем компаниям и продуктам. Однако, проведение исследований в данной области, учет специфики продукта и целевой аудитории могут помочь выбрать оптимальный вариант и повысить эффективность маркетинговых кампаний.

Также было проведено большое количество исследований в данной области. Рассмотрим некоторые из них.

"The Impact of Color on Consumer Behavior" (Влияние цвета на поведение потребителей) – это исследование было проведено в 2016 году и охватывает вопросы о том, как цвет может повлиять на эмоциональный опыт и решения потребителей при покупке товаров. Результаты показывают, что цветовая гамма может влиять на настроение потребителей, и, следовательно, на их поведение в процессе покупки. Например, красный цвет может вызывать чувство срочности и стимулировать быструю покупку, в то время как зеленый цвет может связываться с устойчивостью и надежностью.

"Effect of Color on Perception and Choice Behavior in Retail Environments" (Эффект цвета на восприятие и поведение при выборе в розничной торговле) – это исследование было проведено в 2017 году и исследует, как цвет может влиять на выбор товаров в розничных магазинах. Результаты показывают, что использование определенных цветов в магазине может привлечь больше внимания покупателей и увеличить продажи. Например, сине-зеленый цвет может вызвать ощущение прохлады и свежести, что может быть особенно привлекательным для покупателей в период жаркой погоды.

"Color Psychology: Effects of Perceiving Color on Consumer Behavior" (Психология цвета: влияние восприятия цвета на поведение потребителей) – эта статья была опубликована в *Journal of Consumer Psychology* и раскрывает, как цвет влияет на эмоции и решения потребителей при покупках. Результаты показывают, что цветовая гамма может вызывать разные эмоции

у потребителей, что, в свою очередь, влияет на их поведение при выборе товаров. Например, красный цвет может вызывать чувство возбуждения и стимулировать быструю покупку, в то время как синий цвет может связываться с умиротворением и спокойствием.

"The Influence of Color on Brand Identity and Purchase Intentions" (Влияние цвета на бренд-идентичность и намерения покупки) – это исследование было проведено в 2015 году и исследует, как цветовая гамма может повлиять на восприятие бренда и намерения покупки товаров. Результаты показывают, что использование определенных цветов в логотипе или упаковке может создавать определенную ассоциацию с брендом, что может повлиять на решения покупателей. Например, зеленый цвет может связываться с экологически чистыми продуктами или со здоровым образом жизни, что может быть привлекательным для определенного сегмента потребителей.

"The Impact of Color on Online Shopping" (Влияние цвета на онлайн-шопинг) – это исследование было проведено в 2018 году и исследует, как цвет может влиять на поведение потребителей при онлайн-шопинге. Результаты показывают, что использование определенных цветов на сайте может увеличить вероятность того, что посетитель останется на сайте и совершит покупку. Например, красный цвет может использоваться для выделения важной информации на сайте или для обозначения скидок и акций, что может привлечь внимание потенциальных покупателей. Также стоит отметить, что различные цвета могут оказывать разное влияние в зависимости от типа товаров или услуг, которые предоставляет сайт. Например, синий цвет может ассоциироваться с надежностью и профессионализмом, что может быть особенно важным для сайтов, предоставляющих услуги в области бизнеса или финансов.

Во взгляде на использование цвета в маркетинге, есть несколько основных правил, которые следует учитывать при разработке дизайна продукта или сайта:

1. Учитывайте психологию цвета. Каждый цвет вызывает определенную эмоциональную реакцию у людей.
2. Будьте последовательны. Цвета должны быть применены однородно на всем вашем продукте или сайте. Это поможет создать чувство единства и профессионализма.

3. Не используйте слишком много цветов. Слишком яркие или несочетающиеся цвета могут отталкивать потребителей. Лучше выбрать 2-3 основных цвета и использовать их по максимуму.

4. Используйте цвет для передачи информации. Некоторые цвета могут использоваться для передачи информации, например, красный цвет может использоваться для обозначения ошибок или предупреждений, а зеленый - для подтверждения успешной операции.

5. Тестируйте разные варианты. Не стоит останавливаться на одном варианте цветовой гаммы. Важно проводить тестирование и определить, какой вариант наиболее эффективен для вашей целевой аудитории.

В целом, правильный выбор цвета может значительно повлиять на эффективность маркетинговых кампаний и увеличить конверсию продукта. Поэтому, не стоит пренебрегать этим аспектом и уделить достаточно времени на его изучение и анализ.

### **Выводы**

Изучение влияния цвета на поведение потребителей является актуальной темой в современном маркетинге и продажах. Цветовая гамма может вызывать различные эмоции и ассоциации, и это может существенно влиять на принятие решений о покупке. В данной статье были рассмотрены результаты исследования, показывающие, что цвет действительно влияет на выбор потребителей, причем наиболее удачные цветовые сочетания зависят от типа товара и целевой аудитории. Исследование также учитывает психологические особенности восприятия цвета, что обеспечивает более точный анализ. В заключении можно сделать вывод о том, что понимание роли цвета в продажах является важным моментом, и эффективное использование его в бизнесе может повысить эффективность маркетинговых стратегий и увеличить объем продаж.

### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. *Сингх С.* Влияние цвета на маркетинг. Управленческое решение, 44(6), 783-789. URL: <https://doi.org/10.1108/00251740610673332> (дата обращения: 25.05.2023).
2. *Кваллек Н., Льюис К.М., и Роббинс А.С.* Влияние цвета интерьера офиса на настроение и продуктивность сотрудников. Перцептивные и моторные навыки, 66(1), 123–128. URL: <https://doi.org/10.2466/pms.1988.66.1.123> (дата обращения: 25.05.2023).

3. Кроули А.Э., и Хойер В.Д. Интегративная основа для понимания двустороннего убеждения. Журнал потребительских исследований, 20(4), 561-574. URL: <https://doi.org/10.1086/209376> (дата обращения: 25.05.2023).
4. Хеландер М.Г., и Мьюир В.В. Психология цвета. Нью-Йорк: ACM Press. URL: <https://us.norton.com/internetsecurity-malware-what-is-a-cyber-attack.html> (дата обращения: 25.05.2023).
5. Мун Дж.Ю., и Берлайн Д.Э. Временной ход и амплитуда аффективной модуляции выбранного пробы вздрагивания в факторном плане два на два. Познание и эмоции, 22 (3), 446-465. URL: <https://doi.org/10.1080/02699930801994265> (дата обращения: 25.05.2023).
6. Огюстен Ф. Влияние цвета на распределение визуального внимания: исследование слежения за глазами. Журнал экологической психологии, 30 (1), 87-98. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2009.06.007> (дата обращения: 25.05.2023).
7. Эллиот Эй Джей, и Майер. Массачусетс. Психология цвета: влияние восприятия цвета на психологическое функционирование человека. Ежегодный обзор психологии, 58, 27-53. URL: <https://doi.org/10.1146/annurev.psych.58.11040>
8. 5.085513 (дата обращения: 25.05.2023).
9. Лабрек Л.И., и Милн Г.Р. Захватывающий красный и грамотный синий: значение цвета в маркетинге. Журнал Академии маркетинговых наук, 40(5), 711-727. URL: <https://doi.org/10.1007/s11747-011-0277-x> (дата обращения: 25.05.2023).
10. Гольдштейн. Ощущение и восприятие (8-е изд.). Бельмонт, Калифорния: Уодсворт/Cengage Learning URL: <https://www.gartner.com/smarterwithgartner/top-8-security-and-risk-trends-for-2019> (дата обращения: 25.05.2023).
11. Гастон К.Дж., Фуллер Р.А. Обыкновенность, истощение популяции и биология сохранения. Тенденции в экологии и эволюции, 23(1), 14-19. URL: <https://doi.org/10.1016/j.tree.2007.11.001> (дата обращения: 25.05.2023).

**Мирошниченко Дарья Вячеславовна**, студентка Донского государственного технического университета, Россия, город Ростов-на-Дону, площадь Гагарина 1, 344018, телефон: +7(988)552-45-61, email: [miroshnichenkodascha@gmail.com](mailto:miroshnichenkodascha@gmail.com).

**Miroshnichenko Daria Vyacheslavovna**, student of the Don State Technical University, Russia, Rostov-on-Don, Gagarin Square 1, 344018, phone: +7(988)552-45-61, email: miroshnichenkodascha@gmail.com.

УДК 621.396

Мирошниченко Дарья Вячеславовна

## **ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ПОВЫШЕНИИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЗАЩИТЫ ОТ ХАКЕРСКИХ АТАК**

*Цель статьи заключается в рассмотрении возможностей применения искусственного интеллекта для повышения эффективности защиты от хакерских атак. В ходе работы были определены задачи, необходимые для достижения цели: анализ методов защиты от хакерских атак, исследование технологий искусственного интеллекта, а также выявление перспективных направлений применения этой технологии в сфере информационной безопасности.*

*Полученные результаты показывают, что возможности применения искусственного интеллекта в защите от хакерских атак очень высоки. Одним из основных преимуществ такого подхода является быстрота и точность обнаружения угроз, что уменьшает время реакции на атаку и позволяет оперативно принимать необходимые меры по защите информации. Вместе с тем, необходимо отметить, что использование искусственного интеллекта в защите интернет-ресурсов требует высокой квалификации и компетенции специалистов, а также постоянного совершенствования подходов и технологий.*

*Искусственный интеллект, защита от хакерских атак, информационная безопасность, обнаружение угроз, повышение эффективности, технологии, перспективы, компетенции специалистов.*

Miroshnichenko Daria Vyacheslavovna

## **POSSIBILITIES OF USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN INCREASING THE EFFICIENCY OF PROTECTION AGAINST HACKER ATTACKS**

*The purpose of the article is to consider the possibilities of using artificial intelligence to improve the effectiveness of protection against hacker attacks. In the course of the work, the tasks necessary to achieve the goal were identified: analysis of methods for protecting against hacker attacks, research on artificial intelligence technolo-*

*gies, as well as identifying promising areas for the application of this technology in the field of information security.*

*The results obtained show that the possibilities of using artificial intelligence in protecting against hacker attacks are very high. One of the main advantages of this approach is the speed and accuracy of threat detection, which reduces the response time to an attack and allows you to quickly take the necessary measures to protect information. At the same time, it should be noted that the use of artificial intelligence in the protection of Internet resources requires highly qualified and competent specialists, as well as continuous improvement of approaches and technologies.*

*Artificial intelligence, protection against hacker attacks, information security, threat detection, efficiency improvement, technologies, prospects, specialists' competences.*

## **Введение**

Современный мир сталкивается с растущим количеством кибератак, которые могут приводить к различным последствиям, таким как утечка конфиденциальной информации, вымогательство и повреждение программного обеспечения. В связи с этим, эффективная защита от хакерских атак становится все более важной задачей для организаций и государств.

Один из возможных способов повышения эффективности защиты от хакерских атак - использование искусственного интеллекта (AI). AI представляет собой набор технологий и методов, которые позволяют компьютерным системам обучаться на основе данных и делать выводы без явного программирования. В данной статье мы рассмотрим возможности использования AI в защите от хакерских атак и приведем примеры кода на Python для демонстрации этих подходов.

## **Основная часть**

Использование AI в защите от хакерских атак может включать в себя несколько подходов. Один из таких подходов – это обнаружение аномалий. Алгоритм обнаружения аномалий может использоваться для обнаружения поведения, которое отличается от нормы и может свидетельствовать о хакерской атаке. Например, такой алгоритм может обнаружить необычные сетевые запросы или поведение пользователей, что может указывать на наличие в системе опасных действий.

Другой подход — это использование машинного обучения для классификации данных. Модели машинного обучения могут быть обучены на основе большого количества данных о предыдущих хакерских атаках, что-

бы выявлять новые угрозы и предсказывать вероятность будущих атак. Это позволяет оперативно реагировать на обнаруженные угрозы и защищать систему от возможных атак.

Для реализации этих подходов могут использоваться различные инструменты и библиотеки AI, такие как TensorFlow, Keras, PyTorch и другие. Например, TensorFlow имеет широкий спектр функций и возможностей для создания моделей машинного обучения, в том числе для задач обнаружения аномалий. При использовании TensorFlow можно определить пороговое значение, при превышении которого данные могут быть отнесены к категории аномалий.

Кроме того, AI может использоваться для обнаружения уязвимостей в системах безопасности и предотвращения атак на основе этих уязвимостей. Например, AI-алгоритмы могут автоматически сканировать код приложений и искать потенциальные уязвимости в нем, такие как SQL-инъекции или переполнения буфера. Это позволяет разработчикам программного обеспечения заранее выявлять уязвимости и исправлять их, прежде чем они будут использованы злоумышленниками.

Еще одним подходом является использование AI для предсказания поведения киберпреступников. Например, модели машинного обучения могут быть обучены на основе данных о предыдущих атаках и других факторах, связанных с профилем хакеров, чтобы определить вероятность того, что конкретный пользователь является злоумышленником. Это помогает оперативно распознавать новых хакеров и предотвращать их действия.

Также AI может использоваться для быстрой реакции на кибератаки. Например, можно использовать алгоритмы машинного обучения для автоматического анализа логов событий и определения, является ли конкретное событие частью атаки или нет. На основе этой информации можно предпринять быстрые меры по защите системы.

Наконец, AI может быть использован для защиты от социальной инженерии и атак типа phishing. Модели машинного обучения могут быть обучены на основе данных о характеристиках подобных атак, таких как электронные письма с фишинговыми ссылками и вредоносными вложениями. Это помогает распознавать потенциально опасные сообщения и предотвращать их доставку до пользователей.

В целом, использование AI в защите от кибератак имеет большой потенциал и уже активно применяется в различных областях. Однако, следует учитывать, что AI не является универсальным решением и требует пра-

вильной настройки и обучения модели, а также должен быть внедрен в комплексную систему безопасности вместе с другими методами и технологиями.

### Пример кода

Рассмотрим пример кода на Python для обнаружения аномалий в сетевых пакетах с использованием библиотеки TensorFlow. В данном примере мы будем использовать данные из набора данных KDD Cup 1999, содержащего информацию о сетевых пакетах.

```
# Импортирование необходимых библиотек
import tensorflow as tf
import pandas as pd
import numpy as np

# Загрузка и предобработка данных
train_data = pd.read_csv('kddcup.data_10_percent', header=None)
test_data = pd.read_csv('corrected', header=None)
train_labels = train_data.iloc[:, -1]
train_data = train_data.iloc[:, :-1]
test_labels = test_data.iloc[:, -1]
test_data = test_data.iloc[:, :-1]
labels = np.unique(train_labels)

# Кодирование меток классов
label_encoder = {}
for i, label in enumerate(labels):
    label_encoder[label] = i
train_labels = train_labels.apply(lambda x: label_encoder[x])
test_labels = test_labels.apply(lambda x: label_encoder[x])

# Создание модели обнаружения аномалий
input_dim = train_data.shape[1]
output_dim = len(labels)

model = tf.keras.Sequential([
    tf.keras.layers.Dense(64, activation='relu', input_dim=input_dim),
    tf.keras.layers.Dense(32, activation='relu'),
```

```

tf.keras.layers.Dense(output_dim, activation='softmax')
])
model.compile(optimizer='adam',
loss='sparse_categorical_crossentropy',
metrics=['accuracy'])

# Обучение модели
model.fit(train_data, train_labels, epochs=10, batch_size=128)

# Оценка качества модели на тестовых данных
test_loss, test_acc = model.evaluate(test_data, test_labels)
print('Test accuracy:', test_acc)

# Предсказание меток на тестовых данных и определение порогового
значения для обнаружения аномалий
predictions = model.predict(test_data)
threshold = np.mean(predictions) + 3 * np.std(predictions)

# Обнаружение аномалий
anomalies = np.where(np.max(predictions, axis=1) > threshold)[0]
print('Number of anomalies:', len(anomalies))

```

В данном примере мы загрузили данные из набора данных KDD Cup 1999 и закодировали метки классов. Затем мы создали модель обнаружения аномалий с помощью библиотеки TensorFlow, обучили ее на обучающих данных и оценили качество модели на тестовых данных. Далее мы предсказали метки классов на тестовых данных и определили пороговое значение для обнаружения аномалий, используя среднее значение и стандартное отклонение вероятностей предсказания классов. Наконец, мы обнаружили аномалии в тестовых данных, используя определенный порог.

### **Выводы**

В данной статье мы рассмотрели возможности использования искусственного интеллекта в защите от хакерских атак и привели пример кода на Python для обнаружения аномалий в сетевых пакетах. AI может быть эффективным инструментом для повышения эффективности защиты от хакерских атак, но для этого необходимо правильно подготовить данные,

выбрать подходящую модель и обучить ее на достаточно большом наборе данных.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. «Как ИИ перехитрил киберпреступников» URL: <https://www.techradar.com/news/how-ai-is-outsmarting-cyber-criminals> (дата обращения: 20.04.2023).
2. «Искусственный интеллект в кибербезопасности: будущее уже сейчас» URL: [//securityboulevard.com/2020/06/artificial-intelligence-in-cyber-security-the-future-is-now/](https://securityboulevard.com/2020/06/artificial-intelligence-in-cyber-security-the-future-is-now/) (дата обращения: 20.04.2023).
3. «Кибербезопасность и искусственный интеллект: как ИИ делает онлайн-мир безопаснее» URL: <https://www.forbes.com/sites/forbetechcouncil/2020/07/06/cybersecurity-and-artificial-intelligence-how-ai-делает-онлайн-мир-безопаснее/?sh=7f5a28b41db4> (дата обращения: 20.04.2023).
4. «Искусственный интеллект и кибербезопасность: все, что вам нужно знать» URL: <https://www.analyticsinsight.net/artificial-intelligence-and-cybersecurity-everything-you-need-to-know/> (дата обращения: 20.04.2023).
5. «Как ИИ меняет правила игры для кибербезопасности» URL: <https://www.zdnet.com/article/how-ai-is-changing-the-game-for-cybersecurity/> (дата обращения: 20.04.2023).
6. «Роль ИИ в кибербезопасности» URL: <https://www.tripwire.com/state-of-security/security-data-protection/the-role-of-ai-in-cybersecurity/> (дата обращения: 20.04.2023).
7. «5 способов, которыми ИИ меняет кибербезопасность» URL: <https://www.weforum.org/agenda/2021/04/ai-cybersecurity-threats-technology/> (дата обращения: 20.04.2023).
8. «Искусственный интеллект в кибербезопасности: палка о двух концах» URL: <https://theconversation.com/artificial-intelligence-in-cybersecurity-a-double-edged-sword-139261> (дата обращения: 20.04.2023).
9. «Как искусственный интеллект меняет кибербезопасность» URL: <https://www.ciodive.com/news/how-artificial-intelligence-is-changing-cybersecurity/597204/> (дата обращения: 20.04.2023).
10. «Роль искусственного интеллекта в кибербезопасности» URL: <https://towardsdatascience.com/the-role-of-artificial-intelligence-in-cybersecurity-4b4f262c07f9> (дата обращения: 20.04.2023).

**Мирошниченко Дарья Вячеславовна**, студентка Донского государственного технического университета, Россия, город Ростов-на-Дону, площадь Гагарина 1, 344018, телефон: +7(988)552-45-61, email: miroshnichenkodascha@gmail.com.

**Miroshnichenko Daria Vyacheslavovna**, student of the Don State Technical University, Russia, Rostov-on-Don, Gagarin Square 1, 344018, phone: +7(988)552-45-61, email: miroshnichenkodascha@gmail.com.

Падня Владислав Михайлович

## **АНАЛИЗ СТАНДАРТОВ СВЯЗИ И ПРОТОКОЛОВ БЕЗОПАСНОСТИ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В ПРОМЫШЛЕННЫХ IOT-УСТРОЙСТВАХ**

*Целью данной научной статьи является анализ стандартов связи и протоколов безопасности, используемых в промышленных IoT-устройствах. В работе рассматриваются основные протоколы связи и протоколы безопасности, такие как, TLS, OAuth и SRTP, их использование и эффективность в промышленных сетях IoT-устройств. Была проведена аналитическая работа по сравнению протоколов, а также рассмотрены существующие проблемы безопасности и возможные решения для них. Результаты исследования могут быть полезными для разработчиков IoT-устройств и инженеров, работающих в промышленной сфере. В заключении статьи делается вывод о необходимости использования соответствующих стандартов связи и протоколов безопасности для обеспечения безопасной и эффективной работы IoT-устройств в промышленности.*

*IoT, промышленность, стандарты связи, беспроводные технологии, протоколы безопасности.*

Padnya Vladislav Mihailovich

## **ANALYSIS OF COMMUNICATION STANDARDS AND SECURITY PROTOCOLS USED IN INDUSTRIAL IOT DEVICES**

*The aim of this scientific article is to analyze the communication standards and security protocols used in industrial IoT devices. The paper examines the main communication protocols and security protocols such as TLS, OAuth, and SRTP, their usage, and effectiveness in industrial IoT networks. An analytical comparison of protocols was conducted, and existing security issues and possible solutions were also dis-*

*cussed. The research results can be useful for IoT device developers and engineers working in the industrial field. In conclusion, the article concludes that the use of appropriate communication standards and security protocols is necessary to ensure the safe and efficient operation of IoT devices in industry.*

*IoT, industry, communication, wireless technologies, protocols security.*

### **Основная часть**

С появлением промышленных IoT-устройств, стали возникать новые проблемы в области безопасности и защиты информации. Современные IoT-устройства используют различные протоколы связи и стандарты безопасности, которые необходимы для защиты данных и устройств от несанкционированного доступа и взлома. Интернет вещей (IoT) - это технология, которая объединяет различные устройства и сенсоры, позволяя им обмениваться данными и взаимодействовать друг с другом через Интернет. Промышленные IoT-устройства используются в различных отраслях, таких как производство, энергетика, транспорт и медицина, и позволяют автоматизировать процессы, управлять оборудованием и снижать затраты[1].

Промышленные IoT-устройства имеют большую значимость, поскольку они используются в критических системах, где даже кратковременный простой может привести к серьезным последствиям. Поэтому, безопасность является ключевым фактором при разработке и использовании IoT-устройств в промышленных системах[2].

Протоколы связи используются для обмена данными между устройствами в промышленных IoT-системах. Существует несколько протоколов связи, которые широко используются в промышленных IoT-устройствах, включая:

1. Sigfox - это беспроводная коммуникационная сеть, предназначенная для подключения устройств Интернета вещей, которые передают небольшие объемы данных на большие расстояния. Он использует уникальный протокол связи, работающий на нелицензионных частотах, что обеспечивает широкий охват и экономичность, в настоящее время использует самый популярный европейский ISM диапазон на 868 МГц (как определено стандартом ETSI и CEPT), а также 902 МГц в США (как определено FCC), в зависимости от конкретных региональных правил. Основная концепция сети Sigfox заключается в том, что устройства отправляют короткие сообщения (до 12 байт) в облако Sigfox, которое затем пересылает их на серверы приложений, где они обрабатываются и отображаются в поль-

зовательском интерфейсе. Это позволяет передавать информацию с многочисленных устройств, расположенных далеко друг от друга, на центральный сервер приложений для дальнейшей обработки. Сеть Sigfox была разработана с учетом требований отраслей промышленности, где часто требуется беспроводная связь на большие расстояния с низким энергопотреблением и надежностью. Он находит применение в различных секторах, включая сельское хозяйство, транспорт, логистику, здравоохранение, оборону и безопасность.

2. LTE-M (Long-Term Evolution for Machines) - это стандарт сотовой связи, предназначенный для подключения устройств Интернета вещей (IoT). Он работает на базе сетей LTE (Long-Term Evolution), которые используются для мобильной связи. Сеть LTE-M (LTE-MTC или LTE Cat-M1) используется во многих проектах Интернета вещей, где требуется передача данных с низким энергопотреблением и низкой задержкой[3].

3. NB-IoT (Narrowband IoT) - это низкоскоростной стандарт с низким энергопотреблением для передачи данных в сетях Интернета вещей (IoT). Он работает в лицензированных диапазонах частот, таких как 868 МГц и использует узкие полосы частот для передачи данных на большие расстояния. NB-IoT (узкополосный интернет вещей) разработан на основе существующих стандартов мобильной связи. Сети NB-IoT работают в лицензированных частотных спектрах. Стандартизация этой технологии была завершена в июне 2016 года под руководством организации 3GPP. NB-IoT обеспечивает поддержку более 100 000 подключений на ячейку, а устройства, подключенные к NB-IoT, могут работать до 10 лет без подзарядки своих аккумуляторов.

4. LoRaWAN (Long Range Wide-Area Network) - это коммуникационный протокол, предназначенный для управления соединением между шлюзами LPWAN и устройствами конечных узлов. Сеть LoRaWAN работает в безлицензионном частотном спектре, включая такие частоты, как 109 МГц, 433 МГц, 868 МГц и 915 МГц. В сети LoRaWAN устройства асинхронно передают данные на шлюз для переадресации. Несколько шлюзов, получающих эту информацию, отправляют пакеты данных на централизованный сетевой сервер. Протокол LoRaWAN нашел применение в различных областях, включая городское планирование, сельское хозяйство, промышленность и транспорт. Популярность этого стандарта можно объяснить его низким энергопотреблением (возможность работы до 10 лет без подзарядки), обширной зоной покрытия и экономичными адаптерами [4].

5. Система "СТРИЖ" внедрена российской компанией "СТРИЖ-Телематика" и использует собственный протокол Marcato 2.0. Частота может быть адаптирована к диапазону ISM. Эта технология имеет некоторое сходство с технологией LoRa, включая ее преимущества и недостатки. Ключевое отличие заключается в том, что LoRa использует широкополосное кодирование, в то время как STRIZH использует узкополосную модуляцию. По данным компании, такая модуляция обеспечивает более эффективное использование спектра, повышенную чувствительность и энергоэффективность, а также снижение затрат. В рамках системы производятся и развертываются радиомодемы, базовые станции, а также счетчики и датчики со встроенными модемами [5].

Таблица 1

Сравнение стандартов связи

| Название | Пропускная способность                          | Дальность  | Энергопотребление  |
|----------|---|--|--|
| Sigfox   | В среднем 100 бит/с                             | до 50 км в открытом пространстве                                   | 25 мкА во время передачи данных и около 1 мкА во время ожидания            |
| LTE-M    | до 1 Мбит/с в downlink и до 375 кбит/с в uplink | до 2 км в городской среде и до 10 км в сельской местности          | от 10 до 20 мА в режиме передачи данных, и от 1 до 2 мА в режиме ожидания. |
| NB-IoT   | от 50 кбит/с до 250 кбит/с                      | до 1-2 км в городских условиях и до 10 км в открытых пространствах | от нескольких микроватт до нескольких милливатт                            |
| LoRaWAN  | от 0,3 до 50 кбит/с                             | до 5-10 км в городских условиях и до 15-20 км в сельской местности | от 0,1 мкА до 120 мА   |
| Стриж    | В среднем 50 бит/с                              | до 40 км   | до 10 мкА в режиме «сна» и до 50 мА в режиме передачи                      |

Для обеспечения безопасности и защиты данных в промышленных IoT-устройствах используются различные стандарты безопасности. Некоторые из них перечислены ниже:

TLS (Transport Layer Security) - это криптографический протокол, который обеспечивает безопасную передачу данных по сети. Он используется для защиты конфиденциальности и целостности данных, передаваемых между устройствами[6].

В промышленности TLS широко применяется для обеспечения безопасности передачи данных между устройствами IoT. Для этого протокол TLS может быть реализован на различных уровнях стека протоколов, начиная от уровня приложения до транспортного уровня. Наиболее распространенным использованием TLS в промышленности является его использование вместе с протоколами MQTT и CoAP.

В связи с тем, что IoT-устройства часто работают в распределенной среде и обмениваются данными по открытым сетям, защита передачи данных становится критически важной. Протокол TLS обеспечивает безопасность передачи данных путем шифрования данных, аутентификации и обеспечения целостности данных. TLS может использоваться как для защиты передачи данных между устройствами, так и для защиты передачи данных между устройством и облачным сервисом[7].

Кроме того, использование TLS в промышленных IoT-устройствах может помочь защитить устройства от взлома и кибератак. TLS обеспечивает защиту от атак типа "человек посередине" (Man-in-the-Middle), в которых злоумышленник пытается перехватить передаваемые данные. Благодаря использованию криптографических алгоритмов и сертификатов, TLS позволяет обеспечить аутентификацию устройств и защиту от подмены и подделки данных.

Другим стандартом безопасности является протокол OAuth (Open Authorization). Протокол OAuth используется для аутентификации и авторизации пользователей и приложений, которые запрашивают доступ к ресурсам. В контексте промышленных IoT устройств, OAuth может использоваться для авторизации доступа к различным устройствам и системам, таким как контроллеры, датчики, базы данных и т.д.

Сценарий использования OAuth в промышленных IoT устройствах может быть следующим: устройство может запрашивать доступ к определенным ресурсам на сервере или в системе, например, для чтения или записи данных. Пользователь может авторизовать устройство для доступа к этим ресурсам через провайдера идентификации, который выдаст токен доступа. Устройство может затем использовать этот токен для доступа к ресурсам[8].

OAuth обеспечивает высокий уровень безопасности, так как он не требует от пользователя предоставления своих учетных данных напрямую. Кроме того, OAuth может использоваться с другими протоколами безопас-

ности, такими как TLS, для обеспечения еще более высокого уровня безопасности.

Однако, как и любой другой протокол безопасности, OAuth может иметь уязвимости и быть подвержен атакам, поэтому важно обеспечить правильную конфигурацию и настройку протокола при его использовании.

Стандартом безопасности, используемым для защиты IoT-устройств от взлома и злоумышленных атак, является протокол SRTP (Secure Real-time Transport Protocol). В промышленных IoT устройствах, SRTP может использоваться для обеспечения безопасной передачи данных, таких как управляющие команды, датчиков и других важных параметров. Это может быть особенно важно для систем, которые работают в реальном времени, например, для управления промышленным оборудованием и автоматизированными процессами.

SRTP обеспечивает конфиденциальность, целостность и аутентификацию данных в режиме реального времени. Он использует шифрование для защиты от несанкционированного доступа к данным и предотвращения их изменения или подделки. Кроме того, SRTP обеспечивает аутентификацию, чтобы убедиться, что передача данных происходит между правильными устройствами и не подверглась манипуляциям.

SRTP может использовать различные алгоритмы шифрования, такие как AES (Advanced Encryption Standard), для обеспечения безопасности передаваемых данных. Кроме того, SRTP использует механизмы обмена ключами для генерации и распределения ключей шифрования между устройствами.

SRTP может использоваться в различных протоколах, таких как SIP (Session Initiation Protocol) и WebRTC (Web Real-Time Communication), для обеспечения безопасности в режиме реального времени. Он также может использоваться в промышленных IoT устройствах для обеспечения безопасной передачи данных между устройствами и системами управления[9].

При использовании SRTP в промышленных IoT устройствах, необходимо принимать соответствующие меры по обеспечению безопасности, такие как регулярное обновление ключей шифрования и мониторинг сетевого трафика на предмет потенциальных угроз.

### **Выводы**

В заключении можно сказать, что использование промышленных IoT устройств становится все более популярным в различных отраслях

промышленности. Однако, при этом возникают определенные проблемы в области безопасности данных, которые необходимо решать.

Анализ стандартов связи и протоколов безопасности, используемых в промышленных IoT-устройствах, позволяет выявить основные проблемы и недостатки в текущих решениях. При этом можно увидеть, что разработчики промышленных IoT устройств активно работают над созданием новых и усовершенствованием существующих протоколов и стандартов, направленных на обеспечение безопасности передачи данных[10].

Однако, необходимо учитывать, что безопасность промышленных IoT устройств является непрерывным процессом и требует постоянного мониторинга и обновления мер безопасности. В целом, разработка безопасных протоколов и стандартов для промышленных IoT устройств является важной задачей, которая направлена на обеспечение безопасности передачи данных и защиты от угроз в современном цифровом мире.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Ермаков А.С.* Современные угрозы безопасности промышленных IoT-устройств / А. С. Ермаков, Е. З. Шогенова // Научный альманах Центрального Черноземья. – 2022. – № 1-10. – С. 63-70. – EDN COQHTC.
2. *Ануфриенко А.Ю.* Применение средств "Интернета вещей" для автоматизации управления жизненным циклом // Вопросы инновационной экономики. 2020. Т. 10. № 3. С. 1093-1100.
3. Long Term Evolution for Machines: LTE-Mhttps. [Электронный ресурс] // © 2023 GSM Association. URL: <https://www.gsma.com/iot/mobile-iot-technology-lte-m/> (Дата обращения 30.05.2023 г.)
4. LoRaWAN Архитектура [Электронный ресурс] // © 2019 TELEMETRIC URL: <https://telemetric.tech/lorawan-технология-и-спецификации/> (Дата обращения 30.05.2023 г.)
5. СТРИЖ: LPWAN №1 для Интернета вещей. [Электронный ресурс] // © 2014-2023 «СТРИЖ» URL: <https://strij.tech/> (Дата обращения 30.05.2023 г.)
6. Securing the Internet of Things (IoT) with SSL/TLS. [Электронный ресурс] // © SSL.com 2023 URL: <https://www.ssl.com/article/securing-the-internet-of-things-iot-with-ssl-tls/> (Дата обращения 30.05.2023 г.)
7. *Ермаков А.С.* Угрозы безопасности устройств в современных беспроводных сетях передачи данных / А. С. Ермаков // Университетские чтения – 2022 : Материалы региональной межвузовской научно-практической конференции, Пятигорск, 13–14 января 2022 года. Том Часть XIII. – Пяти-

горск: Пятигорский государственный университет, 2022. – С. 15-20. – EDN DSIUNN.

8. *Ермаков А. С.* Оценка зоны действия устройств, использующих сложные сигналы для передачи данных с целью обеспечения защиты информации от утечки по техническим каналам / А. С. Ермаков // FISP-2021: Фундаментальные проблемы информационной безопасности в условиях цифровой трансформации : Сборник докладов III Всероссийской научной конференции (с приглашением зарубежных ученых), Ставрополь, 30 ноября 2021 года. – Ставрополь: Северо-Кавказский федеральный университет, 2021. – С. 56-61. – EDN VTBWNU.
9. Объяснение протокола SRTP. [Электронный ресурс] // © 2006–2023, Habr URL: <https://habr.com/ru/companies/Voximplant/articles/413165/> (Дата обращения 30.05.2023 г.)
10. Угрозы интернета вещей и возможные методы защиты. [Электронный ресурс] // © 2020-2022 АО «Лаборатория Касперского» URL: <https://os.kaspersky.ru/latest/ugrozy-interneta-veshhey-i-vozmozhnye-me/> (Дата обращения 30.05.2023 г.)

**Падня Владислав Михайлович**, студент первого курса магистратуры, специальность: 10.04.01 «Информационная безопасность: Управление информационной безопасностью и технологии защиты информации», Пятигорского Государственного Университета, Россия, город Пятигорск, проспект Калинина 9, 357532, +7 (8793) 40-00-00, email: [padnya98@mail.ru](mailto:padnya98@mail.ru).

**Padnya Vladislav Mikhailovich**, first-year master's student, specialty: 10.04.01 "Information Security: Information Security Management and information security technologies", Pyatigorsk State University, Russia, Pyatigorsk, Kalinin Avenue 9, 357532, +7 (8793) 40-00-00, email: [padnya98@mail.ru](mailto:padnya98@mail.ru) .

УДК 621.313.3

Марьев Александр Александрович

## **О ВЫБОРЕ ПАРАМЕТРОВ ШИРОТНО-ИМПУЛЬСНОЙ МОДУЛЯЦИИ ДЛЯ ЦИФРОАНАЛОГОВОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ**

*Рассмотрен вопрос выбора параметров цифроаналогового преобразования на основе широтно-импульсной модуляции (ШИМ) для минимизации нелинейных искажений в полосе сигнала. Предложена мера нелинейных искажений и получены оценки ее величины для различных параметров ШИМ.*

*Цифроаналоговое преобразование, ЦАП, широтно-импульсная модуляция, ШИМ, нелинейные искажения.*

Maryev Alexander Alexandrovich

## **ON THE CHOICE OF PULSE-WIDTH MODULATION PARAMETERS FOR DIGITAL-TO-ANALOG CONVERSION**

*The problem of choosing parameters for PWM-based DAC is considered in context of minimization of nonlinear distortion in signal band. The measure of nonlinear distortion is proposed and estimated for various parameters of PWM.*

*Digital-to-analog conversion, DAC, pulse-width-modulation, PWM, nonlinear distortion.*

### **Введение**

Цифроаналоговое преобразование на основе широтно-импульсной модуляции (ШИМ) широко применяется в устройствах на основе микроконтроллеров, поскольку не требует наличия специализированного цифроаналогового преобразователя (ЦАП) – требуется лишь наличие достаточно быстродействующего программируемого широтно-импульсного модулятора.

В литературе по теме ЦАП и ШИМ [1-8], указывается, что ЦАП на основе ШИМ обладают сравнительно низким быстродействием, однако конкретных количественных данных о предельном быстродействии, а также о требованиях к аппаратуре для достаточно общего случая не приводится.

Работа посвящена вопросам количественного исследования спектра сигнала на выходе широтно-импульсного модулятора для получения количественных рекомендаций по выбору параметров ЦАП.

### **Основная часть**

Структурная схема ЦАП на основе ШИМ приведена на рис. 1. На вход ЦАП поступает цифровой сигнал  $s(nT)$ , состоящий из  $N$  дискретных отсчетов, следующих с периодом дискретизации  $T$ . Широтно-импульсный модулятор формирует широкополосный континуальный сигнал  $s_{\text{ШИМ}}(t)$ , математическая модель которого – последовательность униполярных прямоугольных импульсов

$$s_{\text{ШИМ}}(t) = \sum_{n=0}^{N-1} \sum_{m=0}^{M-1} u(t - nT - mT_{\text{ШИМ}}, n), \quad (1)$$

где  $u(t, n) = 1, 0 \leq t \leq s(nT)T_{\text{ШИМ}}$  – одиночный прямоугольный импульс;

$n = 0, 1, 2, \dots, N - 1$  – номер отсчета цифрового сигнала;

$s(nT) \in [0, 1]$  –  $n$ -й отсчет цифрового сигнала;

$T_{\text{ШИМ}} = T/M$  – период следования импульсов ШИМ;

$M \in \mathbb{N}$  – отношение периода дискретизации к периоду ШИМ;

$m = 0, 1, 2, \dots, M - 1$  – номер импульса ШИМ, отсчитывается от начала текущего периода дискретизации.

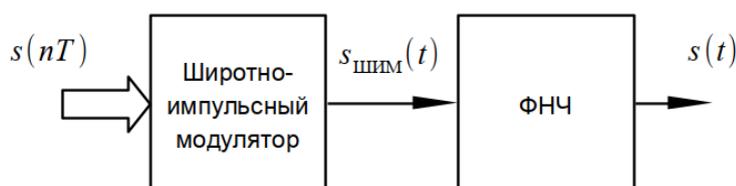


Рис. 1. Структурная схема ЦАП на основе ШИМ

Пример ШИМ-сигнала с  $M = 5$  показан на рис. 2.

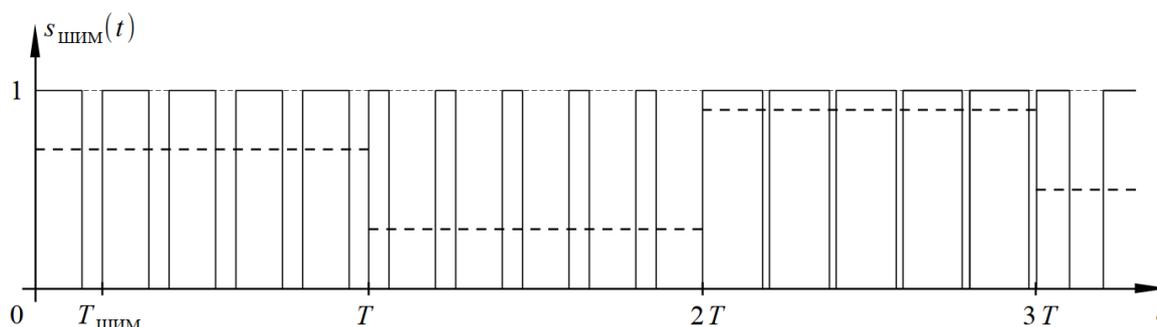


Рис. 2. Временная диаграмма ШИМ-сигнала при  $M = 5$   
(пунктиром показаны средние значения сигнала за период дискретизации)

Сигнал с ШИМ подается на вход сглаживающего ФНЧ, полоса пропускания которого не меньше ширины спектра полезного сигнала. Сглаженный сигнал  $s(t)$  с выхода ФНЧ является результатом цифроаналогового преобразования.

Для определения требований к параметрам ШИМ необходимо установить их влияние на искажения сигнала  $s(t)$ . Представим сигнал  $s_{\text{ШИМ}}(t)$  в виде суммы сигнала  $s_{\text{ПКН}}(t)$  кусочно-линейного преобразователя код-напряжение (ПКН), который в  $n$ -м периоде дискретизации равен  $s(nT)$ , и сигнала нелинейных искажений  $s_{\text{НИ}}(t)$ :

$$s_{\text{ШИМ}}(t) = s_{\text{ПКН}}(t) + s_{\text{НИ}}(t), \quad (2)$$

где  $s_{\text{ПКН}}(t) = \sum_{n=0}^{N-1} s(nT)v_{\text{ПКН}}(t - nT)$  – сигнал ПКН;

$v_{\text{ПКН}}(t) = 1, 0 \leq t \leq T$  – прямоугольный импульс единичной высоты;

$s_{\text{НИ}}(t) = \sum_{n=0}^{N-1} \sum_{m=0}^{M-1} v_{\text{НИ}}(t - nT - mT_{\text{ШИМ}}, n)$  – нелинейные искажения;

$$v_{\text{НИ}}(t, n) = \begin{cases} 1 - s(nT), & 0 \leq t < s(nT)T_{\text{ШИМ}}, \\ -s(nT), & s(nT)T_{\text{ШИМ}} \leq t < T_{\text{ШИМ}}. \end{cases}$$

Сигнал  $s_{\text{НИ}}(t)$  получен путем вычитания из  $s_{\text{ШИМ}}(t)$  средних значений за период дискретизации (показаны пунктиром на рисунке 2) и в общем виде представляет собой последовательность пачек разнополярных прямоугольных импульсов, как показано на рис. 3.

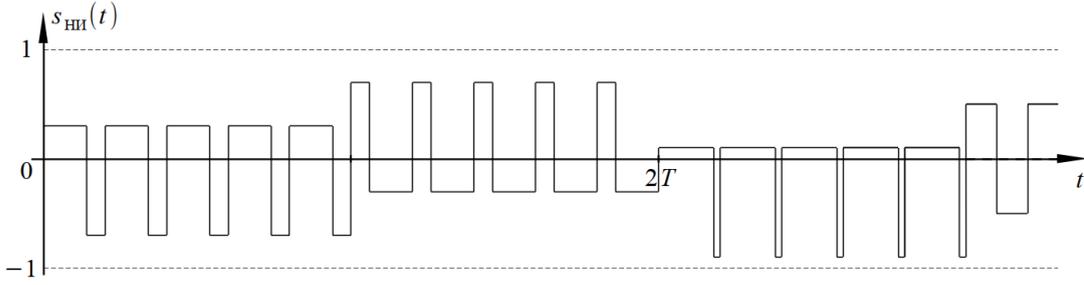


Рис. 3. Временная диаграмма сигнала НИ, полученного из сигнала ШИМ, показанного на рис. 2

Сигнал  $s_{\text{ПКН}}(t)$  представляет собой свертку обобщенного дискретного сигнала и импульсной характеристики ПКН [9] – это линейное преобразование, поэтому сигнал  $s_{\text{НИ}}(t)$  назван сигналом нелинейных искажений.

В качестве меры искажения выходного сигнала  $s(t)$  как правило используется отношение сигнал/помеха по уровню, однако для его получения требуется знать форму сигнала  $s(nT)$ . Знаменатель отношения сигнал/помеха – среднеквадратическое отклонение помехи – прямо пропорционален энергии нелинейных искажений в полосе сигнала. В качестве меры искажения выходного сигнала используем отношение

$$\varepsilon = \frac{E_{\text{НИ},\Delta f}}{E_{\text{НИ}}}, \quad (3)$$

где  $E_{\text{НИ},\Delta f} = \frac{1}{2\pi} \int_{-2\pi\Delta f}^{-2\pi\Delta f} |S_{\text{НИ}}(j\omega)|^2 d\omega$  – энергия нелинейных искажений в полосе частот  $\Delta f$ ;

$S_{\text{НИ}}(j\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} s_{\text{НИ}}(t)e^{-j\omega t} dt$  – спектральная плотность (прямое преобразование Фурье [10] от сигнала  $s_{\text{НИ}}(t)$ );

$E_{\text{НИ}} = \int_0^{\infty} s_{\text{НИ}}^2(t) dt = T \sum_{n=0}^{N-1} s(nT)[1 - s(nT)]$  – полная энергия нелинейных искажений.

Спектральная плотность  $S_{\text{НИ}}(j\omega)$  может быть представлена в виде произведения множителя  $S_{\text{Н}}(j\omega)$ , независимого от сигнала  $s(nT)$ , на множитель  $S_3(j\omega)$ , зависящий от отсчетов  $s(nT)$ :

$$S_{\text{НИ}}(j\omega) = S_{\text{Н}}(j\omega)S_3(j\omega), \quad (4)$$

где  $S_{\text{Н}}(j\omega) = \frac{1}{M} \sum_{m=0}^{M-1} e^{-j\frac{\omega m T}{M}}$ ;

$$S_3(j\omega) = \sum_{n=0}^{N-1} \mu(\omega, n) e^{-j\omega(n + \frac{s(nT)T}{2M})};$$

$$\mu(\omega, n) = T(1 - s(nT))s(nT) \left[ \text{sinc} \frac{\omega s(nT)T}{2M} - \text{sinc} \frac{\omega(1-s(nT))T}{2M} e^{-j\frac{\omega T}{2M}} \right].$$

С учетом приведенных соотношений выражение (3) примет вид

$$\varepsilon = \frac{\frac{1}{2\pi} \int_{-2\pi\Delta f}^{-2\pi\Delta f} |S_{\text{Н}}(j\omega)S_3(j\omega)|^2 d\omega}{T \sum_{n=0}^{N-1} s(nT)[1-s(nT)]} = \frac{1}{2\pi T} \frac{\int_{-2\pi\Delta f}^{-2\pi\Delta f} |S_{\text{Н}}(j\omega)|^2 |S_3(j\omega)|^2 d\omega}{\sum_{n=0}^{N-1} s(nT)[1-s(nT)]}. \quad (5)$$

Найдем модуль множителя  $S_{\text{Н}}(j\omega)$ . Для этого произведем преобразования:

$$\begin{aligned}
|S_H(j\omega)| &= \left| \frac{1}{M} \sum_{m=0}^{M-1} e^{-j\frac{\omega m T}{M}} \frac{1 - e^{-j\frac{\omega T}{M}}}{1 - e^{-j\frac{\omega T}{M}}} \right| = \frac{1}{M} \left| \frac{1 - e^{-j\omega T}}{1 - e^{-j\frac{\omega T}{M}}} \right| = \frac{1}{M} \left| \frac{\left( e^{j\frac{\omega T}{2}} - e^{-j\frac{\omega T}{2}} \right) e^{-j\frac{\omega T}{2}}}{\left( e^{j\frac{\omega T}{2M}} - e^{-j\frac{\omega T}{2M}} \right) e^{-j\frac{\omega T}{2M}}} \right| = \\
&= \frac{1}{M} \left| \frac{\sin \frac{\omega T}{2}}{\sin \frac{\omega T}{2M}} e^{-j\frac{\omega(M-1)T}{2M}} \right| = \left| \frac{\sin \frac{\omega T}{2}}{M \sin \frac{\omega T}{2M}} \right|. \quad (6)
\end{aligned}$$

В соответствии с выражением (6) модуль множителя  $S_H(j\omega)$  является периодической функцией с периодом  $\frac{2\pi M}{T}$ , ее максимумы расположены на частотах  $\frac{2\pi M k}{T}$ ,  $k \in \mathbb{Z}$ , а нули  $\frac{2\pi k}{T}$ ,  $k \in \mathbb{Z}, k \neq 0, \pm M, \pm 2M, \dots$

Оценить в общем виде модуль выражения  $S_3(j\omega)$  затруднительно, для упрощения задачи запишем будем считать, что модуль  $S_3(j\omega)$  на любой частоте достигает наибольшего значения, если модуль каждого слагаемого  $\mu(\omega, n)$  максимален. Это упрощение, поскольку результат суммирования зависит также от фазовых соотношений между слагаемыми, однако такой подход позволит получить удовлетворительную верхнюю оценку величины  $\varepsilon$ .

Модуль  $\mu(\omega, n)$  достигает максимума при  $s(nT) = 1/2$ , подставляя это значение в выражение для  $S_3(j\omega)$ , получим

$$S_{3, \text{верх.}}(j\omega) = \frac{jT}{2} \operatorname{sinc} \frac{\omega T}{4M} \sin \frac{\omega T}{4M} \frac{\sin \frac{\omega NT}{2}}{\sin \frac{\omega T}{2}} e^{-j(N-1+\frac{1}{M})\frac{\omega T}{2}}. \quad (7)$$

При выводе выражения (7) произведены преобразования, аналогичные выражению (6) для перехода от суммы комплексных экспонент к отношению синусов. Модуль выражения (7) представим в виде

$$|S_{3, \text{верх.}}(j\omega)| = \frac{T}{2} \left| \operatorname{sinc} \frac{\omega T}{4M} \sin \frac{\omega T}{4M} \right| \left| \frac{\sin \frac{\omega NT}{2}}{\sin \frac{\omega T}{2}} \right|. \quad (8)$$

Энергия нелинейных искажений при  $s(nT) = 1/2 \forall n$  равна

При умножении выражений (6) и (8) множители  $\sin \frac{\omega T}{2}$  сокращаются, верхняя оценка модуля спектральной плотности нелинейных искажений имеет вид

$$\begin{aligned}
|S_{\text{НИ, верх.}}(j\omega)| &= \frac{T}{2M} \left| \operatorname{sinc} \frac{\omega T}{4M} \sin \frac{\omega T}{4M} \right| \left| \frac{\sin \frac{\omega NT}{2}}{\sin \frac{\omega T}{2M}} \right| = \\
&= \frac{T}{2M} \left| \operatorname{sinc} \frac{\omega T}{4M} \sin \frac{\omega T}{4M} \frac{\sin \frac{\omega NT}{2}}{2 \sin \frac{\omega T}{4M} \cos \frac{\omega T}{4M}} \right| = \frac{T}{4M} \left| \operatorname{sinc} \frac{\omega T}{4M} \right| \left| \frac{\sin \frac{\omega NT}{2}}{\cos \frac{\omega T}{4M}} \right|. \quad (9)
\end{aligned}$$

Модуль произведения функции  $\operatorname{sinc}$  в выражении (9) затухает с ростом частоты со скоростью 6 дБ/октаву и имеет максимум на нулевой частоте и нули на частотах  $\frac{4\pi M k}{T}$ ,  $k \in \mathbb{Z}$ . Отношение синуса и косинуса – периодическая функция с максимумами на частотах  $\frac{\pi(2k-1)M}{T}$ ,  $k \in \mathbb{Z}$  и нулями на частотах  $\frac{2\pi k}{NT}$ ,  $k \in \mathbb{Z}, k \neq \pm \frac{NM}{2}, \pm \frac{3NM}{2}, \pm \frac{5NM}{2}, \dots$

Полученная верхняя оценка  $|S_{\text{НИ,верх.}}(j\omega)|$  позволяет получить верхнюю оценку меры нелинейных искажений:

$$\varepsilon_{\text{верх.}}(\Delta f) = \frac{4}{\pi MN} \int_0^{2\pi\Delta f} \left| \text{sinc} \frac{\omega T}{4M} \right|^2 \left| \frac{\sin \frac{\omega NT}{2}}{\cos \frac{\omega T}{4M}} \right|^2 d\omega. \quad (10)$$

Результаты расчетов по формуле (10), выполненных с использованием численного интегрирования, приведены на рис. 4.

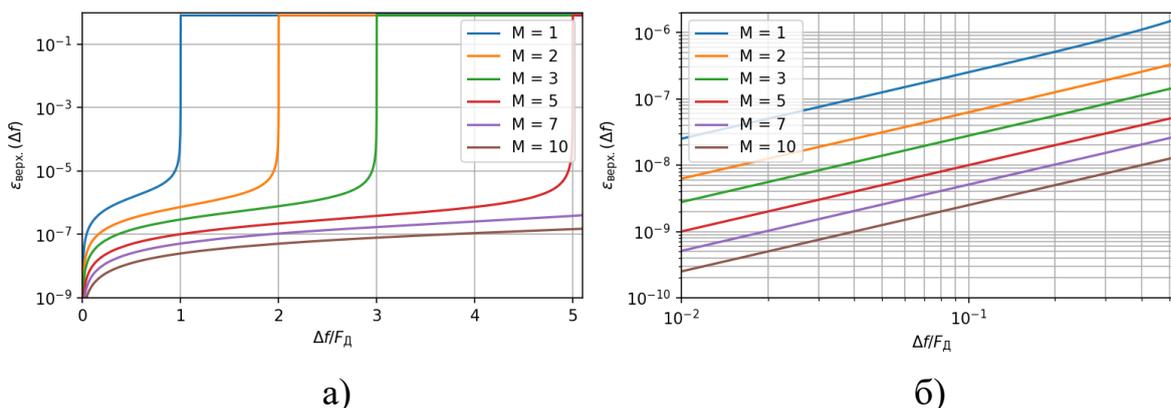


Рис. 4. Результаты расчетов верхней оценки меры нелинейных искажений, вызванных ШИМ: в крупном (а) и мелком (б) масштабе

Полоса частот  $\Delta f$  на графиках показана относительно частоты дискретизации. Графики на рисунке 4 (а) показывают, что реализация ШИМ с  $M > 1$  позволяеткратно (в  $M$  раз) увеличить частоту гарантированного задерживания ФНЧ, что существенно упрощает его проектирование и реализацию.

Графики на рисунке 4 (б) полезны при реализации интерполирующего ЦАП с ШИМ. При этом частота дискретизации на входе ЦАП повышается с помощью цифрового интерполятора. В этом случае частота гарантированного пропускания ФНЧ в ЦАП выбирается ниже половины  $F_d$ , что позволяет дополнительно уменьшить уровень нелинейных искажений, вызванных ШИМ.

### Выводы

Предложенная мера нелинейных искажений (3) имеет смысл коэффициента увеличения отношения сигнал/шум на выходе ЦАП с ШИМ, который достигается за счет применения идеального ФНЧ с полосой  $\Delta f$ .

Приведены результаты, которые могут быть использованы для выбора параметров ЦАП с ШИМ.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Проектирование систем цифровой и смешанной обработки сигналов. Под ред. Уолта Кестера. / пер. с англ. под ред. А.А. Власенко. – М.: Техносфера, 2010. – 328 с.

2. Дэвид М. Харрис, Сара Л. Харрис Цифровая схемотехника и архитектура компьютера. / пер. с англ. Imagination Technologies. – М.: ДМК Пресс, 2018. – 792 с.: цв. ил.
3. Кураев И. Проектирование высокопроизводительных ЦАП с ШИМ для промышленных приложений // Электронные компоненты и технологии №3, 2021 – С.64-68
4. PWM DAC Design by Dennis Feucht <https://www.planetanalog.com/pwm-dac-design/> (дата обращения: 15.05.2023)
5. Convert PWM To A DAC – Using PWM To Generate Analog Waveforms using STM32 <https://deepbluembedded.com/convert-pwm-to-a-dac-using-pwm-to-generate-analog-waveforms/> (дата обращения: 15.05.2023)
6. PWM as a DAC (DAC) Renesas Electronics H8/300L Application Note <https://www.renesas.com/br/en/document/apn/pwm-dac-dac> (дата обращения: 15.05.2023)
7. Биккенин Р.Р. Теория электрической связи : учеб. пособие для студ. высших учебных заведений / Р.Р. Биккенин, М.Н. Чесноков. – М. : Издательский центр «Академия», 2010. – 336 с.
8. Плотников Ю.В. Использование выхода ШИМ как цифро-аналогового преобразователя // Труды третьей научно-технической конференции молодых ученых Уральского энергетического института, Екатеринбург, 21–25 мая 2018 года / Екатеринбург: Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, 2018. – С. 237-241.
9. Марьев А.А. Методы и устройства цифровой обработки сигналов. Дискретизация. Квантование. Цифровой анализ сигналов / А. А. Марьев. – Ростов-на-Дону - Таганрог : Южный федеральный университет, 2020. – 132 с.
10. Федосов В.П. Радиотехнические цепи и сигналы : Учебное пособие / В. П. Федосов. – Ростов-на-Дону : Южный федеральный университет, 2017. – 282 с.

**Марьев Александр Александрович**, кандидат технических наук, доцент кафедры теоретических основ радиотехники Института радиотехнических систем и управления Южного федерального университета, Россия, Ростовская область, 347922, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44, учебно-лабораторный корпус "Д", аудитория Д-110; Телефон: +7 (8634) 37-16-32, email: [aamarev@sfedu.ru](mailto:aamarev@sfedu.ru).

**Maryev Alexandr Alexandrovich**, Candidate of Technical Sciences (Ph.D.), associate professor, Department of fundamentals of Radioengineering, Southern Federal University, 347922, Russia, Taganrog, 44 Nekrasovsky lane, phone: +7 (8634) 37-16-32, email: [aamarev@sfedu.ru](mailto:aamarev@sfedu.ru).

УДК 621.396.6

Пилипенко Александр Михайлович

## **СОВРЕМЕННЫЕ СРЕДСТВА СХЕМОТЕХНИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ УСТРОЙСТВ**

*В работе рассмотрены программные пакеты, предназначенные для схемотехнического моделирования различных видов радиотехнических и телекоммуникационных устройств. Целью данной работы является обзор и исследование основных возможностей современных пакетов схемотехнического моделирования. В результате исследования были решены следующие задачи: проведен анализ текущего состояния программ схемотехнического моделирования; описаны основные функции различных коммерческих и свободно распространяемых программ схемотехнического моделирования; сделаны выводы о возможности применения рассмотренных программ схемотехнического моделирования.*

*Схемотехническое моделирование, электронные устройства, система автоматизированного проектирования.*

Alexandr Mikhaylovich Pilipenko

## **MODERN TOOLS OF RADIO ENGINEERING AND TELECOMMUNICATION CIRCUITS SIMULATION**

*The paper considers software packages for circuit simulation of various classes of radio engineering and telecommunication devices. The goal of this work is to review and study the main features of modern circuit simulators. As a result of the study, the following tasks were solved: an analysis of the current state of circuit simulators was carried out; the main functions of various commercial and freeware circuit simulation programs were described; conclusions about the possibility of using the described circuit simulation programs are drawn.*

*Circuit simulation, electronic devices, electronic design automation.*

**Введение.** Моделирование является важнейшим этапом разработки радиотехнических и телекоммуникационных устройств. Моделирование устройства включает в себя два основных этапа [1]: математическое моделирование (modelling) – это процесс получения математической модели устройства на основе фундаментальных законов физики; компьютерное моделирование (simulation) – это процесс получения характеристик

устройства или отклика устройства на заданное воздействие с помощью специализированных программ (симуляторов).

Схемотехническое моделирование – это компьютерное моделирование устройства, представленного в виде электрической схемы. Следует отметить, что схемотехническое моделирование в отечественной литературе также называют автоматизированным или машинным анализом цепей [2].

**Базовые программы схемотехнического моделирования.** В основе всех современных пакетов схемотехнического моделирования лежит программа SPICE (Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis) – симулятор электронных цепей с открытым исходным кодом, разработанный в Калифорнийском университете в Беркли Лоуренсом Нагелем во время его обучения в аспирантуре под научным руководством профессора Дональда Педерсона [3]. SPICE был впервые представлен Лоуренсом Нагелем и Дональдом Педерсоном на научной конференции в Калифорнийском университете в Беркли в 1973 году. Первая и вторая версии SPICE (SPICE1 и SPICE2) были написаны на языке FORTRAN. Третья версия SPICE (SPICE3) была написана на языке C в 1989 году и обновлялась до 1993 года (заключительный релиз – SPICE3F5) после чего развитие данной программы в Калифорнийском университете было завершено. Релиз SPICE3F5 предназначен для UNIX-подобных операционных систем и операционной системы MS DOS, операционные системы семейства Windows данный релиз и более ранние версии SPICE не поддерживают [4]. Необходимо отметить, что в SPICE для описания схемы электрической цепи и режимов моделирования используется текстовый формат, так называемый «список соединений» – netlist.

Преемником SPICE3F5 является свободно распространяемый симулятор с открытым исходным кодом Ngspice, который поддерживает операционную систему Windows и обновляется по настоящее время [5]. Ngspice позволяет выполнять моделирование как аналоговых, так и цифровых устройств, а также смешанное моделирование.

**Коммерческие пакеты схемотехнического моделирования.** Современные коммерческие пакеты схемотехнического моделирования, как правило, входят в состав систем автоматизированного проектирования (САПР) радиоэлектронных устройств – Electronic Design Automation (EDA) Systems, обеспечивающих наряду со схемотехническим моделированием различные виды проектирования устройств, наиболее распространенным из которых является проектирование печатных плат – Printed Circuit Board

(PCB). Следует отметить, что все рассмотренные ниже современные коммерческие пакеты схемотехнического моделирования поддерживают графический ввод схем (Schematic Capture).

САПР Advanced Design System (ADS) от компании Keysight Technologies (США) является одной из наиболее сложных и дорогостоящих. ADS обеспечивает все виды схемотехнического моделирования радиотехнических цепей, основные из которых – анализ переходных процессов, анализ частотных характеристик и анализ по постоянному току. Кроме того, ADS позволяет выполнять проектирование печатных плат, в том числе для СВЧ-диапазона. Отличительной особенностью ADS является наличие модуля электродинамического моделирования разрабатываемых устройств [6].

Достаточно широкое распространение в мире получила САПР OrCad, которая была создана одноименной компанией в городе Хилсборо, штат Орегон (США). В настоящее время САПР OrCad принадлежит компании Cadence Design Systems (США) [7]. В состав OrCad входит, так называемая, персональная версия SPICE – Pspice (версия SPICE для персональных компьютеров), созданная в 1984 году и обеспечивающая стандартные виды схемотехнического моделирования радиотехнических цепей. САПР OrCad также включает в себя пакет для проектирования печатных плат – PCB Design Suites. Важной особенностью OrCad является возможность бесплатного получения пробной версии данной САПР (Free Trial) после регистрации на официальном сайте компании Cadence или на официальном сайте OrCad. Пробная версия OrCad обеспечивает полный функционал данной САПР в течение 30 суток.

В образовательных учреждениях России большой популярностью пользуется пакет схемотехнического моделирования Multisim от компании National Instruments (США) [8]. Первоначально Multisim был известен как Electronics Workbench и разрабатывался одноименной компанией, которая с 2005 года вошла в состав National Instruments. Electronics Workbench разрабатывался как симулятор для изучения электроники в образовательных учреждениях, но после включения Electronics Workbench в компанию National Instruments он был переименован в Multisim и вместе с пакетом проектирования печатных плат Ultiboard стал составной частью САПР Circuit Design Suite. Отличительная особенность Multisim состоит в том он позволяет не только выполнять все виды схемотехнического моделирования, но и имитирует работу основных измерительных приборов (рис. 1).

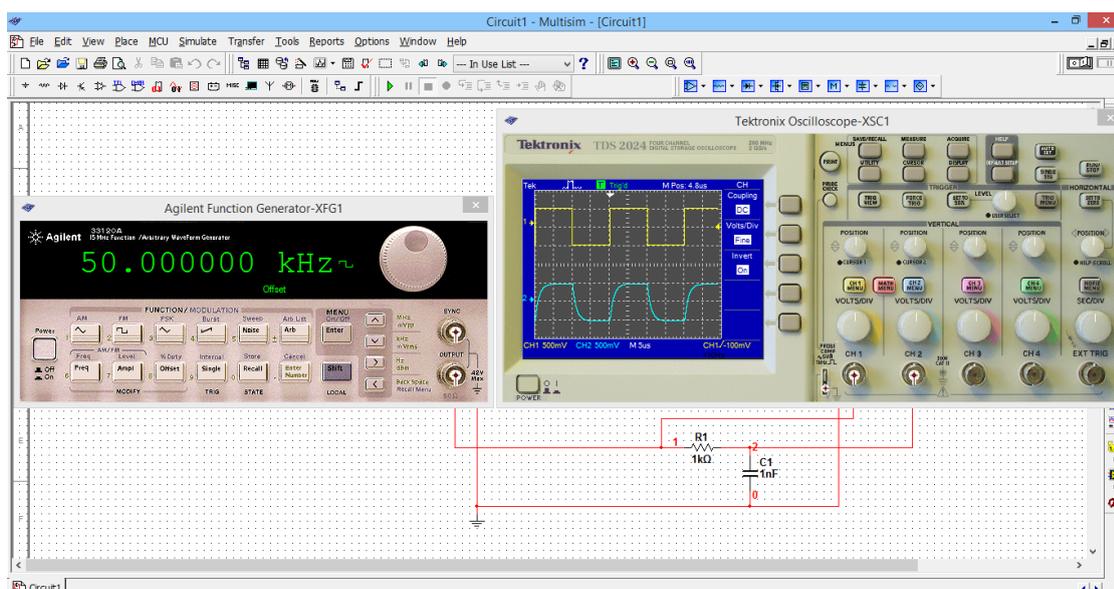


Рис. 1. Интерфейс программы Multisim

Пробная полнофункциональная версия Multisim может быть скачана с официального сайта National Instruments и доступна для бесплатного использования от 7 до 40 суток. Следует отметить, что на официальном сайте Multisim <https://www.multisim.com> доступна бесплатная онлайн-версия данной программы – MultisimLive, которая позволяет выполнять основные виды схемотехнического моделирования в Internet-браузере (доступ к MultisimLive предоставляется после регистрации на официальном сайте Multisim).

Симулятор HSPICE (в настоящее время – PrimeSim HSPICE) от компании Synopsys (США) в отличие от большинства коммерческих пакетов схемотехнического моделирования является самостоятельной программой. Востребованность HSPICE обусловлена тем, что он является отраслевым стандартом для многих мировых производителей интегральных схем, в том числе для разработчиков технологии 3 нм, которую планируется запустить в 2023 году тайваньским производителем микросхем TSMC [9]. Следует отметить, что HSPICE может использоваться совместно с пакетами проектирования электронных компонентов и интегральных схем (включая системы на кристалле – SoC) также разрабатываемыми компанией Synopsys.

Среди европейских пакетов схемотехнического моделирования можно выделить симулятор TINA (Toolkit for Interactive Network Analysis) от компании DesignSoft (Венгрия). TINA является полноценной САПР, поскольку включает в себя как SPICE-симулятор, так и среду для разработки печат-

ных плат [10]. Программный пакет TINA также включает в себя онлайн-симулятор, виртуальные инструменты для визуализации схемотехнического моделирования (генератор, осциллограф, анализатор спектра и др.) и обучающий виртуальный курс по теории электрических цепей с инструментами для проверки знаний студентов и мониторинга успеваемости. Таким образом, пакет TINA близок по своему функционалу к САПР Circuit Design Suite от компании National Instruments.

Delta Design – первая и единственная российская САПР электронных устройств на основе сквозного маршрута разработки, созданная компанией «Эремекс» (г. Москва) [11]. Delta Design включает в себя пакет схемотехнического моделирования SimOne, а также программные средства, обеспечивающие создание моделей элементов, редактирование электрических схем, размещение элементов и трассировку соединений, оформление конструкторской документации в соответствии с требованиями ГОСТ и ЕСКД. Как утверждают разработчики программы SimOne, благодаря применению алгоритмов параллельных вычислений и методу Розенброка четвертого порядка данная программа позволяет существенно повысить скорость как временного, так и частотного анализа цепей [12]. На официальном сайте компании «Эремекс» <https://www.eremex.ru> после регистрации и авторизации появляется возможность скачать и бесплатно использовать демонстрационную версию SimOne Trial с ограничением по времени эксплуатации на 30 дней, а также версию SimOne для радиолюбителей без ограничения по времени, но с ограничением на количество компонентов (не более 50).

**Свободно распространяемые пакеты схемотехнического моделирования.** Наиболее популярными в России и мире свободно распространяемыми SPICE-симуляторами являются LTspice, PSpice for TI, TINA-TI и Micro-Cap. Данные симуляторы поддерживают графический ввод схем, как и коммерческие симуляторы, но в отличие от последних не входят в структуру САПР, предназначенных для проектирования печатных плат.

Симулятор LTspice был создан в 1999 году корпорацией Linear Technology (США) – производителем радиоэлектронных компонентов и интегральных схем, которая в 2017 году вошла в состав компании Analog Devices. LTspice обеспечивает основные виды анализа электронных цепей и включает в себя регулярно обновляемую библиотеку радиоэлектронных компонентов и интегральных схем, выпущенных компаниями Linear Technology и Analog Devices [13]. В LTspice также имеется возможность

описания собственных моделей в виде SPICE-кода. Симулятор LTspice поддерживается компанией Analog Devices для продвижения собственной продукции, так как пользователь может с помощью данной программы подобрать необходимый компонент и получить характеристики разрабатываемого устройства.

PSpice for TI и TINA-TI – это электронные симуляторы, разрабатываемые компаниями Cadence Design Systems и DesignSoft соответственно специально для компании Texas Instruments (США), которая, как и Analog Devices, является одним их крупнейших в мире производителей электронных компонентов и интегральных схем. Симуляторы PSpice for TI и TINA-TI поддерживаются компанией Texas Instruments с той же целью, что и LTspice поддерживается компанией Analog Devices – собственный симулятор электронных цепей позволяет продвигать на рынке продукцию компании.

Программа схемотехнического моделирования Micro-Cap разрабатывалась с 1980 по 2019 год компанией Spectrum Software (США) и стала первым симулятором электронных цепей для персональных компьютеров. Помимо всех видов анализа аналоговых, цифровых и аналого-цифровых устройств Micro-Cap также обеспечивает синтез пассивных и активных аналоговых фильтров по заданной частотной характеристике (рис. 2) [14].

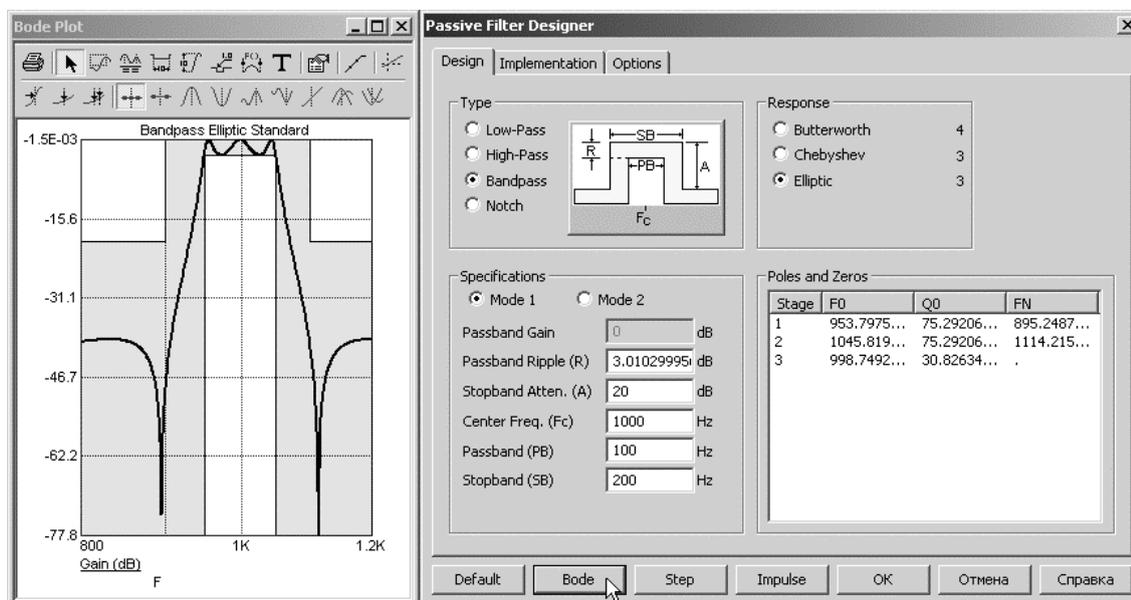


Рис. 2. Интерфейс синтеза пассивных фильтров в программе Micro-Cap

Micro-Cap являлся коммерческим программным обеспечением до 2019 года, причем в 2000-е годы данная программа была одним из самых попу-

лярных симуляторов электронных цепей как в России, так и в мире. Программа Micro-Cap не была интегрирована в САПР, поэтому не смогла конкурировать с описанными выше коммерческими симуляторами. Кроме того, компания Spectrum Software не вошла в структуру производителей радиоэлектронных компонентов и не смогла самостоятельно продолжить продвижение и развитие Micro-Cap, вследствие чего прекратила свое существование в июле 2019 года. С этого момента Micro-Cap перестал разрабатываться и поддерживаться, а компания Spectrum Software приняла решение сделать его свободно распространяемым программным обеспечением.

**Выводы.** Проведенные исследования показывают, что абсолютное большинство пакетов схемотехнического моделирования, как коммерческих, так и свободно распространяемых созданы и разрабатываются в США. Покупка лицензий для использования коммерческих версий пакетов схемотехнического моделирования, созданных в США (ADS, PSpice, Multisim, HSPICE) по состоянию на 2023 год не представляется возможной. Покупка европейского симулятора TINA также весьма затруднительна.

Следует отметить, что с 2022 года сайты компаний Keysight Technologies, Cadence Design Systems, Analog Devices и Texas Instruments недоступны с российских IP-адресов, сайт компании National Instruments доступен, но скачивание программ с данного сайта невозможно. Данное обстоятельство вызывает затруднения при получении как пробных версий коммерческих симуляторов PSpice и Multisim, так и при получении свободно распространяемых программ LTspice, PSpice for TI и TINA-TI. Доступ к перечисленным программам возможен при использовании технологий виртуальных частных сетей (VPN), но в этом случае получение работающих версий установочных файлов не гарантировано. Официальный сайт компании Spectrum Software с 2023 года не функционирует, поэтому доступ к программе Micro-Cap также не гарантирован.

Таким образом, в настоящее время наиболее доступным для российских пользователей является пакет схемотехнического моделирования SimOne, который можно получить в виде бесплатной демонстрационной версии SimOne Trial с ограничением по времени эксплуатации (до 30 дней) и версии SimOne для радиолюбителей без ограничения по времени, но с ограничением на количество компонентов (до 50 компонентов).

**Публикация осуществляется в рамках проекта «Разработка нового учебного курса "Методы математического и компьютерного моделирования элементов и устройств инфокоммуникационных систем"», реализуемого победителем грантового конкурса для преподавателей магистратуры 2022/2023 Стипендиальной программы Владимира Потанина.**

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Жук Д.М.* SADEL – библиотека «сверхточных» решателей для программного комплекса ПА10 (SADEL-PA10) / Д. М. Жук, В. Б. Маничев, М. К. Сахаров // Проблемы разработки перспективных микро- и нанoeлектронных систем, 2012. – С. 147-152.
2. *Ляшев В. А.* Основы теории цепей. В 2 ч. Часть 2 : учебник для вузов / В. А. Ляшев, Н. И. Мережин, В. П. Попов. – 7-е изд., перераб. и доп. – Москва: Издательство Юрайт, 2023. – 323 с.
3. The Spice Page – URL: <http://bwracs.eecs.berkeley.edu/Classes/IcBook/SPICE> (дата обращения: 31.05.2023).
4. SPICE 3F5. Center for Electronic Systems Design. – URL: <https://ptolemy.berkeley.edu/projects/embedded/pubs/downloads/spice/spice.html> (дата обращения: 31.05.2023).
5. Ngspice – open source spice simulator. – URL: <https://ngspice.sourceforge.io>.
6. ADS Overview. Keysight Technologies Incorporated, 2002-2017. – URL: [https://edadownload.software.keysight.com/eedl/ads/2017/pdf/ADS\\_Overview.pdf](https://edadownload.software.keysight.com/eedl/ads/2017/pdf/ADS_Overview.pdf) (дата обращения: 31.05.2023).
7. OrCAD PCB Design. – URL: <https://www.ema-eda.com/products/cadence-orcad/why-orcad> (дата обращения: 31.05.2023).
8. What is Multisim? National Instruments. – URL: <https://www.ni.com/ruru/shop/electronic-test-instrumentation/application-software-for-electronic-test-and-instrumentation-category/what-is-multisim.html> (дата обращения: 31.05.2023).
9. PrimeSim HSPICE. Synopsys. – URL: <https://www.synopsys.com/implementation-and-signoff/ams-simulation/primesim-hspice.html> (дата обращения: 31.05.2023).
10. TINA – Схемотехнический симулятор для аналогового, радиочастотного, цифрового, MCU, HDL и смешанного режима моделирования и проектирования печатных плат, DesignSoft, 2020 – URL: <https://www.tina.com>

11. Delta Design – отечественная система автоматизированного проектирования печатных плат., 2003 – 2023 <https://www.orcada.ru/product/delta-design-r/delta-design.html> (дата обращения: 31.05.2023).
12. Прикота А. Программа SimOne. Современные средства схемотехнического моделирования / А. Прикота // Электроника НТБ, 2011, №2. С. 142-146.
13. LTspice для Windows, Softonic. – URL: <https://ltspice.softonic.ru> (дата обращения: 31.05.2023).
14. Амелина М.А. Программа схемотехнического моделирования Micro-Cap. Версии 9, 10 : учебное пособие для вузов / М. А. Амелина, С. А. Амелин. – 3-е изд., стер. – Санкт-Петербург : Лань, 2021. – 632 с.

**Пилипенко Александр Михайлович**, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой теоретических основ радиотехники Южного федерального университета, Россия, г. Таганрог, пер. Некрасовский 44, 347922, телефон: +7(8634)37-16-32, e-mail: [ampilipenko@sfedu.ru](mailto:ampilipenko@sfedu.ru).

**Pilipenko Alexandr Mikhaylovich**, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Head of the department of Fundamentals of Radio Engineering, Southern Federal University, Russia, Taganrog, 44 Nekrasovskiy lane, 347922, phone: +7(8634)37-16-32, e-mail: [ampilipenko@sfedu.ru](mailto:ampilipenko@sfedu.ru).

Гаджиев Тимур Эфлетдинович, Варакин Ян Сергеевич

## **СРЕДСТВА ДОВЕРЕННОЙ ЗАГРУЗКИ ОС НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИИ ХЭШИРОВАНИЯ КОНТРОЛЬНЫХ СУММ СРЕДЫ**

*Абсолютное большинство современных персональных компьютеров имеют встроенные аппаратно-программные средства защиты от исполнения модифицированные версии базового программного обеспечения (ПО), исполняющего сервисные функции подготовки загрузки операционной системы (ОС) и самого загрузчика.*

*Чаще всего встроенные средства используют хэши контрольных сумм среды и их сверку с эталонами. Также в функционал этих систем, в большинстве случаев, входит проверка встроенного ПО дополнительных модулей чипсета, таких как Intel Management Engine. В этой статье представлен обзор существующих подсистем, используемых в современных ПК, а также анализ их возможностей и уязвимостей в них.*

*Обеспечение безопасности загрузки, контроль среды исполнения, контроль хэшированием контрольных сумм, механизмы контроля среды исполнения в ОС Windows и Linux.*

Gadgiev Timur Afletdinovich, Vararin Yan Sergeevich  
**AUXILIARY TRUSTED BOOT SUBSYSTEMS BASED ON  
ENVIRONMENT CHECKSUM HASHING TECHNOLOGY**

*The vast majority of modern personal computers have built-in hardware-software protection against execution of modified versions of the base software, which performs the service functions of boot preparation and the bootloader itself. Most often, the built-in tools use checksum hashes of the environment and their verification against trusted recorded standards. Also, these systems, in most cases, check the firmware of additional chipset modules, such as Intel Management Engine. This article presents an overview of existing subsystems used in modern PCs and an analysis of their capabilities and vulnerabilities.*

## **ВВЕДЕНИЕ**

Важно отметить, что конкретные меры безопасности, необходимые для различных типов секретной информации, будут отличаться в зависимости от чувствительности и важности информации. Однако в целом соответствующие меры безопасности должны включать в себя сочетание физических, технических и административных мер контроля. Это может включать такие меры, как контроль доступа, криптографическую защиту, мониторинг, резервное копирование и восстановление, а также программы обучения и повышения осведомлённости сотрудников о возможных угрозах, правильных способах использования чувствительной информации соответствующих принятой политики безопасности и действиях в случае реализации угрозы.

Технология хеширования контрольных сумм может быть полезным инструментом для обеспечения целостности данных и обнаружения несанкционированных изменений. Однако важно убедиться, что эта технология применяется правильно и в сочетании с другими мерами безопасности, чтобы обеспечить комплексную защиту конфиденциальной информации, так как соответствие хэша данных эталонному хэшу может иметь место не только в случае соблюдения целостности данных, но и в случае коллизии.

В целом, ключом к обеспечению максимальной безопасности конфиденциальной информации является применение комплексного подхода, включающего целый ряд мер безопасности и обеспечивающего регулярный пересмотр и обновление этих мер по мере необходимости в соответствии с меняющимися угрозами и технологиями.

### **Обзор существующих работ и их имплементация по теме: «Обеспечение безопасности программно-аппаратной среды с помощью хэширования»**

Контроль аппаратной и программной среды с помощью хэширования контрольных сумм предполагает использование криптографической техники для проверки целостности и подлинности среды.

Хеш-функция используется для вычисления уникального цифрового отпечатка файла или набора данных фиксированного размера. Полученное хэш-значение – это строка символов, представляющая исходные данные, и любые изменения данных приведут к изменению хэш-значения. Сравнивая хэш-значение текущей среды с ранее вычисленным хэш-значением, можно обнаружить любые изменения, которые могли быть внесены в среду.

Контрольные суммы похожи на хэш-значения, но они обычно используются для проверки целостности данных при передаче. Контрольная сумма – это значение, которое вычисляется из набора данных с помощью определенного алгоритма. Контрольная сумма отправляется вместе с данными, а получатель может использовать тот же алгоритм для вычисления новой контрольной суммы на основе полученных данных. Если две контрольные суммы совпадают, считается, что данные были переданы без ошибок.

Используя контрольные суммы хэширования для контроля аппаратной и программной среды / 1 /, можно убедиться, что среда не была подделана или изменена несанкционированным образом. Например, если системный администратор вычисляет хэш-значение среды перед внесением каких-либо изменений, он может позже сравнить хэш-значение с текущей средой, чтобы убедиться, что не было произведено несанкционированных изменений.

Контроль аппаратной и программной среды с помощью хэширования контрольных сумм – это техника, известная как "Secure Boot". Она предполагает проверку целостности программного обеспечения, запущенного в системе, путем проверки криптографического хэша каждого компонента по набору доверенных значений.

При загрузке системы микропрограмма проверяет целостность загрузчика, сравнивая его криптографический хэш с сохраненным значением. Если хэш совпадает, загрузчик считается доверенным, и он загружается в память. Затем загрузчик проверяет криптографический хэш ядра операционной системы и других критически важных компонентов, и, если им можно доверять, они также загружаются в память. Этот процесс продолжается до тех пор, пока вся система не будет проверена и загружена в память.

Эта техника используется для предотвращения несанкционированных модификаций системы, таких как установка вредоносного программного обеспечения или изменение критически важных системных файлов. Обеспечивая загрузку в память только проверенных компонентов, Secure Boot помогает защититься от различных угроз безопасности. В общем случае эта функция по умолчанию встроена в большинство современных систем UEFI и её можно опционально использовать, что не требует установки какого-либо дополнительного ПО.

Secure Boot – это важная функция безопасности, которая может помочь защитить компьютерные системы от широкого спектра угроз безопасности и уязвимостей. Она обеспечивает механизм проверки целостности и достоверности программных компонентов, загружаемых в процессе загрузки, что помогает убедиться в том, что система работает с доверенным программным обеспечением и защищена от несанкционированных изменений и атак.

Однако при Secure Boot система проверяет криптографический хэш каждого компонента по набору доверенных значений. Если хэш не совпадает, компонент считается недоверенным, и система не будет загружать его в память. Это предотвращает установку буткитов и руткитов во время процесса загрузки, поскольку они не смогут пройти проверку.

Кроме того, Secure Boot может защитить от атак, которые пытаются изменить микропрограмму или другие низкоуровневые компоненты системы. Проверяя целостность микропрограммы и других важных компонентов во время процесса загрузки, Secure Boot может гарантировать, что система работает с доверенным программным обеспечением и не подвергалась вмешательству.

Secure Boot обеспечивает несколько преимуществ для компьютерных систем, включая:

1. Защита от вредоносного ПО: одним из основных преимуществ Secure Boot является защита от вредоносных программ и других типов вредоносного программного обеспечения. Проверяя целостность программных компонентов, загружаемых в процессе загрузки, Secure Boot может предотвратить установку злоумышленниками несанкционированного или вредоносного программного обеспечения на систему.

2. Повышенная целостность системы: Secure Boot гарантирует, что в системе работают доверенные программные компоненты, что помогает поддерживать целостность системы. Это может быть особенно важно для критически важных систем, например, используемых в здравоохранении, финансах или правительстве, где даже незначительные ошибки или уязвимости в программном обеспечении могут иметь серьезные последствия.

3. Повышение надежности системы: Secure Boot обеспечивает механизм проверки надежности системы. Используя доверенные хэш-значения и цифровые подписи для проверки целостности программных компонентов, Secure Boot помогает создать цепочку доверия, которая распространяется от микропрограммы до операционной системы и приложений.

4. Защита от буткитов и руткитов: буткиты и руткиты – это типы вредоносных программ, которые предназначены для того, чтобы взять под контроль процесс загрузки и оставаться скрытыми в системе. Secure Boot может помочь предотвратить эти типы атак, обеспечивая загрузку только доверенных программных компонентов в процессе загрузки.

5. Соответствие стандартам безопасности: многие стандарты безопасности, такие как Common Criteria for Information Technology Security Evaluation и Federal Information Processing Standards (FIPS), требуют использования Secure Boot в качестве обязательного элемента управления безопасностью. Внедряя Secure Boot, организации могут обеспечить соответствие этим стандартам и правилам.

Хотя Secure Boot обеспечивает множество преимуществ для компьютерных систем, необходимо учитывать и некоторые потенциальные недостатки. Вот некоторые из них:

1. Проблемы совместимости: одним из потенциальных недостатков Secure Boot является то, что она может вызвать проблемы совместимости с некоторыми операционными системами или драйверами, которые не подписаны доверенными ключами. Это может затруднить установку или запуск определенного программного обеспечения, особенно если оно не обновлено для поддержки Secure Boot.

2. Блокировка поставщика: ещё одним потенциальным недостатком Secure Boot является то, что она может привести к блокировке поставщика, когда на системе может быть запущено только программное обеспечение, подписанное доверенными поставщиками. Это может ограничить выбор и гибкость для пользователей, которые хотят использовать программное обеспечение сторонних производителей или настраивать свои системы.

3. Сложность: Secure Boot может усложнить процесс загрузки, что может затруднить устранение неполадок или диагностику проблем. Это особенно актуально для систем с несколькими уровнями Secure Boot, например, систем, использующих как аппаратный TPM, так и программный.

4. Ложное чувство безопасности: хотя Secure Boot может помочь защититься от определенных типов атак, она не является серебряной пулей для безопасности системы. Злоумышленники всё ещё могут найти способы обойти Secure Boot, особенно если им удастся скомпрометировать систему на более низком уровне, например, на уровне микрокода.

5. Стоимость: реализация Secure Boot может привести к дополнительным затратам на разработку и производство системы, особенно если требуются специализированные аппаратные компоненты, такие как TPM.

Хотя эти недостатки следует принимать во внимание, преимущества Secure Boot в целом перевешивают потенциальные недостатки, особенно в системах, требующих высокого уровня безопасности и надёжности.

Существуют определенные типы программного обеспечения, которые могут быть несовместимы с Secure Boot, особенно если они не подписаны доверенными ключами. Вот несколько примеров:

1. Дистрибутивы Linux: некоторые дистрибутивы Linux могут быть несовместимы с Secure Boot, особенно старые дистрибутивы, которые не поддерживают UEFI Secure Boot. Это происходит потому, что ядро и другие компоненты дистрибутива могут быть не подписаны доверенными ключами. Однако большинство современных дистрибутивов Linux теперь поддерживают Secure Boot и предоставляют подписанные ядра и драйверы.

2. Пользовательские драйверы устройств: некоторые пользовательские драйверы устройств могут быть несовместимы с Secure Boot, если они не подписаны доверенными ключами. Это может стать проблемой для пользователей, которым необходимо установить специализированное обо-

рудование или программное обеспечение, требующее пользовательских драйверов.

3. Программное обеспечение для виртуализации: некоторые программы виртуализации, такие как VirtualBox и VMware, могут быть несовместимы с Secure Boot по умолчанию. Это связано с тем, что эти программы используют собственные загрузчики, которые не подписаны доверенными ключами. Однако многие производители программного обеспечения для виртуализации выпустили обновления, поддерживающие Secure Boot.

4. Загрузочные USB-накопители: загрузочные USB-накопители, созданные с помощью определенных инструментов или методов, могут быть несовместимы с Secure Boot. Например, если USB-накопитель создан с помощью инструмента, который не поддерживает UEFI Secure Boot, загрузчик на USB-накопителе может быть не подписан доверенными ключами.

Стоит отметить, что многие из этих проблем совместимости были решены в последние годы, и большинство современного программного обеспечения теперь поддерживает Secure Boot. Однако всегда полезно проверить совместимость программного и аппаратного обеспечения с Secure Boot, прежде чем включать её в систему.

За последние годы было выявлено и раскрыто несколько уязвимостей Secure Boot. Вот несколько примеров:

1. BootHole: BootHole – это уязвимость, которая затрагивает загрузчик GRUB2, используемый во многих дистрибутивах Linux. Уязвимость позволяет злоумышленнику обойти процесс проверки Secure Boot, заменив загрузчик на вредоносную версию. Уязвимость была раскрыта в 2020 году и затрагивает системы, использующие UEFI Secure Boot.

2. DUNK: DUNK (Don't Use Hard-coded Keys) – уязвимость, затрагивающая генератор случайных чисел X9.31, используемый некоторыми TPM. Уязвимость позволяет злоумышленнику восстановить закрытый ключ, используемый TPM, который может быть использован для обхода безопасной загрузки и других элементов управления безопасностью. Уязвимость была раскрыта в 2017 году.

3. Infineon TPM Weakness – это уязвимость, затрагивающая процесс генерации пары ключей RSA, используемый некоторыми TPM. Уязвимость позволяет злоумышленнику восстановить закрытый ключ, используемый TPM, который может быть использован для обхода Secure Boot и других элементов управления безопасностью. Уязвимость была раскрыта в 2017 году.

4. Spectre и Meltdown: Spectre и Meltdown – это набор уязвимостей, которые затрагивают многие современные процессоры. Уязвимости позволяют злоумышленнику использовать недостатки в аппаратной реализации спекулятивного выполнения для извлечения конфиденциальной информации из системы, включая криптографические ключи, используемые Secure Boot. Хотя эти уязвимости не относятся конкретно к Secure Boot, они могут быть использованы для обхода многих средств контроля безопасности, включая Secure Boot.

Существует несколько технологий, использующих криптографическое хэширование для контроля аппаратно-программной среды и проверки целостности системы. Вот несколько примеров:

1. Secure Boot: Secure Boot гарантирует, что в память загружаются только проверенные компоненты, и помогает предотвратить атаки, направленные на изменение или замену критически важных системных файлов или компонентов.

2. Модуль доверенной платформы (TPM): TPM может использоваться для проверки целостности микропрограммы, загрузчика и других критически важных компонентов системы путем проверки криптографических хэшей и подписей.

3. Архитектура измерения целостности (IMA): IMA может использоваться для проверки целостности системы и обнаружения любых несанкционированных изменений или модификаций.

4. Measured Boot: Measured Boot: Измерения можно использовать для проверки целостности системы во время процесса загрузки и обнаружения любых несанкционированных изменений или модификаций.

5. Secure Boot UEFI: UEFI Secure Boot использует криптографические хэши для проверки целостности загрузчика и других важных компонентов системы в процессе загрузки.

Эти технологии можно использовать в комбинации для многоуровневой защиты от атак и проверки целостности аппаратной и программной среды. Используя криптографические хэши для проверки целостности системы, организации могут гарантировать, что на их системах работает доверенное программное обеспечение и они не были скомпрометированы злоумышленниками.

TPM — это аппаратный компонент, обеспечивающий безопасное хранение криптографических ключей и других конфиденциальных данных. Обычно TPM представляет собой отдельный чип на материнской плате

компьютерной системы, хотя в некоторых системах TPM может быть интегрирован в систему на кристалле (SoC).

TPM предназначен для обеспечения безопасной среды хранения конфиденциальных данных, таких как ключи шифрования, цифровые сертификаты и пароли. TPM также может использоваться для проверки целостности системы путем измерения криптографических хэшей прошивки, загрузчика и других критически важных компонентов системы.

Вот некоторые ключевые особенности TPM:

1. Безопасное хранение данных: TPM обеспечивает безопасную среду хранения криптографических ключей и других конфиденциальных данных. TPM использует комбинацию аппаратных и программных средств защиты для защиты хранящихся в нем данных.

2. Аттестация: TPM можно использовать для проверки целостности системы путем измерения криптографических хэшей прошивки, загрузчика и других критических компонентов системы. Измерения могут использоваться для проверки того, что система не была подделана или изменена.

3. Удаленная аттестация: TPM также может использоваться для удаленной аттестации, которая позволяет удаленной системе проверить целостность локальной системы. Удаленная аттестация может использоваться для установления доверия между двумя системами и гарантии того, что они не были скомпрометированы.

4. Управление ключами: TPM может использоваться для генерации, хранения и управления криптографическими ключами. Ключи могут использоваться для шифрования, цифровых подписей и других функций безопасности.

5. Регистры конфигурации платформы (PCR): TPM использует PCR для хранения криптографических измерений компонентов системы. PCR могут использоваться для проверки целостности системы и обнаружения любых изменений или модификаций.

TPM широко используется в корпоративных средах для обеспечения безопасной среды хранения криптографических ключей и других конфиденциальных данных. TPM также используется в сочетании с другими средствами защиты, такими как безопасная загрузка и шифрование диска, для обеспечения многоуровневой защиты от атак.

IMA — это функция безопасности Linux, которая измеряет криптографические хэши файлов и других системных объектов в различные моменты процесса загрузки. Результаты измерений сохраняются в файле

журнала и могут быть использованы для проверки целостности системы и обнаружения любых несанкционированных изменений или модификаций.

Вот некоторые ключевые особенности IMA:

1. Измерение: IMA измеряет криптографические хэши файлов и других системных объектов, таких как исполняемые файлы, библиотеки и файлы конфигурации. Результаты измерений сохраняются в файле журнала и могут быть использованы для проверки целостности системы.

2. Верификация: IMA может использоваться для проверки целостности системы путем сравнения криптографических хэшей файлов и других системных объектов с доверенным значением. Если хэши совпадают с доверенным значением, файл или объект считается доверенным, и система загружает его в память. Если хэши не совпадают, файл или объект считается недоверенным, и система не будет загружать его в память.

3. Политики: IMA поддерживает политики, которые можно использовать для определения того, какие файлы и другие системные объекты должны быть измерены, а также как эти измерения должны храниться и обрабатываться. Политики можно использовать для настройки поведения IMA в соответствии с конкретными требованиями безопасности организации.

4. Интеграция: IMA интегрирована в ядро Linux и может использоваться в сочетании с другими функциями безопасности Linux, такими как SELinux и AppArmor.

5. Удаленная аттестация: IMA также может использоваться для удаленной аттестации, которая позволяет удаленной системе проверять целостность локальной системы. Удаленная аттестация может использоваться для установления доверия между двумя системами и гарантии того, что они не были скомпрометированы.

IMA — это мощная функция безопасности, которая может помочь предотвратить атаки, направленные на изменение или замену критически важных системных файлов или компонентов. Измеряя криптографические хэши файлов и других системных объектов, IMA может помочь убедиться, что файлы и объекты не были подделаны или изменены. Кроме того, IMA можно использовать в сочетании с другими средствами контроля безопасности, такими как безопасная загрузка и шифрование диска, для обеспечения многоуровневой защиты от атак.

Measured Boot — это функция, поддерживаемая некоторыми аппаратными платформами, например, системами на базе Intel с технологией vPro.

Measured Boot использует модуль Trusted Platform Module (TPM) для измерения криптографических хэшей прошивки, загрузчика и других критически важных компонентов системы и сохраняет результаты измерений в TPM. Измерения можно использовать для проверки целостности системы в процессе загрузки и обнаружения любых несанкционированных изменений или модификаций.

Вот некоторые ключевые особенности Measured Boot:

1. Измерение: Measured Boot использует TPM для измерения криптографических хэшей микропрограммы, загрузчика и других критически важных компонентов системы во время процесса загрузки. Результаты измерений сохраняются в TPM и могут быть использованы для проверки целостности системы.

2. Верификация: Measured Boot может использоваться для проверки целостности системы путем сравнения измерений, хранящихся в TPM, с доверенным значением. Если измерения совпадают с доверенным значением, система считается доверенной, и операционная система будет загружена. Если измерения не совпадают, система считается недоверенной, и процесс загрузки будет остановлен.

3. Интеграция: Measured Boot интегрируется в прошивку системы и может использоваться совместно с другими функциями безопасности, такими как безопасная загрузка и шифрование диска.

4. Удаленная аттестация: Measured Boot также может использоваться для удаленной аттестации, которая позволяет удаленной системе проверять целостность локальной системы. Удаленная аттестация может использоваться для установления доверия между двумя системами и гарантии того, что они не были скомпрометированы.

5. Настройка: Measured Boot может быть настроен в соответствии с конкретными требованиями безопасности организации. Например, системный администратор может определить политику, которая определяет, какие компоненты системы должны быть измерены и как эти измерения должны храниться и обрабатываться.

Measured Boot обеспечивает мощную функцию безопасности, которая может помочь предотвратить атаки, направленные на изменение или замену критически важных системных файлов или компонентов. Используя TPM для измерения криптографических хэшей компонентов системы, Measured Boot может помочь убедиться, что компоненты не были подделаны или изменены. Кроме того, Measured Boot можно использовать в соче-

тании с другими элементами управления безопасностью, такими как Secure Boot и шифрование диска, для обеспечения многоуровневой защиты от атак.

Однако важно отметить, что Measured Boot не является серебряной пулей и должен использоваться в сочетании с другими элементами управления безопасностью для обеспечения комплексного решения безопасности. Также стоит отметить, что Measured Boot поддерживается только некоторыми аппаратными платформами и может быть доступен не на всех системах. Тем не менее, для систем, поддерживающих Measured Boot, он может стать ценным инструментом для повышения безопасности системы и обеспечения целостности критически важных компонентов.

### **Заключение**

Secure Boot и TPM помогают повысить безопасность компьютерных систем путем проверки целостности программных и аппаратных компонентов. Они обеспечивают дополнительные уровни защиты от вредоносных программ и несанкционированных модификаций.

Однако ни одна технология безопасности не является совершенной. Со временем неизбежно будут найдены уязвимости в этих и всех других средствах контроля безопасности. Исследователи и поставщики работают над выявлением и устранением проблем, но это постоянный процесс.

Уязвимость Intel Management Engine в чипах TPM показала, что даже аппаратные средства контроля безопасности могут сами стать векторами для атак, если будут обнаружены недостатки. Это показывает, что ни одна технология не может обеспечить полную безопасность.

Наиболее эффективным является подход "защита во всю глубину", сочетающий множество средств контроля и методов обеспечения безопасности. Пользователи и системные администраторы также играют важную роль, выполняя такие действия, как:

- внедрение надежных паролей и двухфакторной аутентификации
- где это возможно
- своевременное применение обновлений и исправлений программного обеспечения для устранения известных уязвимостей
- регулярное резервное копирование данных, чтобы ограничить последствия потенциальных нарушений безопасности
- сохранять бдительность в отношении распространенных методов социальной инженерии, таких как фишинговые электронные письма и телефонные звонки от самозванцев

- следовать политикам и процедурам безопасности организации
- соблюдение осторожности при подключении неизвестных устройств или вставке незнакомых USB-накопителей.

Технология сама по себе не может гарантировать безопасность – бдительность человека, меры предосторожности, основанные на здравом смысле, и целостная стратегия являются важными дополнениями. Хотя Secure Boot и чипы TPM повышают базовую безопасность компьютерного оборудования, для достижения максимальной эффективности они должны использоваться в тандеме с другими передовыми методами и средствами контроля безопасности.

Отсюда следует, что многоуровневая безопасность с использованием как технологических, так и человеческих средств защиты дает организациям и пользователям наилучшие шансы защитить свои системы и данные – даже при наличии уязвимостей в конкретных технологиях. Сочетание технических решений, политик, обучения и осведомленности обеспечивает комплексную защиту.

В целом, хотя Secure Boot и чипы TPM добавляют ценность, они не отменяют необходимости в многосторонней стратегии глубокой защиты, которая учитывает факторы, связанные с людьми и процедурами, а также технологические элементы. Интегрированный подход с использованием всех доступных инструментов обеспечит наивысший уровень информационной безопасности.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Fundamental Design of Blockchain – Hashchain Networks with a Decentralized Register Based on Cryptography Methods. Makarov A.M., Golyakova A.O., Osinin I.D., Postovalov S.S. Perspectives on the Use of New Information and Communication Technology (ICT) in the Modern Economy. Cham, 2019. С. 620-629.
2. Richard, Wilkins UEFI SECURE BOOT IN MODERN COMPUTER SECURITY SOLUTIONS / Wilkins Richard, Richardson Brian. — Текст : непосредственный // UEFI forum. — Chicago : Intel, 2013. — С. 1-10.
3. *Кострыгин, Н.* Доверенная Загрузка GNU/Linux в режиме UEFI Secure Boot в 2021 году / Н. Кострыгин. — Текст : непосредственный // Базальт СПО. — Переславль-Залесский : ООО "МАКС Пресс", 2021. — С. 152-160.

4. Analysis of the Security of UEFI BIOS Embedded Software in Modern Intel-Based Computers / Pankov, D. I, Konoplev [и др.]. — Текст : непосредственный // Automatic Control and Computer Sciences. — 2020. — № 53. — С. 865–869.
5. Frazelle, J. Securing the Boot Process: The hardware root of trust / J. Frazelle. — Текст : непосредственный // ACM Queue . — 2020. — № 6. — С. 5–21.
6. Frazelle, J. Securing the boot process / J. Frazelle. — Текст : непосредственный // Communications of the ACM. — 2020. — № 3. — С. 38–42.

**Гаджиев Тимур Эфлетдинович**, магистрант пятигорского государственного университета группы 10.04.01 ИБ:УИБТЗИ.

**Варакин Ян Сергеевич**, магистрант южного федерального университета группы 09.04.01 ПИ:ПСИИ.

Понимаш Захар Алексеевич

## **ДЕМОДУЛЯЦИЯ ЦИФРОВЫХ СИГНАЛОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ**

*Данная статья посвящена использованию нейронных сетей для демодуляции цифровых сигналов. Рассмотрен простейший случай ASK-модуляции и способ его демодуляции с использованием нейросетевого фильтра на базе одномерных сверточных сетей. Описаны преимущества и недостатки данного подхода, а также предложены направления дальнейших исследований в этой области. В заключении подчеркнуто, что использование нейронных сетей в демодуляции цифровых сигналов является перспективным направлением развития технологий цифровой обработки сигналов, которое может найти применение в различных областях, таких как телекоммуникации, радиосвязь, беспроводные сети и другое.*

*Демодуляция, нейронные сети, ASK модуляция, нейрофильтр.*

Ponimash Zakhar Alekseyevich

## **DEMODULATION OF DIGITAL SIGNALS USING NEURAL NETWORKS**

*This article is devoted to the use of neural networks for demodulation of digital signals. The simplest case of ASK-modulation and its demodulation method using a*

neural network filter based on one-dimensional convolutional networks are considered. Advantages and disadvantages of this approach are described, and directions for further research in this area are proposed. In conclusion, it is emphasized that the use of neural networks in the demodulation of digital signals is a promising direction in the development of digital signal processing technology, which can find application in various fields, such as telecommunications, radio communications, wireless networks, and others.

*Demodulation, neural networks, ASK modulation, neurofilter.*

## Введение

В настоящее время одной из наиболее актуальных задач является прием и демодуляция модулированных цифровых сигналов. В данной статье рассмотрен простейший случай - ASK-модуляция - и способ ее демодуляции с использованием нейронных сетей.

Амплитудная манипуляция (АМн, ASK) - это вид амплитудной модуляции, который представляет двоичные данные в виде скачкообразных изменений амплитуды сигнала, нижний уровень соответствует 0, а верхний 1, для уменьшения межсимвольной интерференции используется фильтр Найквиста. [1]

## Основная часть

При демодуляции цифровых сигналов на фоне шумов возникает проблема, шум может исказить сигнал и привести к ошибкам. Чтобы повысить вероятность правильного распознавания после АРУ и квадратурного демодулятора, мы размещаем буфер на 4400 отсчетов и нейросетевой фильтр на базе одномерных сверточных сетей, сверточные сети были выбраны, т.к. хорошо себя зарекомендовали в задачах обработки сигналов[2-5], в т.ч. и в задачах демодуляции цифровых сигналов[6]. После этого следует декодер, который преобразует сигнал в биты. На рис. 1 представлена блок-схема нейросетевого демодулятора.

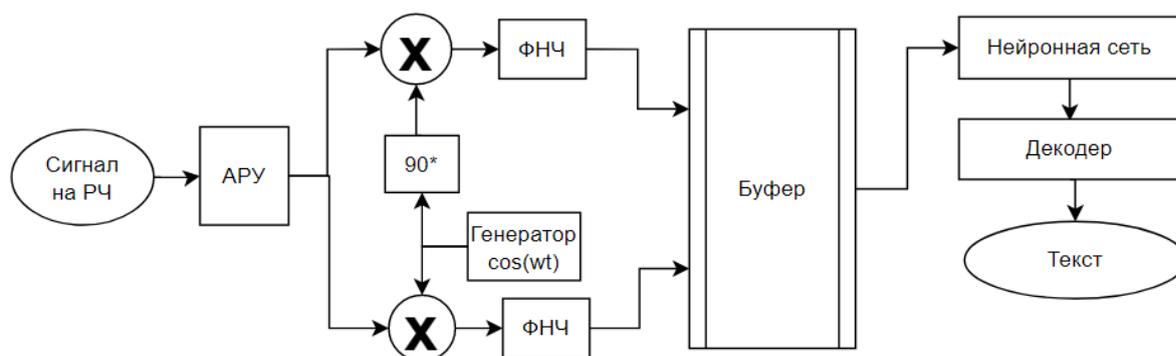


Рис. 1. Нейросетевой демодулятор

Нейросетевой фильтр представляет собой сверточный автокодировщик, который принимает зашумленный сигнал на вход и возвращает очищенный от шума. Фильтр был обучен только на одном примере (пара входной выходной сигнал), но успешно работал и с многими другими. Результаты показали, что информацию в сигнале, который был демодулирован без применения данного фильтра, восстановить не удалось. Однако после демодуляции и декодирования с использованием этого фильтра вероятность потери сообщения из 11 символов снизилась с 97% до 8%. Эти замеры произведены на выборке из 1000 примеров. Пример работы системы продемонстрирован на рис. 2.

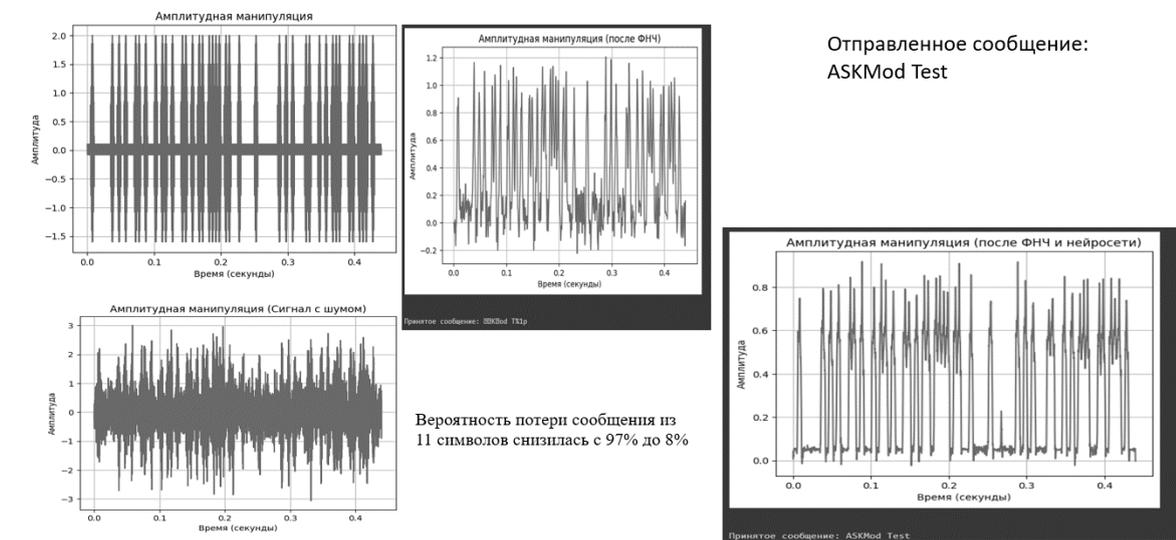


Рис. 2. Пример работы демодулятора, с использованием нейросетей и без них

Преимущества нейросетевых фильтров:

1. Фильтр принимает на вход большую последовательность отсчетов - в нашем случае 4400 (11 символов ASCII) - и может корректировать (фильтровать) данную последовательность на базе выученных закономерностей в данных.

2. Возможно встраивание декодера, например, с активацией softmax и получение "мягких битов" на выходе нейросети. Такой подход может позволить демодулировать сразу несколько видов модуляции.

Недостатки нейросетевых фильтров

1. Низкая скорость работы.
2. Высокая стоимость оборудования.

Для решения перечисленных недостатков, можно перейти на аналоговые нейросетевые БИХ фильтры. [7] Схема такого фильтра приведена на рис. 3.

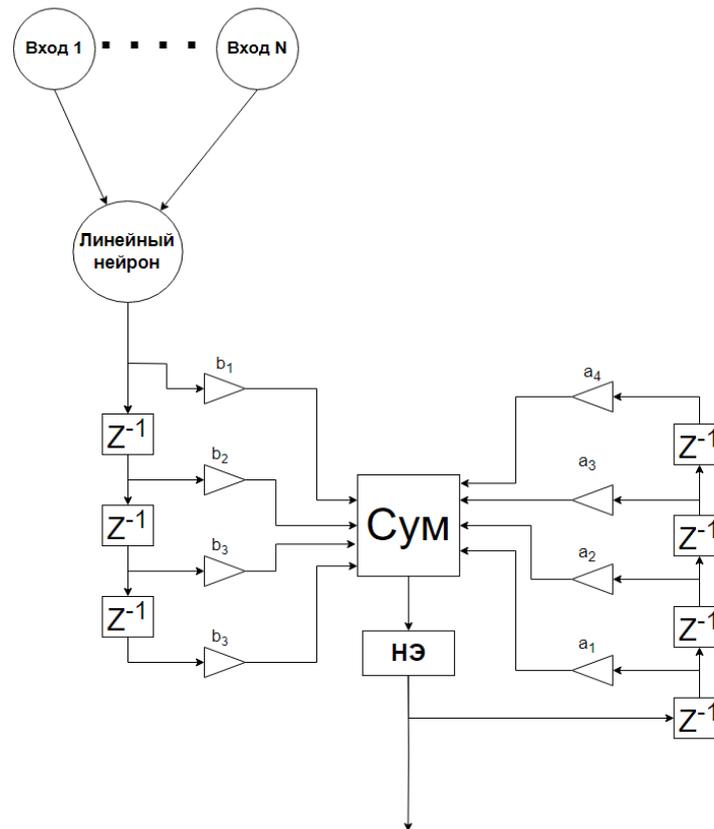


Рис. 3. Аналоговый нейрофильтр

Кроме того, возможны следующие направления исследований:

1. Использование нейросетей трансформер[8] или LSTM[9] для декодирования сигнала.
2. Переход со сверточных сетей на нейросетевые БИХ фильтры (для удешевления и ускорения вычислений).
3. Работа с несколькими типами модуляции (ASK, FSK, QPSK, QAM).

### Выводы

В заключение, можно отметить, что использование нейронных сетей в системах демодуляции цифровых сигналов является перспективным направлением развития, подтверждением чему служат сети синтезирующие сигнальные созвездия[10], а также демодуляторы, т.ч. DemodNet[6]. Однако, чтобы сделать этот подход более практичным и эффективным, по-

требуется дальнейшее исследование и оптимизация алгоритмов и аппаратной составляющей для работы с большими объемами данных и повышения скорости вычислений. Данный подход, при его применении к более эффективным методам модуляции открывает новые возможности в таких областях, как телекоммуникации, радиосвязь, беспроводные сети и т.п..

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Subrato Bharati, Mohammad Atikur Rahman, Prajoy Podder*. Implementation of ASK, FSK and PSK with BER vs. SNR comparison over AWGN channel. 2002. – Режим доступа: <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/2002/2002.03601.pdf> (дата обращения: 12. 06. 2022)
2. *Понимаиш З.А.* Разработка алгоритма классификации сигналов на основе нейронных сетей. 2018. — Режим доступа: <https://hub.lib.sfedu.ru/repository/material/800841304/> (дата обращения: 05. 07. 2022)
3. *Алексеев Д.М., Шумилин А.С., Минюк А.Н., Понимаиш З.А.* Система автоматического поиска участков эпилептической активности в составе облачной платформы хранения, систематизации и обработки медицинских данных // Современные наукоемкие технологии. – 2019. – Режим доступа: <http://www.top-technologies.ru/ru/article/view?id=37371> (дата обращения: 05. 07. 2022)
4. *Алексеев Д.М., Шумилин А.С., Минюк А.Н., Понимаиш З.А.* Ансамбль классификаторов: реализация, оценка эффективности и интеграция в облачную платформу хранения, систематизации и обработки медицинских данных // Современные наукоемкие технологии. – 2019. – № 9. С. 20-25.
5. *Алексеев Д.М., Минюк А.Н., Понимаиш З.А., Шумилин А.С.* Разработка и описание структуры и функционала облачной платформы хранения, систематизации и обработки медицинских данных: интеграция системы автоматического поиска участков эпилептической активности// Системы управления и информационные технологии, №3(77), 2019. – С. 52-55.
6. *Shilian Zheng, Xiaoyu Zhou, Shichuan Chen, Peihan Qi, and Xiaoniu Yang*, "DemodNet: Learning Soft Demodulation from Hard Information Using Convolutional Neural Network". 2020.
7. *Понимаиш З.А.* Алгоритм первичной обработки и классификации модулированных сигналов. 2020.

8. Vaswani A., Shazeer N., Parmar N., Uszkoreit J., Jones L., Gomez A. N., Kaiser Ł., Polosukhin I.. Attention Is All You Need. 31st Conference on Neural Information Processing Systems (NIPS 2017). Long Beach, CA, USA. 2017.
9. Hochreiter, S; Schmidhuber, J (1997). "Long Short-Term Memory". Neural Computation. 9 (8): 1735–1780. doi:10.1162/neco.1997.9.8.1735. PMID 9377276.
10. O'Shea T., Hoydis J.. An Introduction to Deep Learning for the Physical Layer. IEEE Transactions on Cognitive Communications and Networking. 2017.

**Понимаш Захар Алексеевич**, аспирант ИРТСУ ИТА ЮФУ, email: [ponimashz@mail.ru](mailto:ponimashz@mail.ru).

**Ponimash Zakhar Alekseyevich**, PhD student, IRTSU ITA SFU, e-mail: [ponimashz@mail.ru](mailto:ponimashz@mail.ru) .

УДК 378.1

Тарасова Анна Алексеевна, Назаренко Максим Витальевич

## **СИСТЕМА ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ КАК ФАКТОР НАУЧНОЙ ПРОДУКТИВНОСТИ И УСПЕШНОСТИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ УЧЕНОГО**

*В статье анализируется влияние системы инфокоммуникационных технологий на процессы научного поиска и продуктивность научного творчества. Показано значение представлений о ноосфере в контексте трансформации науки и образования. Выделены основные тенденции развития научного сообщества в условиях информатизации. Обозначены познавательные проблемы, возникшие в процессе использования этого нового глобального инструмента отражения объективной окружающей реальности. Зафиксированы этапы воздействия системы инфокоммуникационных технологий на научное сообщество.*

*Ноосфера, информационное общество, инфокоммуникационные технологии, научный поиск, научное творчество.*

Tarasova Anna Alekseevna, Nazarenko Maxim Vitalievich

## **INFOCOMMUNICATION TECHNOLOGY SYSTEM AS A FACTOR OF SCIENTIFIC PRODUCTIVITY AND SUCCESSFUL ACTIVITIES OF A SCIENTIST**

*The article analyzes the influence of the system of infocommunication technologies on the processes of scientific research and the productivity of scientific creativity. The importance of the noosphere in the context of the transformation of science and education is shown. The main trends in the development of the scientific community in the context of informatization are highlighted. The cognitive problems that have arisen in the process of using this new global tool for reflecting the objective surrounding reality are identified. The stages of the impact of the system of infocommunication technologies on the scientific community are fixed. A systematic assessment of the impact of the system of information and communication technologies on the cognitive activity of a scientist is proposed.*

*Noosphere, information society, infocommunication technologies, scientific search, scientific creativity.*

Формирование и последующее функционирование системы инфокоммуникационных технологий является необходимым компонентом ноосферы как особой планетарной оболочки Земли. Возникновение именно данной структуры выступает закономерным этапом развития всей человеческой цивилизации как особого элемента и ступени планетарной эволюции. При этом инфокоммуникационные технологии играют ключевую роль в реализации этой цели, поскольку они позволяют не только создавать системы обмена информацией между различными субъектами, но и эффективно управлять планетарными процессами в целом.

Однако не следует забывать о возможных негативных последствиях внедрения инфокоммуникационных технологий на планетарном уровне. Неумеренное потребление ресурсов на их производство и эксплуатацию может наносить серьезный ущерб окружающей среде, а неумение управлять системами информационного обмена может привести к серьезным катастрофам как на уровне отдельных регионов, так и на планетарном уровне. Поэтому необходимо обеспечить баланс между технологическими достижениями и охраной окружающей среды, а также разрабатывать эффективные механизмы управления планетарными процессами на основе разума и знаний о природе.

Развитие и использование инфокоммуникационных технологий в рамках ноосферы является необходимым и важным шагом в развитии человеческой цивилизации. Однако для того, чтобы достигнуть цели организации планетарных процессов на основах разума и знаний о природе, необходимо учитывать потенциальные риски и разрабатывать эффективные механизмы управления. Только таким образом можно создать идеальный мир, в котором все планетарные процессы будут оптимизированы на благо человечества и окружающей среды.

Однако важно понимать, что научное познание не может быть единственным фактором, влияющим на прогрессивное развитие мира. Без учета культурных, социальных, экономических и других факторов наука не сможет быть эффективно применена в решении сложных мировых проблем, таких как изменение климата, бедность, голод и неравенство. [1]

Поэтому при изучении и применении научных знаний важно учитывать все социальные и культурные различия, а также устранять возможные негативные последствия научных открытий и технологий. Только таким образом можно достичь гармоничного и устойчивого развития мира, в котором наука играет ключевую, но не единственную роль.

Международные сети локальных и региональных компьютерных систем обеспечивают молниеносное перемещение научной информации и представляют собой основу максимально современной формы общения людей. В сфере науки, общение играет выдающуюся роль, являясь необходимым условием для индивидуального научного творчества, а также фундаментальным механизмом для формирования научных направлений. Эти сети объединяют научные труды отдельных ученых с целью создания целостных и функционирующих научных направлений масштаба глобального исследования, обеспечивают развитие новых научных дисциплин, которые были бы недоступны ранее из-за географической и временной удаленности ученых друг от друга. [2]

Итоговый результат научного познания в целом становится все больше зависимым от целостности действий всего научного сообщества, а не только от эффективности деятельности каждого ученого в отдельности.

Сущность научной работы заключается в обмене научными результатами и их полноценном сопоставлении. Следовательно, система информационно-коммуникационных технологий играет важную роль в научных коммуникациях, обеспечивая эффективность и быстрое действие. Это является необходимым элементом профессиональной деятельности

научного сообщества, позволяя пользователям получать доступ к мировым банкам научной информации и максимально соответствуя потребностям ученых через почти непосредственное общение абонентов.

Инфокоммуникационные технологии (ИКТ) - это совокупность средств, методов и технологий, которые используются для обмена информацией, передачи и обработки данных, а также для связи и взаимодействия между людьми, устройствами и системами.

ИКТ включают в себя различные виды связи, среди которых телефония, радиосвязь, Интернет, компьютерные сети, а также аппаратные и программные средства связи.

Применение ИКТ в различных сферах жизни стало неотъемлемой частью нашей повседневной деятельности. В бизнесе, например, ИКТ используются для управления бизнес-процессами, автоматизации производственных и офисных задач, электронной коммерции и т.д. В медицине ИКТ используются для улучшения качества медицинской помощи, дистанционного обучения и медицинских консультаций. [3] В образовании ИКТ помогают учителям и студентам получать доступ к информации, использовать современные методы обучения и взаимодействия.

Одним из наиболее распространенных видов ИКТ является Интернет, который стал неотъемлемой частью нашей жизни. Он предоставляет нам доступ к информации, коммуникации, различным сервисам и услугам, и играет важную роль в нашей работе, образовании и развлечениях.

Информационно-коммуникационные технологии продолжают быстро развиваться и совершенствоваться, что открывает новые возможности для эффективной и продуктивной работы, улучшения качества жизни и облегчения нашей повседневной жизни. [4]

Появление и распространение информационно-коммуникационных технологий играет важную роль в научном познании, начало которой пришлось на конец XX века. Они создают систему, способную отражать объективную реальность, но и приводят к возникновению новых познавательных проблем. Разрешение этих проблем невозможно без понимания взаимообусловленных процессов, которые происходят в рамках использования этого глобального инструмента. К середине 90-х годов это стало очевидным, что свидетельствует о необходимости понимания и адаптации к непрерывно изменяющейся цифровой среде.

В первую очередь, следует отметить, что понимание технических аспектов функционирования глобальной системы научных коммуникаций

требует серьезного научного исследования. [5] Построение национальных электронных сетей и их интеграция в глобальную сеть Интернет являются сложными задачами масштабного характера, которые могут возникнуть только на основе теоретических исследований.

Кроме того, важной составляющей глобальной системы научных коммуникаций является "человеческий фактор", который представляет собой необходимость понимания закономерностей его функционирования. [6] Процессы освоения информационно-коммуникационных технологий и их воздействие на научное сообщество стали объектом внимания и требуют дополнительных исследований с целью лучшего понимания их взаимосвязи.

Среди них особенно выделяется вопрос о роли инфокоммуникационных технологий в научных исследованиях. Именно на этом направлении современная наука сталкивается с многочисленными неопределенностями и сложностями.

Однако, несмотря на некоторую неопределенность в этом вопросе, можно выделить ряд факторов, которые указывают на важность использования инфокоммуникационных технологий в научных исследованиях. Во-первых, это существенное расширение доступа к научной информации и предоставляемых ресурсов. Во-вторых, это облегчение сбора и обработки данных, что позволяет существенно ускорить процесс научного исследования. В-третьих, это возможность проведения научных исследований на более высоком уровне точности и масштабе.

Несмотря на все это, необходимо отметить, что инфокоммуникационные технологии являются лишь инструментом в руках ученых. Они не могут полностью заменить традиционные методы и приемы научного исследования, такие как наблюдение, эксперимент, анализ данных и т.д. Вместо этого инфокоммуникационные технологии должны рассматриваться как дополнительный ресурс, который может существенно повысить эффективность научных исследований. [7]

Функционирование системы ИКТ оказалось не только активным фактором в научном познании, но также новым объектом исследования. Воздействие механизмов и результатов данной системы на целостный процесс научного познания породило ранее неизвестное проблемное поле, которое требует глубокого и всестороннего анализа. Без этого анализа, эффективное использование формирующейся системы глобальной научной коммуникации может стать затруднительным. В связи с этим, сформиро-

вались два направления исследования воздействия системы информационно-коммуникационных технологий на научное познание.

Первое направление — исследование технических аспектов — ведется в основном специалистами в области CISE (Computer and Information Sciences and Engineering). Исследования в этой области предполагают анализ не только технических аспектов развития Интернета, но и социальных, культурных и психологических факторов, влияющих на использование информационных технологий в научной работе.

Так, например, исследования показывают, что возможности использования современных информационных технологий в научной деятельности часто недооцениваются учеными. Они могут быть недостаточно осведомлены о новых инструментах, не уметь их правильно применять или просто не видеть практической пользы от их использования. [8] Поэтому одним из приоритетных направлений исследований в этой области является разработка эффективных методов обучения ученых работе с современными информационными технологиями.

Кроме того, важно исследовать влияние новых информационных технологий на сами процессы научной работы. Использование современных инструментов может изменить не только техническую сторону научных исследований, но и способы организации работы, структуру сообщества ученых и способы взаимодействия между ними. Изучение этих процессов позволяет не только лучше понимать, как изменения в инфокоммуникационных технологиях влияют на научную деятельность, но и способствует развитию самой науки. [9]

В периоды существенных социальных, экономических и технических трансформаций особую важность приобретают новые факторы, которые впервые появляются в научных исследованиях и оказывают непосредственное влияние на функционирование научного сообщества. Одним из таких факторов является система инфокоммуникационных технологий, которая имеет особое значение и является парадигмальной с точки зрения ее глобального влияния.

Воздействие системы инфокоммуникационных технологий на научное сообщество можно разделить на несколько этапов, которые являются закономерными.

В начале XXI века система информационно-коммуникационных технологий начала оказывать существенное влияние на научную деятельность. Меняются тенденции в организации науки, появляются новые фор-

мы самоорганизации, такие как "группы по интересам" и "виртуальные коллективы-сообщества", создаваемые благодаря сетевому общению и сотрудничеству. Хотя эти формы еще не определяют ведущие тенденции научного поиска, их появление свидетельствует о смене приоритетов научного общения и новых каналов получения информации. Наука как социальный институт создает особое инфокоммуникационное пространство, включающее отдельных ученых и научные коллективы в качестве структурных элементов.[10]

Таким образом, можно сделать вывод, что роль инфокоммуникационных технологий в научных исследованиях является важной, но не исключительной. Единственное, что можно утверждать с уверенностью, это то, что развитие этой области будет продолжаться и в дальнейшем существенно влиять на процесс научного познания. Система информационно-коммуникационных технологий является мощным инструментом для совершенствования научно-исследовательской деятельности, увеличения ее результативности и качества. С ее помощью ученые могут быстрее и более точно обрабатывать и анализировать данные, проводить симуляции и моделирования, обмениваться опытом и знаниями, что в конечном итоге позволяет получать более точные и достоверные научные результаты и открывать новые горизонты в познании мира. Также она является одним из ключевых факторов, определяющих развитие современной науки. Она не только облегчает и оптимизирует научный процесс, но и влияет на сам стиль мышления ученых, на их познавательные способности и качество научных исследований. Ее использование является необходимым условием для постоянного совершенствования научной деятельности и достижения новых научных результатов.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Шестакова М.А.* Наукометрические показатели в социально-гуманитарных науках: Основные проблемы // Наукоевческие исследования. М.: ИНИОН РАН, 2016. 230 с.;
2. *Брыксина О.Ф.* Информационно-коммуникационные технологии в образовании. Учебник. М.: ИНФРА-М, 2018. - 875 с.;
3. *Плотникова Н.Г.* Информатика и информационно-коммуникационные технологии (ИКТ). Учебное пособие. М.: РИОР, Инфра-М, 2016. - 128 с.;
4. *Гагарин А.* Информационно-коммуникационная компетентность личности. М.: LAP Lambert Academic Publishing, 2014. - 148 с.;

5. *Богдановская И. М.* Информационные технологии в педагогике и психологии. Учебник для вузов. Стандарт третьего поколения. СПб.: Питер, 2018. - 405 с.;
6. *Мирская Е. З.* Наука в информационном обществе: новые возможности и проблемы // Информационное общество, 2015. 7 с.;
7. *Аксёнов А. Г.* Инфокоммуникационные технологии в современном обществе: учебное пособие. М.: Флинта, 2016. 237 с.;
8. *Штельмах А.А.* Основы информатики и вычислительной техники. М.: Издательство Юрайт, 2017. 156 с.;
9. *Сидоренко А. В., Мустафин Р. Р.* Применение информационных технологий в сфере образования: учебное пособие. М.: Академия, 2019. 243 с.;
10. *Гелий В.М., Завразин А.В., Казаков А. М.* Компьютерные сети и информационные технологии: учебное пособие. М.: ООО «Издательство АСТ», 2019. 344 с.

**Тарасова Анна Алексеевна**, студент Южного федерального университета, город Ростов-на-Дону, проспект Стачки 200/1, 344090, телефон 89889974101, email: [nyuta.ta01@gmail.com](mailto:nyuta.ta01@gmail.com).

**Назаренко Максим Витальевич**, студент Донского государственного технического университета, город Ростов-на-Дону, площадь Гагарина 1, 344003, телефон 89185054988, email: [osn.ten@yandex.ru](mailto:osn.ten@yandex.ru)

**Tarasova Anna Alekseevna**, student of the Southern Federal University, Rostov-on-Don, Stachki Avenue 200/1, 344090, phone 89889974101, email: [nyuta.ta01@gmail.com](mailto:nyuta.ta01@gmail.com).

**Nazarenko Maxim Vitalievich**, student of the Don State Technical University, Rostov-on-Don, Gagarin Square 1, 344003, phone 89185054988, email: [osn.ten@yandex.ru](mailto:osn.ten@yandex.ru)

## Секция – Системы связи и навигации

УДК 621.371

Косак Роман Эдуардович

### **ВЛИЯНИЕ СИНУСОИДАЛЬНОГО РИФЛЕНИЯ КРОМКИ ИЗЛУЧАТЕЛЯ ВИВАЛЬДИ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ИЗЛУЧЕНИЯ**

*В статье приведены результаты исследования улучшения характеристик излучения излучателя Вивальди благодаря введению синусоидального рифления кромки антенны. Рассмотрено влияние такой формы кромки на согласование, коэффициент усиления (КУ) и коэффициент полезного действия (КПД) излучателя фазированной антенной решетки. Характеристики излучения получены в режиме сканирования в E-плоскости в широком секторе углов  $\pm 60^\circ$  в сверхширокой полосе частот.*

*Определено, что введение синусоидального рифления размером 8 мм позволяет расширить рабочую полосу частот по уровню коэффициента стоячей волны по напряжению (КСВН)  $\leq 3$  из диапазона от 310 до 860 МГц с коэффициентом перекрытия (КП) = 2,774 до диапазона от 236 до 812 МГц с КП = 3,441.*

*Излучатель Вивальди, КСВН, КПД, КУ, режим широкоугольного сканирования, СШП, фазированная антенная решетка.*

Kosak Roman Eduardovich

### **EFFECT OF SINUSOIDAL CORRUGATION OF THE VIVALDI RADIATOR EDGE ON THE RADIATION CHARACTERISTICS**

*The article presents the results of the study of improving the radiation characteristics of the Vivaldi radiator due to the introduction of a sinusoidal corrugation of the antenna edge. The influence of such a shape on the matching, realized gain, and radiation efficiency of a phased antenna array radiator is considered. The radiation characteristics were obtained in the E-plane scanning mode in a wide-angle sector of  $\pm 60^\circ$  in an ultra-wide frequency band.*

*It has been determined that the introduction of a sinusoidal corrugation of 8 mm in size makes it possible to expand the operating frequency band in terms of the voltage standing wave ratio (VSWR)  $\leq 3$  from the range from 310 to 860 MHz with the overlap ratio is approximate 2.774 to the range from 236 to 812 MHz with the overlap ratio is approximate 3.441.*

*Vivaldi radiator, VSWR, radiation efficiency, RE, wide-angle scanning mode, UWB, phased array antenna.*

## **Введение**

Антенна Вивальди, впервые представленная Петером Гибсоном в 1979 году [1], получила широкое распространение благодаря целому ряду положительных характеристик. К примеру, она может работать в широкой и

сверхширокой полосе частот, проста в изготовлении и обладает низкой стоимостью.

Характеристики излучения антенны Вивальди во много определяются ее конструктивными особенностями, в связи с чем использование различных вырезов и вставок по краям излучателя для их улучшения является актуальной задачей. Важную роль играет компактность антенны [2], что позволяет сэкономить на материале и работе, а также упростить транспортировку.

Изменение формы кромки антенны Вивальди в составе ФАР благодаря использованию прямоугольных вырезов и вставок приводит к расширению рабочей полосы частот и улучшению характеристик излучения [2]. Введение металлических пластин по боковым граням металлизации излучателя позволяет улучшить согласование [3]. Согласно [4], введение прорезей на кромке антенны позволяет улучшить направленность и усиление. Различная форма кромки также может помочь уменьшить боковые лепестки [5], [6]. В зависимости от формы края излучателя можно увеличить КУ [7] и улучшить характеристики согласования [8]. Применение гребенчатой структуры также позволяет улучшить КСВН антенны в нижней части рабочего диапазона частот, что особенно важно при сканировании [9].

Следовательно, использование вставок и вырезов различной формы на кромке главных лепестков излучателя Вивальди – весьма популярный способ улучшить характеристики излучения. Целью работы являлось исследование влияния синусоидального рифления кромки излучателя Вивальди на его характеристики излучения: КСВН, КУ, КПД.

## Основная часть

### 1. Излучатель Вивальди без рифления

За основу возьмем форму излучателя Вивальди из [2]. Размер ячейки ФАР  $100 \times 120$  мм. Высота антенны 185 мм (рис. 1). Подложка толщиной 0,5 мм выполнена из материала RT/duroid 5880, а питание производится с помощью коаксиального кабеля.

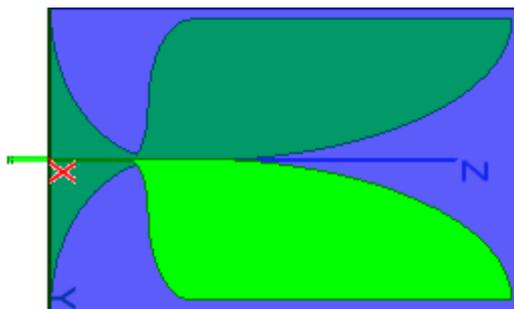


Рис. 1. Излучатель Вивальди без рифления

Рассмотрим КСВН, КУ и КПД данной антенны в составе ФАР в диапазоне от 0.2 до 1 ГГц в режиме сканирования. На всех графиках характеристик излучения каждой кривой соответствует своё значение угла сканирования:  $0^\circ$  (красная сплошная линия),  $15^\circ$  (синий короткий пунктир),  $30^\circ$  (зеленый пунктир),  $45^\circ$  (оранжевые точки) и  $60^\circ$  (коричневый длинный пунктир).

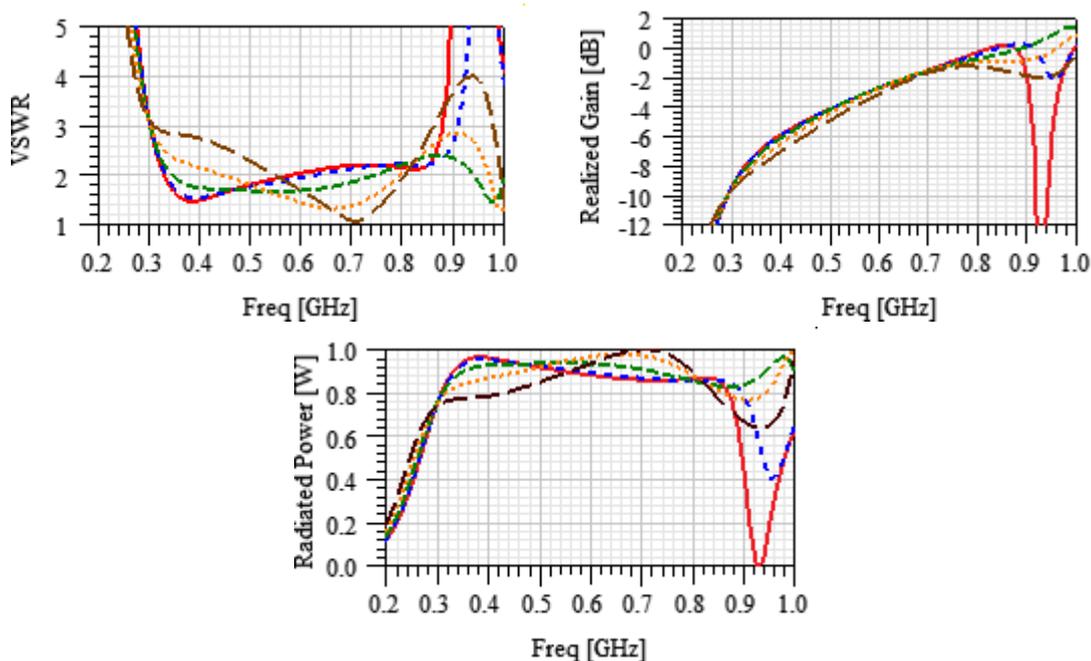


Рис. 2. КСВН, КУ и КПД излучателя Вивальди без рифления

Согласно графикам, приведенным на рисунке 2, рабочая полоса частот антенны без рифления лежит в пределах от 310 до 860 МГц. Коэффициент перекрытия, определяемый как отношение верхней граничной частоты к нижней, равен 2,774. КУ в указанной полосе частот от -9,3 до 0,15 дБ, а КПД превышает уровень 0,74 Вт при 1,0 Вт на входе излучателя.

## 2. Излучатель Вивальди с рифлением

Рассмотрим введение синусоидального рифления по краям излучателя как комбинацию скругленных вырезов и вставок по краям излучателя. Шаг рифления 4 мм. На рис. 3 изображен излучатель Вивальди с синусоидальным рифлением размером 8 мм.

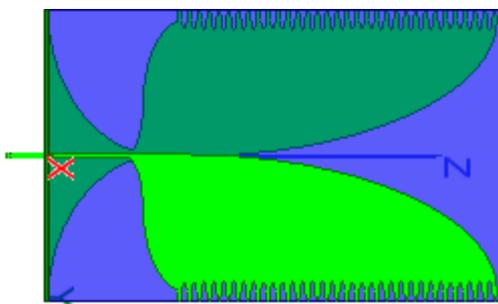


Рис. 3. Излучатель Вивальди с синусоидальным рифлением размером 8 мм

Наилучшие результаты, которые получаются при размере рифления 8 мм, представлены на рис. 4.

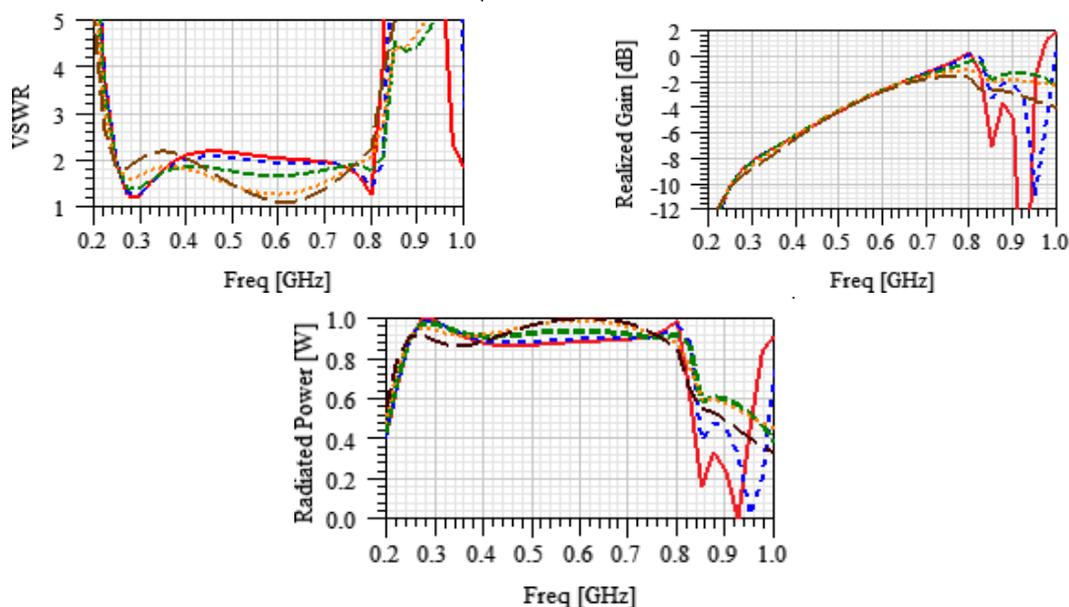


Рис. 4. КСВН, КУ и КПД излучателя Вивальди с синусоидальным рифлением размером 8 мм

Видно, что рабочая полоса частот по уровню КСВН  $\leq 3$  теперь находится в пределах от 236 до 812 МГц (КП = 3,441), его среднее значение в основном не превышает уровень КСВН = 2. КУ находится в диапазоне от -12 до 0,3 дБ. КПД тоже улучшается, особенно в области 300 – 500 МГц. Его значения в среднем располагаются выше уровня 0,84 Вт при 1,0 Вт на входе излучателя.

Электрические размеры антенны на верхней рабочей частоте 812 МГц:  $0,271 \lambda \times 0,325 \lambda \times 0,501 \lambda$ , что позволяет судить о компактности разработанного излучателя.

### **Выводы**

Увеличение размера синусоидального рифления постепенно увеличивает рабочий диапазон частот, улучшая согласование и КПД. Нижняя граничная частота смещается влево, а вот КУ улучшается незначительно. Разработанный излучатель ФАР является компактным и сверхширокополосным, а также позволяет работать в широком секторе углов сканирования.

**Работа выполнена в Центре коллективного пользования «Прикладная электродинамика и антенные измерения» Южного федерального университета в г. Таганрог.**

### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. *Gibson P.* "The Vivaldi aerial," in *Proc. 9th Eur. Microw. Conf.*, vol. 1, 1979, pp. 101-105.
2. *Kosak R.E. and Gevorkyan A.V.* Research of Ways to Improve Radiation Characteristics of Phased Array Radiator Based on Vivaldi Antenna, 2021 Radiation and Scattering of Electromagnetic Waves (RSEMW), 2021, pp. 211-214.
3. *Косак Р.Э., Геворкян А.В., Юханов Ю.В.* Излучатель фазированной антенной решетки узкоугольного сканирования // Компьютерные и информационные технологии в науке, инженерии и управлении (КомТех-2022): Материалы Всероссийской научно-технической конференции с международным участием. – Таганрог: Южный федеральный университет, 2022. – с. 258-263.
4. *Dixit A.S. and Kumar S.* A Survey of Performance Enhancement Techniques of Antipodal Vivaldi Antenna, in *IEEE Access*, Febr. 2020, vol. 8, pp. 45774-45796.
5. *Briqech Z., Sebak A., and Denidni T. A.* High gain 60 GHz antipodal Fermi tapered slot antenna with sine corrugation, in *Microw. Opt. Technol. Lett.*, vol.

- 57, no. 1, Nov. 2014, pp. 6-9.
6. Loo X. S., Win M. Z., and Yeo K. S. A high gain 60 GHz antipodal Fermi-tapered slot antenna based on robust synthesized dielectric, in *Microw. Opt. Technol. Lett.*, vol. 61, no. 3, Dec. 2018, pp. 761-765.
  7. Shaikh F. A. et al. Ultra-wideband antipodal Vivaldi antenna for radar and microwave imaging application, in *Proc. 2017 IEEE 3rd Int. Conf. on Eng. Technologies and Social Sci. (ICETSS)*, Bangkok, Thailand, 2017, pp. 1-4.
  8. Yin Z., Yang X., and Lou T. A High Gain UWB Vivaldi Antenna Loaded with Elliptical Slots, in *Proc. 2018 Int. Appl. Comput. Electromagn. Society Symp. (ACES)*, Beijing, China, 2018, pp. 1-2.
  9. Ma L., Huang Q. and Shi X. An Unequally Spaced Vivaldi Antenna Array, in *Proc. 2018 Int. Conf. on Microw. and Millimeter Wave Technol. (ICMMT)*, Chengdu, China, 2018, pp. 1-3.

**Косак Роман Эдуардович**, аспирант, заведующий лабораторией кафедры АИР-ПУ ИРТСУ ЮФУ, Россия, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44, 347922, телефон: +7 (8634) 37-17-33, email: [kosak@sfedu.ru](mailto:kosak@sfedu.ru).

**Kosak Roman Eduardovich**, postgraduate student, head of the laboratory of the Department of Antennas and Radiotransmitting Devices IRESC SFU, Russia, Taganrog, Nekrasovsky lane, 44, 347922, phone: +7 (961) 287-66-77, email: [kosak@sfedu.ru](mailto:kosak@sfedu.ru).

УДК 538.956

Нагаенко Александр Владимирович, Дыкина Любовь Александровна,  
Карюков Егор Владимирович, Власов Алексей Юрьевич

### **ПЬЕЗОКЕРАМИЧЕСКИЙ МАТЕРИАЛ ДЛЯ КОМПОЗИТОВ СО СВЯЗНОСТЯМИ 1–3 И 3–3**

*Для создания современных пьезопреобразователей необходимы активные материалы, обладающие необходимой совокупностью электрофизических параметров. С этой целью была предпринята попытка разработать технологию получения пьезоматериала с прогнозируемым изменением его основных параметров позволяющих использовать его при производстве композитов со связностью 1–3 и 3–3. В результате исследования было показано, что возможно управлять удельной чувствительностью пьезоматериалов используя прекурсоры с различной удельной поверхностью.*

*Сегнетоэлектрики, пьезоэлектрики, пьезокомпозит, композиционные материалы, удельная чувствительность.*

Nagaenko Alexander Vladimirovich, Dykina Lyubov Alexandrovna,  
Karyukov Egor Vladimirovich, Vlasov Alexey Yurievich

### **PIEZOCERAMIC MATERIAL FOR COMPOSITES WITH CONNECTIONS 1-3 AND 3-3**

*To create modern piezoelectric converters, active materials with the necessary set of electrophysical parameters are needed. To this end, an attempt was made to develop a technology for producing piezo-material with a predictable change in its basic parameters allowing it to be used in the production of composites with connectivity 1-3 and 3-3. As a result of the study, it was shown that it is possible to control the specific sensitivity of piezomaterials using precursors with different specific surfaces.*

*Ferroelectrics, piezoelectrics, piezo composite, composite materials, specific sensitivity.*

Активные элементы, изготовленные из пьезокерамических материалов, находят применение в преобразователях различного назначения. Задачи, решаемые такими преобразователями, заставляют искать новые особенности в изготовлении пьезоматериалов. В основе работы любого пьезопреобразователя (микрофон, гидроакустическая антенна, акустический излучатель или приемник и т. д.) лежит способность превращать внешнее механическое воздействие в электрический сигнал и наоборот.

При выборе пьезокерамических материалов, применяемых при производстве композитов со связностью 1–3 и 3–3 главным критерием принято считать отношение относительной диэлектрической проницаемости  $\varepsilon_{33}^T/\varepsilon_0$  и гидростатического пьезокоэффициента  $g_h^*$ , который в свою очередь, определяет объемные характеристики пьезоматериала. Гидростатический пьезокоэффициент зависит от удельных чувствительностей пьезоматериала  $g_h^* = g_{33}^* + g_{32}^* + g_{31}^*$ . В композитах со связностью 1–3 и 3–3 удельные чувствительности  $g_{31}$  и  $g_{32}$  принимают значения близкие к нулю, в связи с чем, объемные характеристики композиционных пьезоматериалов, будут зависеть только от удельной продольной чувствительности  $g_{33}$  [1].

Изготавливаемые сегодня пьезоматериалы не обладают оптимальным сочетанием указанных характеристик. Как правило пьезоэлектрические материалы, имеющие достаточно высокие значения удельной чувствитель-

ности  $g_{33} \sim 35-38 \cdot 10^{-3}$  В м/Н, характеризуются диэлектрической проницаемостью с невысокими значениями  $\varepsilon_{33}^T/\varepsilon_0 \sim 650$  [2]. Указанные значения  $g_{33}$  и  $\varepsilon_{33}^T/\varepsilon_0$  не способствуют повышению соотношения сигнал-шум преобразователей, используемых в гидроакустике, активными элементами которых, являются пьезокомпозиты со связностью 1–3 и 3–3. Известны также и пьезоматериалы с высокими значениями  $\varepsilon_{33}^T/\varepsilon_0 \sim 1620 \div 1980$ , но низкими  $g_{33} \sim 22-23 \cdot 10^{-3}$  В м/Н [3], что делает практически невозможным их применение в качестве активного элемента в пьезокомпозитах с указанной связностью. В результате, была сформулирована цель данного исследования, а именно, возможность получения пьезоматериала с соотношением  $\varepsilon_{33}^T/\varepsilon_0$  и  $g_{33}$ , позволяющим применять его в композитах со связностью 1–3 и 3–3.

В качестве модельного объекта использовался разработанный в НКТБ «Пьезоприбор» пьезокерамический материал ПКП-13, который принадлежит системе ЦТС. Основные характеристики материала ПКП-13, полученного по классической (керамической) технологии представлены в таблице 1. Заявленная цель достигалась путем смешения порошков оксидов и карбонатов металлов входящих в состав ПКП-13 с предварительно изготовленным методом химического соосаждения и синтезированным оксидом титаната циркония  $Ti_xZr_{1-x}O_2$ , последующие этапы получения пьезокерамического материала осуществлялись в соответствии с классической технологией.

Синтез титаната циркония  $Ti_xZr_{1-x}O_2$  осуществлялся методом химического соосаждения из азотнокислых растворов титана и циркония ( $H_2[Zr(NO_3)_6]$ ,  $H_2[Ti(NO_3)_6]$ ) при температуре 800–950°C. Использование химического соосаждения позволяет получить однородный по размерам и составу ультрадисперсный порошок с заданным гранулометрическим составом. Изменение режимов синтеза, а именно температуры и времени изотермической обработки позволяет получать ультрадисперсные порошки  $Ti_xZr_{1-x}O_2$  с различной удельной поверхностью, которая варьировалась от 6000–11000 см<sup>2</sup>/г. Удельная поверхность мелкодисперсных порошков оксидов и карбонатов металлов входящих в состав ПКП-13 составляет 2000–3000 см<sup>2</sup>/г.

Шихту для синтеза материала ПКП-13 получали смешением в стехиометрическом соотношении в смесителе типа "пьяная бочка", полученного методом химического соосаждения  $Ti_xZr_{1-x}O_2$  с мелкодисперсными оксидами и карбонатами металлов. Синтез пьезоматериала осуществляли при температуре 900°C в одну стадию. После синтеза материал подвергался

помолу в высокоэнергетической планетарной мельнице с использованием водно-спиртовой смеси. Полноту протекания процесса синтеза контролировали методом РФА. По данным которого, можно говорить, что в материале отсутствуют следы исходных компонентов и промежуточных фаз, т. е. был получен однофазный перовскит (рис. 1).

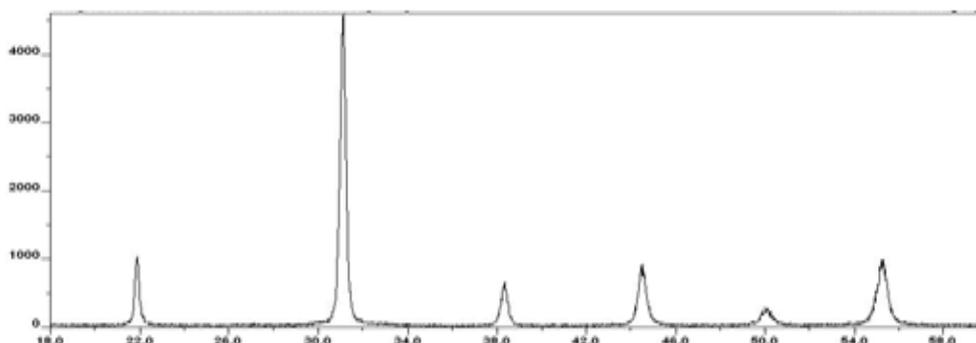


Рис.1. РФА синтезированного материала ПКП-13

Выполнение твердофазного синтеза из шихты, состоящей из компонентов разной степени дисперсности (мелко- и ультрадисперсных с удельной поверхностью 2000–3000 см<sup>2</sup>/г и 6000–11000 см<sup>2</sup>/г соответственно), влияет на механизмы твердофазной диффузии в процессе синтеза. Процесс, протекающий в полидисперсной системе, отличается от процесса с участием частиц соизмеримого размера. Локальные механические напряжения на развитых поверхностях раздела ультрадисперсных порошков при взаимодействии с мелкодисперсными порошками при синтезе твердых растворов системы ЦТС приводят к образованию псевдоморфотропных областей, облегчению движения доменных стенок, переориентаций поляризации и изменению связанных с этим электрофизических свойств, что подтверждается целым рядом исследований [4–6].

Вышеизложенное предположение, подтверждается также и [7], когда использование только ультрадисперсных порошков всех входящих в систему компонентов влечет за собой повышение как  $d_{33}$  так и  $\varepsilon_{33}^T/\varepsilon_0$ . При этом рост параметров носит не равномерный характер а именно,  $d_{33}$  увеличивается на 25–30%, а относительная диэлектрическая проницаемость  $\varepsilon_{33}^T/\varepsilon_0$  на 45%, столь более значительный рост  $\varepsilon_{33}^T/\varepsilon_0$  сочетается со снижением  $g_{33}$ , поскольку  $g_{33} = d_{33}/\varepsilon_{абс}$ .

Из синтезированного порошка формовали и спекали керамические изделия в виде дисков  $\Phi 10 \times (1-1,5)$  мм, на которых измеряли электрофизические параметры. Спекание осуществлялось при  $T_{сп.} = 1200-1230^\circ\text{C}$ . Электроды наносили методом вжигания серебросодержащей пасты при темпе-

ратуре  $T_{\text{вжиг}}=800^{\circ}\text{C}$  в течение 0,3–0,6 ч. Поляризацию осуществляли на воздухе при повышенной температуре и напряженности поля 1,5–2 кВ/мм.

В таблице приведены сравнительные электрофизические параметры пьезоэлектрической керамики из материала ПКП–13 полученной различными способами.

Таблица 1

Сравнительные значения электрофизических параметров пьезоэлектрического материала ПКП–13

| Способ получения материала ПКП–13                               | Относительная диэлектрическая проницаемость $\varepsilon_{33}^T/\varepsilon_0$ | Пьезоэлектрический модуль $d_{33}\cdot 10^{-12}$ Кл/Н | Удельная чувствительность $g_{33}\cdot 10^{-3}$ В·м/Н | Удельная поверхность порошка $\text{Ti}_x\text{Zr}_{1-x}\text{O}_2$ , $\text{см}^2/\text{г}$ |
|---|--|---|---|--|
| Классический МТФР   | 1610   | 320   | 22,3  | –  |
| С применением прекурсора $\text{Ti}_x\text{Zr}_{1-x}\text{O}_2$ | 1540   | 500   | 40,1  | 6000-7000  |
|   | 1310   | 480   | 41,4  | 7000-8000  |
|   | 1140   | 483   | 48,0  | 9000-10000   |
|   | 1120   | 485   | 48,0  | 10000-11000  |

Как следует из табл. 1 образцы изготовленные с применением прекурсора  $\text{Ti}_x\text{Zr}_{1-x}\text{O}_2$ , обладающего удельной поверхностью 9000–10000 и 10000–11000  $\text{см}^2/\text{г}$ , соответствуют максимальным значениям удельной чувствительности  $g_{33}=48\cdot 10^{-3}$  В·м/Н при достаточно высоких значениях относительной диэлектрической проницаемости  $\varepsilon_{33}^T/\varepsilon_0=1120-1140$  и пьезоэлектрического модуля  $d_{33}=483-485\cdot 10^{-12}$  Кл/Н.

**Выводы**

В ходе проведения исследования была показана возможность получения пьезокерамического материала ПКП–13 со значениями удельной чувствительности  $g_{33}$  изменяющийся в широких пределах и при этом удалось сохранить высокие значения относительной диэлектрической проницаемости  $\varepsilon_{33}^T/\varepsilon_0$  и пьезоэлектрического модуля  $d_{33}$ . Такое соответствие указанных характеристик открывает возможность применять пьезоэлектрический материал для преобразователей, активными элементами которых являются композиционные материалы связностью 1–3 и 3–3.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Newnham R.E.* Composite electroceramics. //Ferroelectrics.- 1986. V.68. N ¼. pp. 1-32.
2. *Фесенко Е.Г., Данцигер А.Я., Разумовская О.Н.* Новые пьезокерамические материалы. Ростов-на-Дону. Из. РГУ. 1983. 160 с. С. 12-36.
3. ОСТ 11 0444-87. Материалы пьезокерамические. Технические условия. Группа Э10. Введены 01.01.88. - М. 1987. - 141 С.
4. *Прилипко Ю.С.* Функциональная керамика. Оптимизация технологии / Ю.С. Прилипко // Донецк: Норд-Пресс, 2007.-492 с.
5. *Нестеров А. А.* Влияние параметров частиц порошков пьезофаз системы ЦТС-ЦННС на электрофизические свойства керамических материалов, создаваемых на их основе/ А.В. Нагаенко, А.А.Нестеров, А.А. Панич // Материалы международной научно-технической конференции «Датчики и системы-2011» - Абрау-Дюрсо 2011.
6. *Половинкин Б.С, Нагаенко А.В., Шилкина Л.А., Вербенко И.А., Андрюшина И.Н., Павелко А.А.* Влияние режимов механоактивации на гранулометрический состав и микроструктуру промышленного материала ЦТС-19 // Инженерный вестник Дона, 2016, №4 URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2016/3798](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2016/3798)
7. *Приседский В.В., Погибко В.М.* Микроструктура и свойства пьезокерамики ЦТС, консолидированной из нанопорошка. Ученые записки Таврического национального университета им. В. И. Вернадского Серия «Биология, химия». Том 26 (65). 2013. № 3. С. 301-312.

**Нагаенко Александр Владимирович**, кандидат технических наук, доцент кафедры Института высоких технологий и пьезотехники Южного федерального университета, Россия, г. Ростов-на-Дону, ул. Мильчакова 10, телефон: +7 (904)5061082, e-mail: [nagaenko@sfedu.ru](mailto:nagaenko@sfedu.ru)

**Дыкина Любовь Александровна**, начальник лаборатории Института высоких технологий и пьезотехники Южного федерального университета, Россия, г. Ростов-на-Дону, ул. Мильчакова 10, телефон: +7 (904)3415495, e-mail: [ldykina@sfedu.ru](mailto:ldykina@sfedu.ru)

**Карюков Егор Владимирович**, кандидат технических наук, ведущий инженер Института высоких технологий и пьезотехники Южного федерального университета, Россия, г. Ростов-на-Дону, ул. Мильчакова 10, телефон: +7 (904)3401595, e-mail: [evkaryukov@sfedu.ru](mailto:evkaryukov@sfedu.ru)

**Власов Алексей Юрьевич**, ведущий инженер по защите информации, Институт высоких технологий и пьезотехники Южного федерального университета, Россия, г. Ростов-на-Дону, ул. Мильчакова 10, телефон: +7 (961)4345337, e-mail: avlasov@sfedu.ru

**Nagaenko Alexander Vladimirovich**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of the Institute of High Technologies and Piezotechnics of the Southern Federal University, Russia, Rostov-on-Don, 10 Milchakova str., phone: +7 (904)5061082, e-mail: nagaenko@sfedu.ru

**Dykina Lyubov Aleksandrovna**, Head of the Laboratory of the Institute of High Technologies and Piezotechnics of the Southern Federal University, Russia, Rostov-on-Don, 10 Milchakova str., phone: +7 (904)3415495, e-mail: ldykina@sfedu.ru

**Karyukov Egor Vladimirovich**, Candidate of Technical Sciences, Leading Engineer of the Institute of High Technologies and Piezotechnics of the Southern Federal University, Russia, Rostov-on-Don, 10 Milchakova str., phone: +7 (904)3401595, e-mail: evkaryukov@sfedu.ru

**Vlasov Alexey Yurievich**, Leading Information Security Engineer, Institute of High Technologies and Piezotechnics of the Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russia, 10 Milchakova str., phone: +7 (961)4345337, e-mail: avlasov@sfedu.ru

УДК 004.7

Войцеховский Вадим Николаевич, Черников Дмитрий Юрьевич,  
Цыпцова Арина Витальевна

## **СТАТИСТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СКОРОСТИ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ В РАДИОКАНАЛЕ СЕТИ *Wi-Fi***

*Описана методика проведения натурального эксперимента по измерению основных параметров передачи данных в локальной радиосети, построенной по технологии *Wi-Fi*. Приведены и обсуждаются результаты проведения такого измерительного эксперимента для сетей *Wi-Fi* в диапазонах 2.4 и 5 ГГц.*

*Зона радиопокрытия *Wi-Fi*, диапазон частот. схема организации связи, скорость передачи информации, параметры используемых сигналов. интерфейс взаимодействия, уровень излучаемой мощности.*

Voitsekhovskiy Vadim Nikolaevich, Chernikov Dmitry Yuryevich,  
Tsyptsova Arina Vitalievna

## **STATISTICAL CHARACTERISTICS OF INFORMATION TRANSFER RATE IN *Wi-Fi* NETWORK RADIO CHANNEL**

*The method of conducting a full-scale experiment to measure the main parameters of data transmission in a local radio network built using Wi-Fi technology is described. The results of such a measurement experiment for Wi-Fi networks in the 2.4 and 5 GHz bands are presented and discussed.*

*Wi-Fi radio coverage area, frequency range, communication arrangement scheme, information transmission rate, parameters of used signals, interface of interaction, level of radiated power.*

Многочисленные ситуации связанные с развертыванием и использованием сетей радиосвязи внутри помещений (Wireless Indoor Local area Network) приводят к необходимости оценки реальной скорости передачи информации в подобных сетях традиционными абонентскими устройствами [1-4]. В этой связи в данной работе предпринята попытка измерений скорости передачи информации в диапазонах 2.4 ГГц и 5 ГГц, характерных для *Wi-Fi* сетей (рис.1). Экспериментальной оценке подлежала скорость передачи внутри помещений при отсутствии каких-либо естественных или искусственных препятствий при использовании традиционных абонентских устройств, какими являются ноутбук или смартфон. Расстояние между использованной точкой *Wi-Fi* и приемником по условиям натурального эксперимента не превышало 15 метров.

В непосредственной близости (не далее 5 метров) от точки доступа *Wi-Fi* находились анализатор спектра, который принимал сигнал *Wi-Fi* на внешнюю штыревую антенну и мобильный телефон - смартфон, который использовался в роли клиента сети *Wi-Fi* и первоначального индикатора наиболее характерных потребительских характеристик формируемой таким образом зоны радиопокрытия *Wi-Fi*.

Схема организации связи, использованная при проведении описываемого натурального эксперимента приведена на рис. 1.

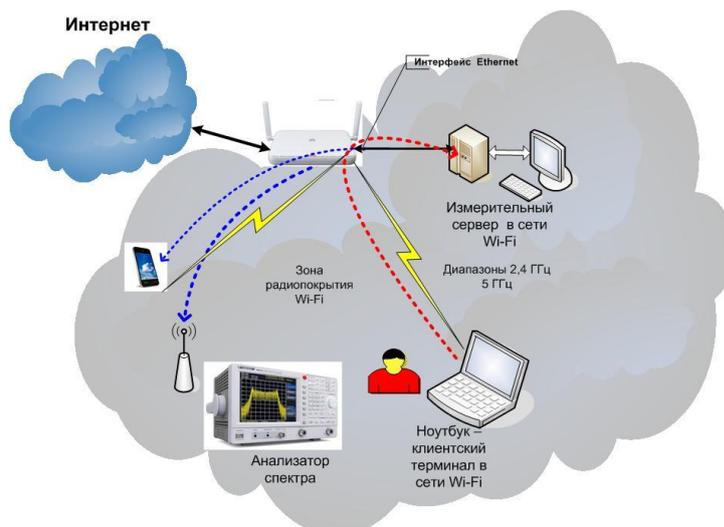


Рис. 1. Схема организации связи

Приложение, установленное на смартфон [5], позволяло просмотреть состояние работающих в окрестностях точек доступа *Wi-Fi* сетей, параметры их работы и устройства, подключенные к ним. В частности, данное программное обеспечение показывало уровень сигнала от каждой сети в данной точке, на каком канале работает каждая сеть, и какова загруженность каждого канала различными сетями. Если сеть имеет идентификатор, то он выводится над сигналом, который отображается над сигналом в частотном канале, который он занимает. В общем случае интерфейс программы состоит из четырёх вкладок, но в ходе эксперимента были использованы только две из них (рис 2).

Пример вывода на экран данной информации приведен на нижеследующем рисунке [5]. В правой части рисунка приведена индикация частотного канала для сети с именем *IK\_304* в диапазоне 2,4 ГГц, а на левой - информация по подключенной сети *Wi-Fi* в диапазоне 5 ГГц

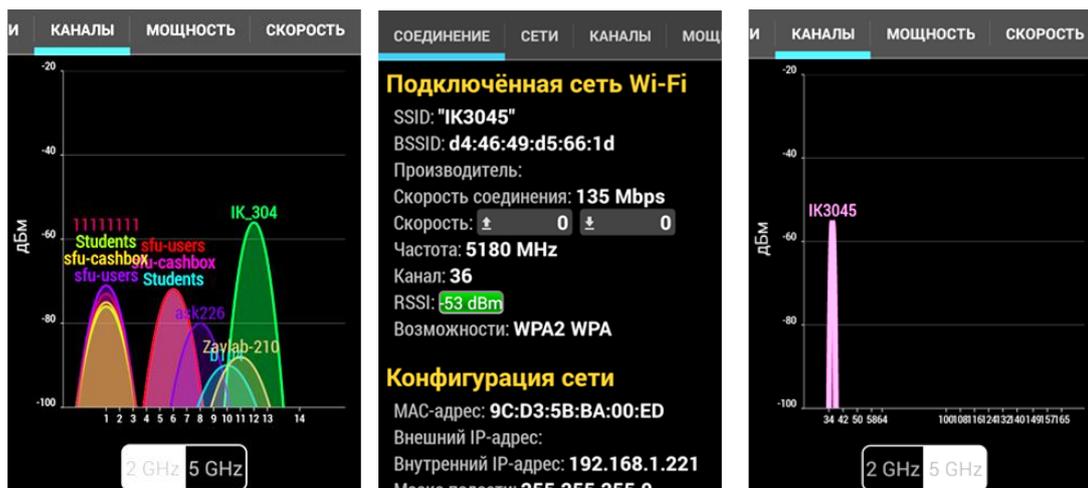


Рис. 2. Общий вид интерфейса ПО Wi-Fi Monitoring

В качестве Wi-Fi точки было использовано оборудование Huawei AR611W [6], интерфейс администратора для которого позволяет управлять уровнем излучаемой мощности  $P_{wi-fi}$ , полосой частот  $\Delta f$ , используемой для передачи информации в выбранном частотном канале  $N_f$ , а также выбором номера  $N_f$  используемого частотного канала (рис. 3).

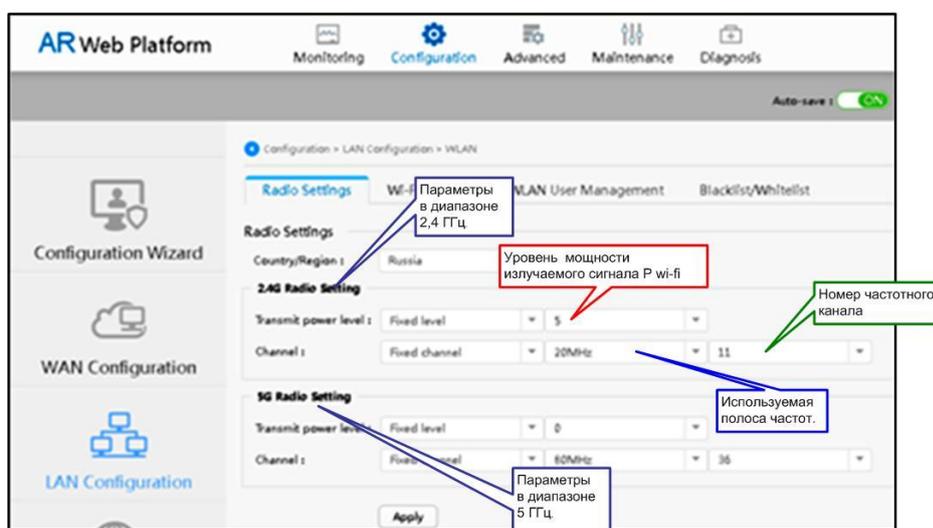


Рис. 3. Интерфейс администратора для управления параметрами Wi-Fi сети для Huawei AR611W

Непосредственно для измерения скорости в радиоканале *Wi-Fi* была использована утилита *iperf3* [7]. Для организации измерений скорости на персональном компьютере, который используется в качестве сервера и подключен к одному из внутренних Ethernet-портов Huawei AR611W, вводится команда вида: *iperf3 -s*, где ключ *-s* говорит о необходимости ис-

пользования утилиты `iperf3` в серверном режиме. На ноутбуке, который использовался в качестве клиента в сети *Wi-Fi*, аналогичная команда имеет вид:

```
Iperf -c 192.168.1.5 -p 5201 -t 1000 >wifi_2_4_min.txt,
```

где ключ `-c` говорит о необходимости использования `iperf3` в клиентском режиме, далее приведен адрес компьютера, который используется в качестве измерительного сервера `-192.168.1.5`, ключ `-p` указывает номер порта, используемого для измерений, а ключ `-t` задает длительность измерений в сек. После символа `>` указывается имя файла, в который производится запись результатов измерений. Результаты измерений скорости, записанные в текстовый файл с указанным именем, имеют следующий вид:

```
[ 4] local 192.168.1.182 port 58330 connected to 192.168.1.5 port 5201
[ ID] Interval      Transfer  Bandwidth
[ 4] 0.00-1.01 sec  4.00 MBytes 33.1 Mb/s
[ 4] 1.01-2.01 sec  3.75 MBytes 31.5 Mb/s
[ 4] 2.01-3.01 sec  4.00 MBytes 33.7 Mb/s
[ 4] 3.01-4.01 sec  3.75 MBytes 31.3 Mb/s
[ 4] 4.01-5.01 sec  4.00 MBytes 33.5 Mb/s
```



*Рис. 4. Содержание текстового файла с результатами измерений скорости в радиоканале сети *Wi-Fi**

Для целей проведения описываемого измерительного эксперимента интерес представляет предпоследний столбец. После обработки полученной измерительной информации, обработанные результаты могут быть представлены в виде следующего графика.

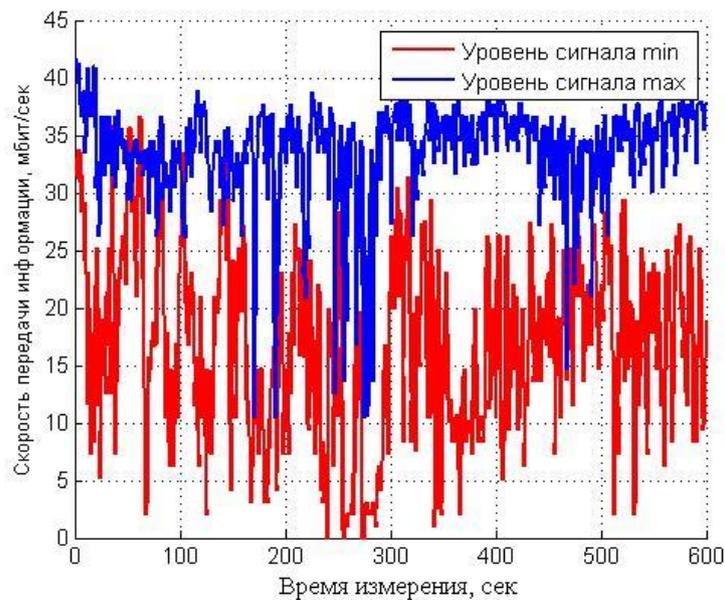


Рис. 5. Результаты измерений скорости в радиоканале Wi-Fi 2.4 ГГц для различных уровней мощности излучаемого сигнала

Красная кривая соответствует нижней границе мощности излучаемого сигнала, синяя - наоборот, верхней границе излучаемой мощности в диапазоне 2.4 ГГц.

Для экспериментальной оценки количества абонентских устройств, которые используют диапазоны 2.4 и 5 ГГц проведены измерения реальной радиобстановки для объектов в составе кампуса Сибирского федерального университета (СФУ), на площадях которых и предполагается предоставлять услуги передачи данных на основе технологии *Wi-Fi*. Полученные результаты измерений однозначно свидетельствуют о полном доминировании диапазона 2.4 ГГц в части использования технологий *Wi-Fi*.

Сравнение скоростей передачи данных для диапазонов 2,4 ГГц и 5 ГГц представлено на рис.6. На данном рисунке обе кривые соответствуют максимально возможной излучаемой мощности. Полученные таким образом результаты очень хорошо соответствуют рис. 2 (центральная часть).

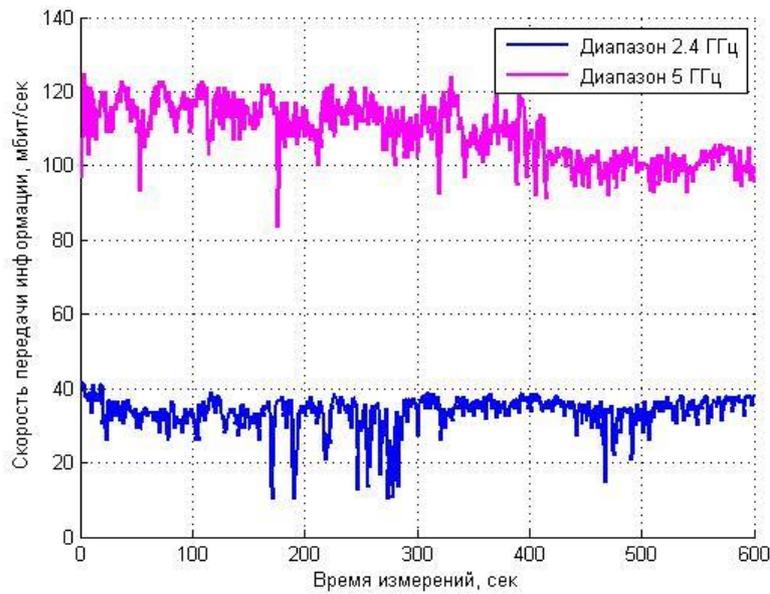


Рис. 6. Сравнение скоростей передачи данных в диапазонах 2,4 ГГц и 5 ГГц при максимальных уровнях излучаемой мощности

Однако в диапазоне 5 ГГц для работы системы связи отведена полоса частот  $\Delta f=80$  МГц, тогда как в диапазоне 2,4 ГГц  $\Delta f=20$  МГц (рис. 7). Спектральные параметры используемых сигналов можно надежно контролировать по характеру кривых, которые формирует анализатор спектра (рис. 7). Спектры сигналов *Wi-Fi* в диапазоне 2,4 ГГц при различных уровнях излучаемой мощности (min – слева, max – справа), полученные с помощью анализатора спектра, представлены на нижеследующих рисунках:

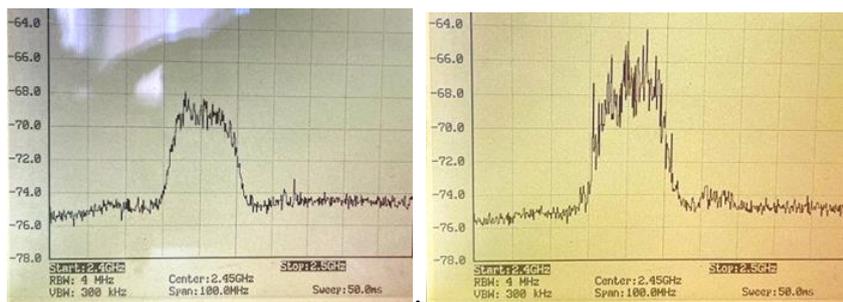


Рис. 7. Спектры сигналов при различных уровнях излучаемой мощности

Полученные результаты измерений позволили провести их статистическую обработку, в частности построить зависимость оценки мат. ожидания скорости ПД в сети *Wi-Fi* от уровня мощности  $P_{wi-fi}$ , излучаемой AP, которая приведена на рис. 8.

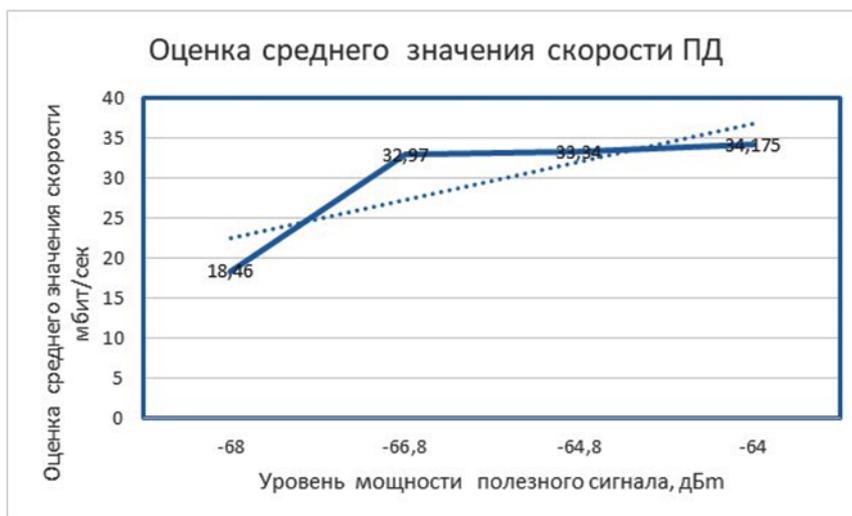


Рис. 8. Оценка среднего значения скорости передачи данных

Примерно аналогичную зависимость удалось построить и для среднеквадратического отклонения значений скорости ПД в радиоканале Wi-Fi в зависимости от уровня мощности излучаемого связного сигнала.

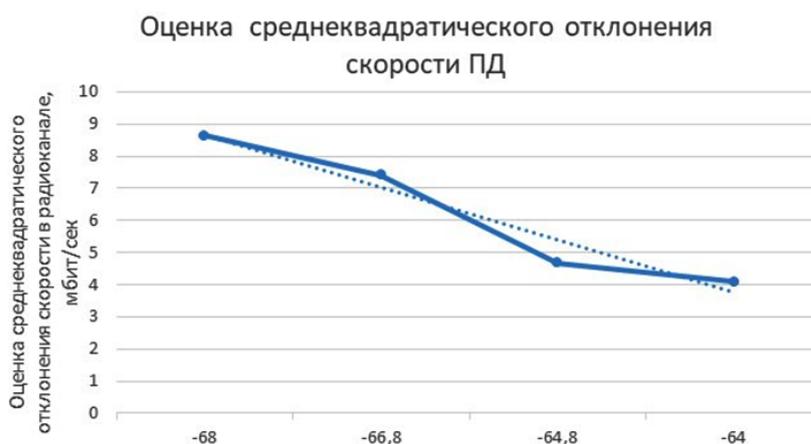


Рис. 9. Оценка среднеквадратического отклонения скорости ПД

Как показала проведенная серия измерений, процент использования диапазона 2.4 ГГц для большинства реальных ситуаций в настоящий момент времени составляет порядка 90 %. Конечно есть основания полагать, что в ближайшем будущем это соотношение будет меняться. Диапазон частот 2.4 ГГц, исходя хотя бы из рис. 3 - перегружен, да и количество абонентских устройств, которые способны работать в диапазоне 5 ГГц с каждым днем возрастает. Кроме этого сигнал в диапазоне 2,4 ГГц не отличается высокой стабильностью.

Дополнительным результатом проведенных измерительных экспериментов может служить вывод о том, что технология *Wi-Fi* самостоятельно не сможет решить вопрос о полного радиопокрытия территории превышающей сотни метров и может быть использована в тандеме с мобильной связью стандарта *LTE* или близкой по идеологии профессиональной системой радиодоступа [8].

**Исследование выполнено при финансовой поддержке Красноярского краевого фонда науки, в рамках научного проекта (код заявки 2022060208783).**

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Альшаев И.А., Лаврухин В.А.* О проектировании и оптимизации сетей *Wi-Fi* // Информационные технологии и телекоммуникации, 2016, Том 4, № 1 с.87-95
2. *Забродин А.Н., Войцеховский В.Н., Черников Д.Ю.* [Особенности измерения параметров мультисервисной сети связи на основе технологии \*Wi-Fi\*](#). В сборнике: Фундаментальные основы, теория, методы и средства измерений, контроля и диагностики. Материалы 19-ой Международной молодежной научно-практической конференции. 2018. С. 287-292
3. *Зеленков Н.С., Черников Д.Ю.* Indoor-навигация с использованием сетей *Wi-Fi*., В сборнике: Современные проблемы радиоэлектроники. Материалы XXII Всероссийской научно-технической конференции с международным участием, посвященной 125-й годовщине Дня радио. Сибирский федеральный университет. 2020. С. 301-305.
4. *Ревва И.Л., Богданов А.А., Малахова Е.А.* Применение точек доступа *Wi-Fi* для регистрации движения объектов / Научный вестник НГТУ том 68, № 3, 2017 г.
5. Google Play: официальный сайт. [Электронный ресурс] - URL: <https://play.google.com/>
6. Huawei: официальный сайт. [Электронный ресурс] - URL: <https://russia-huawei.ru/>
7. iPerf: официальный сайт. [Электронный ресурс] - URL: <https://iperf.fr/>
8. *Шорин А.О., Девлишов А.Г., Туров А.В., Черников Д.Ю.* Использование технологии космической ретрансляции внутрисистемных каналов связи в задачах организации абонентского радиодоступа. - Научный журнал «Исследования наукограда», №3-4(18), 2016, стр. 39-44. - ISSN 2225-9449.

**Войцеховский Вадим Николаевич**, аспирант кафедры «Инфокоммуникаций» Сибирского Федерального Университета, Россия, город Красноярск, Академика Киренского, 28, 660074

**Черников Дмитрий Юрьевич**, кандидат технических наук, заведующий кафедры «Инфокоммуникаций» Сибирского Федерального Университета, Россия, город Красноярск, Академика Киренского, 28, 660074, телефон: +7 (391) 249-72-50, email: [DChernikov@sfu-krs.ru](mailto:DChernikov@sfu-krs.ru).

**Цыпцова Арина Витальевна**, аспирант кафедры «Инфокоммуникаций» Сибирского Федерального Университета, Россия, город Красноярск, Академика Киренского, 28, 660074, телефон: +7 (913) 594-31-50, email: [arinacypcova@gmail.com](mailto:arinacypcova@gmail.com).

**Voitsekhovskiy Vadim Nikolaevich**, post-graduate student of the Department of Infocommunications, Siberian Federal University, Russia, Krasnoyarsk, Academician Kirensky, 28, 660074

**Chernikov Dmitry Yuryevich**, Candidate of Technical Sciences, Head of the Department of "Infocommunications" of the Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia, Akademika Kirenskogo, 28, 660074, phone: +7 (391) 249-72-50, email: [DChernikov@sfu-krs.ru](mailto:DChernikov@sfu-krs.ru)

**Tsyptsova Arina Vitalievna**, postgraduate student of the Department of Infocommunications, Siberian Federal University, Russia, Krasnoyarsk, Academician Kirensky, 28, 660074, phone: +7 (913) 594-31-50, email: [arinacypcova@gmail.com](mailto:arinacypcova@gmail.com).

УДК 004.056.5

Ермаков Александр Сергеевич

## **АНАЛИЗ СИСТЕМ БЕСПРОВОДНОЙ СВЯЗИ В КОНТЕКСТЕ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЗАЩИТЫ ОБЪЕКТОВ КРИТИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ**

*Работа многих автоматизированных систем управления производственными и технологическими процессами связана с получением данных от различных контроллеров и устройств, использующих беспроводные каналы связи и встроенные в общую систему устройств Интернета вещей (IoT). Целью статьи является проведение анализа технологий беспроводного доступа для си-*

*стем IoT, реализованных в мире, утвержденных отечественных стандартов связи, а также возможных способов оценки защищенности информации, передаваемой по рассматриваемым системам связи. В результате выполнен обзор основных стандартов связи, угроз безопасности, а также возможные способы оценки защищенности.*

*M2M-сеть, IoT, SDR, защита информации, беспроводные сети.*

Ermakov Alexander Sergeevich

## **ANALYSIS OF WIRELESS COMMUNICATION SYSTEMS IN THE CONTEXT OF ENSURING THE PROTECTION OF OBJECTS OF CRITICAL INFORMATION INFRASTRUCTURE**

*The work of many automated control systems for production and technological processes is associated with obtaining data from various controllers and devices using wireless communication channels and built into the overall system of Internet of Things (IoT) devices. The purpose of the article is to analyze wireless access technologies for IoT systems implemented in the world, approved domestic communication standards, as well as possible methods for assessing the security of information transmitted over the considered communication systems. As a result, an overview of the main communication standards, security threats, as well as possible methods for assessing security was made.*

*M2M network, IoT, SDR, information security, wireless network.*

### **Введение**

Технологическое развитие в сегодняшнем мире смещается в сторону развития искусственного интеллекта и систем межмашинного взаимодействия (M2M), где влияние человека на систему сводится к минимуму. Уже можно наблюдать за введением повсеместно распространяющейся технологии «Интернета вещей» (IoT), включающей в себя сеть технологических устройств и M2M взаимодействия между ними. Данная технология зарекомендовала себя при построении «умных домов», позволяющих экономить потребляемые человеком ресурсы, систем анализа состояния отдаленных и опасных производственных объектов. Наблюдается интерес в развитии данной технологии к разработке автономных, энергонезависимых и не требующих обслуживания систем.

## Основная часть

С целью обеспечения M2M взаимодействия в IoT используются широко распространенные для обеспечения доступа в сети связи общего пользования технологии беспроводной связи, реализованные во всех мобильных устройствах, а также разработан ряд новых технологий беспроводного доступа. Данные технологии беспроводного доступа возможно классифицировать по дальности действия сигнала: сигналы ближнего, среднего и дальнего радиуса действия. В табл. 1 рассмотрены основные стандарты связи, используемые данными системами, приведены диапазоны рабочих частот, схемы модуляции сигнала, максимальная скорость передачи данных и используемые механизмы защиты информации[1].

Таблица 1

| Стандарты связи, используемые в IoT   |                              |   |  |   |
|---|------------------------------|---|--|---|
| Протокол связи  | Диапазон рабочих частот, МГц | Модуляция сигнала                                       | Скорость передачи данных, Кбит/с             | Технологии защиты                           |
| <b>Стандарты ближнего радиуса действия (дальность действия сигнала &lt; 0,1 м.)</b>         |                              |   |  |   |
| NFC/EMV   | 13,56                        | Опрос - ASK;<br>прием – BPSK                            | 106 (NFC-A,<br>NFC-B);<br>212/424<br>(NFC-F) | схема аутентификации<br>CDA; шифрование RSA |
| <b>Стандарты WPAN, WLAN, WMAN, WMAN, WHAN, WFAN (дальность действия сигнала &lt; 5 км.)</b> |                              |   |  |   |
| Wireless M-Bus:   | 433 / 868                    | GFSK,<br>4 GFSK, GMSK.                                  | 88   | Шифрование AES-128<br>бит;                  |
| WMRNET  | 433 / 470                    | CSS   | 250  | Шифрование AES-128<br>бит;                  |
| LoRa  | 864-865,5,<br>868,7-869,2    | CSS   | 37,5   | Шифрование AES-128<br>бит;                  |
| Thread  | 2400                         | OQPSK   | 256  | Шифрование AES-128<br>бит;                  |
| ZigBee  | 2400                         | OQPSK, DSSS,<br>FHSS                                    | 256  | Шифрование AES-128<br>бит;                  |
| WirelessHART  | 2400                         | OQPSK, DSSS,<br>FHSS                                    | 256  | Шифрование AES-128<br>бит;                  |
| ISA100.11a  | 2400                         | QPSK  | 256  | Шифрование AES-128<br>бит;                  |
| Z-Wave  | 869                          | FSK   | 100  | Шифрование AES-128<br>бит;                  |
| EnOcean   | 315 / 868 / 902 /<br>928     | ASK   | 125  | Шифрование AES-128<br>бит; TLS              |
| ANT+  | 2400                         | GFSK  | 1000   | Шифрование AES-128<br>бит;                  |
| Bluetooth   | 2400                         | GFSK, FHSS  | 1000   | Шифрование AES-128<br>бит;                  |
| 802.11/a/b/g/n/ac/ax  | 2400<br>5000                 | BPSK, QPSK, 16-<br>QAM, 64-QAM<br>256-QAM, 1024-<br>QAM | До 11000000                                  | Шифрование AES-256<br>бит;                  |
| 802.11ah  | 900                          | BPSK, QPSK, 16-<br>QAM, 64-QAM<br>256-QAM               | 347000                                       | Шифрование AES-256<br>бит;                  |

|  |  |                            |                                  |  |
|--|--|----------------------------|----------------------------------|--|
| IEEE 802.11p   | 5850-5925  | 16-QAM                     | 3000                             | Шифрование AES-256 бит;  |
| <b>Стандарты дальнего радиуса действия (дальность действия сигнала &lt; 100 км.)</b> |  |                            |                                  |  |
| Стриж XNB  | 868.7-869.2 - оконечные устройства; 446-446.1 - базовые станции. | DBPSK                      | 9,6                              | Алгоритмы шифрования устройства XTEA-256, ГОСТ Р 34.12-2015. Шифрование при передаче данных HTTPS/SSL алгоритм RSA, 2048 бит |
| NB-Fi  | 868,7-869,2  | DBPSK                      | 25                               | Шифрование ГОСТ Р 34.12-2015, 256 бит  |
| Sigfox   | 868  | BPSK                       | 0,1                              | Шифрование AES-128 бит;  |
| RPMA   | 2400   | RPMA/DSSS                  | 624                              | Шифрование AES-128 бит;  |
| Telensa  | 868 / 915  | FSK                        | 0,0625 – передача<br>0,5 - прием | -  |
| Wi-SUN   | 870-876<br>915-921<br>2400                                       | 2FSK, 4FSK,<br>OFDM, OQPSK | 300                              | Шифрование AES-128 бит;<br>аутентификация PANA   |

На данный момент в нашей стране признаны в качестве национальных стандартов две технологии связи IoT: российская разработка NB-Fi[2] и LoRaWAN RU[3]. До недавних пор также велась проработка французской технологии SigFox[4] для работы в России.

Информационная безопасность технологии "Интернета вещей" напрямую зависит от рисков применения стандартов беспроводных сетей. В соответствии с приказом Минцифры России от 29 марта 2019 года N 113 к опасным рискам относятся следующие[5]:

- возможность применения беспроводных сетей "Интернета вещей" для сокрытого обмена через технические устройства, входящие в сеть, электронными сообщениями;

- сложность обнаружения нелегально размещенных технических средств, осуществляющих работу с пониженной мощностью в импульсном режиме;

- абсолютно неконтролируемое возникновение взаимных радиопомех от устройств в сетях и между сетями "Интернета вещей";

- использование иностранных криптоалгоритмов, имеющих недеklarированные возможности для шифрования информации в конечных устройствах сетей IoT;

- возможность передачи собранных оконечными устройствами IoT на территории Российской Федерации данных на серверы, размещённые за пределами территории страны;

В основе безопасности любой беспроводной сети лежит принцип обеспечения конфиденциальности, целостности, доступности и контроля

доступа. Конфиденциальность подразумевает, что трафик не может быть прочитан неавторизованными пользователями, целостность не позволяет вносить преднамеренные или случайные изменения в передаваемую информацию, доступность гарантирует, что устройства IoT и пользователи могут использовать инфраструктуру в любое время, а контроль доступа ограничивает ресурсы для неавторизованных пользователей.

Вопросы обеспечения безопасности устройств «Интернета вещей» активно разрабатываются по всему миру в связи с тем, что атаки на данные устройства регулярно проводятся злоумышленниками. Зафиксированные атаки приводили к остановке работы информационных ресурсов, когда данные устройства использовались для создания трафика в составе ботнет-сетей при проведении DDOS атак, или даже каскадного отключения электропитания в городской инфраструктуре. В США, к примеру, Управление перспективных исследовательских проектов Министерства обороны создало программу Trusted Integrated Circuits[6] для разработки технологий, обеспечивающих надежность производства электронных устройств, используемых в военных системах. С целью оценки уровня уязвимостей систем там же национальный консультативный совет по инфраструктуре (NIAC) создали систему общей оценки уязвимости (CVSS) на основе базы данных общеизвестных уязвимостей информационной безопасности (CVE). А комиссия по вопросам киберпространства (CSC), в дополнение установила создание механизма для выявления и классификации шаблонов атак с помощью общедоступного каталога CAPEC (Common Attack Pattern Enumeration and Classification).

Компании, занимающиеся разработкой средств обеспечения сетевой безопасности, постоянно проводят исследования новых угроз в системах передачи данных. Согласно исследованиям компаний Fortinet[7] и Bastille[8] к основным уязвимостям и угрозам систем IoT следует отнести: устройства подслушивания/наблюдения за сетевой активностью; уязвимости в беспроводных периферийных устройствах; наличие неутвержденных политикой безопасности устройств в сети (беспроводные камеры, сотовые устройства, устройства Интернета вещей); уязвимости в системах контроля доступом и охранно-пожарной сигнализации; слабые пароли; незащищенные сети передачи данных; использование небезопасных сетевых интерфейсов в работе; отсутствие механизмов защиты конфиденциальности пользовательской информации, а также передачи и хранения данных; отсутствие постоянного администрирования устройств.

В настоящее время практически все устройства IoT созданы на базе технологии программно-определяемых радиосистем (SDR). Данная технология подразумевает использование радиопередатчиков/радиоприемников, параметры работы которых, в том числе: тип модуляции сигнала, выходная мощность сигнала, устанавливаются или изменяются программным обеспечением. Сигналы в устройствах генерируются в качестве дискретизированных цифровых сигналов, преобразованные из цифровых в аналоговый через широкополосный ЦАП (цифровой аналоговый преобразователь). В приемнике, аналогично, используется широкополосный АЦП (аналого-цифровой преобразователь), который захватывает сигнал в эфире и демодулирует форму сигнала с помощью программного обеспечения на универсальный процессор.

SDR устройства для оценки кибербезопасности сетей появились достаточно давно, первые из них собирались на основе плат видеозахвата (TV-тюнеров). С их помощью под управлением специализированного программного обеспечения проводится анализ устройств и сетей при проведении так называемых тестов на проникновение, пентестов. Основным программным инструментом для осуществления оценки защищенности является, бесспорно, Kali-Linux, который в базовой сборке включает поддержку некоторых SDR платформ, таких как RTL, HackRF One, UHD hardware и Funcube. Данные аппаратные платформы ограничены частотным диапазоном в 0,1-6000 МГц и под управлением Kali-Linux способны проводить атаки по каналам Wi-Fi, Bluetooth, NFC, ZWave и Wireless M-Bus[9]. Кроме того для данных аппаратных платформ возможно написать программное обеспечение непосредственно под используемую на объекте сетевую технологию, в случае, когда известна модуляция принимаемого сигнала[10]. При этом необходимо понимать, что SDR технологии это всего лишь один из инструментов для оценки безопасности систем беспроводной связи, использующийся в комплексе с другими методами и средствами аудита информационной безопасности.

### **Выводы**

В статье проведен обзор стандартов связи, используемых для обеспечения работы устройств «Интернета вещей», которые на данный момент активно распространяются как для использования в домашнем быте, так и для обустройства городской агломерации и управления устройствами, входящими в состав автоматизированных систем управления технологическими и производственными процессами, имеющих вероятность быть ка-

тегорированными в качестве объекта критической информационной инфраструктуры. Для возможности определения актуальных угроз были рассмотрены актуальные банки данных угроз. В качестве метода оценки защищенности был рассмотрен вариант применения устройств SDR дополнение к стандартным методам, регламентированным нормативно-методической документацией ФСТЭК, ФСБ России.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Chang Seung-Taek*, “Connectivity Technologies and Interference Signal Analysis for IoT Service.” [Электронный ресурс] // © 2023 Ch5 e4ds News. URL: [https://www.e4ds.com/webinar\\_tech\\_dn.asp?idx=125](https://www.e4ds.com/webinar_tech_dn.asp?idx=125) (Дата обращения 30.05.2023 г.)
2. ГОСТ Р 70036-2022 Информационные технологии. Интернет вещей. Протокол беспроводной передачи данных на основе узкополосной модуляции радиосигнала (NB-Fi) [Электронный ресурс] // 2007-2022 © ФГБУ «РСТ». URL: <https://protect.gost.ru/document.aspx?control=7&id=244628> (Дата обращения 30.05.2023 г.)
3. Предварительный национальный стандарт Российской Федерации. Спецификация LoRaWAN RU [Электронный ресурс] // © 2023, АО «Кодекс». URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200177821> (Дата обращения 30.05.2023 г.)
4. SigFox не покорила Россию [Электронный ресурс] // © 1999 – 2023 ComNews.ru, <https://www.comnews.ru/content/220907/2022-06-27/2022-w26/sigfox-ne-pokoril-rossiyu> (Дата обращения 30.05.2023 г.)
5. Приказ об утверждении Концепции построения и развития узкополосных беспроводных сетей связи «Интернета вещей» на территории Российской Федерации от 29 марта 2019 года N 113 [Электронный ресурс] // © 2021 Министерство цифрового развития, связи и массовых коммуникаций Российской Федерации URL: <https://digital.gov.ru/ru/documents/6410/> (Дата обращения 30.05.2023 г.)
6. Trusted Integrated Circuits (TRUST) [Электронный ресурс] // © 2023 Defense Advanced Research Projects Agency. URL: <https://www.darpa.mil/program/trusted-integrated-circuits> (Дата обращения 30.05.2023 г.)
7. What Is an IoT Device Vulnerability? [Электронный ресурс] // © 2023 Fortinet, Inc URL: <https://www.fortinet.com/resources/cyberglossary/iot-device-vulnerabilities> (Дата обращения 30.05.2023 г.)

8. Top Internet of Radios Vulnerabilities [Электронный ресурс] // © 2014 - 2023 Bastille Networks Internet Security URL: <https://www.bastille.net/research/top-10-internet-of-radios-vulnerabilities> (Дата обращения 30.05.2023 г.)
9. G. Chu and A. Lisitsa, «Penetration Testing for Internet of Things and Its Automation» 2018 IEEE 20th International Conference on High Performance Computing and Communications; IEEE 16th International Conference on Smart City; IEEE 4th International Conference on Data Science and Systems (HPCC/SmartCity/DSS), 2018, pp. 1479-1484, doi: 10.1109/HPCC/SmartCity/DSS.2018.00244.
10. Software Defined Radio (SDR) [Электронный ресурс] // © 2006–2023, Habr URL: <https://habr.com/ru/articles/158401/> (Дата обращения 30.05.2023 г.)

**Ермаков Александр Сергеевич**, старший преподаватель Пятигорского государственного университета (ПГУ), Россия, г. Пятигорск, пр. Калинина, 9, телефон: +7 (879) 340-00-00, email: [ermakov@cascad-kmv.ru](mailto:ermakov@cascad-kmv.ru)

**Ermakov Alexander Sergeevich**, Senior Lecturer of the Department of ICTMIS Pyatigorsk State University, 357500, Pyatigorsk, Kalinina 9, PSU, dept. ICTMIS, +7 (879) 340-00-00, email: [ermakov@cascad-kmv.ru](mailto:ermakov@cascad-kmv.ru)

УДК 621.397.62

Плаксиенко Владимир Сергеевич

## **КОМБИНИРОВАНИЕ ПРИ РАЗНЕСЕННОМ ПРИЕМЕ СИГНАЛОВ**

*В статье описаны особенности технической реализации алгоритмов комбинирования реализаций случайных процессов в каналах устройств обработки сигналов, основанных на учете статистических закономерностях в их взаимных превышениях, исследованы особенности технической реализации основных узлов.*

*Замирания сигналов при приеме, алгоритмы, комбинирования, характеристики, движущийся объект.*

## COMBINING WITH A SPACED SIGNAL RECEPTION

*The article describes the features of the technical implementation of algorithms for combining the implementations of random processes in the channels of signal processing devices based on taking into account statistical patterns in their mutual excess, the features of the technical implementation of the main nodes are investigated.*

*Fading of signals during reception, algorithms, combinations, characteristics, moving object.*

### **Введение**

Изложены принципы комбинирования сигналов при решении задач разнесенного приема в условиях быстрых и медленных их замираний в сформированных каналах

Современное состояние науки и техники предъявляет все более жесткие требования к технике радиоприема, передачи и обработки сигналов. Особую сложность представляет эта задача при нахождении хотя бы одного из абонентов на подвижном объекте. Освоение цифровой техники и более широкое ее использование выдвигает на первый план задачу совершенствования передачи данных. В свою очередь, при передаче данных вероятность ошибочного приема не должна превышать  $10^{-6} - 10^{-7}$ , а иногда даже  $10^{-8}$ . Эти требования значительно выше, чем требования, выдвигаемые в случае обычной телефонной и телеграфной связи [1 – 5].

Задачи радиоприема значительно усложняются при наличии замираний сигналов быстрых и медленных, когда необходимо учитывать вид закономерности замираний, например вид плотности распределения вероятностей  $W(x)$ .

Все большую актуальность приобретает проблема создания надежной техники связи с подвижными объектами, находящимися на земле и воде, в воздухе и под водой. Эта техника должна быть мало критичной как к рельефу местности и виду среды распространения, так и к ряду традиционных помех (промышленные и атмосферные помехи импульсного характера), а также к помехам от систем зажигания подвижных средств.

Анализ материалов отечественной и зарубежной печати показывает, что этой проблеме уделено серьезное внимание. Для решения ряда задач, возникающих при обработке сигналов, например, при замираниях и мно-

голучевом распространении радиоволн, наиболее перспективно применение разнесенного приема [1 - 4].

### **Основная часть**

Радиосвязь с подвижными объектам возникла практически одновременно с изобретением радио в 1895 г. русским ученым А.С.Поповым. Однако только в последнее время техника продвинулась настолько, что стала претворяться в жизнь мечта о немедленной связи с подвижными объектами.

В последние годы быстро расширилось применение передвижных радиоустановок и в гражданских, и в военных целях. Объекты, на которых устанавливаются приемно-передающие радиостанции, отличаются большим разнообразием. Среди них, прежде всего, следует выделить автомобили, поезда, летательные аппараты, морские и речные суда.

Одной из наиболее легко измеряемых характеристик передаваемого сигнала, путь распространения которого проходит через подвижный объект, является зависимость амплитуды его огибающей от местоположения приемной станции. Такая информация представляется обычно в форме записей амплитуды сигнала в зависимости от времени [1,2].

Записи сигналов, полученные исследователями, показывают, что огибающая радиосигнала, принимаемого на подвижном объекте, распределена по закону Рэлея, если измерения проводятся на расстоянии в несколько десятков длин волн при постоянном среднем уровне сигнала. На основании физических соображений это позволяет предположить, что поле в любой точке создается рядом горизонтально перемещающихся плоских волн со случайными амплитудами и углами прихода. Фазы таких волн равномерно распределены в интервале от 0 до  $2\pi$ . При этом можно считать, что амплитуды и фазы статистически независимы

В теоретических рассуждениях почти всегда вводится модель Рэлеевских замираний, несмотря на то, что известны частые и серьезные отклонения от этой модели [4 – 6].

На рис. 1 приведены плотности распределения вероятностей  $W(x)$ .

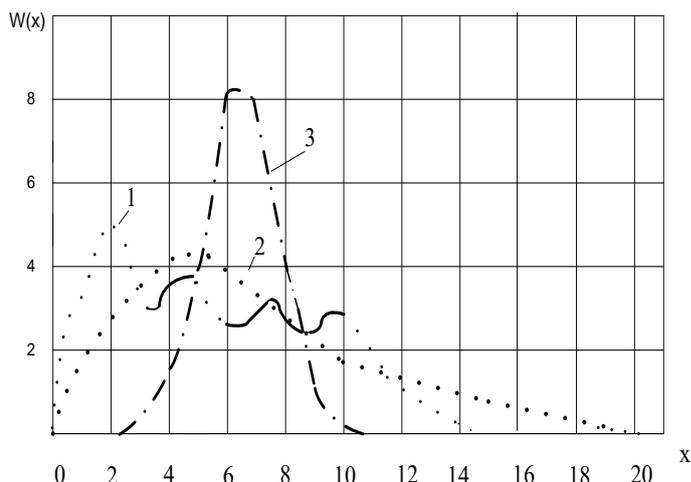


Рис. 1 Плотности распределения вероятностей

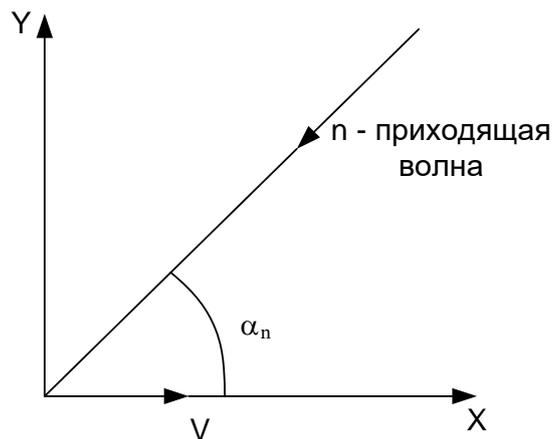


Рис. 2 Модель плоских волн

Кривая 2 соответствует рэлеевской плотности распределения вероятностей. Кривые 1 и 3 соответствуют вариантам нерэлеевских распределений плотностей вероятностей.

Кривая 3 соответствует слабым замираниям, называемым иногда поверхностными, при которых глубокие замирания относительно редки и непродолжительны, а огибающая большую часть времени находится вблизи медианы.

Кривая 1 представляет распределение, близкое к экстремальному, при котором флуктуации имеют широкий диапазон изменений, в этом случае частыми являются быстрые замирания.

Схема простой модели для случая плоских волн, поступающих от стационарных рассеивателей и падающих на подвижный объект, передвигающийся со скоростью  $V$  в направлении оси  $x$ , показана на рис. 2.

Плоскость  $XY$  предполагается горизонтально расположенной. Движение объекта вызывает доплеровский сдвиг каждой частоты, определяемый соотношением  $\omega_n = \beta V \cos \alpha_n$ ,

где  $\beta = \frac{2\pi}{\lambda}$ ,  $\lambda$  – длина волны несущего колебания.

Из приведенного соотношения следует, что доплеровский сдвиг ограничен значениями  $\pm \beta v$ , которые, как правило, значительно меньше несущей частоты.

Если передаваемый сигнал вертикально поляризован, то компоненты поля в месте расположения подвижного объекта могут быть записаны в виде

$$E_z = E_0 \sum_{n=1}^N C_n \cos(\omega_c t + \theta_n)$$

$$H_x = \frac{E_0}{\eta} \sum_{n=1}^N C_n \sin \alpha_n \cos(\omega_c t + \theta_n)$$

$$H_y = \frac{E_0}{\eta} \sum_{n=1}^N C_n \cos \alpha_n \cos(\omega_c t + \theta_n)$$

$$\theta_n = \omega_n t + \varphi_n$$

где  $\omega_c$  – несущая частота передаваемого сигнала;  $\eta$  – волновое сопротивление свободного пространства;  $E_0 C_n$  – действительная амплитуда  $n$ -й волны в компоненте поля  $E_z$ ;  $\varphi_n$  – случайная фаза, равномерно распределенная в интервале  $(0, 2\pi)$ .

Основными факторами, снижающими качество радиоприема в условиях подвижной связи, являются: быстрые и медленные замирания, сдвиг Доплера, а также случайная ЧМ. Известно, что в условиях замираний для повышения помехоустойчивости эффективно использование разнесенного приема, который используется с 1927 года и позволяет уменьшить как глубину, так и длительность замираний.

### **Выводы**

Методам разнесенного приема в мобильных системах связи посвящены многочисленные работы [1 – 11], в том числе автора [6 – 11]. В этих работах проведено рассмотрение не только различных методов формирования каналов разнесенного приема, но и методов обработки сформированных сигналов.

Показано, что наиболее эффективным является модифицированный метод комбинированного сложения [10], реализуемый устройством последдетекторной обработки сигналов при сдвоенном разнесенном приеме [9].

### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. *Parsons J.D.* The Mobile Radio Propagation Channel – Second Edition – Wiley., 2000, – 418 с.
2. Радиоприемные устройства: Учебник для вузов/Н.Н. Фомин, О.В. Головин, В.С. Плаксиенко, и др.; Под редакцией Н.Н. Фомина. – 3-е издание стереотип. – М.: Горячая линия – Телеком, 2007 – 520 с.
3. Связь с подвижными объектами в диапазоне СВЧ./Под ред. У.К. Джейкса. – М.: Связь, 1979. – 520 с.
4. *Андронов И.С., Финк Л.М.* Передача дискретных сообщений по параллельным каналам. – М.: Сов. радио, 1971. – 406 с.

5. Зюко А.Г. Помехоустойчивость и эффективность систем связи. – М.: Связь, 1972, – 360 с.
6. Багдади Е.Д. Лекции по теории систем связи. – Мир, 1964. – 402 с.
7. Плаксиенко В.С. Методы разнесенного приема в мобильных системах связи. В кн.: Вопросы формирования и обработки сигналов в радиотехнических системах. Таганрог, 1979, вып. Ш, с. 45 - 49.
8. Плаксиенко В.С. Методы обработки сигналов при разнесенном приеме. В кн.: Вопросы формирования и обработки сигналов в радиотехнических системах. Таганрог, 1980, вып. IV, с. 46 - 50.
9. Устройства приема и обработки сигналов. Учебное пособие для вузов В.С. Плаксиенко, и др.; Под редакцией В.С. Плаксиенко. – 2-е изд. испр. – М.: Учебно-методический и издательский центр «Учебная литература», 2004, – 376 с.; ил.
10. А.С. Устройство последетекторной обработки сигналов при сдвоенном разнесенном приеме № 1215180, Б. И. 1986. № 8. – №3771520/24-09. Заявл. 13.07.84. Авторы: Плаксиенко В.С., Сучков П.В., Плаксиенко Н.Е., Лантратов О.И.
11. А.С. 1067613 СССР. Способ некогерентного приема двоичных сигналов/ Плаксиенко В.С. По заявке № 3436672/18-07. от. 07.05.82. Оpubл. в Б.И., 1984, № 2

**Плаксиенко Владимир Сергеевич**, доктор технических наук, профессор кафедры ВиРС ИРТСУ ИТА Южного федерального университета, Россия, город Таганрог, улица Чехова, 22, 347900, телефон: +7(8634) 37-16-26, email: [vsplaksienko46@sfedu.ru](mailto:vsplaksienko46@sfedu.ru).

**Plaksienko Vladimir Sergeevich**, Doctor of Technical Sciences (DSc), professor of Department of VIRS Southern Federal University, 347900, Russia, Taganrog, 22 Chekhova street, phone: +7(8634) 37-16-26, email: [vsplaksienko@sfedu.ru](mailto:vsplaksienko@sfedu.ru).

## Секция – Мехатроника и робототехника

УДК 004.5

Чикрин Дмитрий Евгеньевич, Смольникова Камилла Рустемовна

### **КОЛЛАБОРАТИВНЫЕ РОБОТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ: ОБЗОР ЮРИДИКО-СИСТЕМНЫХ АСПЕКТОВ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ С НИМИ**

*Исследование инновационной области – взаимодействие человека и робота является одним из ключевых факторов Индустрии 5.0, которая ориентирована на создание среды для безопасной и эффективной коллаборации оператора и кобота. Поэтому взаимодействие человека и робота является одной из самых актуальных тем, влияющая на экономику, рынок труда и общество в целом.*

*Целью исследования является описание роботехнических систем и обзор юридико-системных аспектов взаимодействия кобота и оператора.*

*Задачами исследования являются: 1) общий обзор коллаборативных роботехнических систем по типам: решаемых задач, выполняемых работ, управления; 2) рассмотрение существующих систем оценки рисков при взаимодействии оператора и кобота.*

*Реализация поставленных задач внесет свой вклад в дальнейшее исследования области взаимодействия человека и робота, направленная на создание среды для безопасной и эффективной коллаборации оператора и кобота.*

*На данном этапе исследования необходимо отметить, что в текущих реалиях быстрорастущего сектора роботехники затруднительно классифицировать и унифицировать коллаборативные роботехнические системы в единый акт.*

*Коллаборативные роботы, взаимодействие человека и робота, коллаборативные роботехнические системы.*

Chickrin Dmitry Evgenevich, Smolnikova Kamilla Rustemovna

### **COLLABORATIVE ROBOTIC SYSTEMS AND REVIEW OF LEGAL-SYSTEM ASPECTS OF INTERACTION WITH COBOTS**

*The study of the innovative field – human-robot interaction is one of the key factors of Industry 5.0, which is focused on creating an environment for safe and efficient operator-cobot collaboration. Therefore, human-robot interaction is one of the most relevant topics affecting the economy, labor market and society as a whole.*

*The purpose of the study is to describe robotic systems and review the legal-system aspects of cobot-operator interaction.*

*The objectives of the study are: 1) a general overview of collaborative robotic systems by type: tasks to be solved, work to be performed, and control; and 2) a review of existing risk assessment systems for operator-cobot interactions.*

*The implementation of these tasks will contribute to further research on the innovative field of human-robot interaction, aimed at creating an environment for safe and effective operator-cobot collaboration.*

*At this stage of the research it should be noted that in the current realities of the rapidly growing robotics sector it is difficult to classify and unify collaborative robotic systems into a single act.*

*Collaborative robots, human-robot interaction, collaborative robotic systems.*

## **Введение**

В рамках данной статьи рассматривается более узкая область роботехники, являющаяся менее проработанной в сравнении с другими областями роботехники – коллаборативные роботы (коботы).

Отличительные особенности коллаборативных роботов заключаются в том, что коботы представляют собой автоматическое устройство, независимое от своего создателя и выполняют задачи, поставленные непосредственно оператором, работающим совместно с ним. При эксплуатации коботы не ограждаются заборами и не требуют систем безопасности. Совместная работа человека и робота является инновационной областью, направленная на создание среды для безопасного и эффективного сотрудничества между людьми и роботами для выполнения конкретной задачи [1].

Следует отметить серьезный и основательный подход зарубежных исследователей в части обзоров литературы и сценариев взаимодействия коллаборативных роботов [1-7]. В связи с отсутствием законодательного регулирования также необходимо отметить, что в российской и зарубежной литературе по-разному интерпретируется, но при этом сохраняется смысл рассматриваемого термина «коллаборативный робот».

Термин «коллаборативный робот» был введен Э. Колгейтом и М. Пешкиным еще в 1999 г., где авторы трактуют указанный термин как роботизированное устройство, которое манипулирует объектами в сотрудничестве с человеком-оператором [8].

В существующем ГОСТе Р 60.0.0.4-2019 «Роботы и робототехнические устройства. Термины и определения» [9] термин «коллаборативный робот» не конкретизирован, но при этом предусматриваются взаимосвязанные термины такие как: робот для совместных работ (collaborative robot), совместная работа (collaborative operation) и совместное рабочее пространство (collaborative workspace). С учетом стремительного развития отрасли роботехники принципиальное значение играет унификация терминологии и именно по этой причине межгосударственные стандарты в области роботехники должны четко отражать соответствующие термины и определения.

Таким образом, чтобы приблизиться к сути понятия «коллаборативный робот (кобот)» нужно понимать его как компактный, гибкий промышленный робот, предназначенный для последовательных и точных работ во взаимодействии с работником-специалистом при отсутствии дополнительного программирования.

#### **Коллаборативные робототехнические системы: сценарии взаимодействия оператора и кобота**

Базовым документом, закрепляющий подходы к безопасному взаимодействию является ГОСТ Р 60.1.2.3-2021/ISO/TS 15066:2016 «Роботы и робототехнические устройства. Требования безопасности для роботов, работающих совместно с человеком» [10].

В рамках параграфа в табличной форме рассматриваются коботы, соответствующие требованиям стандарта, а также в каждом сценарии анализируются участие оператора, техника и скорость кобота при взаимодействии оператора и кобота. Вышеуказанный стандарт [10] определяет четыре комбинации взаимосвязи и типа функционирования коботов: 1) тип кобота с защитным механизмом останова, 2) тип кобота с ручным управлением, 3) тип кобота, оснащенный системой компьютерного зрения, 4) тип кобота с ограничением силы. В табл. 1. «Сценарии совместной работы кобота и оператора» описаны сценарии безопасной совместной работы кобота и оператора, демонстрирующие предварительную оценку рисков возможных ситуаций причинения вреда оператору.

Таблица 1

## Сценарии совместной работы робота и оператора

| Сценарии совместной работы                                | Участие оператора  | Скорость робота  | Техника  | Меры безопасности  |
|---|--|--|--|--|
| Контролируемая остановка с учетом требований безопасности | Оператор не имеет контроля.  | Скорость равна нулю, если оператор находится в зоне совместной работы. | Остановка робота обеспечивается без потери мощности двигателей.  | Световые барьеры   |
| Ручное управление.  | Аварийная остановка. Контроль оператора во время обучения.   | Контролируемая скорость с учетом требований безопасности.              | Ввод данных и управление движением осуществляет оператор. Робот не обучается – работает в режиме манипулятора. | Силовой датчик.  |
| Контроль скорости и разделения зон.                       | Никакого человеческого контроля в совместном рабочем пространстве. Работа робота зависит от предварительных настроенных в его управляющей программе зон. | Контролируемая скорость с учетом требований безопасности.              | Одновременная работа. Минимальное разделительное расстояние для выполнения задач.                              | Световые барьеры.  |
| Ограничение мощности и усилия                             | Зависит от применения. Оператор работает одновременно. Контролируется сила и мощность при контакте.  | Максимальная определенная скорость для ограничения силы.               | Робот не может превысить мощность чрезмерной силы. Свободное передвижение в совместном рабочем пространстве.   | Силовые датчики. Конструкция робота, выбор приложений и конструкция ячейки робота. |

В целях эксплуатации коботов на должном уровне необходимо установить конкретные возможные повторяющиеся задачи с высокой долей предсказуемости. Исходя из вышеприведенных подходов можно выделить три основных критерия, опровергающие должное безопасное взаимодействие оператора и кобота: 1) оценка намерений человека, 2) меры безопасности, 3) антропогенно-техногенные опасности [11].

Обзор в табличной форме коллаборативных робототехнических систем по типам решаемых задач, выполняемых работ и управлению во всех сценариях коллаборации с учетом анализа участия оператора, техники и скорости кобота показывает, что на данный момент не исключено причинение вреда оператору, работающего в непосредственной близости с коботом. В рамках обзора были выявлены три основных критерия, отрицающие должную безопасность: 1) оценка намерений человека, 2) меры безопасности и 3) антропогенно-техногенные опасности

Вместе с тем нельзя не учитывать, что на текущий момент ни один из документов в полной мере не разрешают выявленные критерии в части безопасного взаимодействия человека и робота. На эту проблему обращают зарубежные футурологи и специалисты в области робототехники, иными словами предвестники новых законов робототехники, которые говорят о необходимости формирования новых законов и различных документов именно в части безопасного взаимодействия [12, 13].

### **Выводы**

В рамках данной статьи описано и проанализировано взаимодействие оператора и кобота в коллаборативных робототехнических системах, в том числе обозначены и рассмотрены существующие проблемы в части должного безопасного взаимодействия оператора и кобота.

Для достижения высокого уровня безопасности между коботом и оператором, и в особенности в части обеспечения гарантий безопасности оператору, необходимо предварительно оценивать всевозможные риски причинения вреда как со стороны кобота, так и со стороны человека в ситуациях с антропогенными опасностями.

Несомненно, коботы имеют множество преимуществ, но вместе с тем нельзя не учитывать недостатки кобота, выявленные в процессе анализа коллаборативных робототехнических систем: риск возникновения конфликтных ситуаций между коботом и оператором, необходимость дополнительного обучения персонала для работы с коботом, ограниченность функционала кобота по сравнению с работником-специалистом, ограниче-

ния в безопасности работы робота вблизи оператора, что может ограничить его применение в некоторых отраслях.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Hameed, A.; Ordys, A.; Mozaryn, J.; Sibilska-Mroziewicz, A.* 'Control System Design and Methods for Collaborative Robots: Review. *Appl. Sci.* 2023, 13, 675. <https://doi.org/10.3390/app13010675> (дата обращения: 19.05.2023).
2. *Mikkel, S. K., Roy, J. K.* Collaborative Robots: Frontiers of Current Literature / — Текст: электронный // ResearchGate: [сайт]. — URL: <https://www.researchgate.net/publication/342347381> (дата обращения: 19.05.2023).
3. Control System Design and Methods for Collaborative Robots: Review / Hameed Ayesha, Andrzej Ordys, Jakub Możaryn, Anna Sibilska-Mroziewicz. — Текст: электронный // MDPI: [сайт]. — URL: <https://www.mdpi.com/2076-3417/13/1/675> (дата обращения: 19.05.2023).
4. Picking with a robot colleague: A systematic literature review and evaluation of technology acceptance in human–robot collaborative warehouses // ResearchGate URL: <https://www.researchgate.net/publication/370206151> (дата обращения: 19.05.2023).
5. The Expanding Role of Artificial Intelligence in Collaborative Robots for Industrial Applications: A Systematic Review of Recent Works // ResearchGate URL: <https://www.researchgate.net/publication/367125121> (дата обращения: 19.05.2023).
6. Review of Collaborative Robot and Its Motion Planning Methods // ResearchGate URL: <https://www.researchgate.net/publication/370779755> (дата обращения: 19.05.2023).
7. A Review on Collaborative Robot Assembly Line Balancing Problems // ResearchGate URL: <https://www.researchgate.net/publication/364790312> (дата обращения: 19.05.2023).
8. [Электронный ресурс] URL: [https://peshkin.mech.northwestern.edu/publications/1996\\_Colgate\\_CobotsRobotsCollaboration.pdf](https://peshkin.mech.northwestern.edu/publications/1996_Colgate_CobotsRobotsCollaboration.pdf) (дата обращения: 20.05.2022).
9. ГОСТ Р 60.0.0.4-2019/ИСО 8373:2012. «Национальный стандарт Российской Федерации. Роботы и робототехнические устройства. Термины и определения» // [Электронный ресурс] URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200162703> (дата доступа: 20.05.2023).

10. ГОСТ Р 60.1.2.3-2021/ISO/TS 15066:2016 «Роботы и робототехнические устройства. Требования безопасности для роботов, работающих совместно с человеком» // [Электронный ресурс] URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200180499> (дата доступа: 20.05.2023).
11. Interact Analysis. Collaborative Robots – Apr 2022 // [Электронный ресурс] URL: <https://interactanalysis.com/research/collaborative-robots-apr-2022/> (дата обращения: 20.05.2023).
12. New Laws of Robotics: Defending Human Expertise in the Age of AI” by Frank Pasquale Copyright © 2020 by the President and Fellows of Harvard College Published by arrangement with Harvard University Press.
13. Webb A. The Big Nine: how the tech titans and their thinking machines could warp humanity / Amy Webb.. - First Edition: March 2019 изд. - New York: PublicAffairs, [2019] | Includes bibliographical references and index.: March 2019. - 203 с.

**Чикрин Дмитрий Евгеньевич**, доктор технических наук, директор Института вычислительной математики и информационных технологий КФУ, профессор кафедры анализа данных и технологий программирования ИВМиИТ-ВМК КФУ, Россия, город Казань, ул. Кремлевская 35, 42011, телефон: +7 (843) 206-52-29 доб. 3306, email: [Dmitry.kfu@ya.ru](mailto:Dmitry.kfu@ya.ru).

**Смольникова Камилла Рустемовна**, аспирант Института вычислительной математики и информационных технологий КФУ, Россия, город Казань, ул. Кремлевская 35, 42011, телефон: +7 965-589-99-66, email: [krsmolnikova@mail.ru](mailto:krsmolnikova@mail.ru).

**Chikrin Dmitriy Evgenievich**, Doctor of Technical Sciences, Director of Institute of Computational Mathematics and Information Technologies of KFU, Professor of Data Analysis and Programming Technologies Department, Institute of Computational Mathematics and Information Technologies of KFU, 35 Kremlevskaya st., 42011, Kazan, Russia, phone: +7 (843) 206-52-29 ext. 3306, email: [Dmitry.kfu@ya.ru](mailto:Dmitry.kfu@ya.ru).

**Smolnikova Kamilla Rustemovna**, Post-graduate student at KFU Institute of Computational Mathematics and Information Technologies, 35 Kremlevskaya st., 42011, Kazan, Russia, phone: +7 965-589-99-66, email: [krsmolnikova@mail.ru](mailto:krsmolnikova@mail.ru).

УДК 681.11.031.1: 629.331

Майдаченко Владислав Владиславович

## **ЭЛЕКТРОМОБИЛИ И СОВРЕМЕННЫЕ СИСТЕМЫ НАКОПЛЕНИЯ И ХРАНЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ**

*В работе рассматриваются различные перспективные и реализованные проекты систем накопления энергии для электротранспорта, их особенности, принцип работы, классификация и области применения. Приведены сведения об эффективности систем накопления электроэнергии электромобилей. На основе обзора оценены возможности для внедрения различных систем накопления энергии в автомобильной отрасли.*

*Системы накопления электроэнергии, электромобили, электрохимические накопители, электрические накопители, механические накопители.*

Maydachenko Vladislav Vladislavovich

## **ELECTRIC VEHICLES AND MODERN SYSTEMS OF ELECTRIC ENERGY ACCUMULATION AND STORAGE**

*The paper discusses various promising and implemented projects of energy storage systems for electric transport, their features, operating principle, classification and applications. The information about the efficiency of electric vehicle power storage systems is given. Based on the review, the possibilities for the implementation of various energy storage systems in the automotive industry are evaluated.*

*Electric power storage systems, electric vehicles, electrochemical energy storage systems, electrical energy storage systems, mechanical energy storage systems.*

### **Введение**

В связи с задачей по постепенному снижению вредных выбросов от автотранспорта в густонаселенных районах все более актуальным становится расширение использования электромобилей и электротранспорта в качестве основного средства передвижения и перевозок грузов [1]. Два основных направления развития электромобилей – это совершенствование технологий накопления и хранения электроэнергии и повышение эффективности работы электросистем автомобиля. Повышение эффективности электрооборудования и систем управления электроэнергетическими си-

стемами – это комплексная проблема, которой посвящено большое количество работ у нас в стране и за рубежом [2-7]. В области совершенствования технологий накопления и хранения электроэнергии регулярно предлагаются новые решения, что заставляет пересматривать устоявшиеся технологические решения для источников энергии в автомобилях.

### **Основная часть**

Целью работы является обзор основных типов накопителей электроэнергии для автомобилей и электротранспорта, существующих и разрабатываемых в данный момент и выбор наиболее оптимального решения в этой области на сегодняшний день.

Накопители электроэнергии можно классифицировать как:

- а) механические накопители;
- б) накопители энергии магнитного поля в виде электромагнитов;
- б) накопители энергии электрического поля в виде различных емкостей конденсаторов;
- г) электрохимические накопители.

Основное различие заключается в способе хранения электрической энергии [8-10].

Электрохимические накопители можно разделить на два типа – топливные элементы и батареи. Топливные элементы являются химическими источниками тока, которые преобразуют энергию топлива в электрическую энергию.

Примером таких источников является ионно-мембранный топливный элемент, основным элементом которого является ионообменная мембрана. Через такую мембрану свободно проникают ионы водорода, которые осуществляют перенос заряда между катодом и анодом. Для газов, вступающих в реакцию, в виде водорода, представляющего собой топливо, и кислорода, являющегося окислителем, мембрана представляет собой препятствие. Для повышения эффективности работы элемента применяется платиновый катализатор. Преимуществом таких источников является эффективность в сравнении со способами преобразования энергии, предполагающими сжигание топлива. Недостатками таких элементов являются: сложности, сопутствующие хранению и использованию водорода и высокая стоимость катализатора из платины.

Свинцовый аккумулятор представляет собой батарею, позволяющую осуществлять многократную зарядку путем подачи от внешнего источника напряжения, более высокого, чем собственное напряжение аккумулятора.

В зависимости от режима работы, аккумуляторы бывают: тяговые, способные обеспечивать длительно равномерный ток в нагрузке, и стартовые, обеспечивающие большой ток для потребителя на короткий период времени. Конструктивно свинцовый аккумулятор содержит два электрода – свинцовый и из двуокиси свинца, погруженные в раствор серной кислоты. На поверхностях электродов имеются неровности, позволяющие увеличить площадь взаимодействия веществ при химической реакции. При этом электроды расположены на небольшом расстоянии друг от друга. Блок электродов изготавливается в двух вариантах: рулонный блок электродов или набор отдельных электродов. Рулонная конструкция электродов, закручивающихся вокруг воображаемого цилиндра или пластины, позволяет создавать компактные батареи малой ёмкости. Призматические аккумуляторы выполняются в виде блока отдельных электродов в пластиковом или металлическом корпусе с возможностью добавления электролита внутрь аккумулятора. Одно из преимуществ свинцовых аккумуляторов – это обратимость химических процессов в них. При заряде такого аккумулятора на поверхности соответствующих электродов может образовываться свинец и его двуокись. В электролите при этом происходят процессы восстановления серной кислоты. Батарея обладает высоким внутренним сопротивлением из-за электролита и относительно небольшой контактной поверхности электродов. Одним из недостатков свинцово-кислотных аккумуляторов является зависимость внутреннего сопротивления от режима, в котором они работают – зарядки или разрядки. Дополнительными недостатками этого типа батарей являются: затратный по времени цикл накопления заряда и ограниченное число циклов заряда и разряда. Для использования в автомобилях выпускают и другие типы батарей, например, литий-ионные и никель-металлгидридные. Они обладают меньшим весом и длительностью периода зарядки, но при этом обеспечивают заметно большее количество циклов заряда – разряда. Еще один тип аккумуляторов – натрий-ионные является аналогом литий-ионных батарей. Принцип работы этой батареи и конструкция соответствуют литий-ионной батарее, с той лишь разницей, что вместо лития используются ионы натрия ионы в качестве носителей заряда. Эти типы батарей нашли широкое применение в автомобильной промышленности, для питания различных электронных и робототехнических устройств. На рис. 1. приведены структуры свинцово-кислотной батареи (а) и ионно-мембранного топливного элемента (б). На рис 1а: 1 – анод, 2 – катод, 3 – серная кислота, 4 – отделитель, 5 – ток в нагрузке, 6 –  $2\text{H}^+$

(зарядка),  $7 - 2H^+$  (разрядка). На рис. 1б: 1 – анод, 2 – катод, 3 – мембрана, 4 – водород, 5 – вода, 6 – воздух, 7 – кислород, 8 – ток в нагрузке, 9 –  $2H_2$ , 10 –  $4H^+$ . Сравнение основных типов батарей сведено в таблицу 1 [10-11].

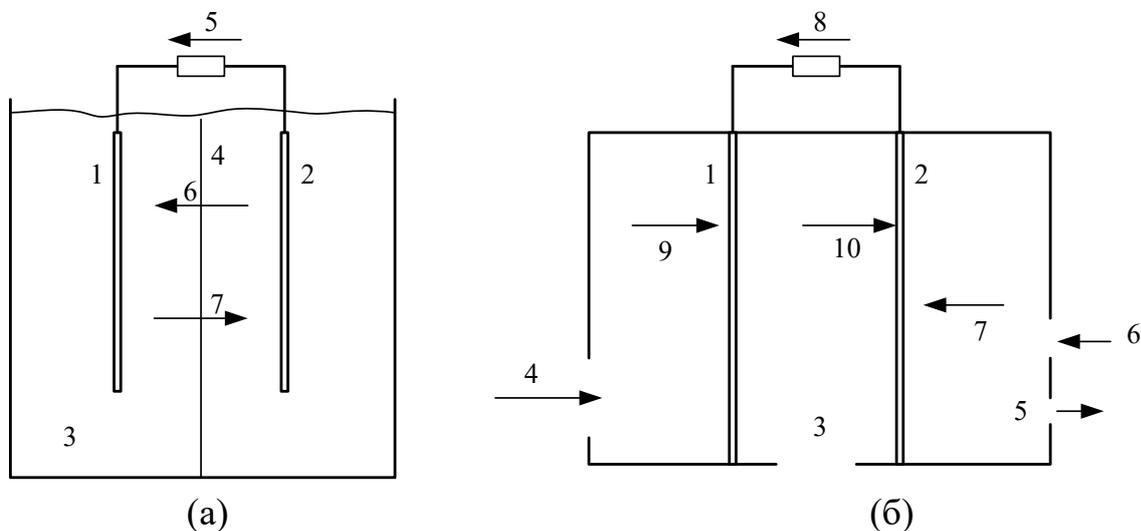


Рис.1. Структуры свинцово-кислотной батареи (а) и ионно-мембранного топливного элемента (б)

Таблица 1

Сравнение типов электрохимических батарей

|                          | Натрий-ионный аккумулятор                         | Литий-ионный аккумулятор.                        | Свинцово-кислотная батарея                   |
|--------------------------|---|--|--|
| Стоимость                | Низкая  | Высокая  | Низкая                                       |
| Плотность энергии        | Средняя / Высокая                                 | 250–693 Вт · Ч / л                               | 80–90 Вт · ч / л                             |
| Удельная энергия         | 90 Вт · ч / кг                                    | 220 Вт · ч / кг                                  | 35–40 Вт / кг                                |
| Удельная мощность        | 2–5 кВт / кг                                      | 245–430 Вт / кг                                  | 180 Вт / кг                                  |
| Безопасность             | Высокая   | Низкая   | Умеренная                                    |
| Материалы                | Доступные   | Редкие   | Токсичные                                    |
| Циклическая стабильность | Высокая (незначительный саморазряд)               | Высокая (незначительный саморазряд)              | Умеренная (высокая саморазряд )              |
| КПД                      | Высокий (>90%)                                    | Высокий (>90%)                                   | Низкий (< 75%)                               |
| Диапазон температур      | от -40 °С до 60 °С                                | от -25 °С до 40 °С                               | -40 От °С до 60 °С                           |
| Примечания               | Менее развитая технология; непростояя транспорти- | Ограничения на транспортировку в разряженном со- | Освоенная технология; быстрая зарядка невоз- |

Электрические накопители хранят электрическую энергию в первоначальном виде. Разделяются накопители на два вида: суперконденсаторы и индуктивные накопители со сверхпроводящим проводником. Суперконденсатор – пассивный электрический элемент, используемый для статического накопления электроэнергии. Суперконденсатор, состоит из двух электродов, между которыми находится диэлектрик. В отличие от конденсаторов, в данном электрическом устройстве используются электроды с разной проводимостью, образуя дополнительный диэлектрик. Сверхпроводящий индуктивный накопитель (СПИН) – электрический аппарат, запаасающий электроэнергию в виде постоянного магнитного поля, создаваемого постоянным током. Конструктивно СПИН представляет собой катушку индуктивности из сверхпроводящего материала, систему охлаждения и преобразователь [12-13].

Механические накопители электроэнергии – электрические устройства, позволяющие сохранять электроэнергию в виде механической энергии. Эффективные механические накопители разделяются на гравитационные и механические. Гравитационный накопитель хранит электроэнергию в виде потенциальной энергии. Маховичный накопитель – энергетическая установка, накапливающая электроэнергию с помощью кинетической энергии вращающегося тела. Перспективным маховичным накопителем является супермаховик, в котором вместо массивного металлического диска используются высокопрочные металлические ленты либо канаты [14-15].

### **Выводы**

В качестве накопителя электроэнергии оптимальным выбором является литий-ионный аккумулятор. Использование данного типа аккумулятора обусловлено не только приведенными техническими характеристиками, но и их доступностью в продаже, простотой обслуживания, долговечностью. Аккумуляторы данного типа активно используются в различных системах накопления электроэнергии, поэтому на рынке существует большой выбор электрооборудования, предназначенного для работы с литий-ионными аккумуляторами.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Asif Faiz, Christopher S. Weaver, Michael P. Walsh.* Air Pollution from Motor Vehicles: Standards and Technologies for Controlling Emissions. – Washington, D.C.: World Bank, – 1996. – 246 с.
2. *Robert A. Huggins.* Energy Storage. – Springer Science & Business Media, – 2010. – 424 с. DOI 10.1007/978-1-4419-1024-0
3. *Дидманидзе О.Н., Парлюк Е.П., Пуляев Н.Н.* Эффективность тягово-транспортных средств при использовании накопителей энергии. – Москва: Мегалит, – 2018. – 189 с. EDN: UZVGNY
4. *Волощенко Ю.П., Гайдук А.Р., Зарифьян А.А., Колтахчян П.Г., Медведев М.Ю., Полуянович Н.К., Пилюхов В.Х.* Энергосберегающее управление движением поездов с электрической тягой: монография. – Ростов-на-Дону – Таганрог, –2016. – 353. EDN: XUYYPX
5. *Волощенко П.Ю., Волощенко Ю.П.* Моделирование нелинейных электрических процессов в элементах электронной волновой цепи: учебное пособие.– Ростов-на-Дону; Таганрог: Издательство ЮФУ, 2018. – 116 с. EDN: YTPREQH
6. *Волощенко П.Ю., Волощенко Ю.П.* Основы теории одномерной нелинейной электрической и электронной волновой цепи: учебное пособие.– Ростов-на-Дону; Таганрог: Издательство ЮФУ, 2015. – 100 с. EDN: VGYXNH
7. *Волощенко П.Ю., Волощенко Ю.П.* Моделирование электронных компонентов интегральных схем методами теории электрических цепей. – Ростов-на-Дону; Таганрог: Издательство ЮФУ, 2017. – 111 с. EDN: YHOZPL
8. *Соколовский Ю.Б., Роткин В.М., Лимонов Л.Г., Зырянов В.М.* Актуальная ветроэнергетика. Генерация и накопление энергии: Серия Монографии НГТУ. – Новосибирск: НГТУ, – 2021. 211 с. EDN: JODKJL
9. *David Elliott.* Energy Storage Systems. – IOP Publishing Ltd, –2017. DOI 10.1088/978-0-7503-1531-9
10. *Brian Mok.* Types of Batteries Used for Electric Vehicles // Prof. Robert B. Laughlin, Department of Physics, Stanford University, Stanford, CA 94305 [сайт]. – 2017. – URL: <http://large.stanford.edu/courses/2016/ph240/mok2/> (дата обращения 20.05.2023)
11. *Alex Scott.* Challenging Lithium-Ion Batteries With New Chemistry // Chemical & Engineering News [сайт]. – 2015. – URL: <https://cen.acs.org/articles/93/i29/Challenging-Lithium-Ion-Batteries-New.html> (дата обращения 20.05.2023)

12. *Воротынцев В.С., Волощенко Ю.П.* Выбор накопителя электрической энергии для системы электроснабжения жилого загородного дома// Всероссийская научная конференция «Теоретические и методические проблемы эффективного функционирования радиотехнических систем» («Системотехника-2022»). Проблемы современной системотехники: сборник научных статей. – Таганрог: Изд-ль ИП Ступин С.А, 2022. -вып.XVI. С.32-37. EDN: DVQITY
13. *Lei Li et al.* High-Performance Pseudocapacitive Microsupercapacitors from Laser-Induced Graphene // *Advanced Materials*. Germany: John Wiley & Sons Wiley-VCH, –2015. DOI: 10.1002/adma.201503333
14. *Воротынцев В.С., Волощенко Ю.П.* Системы накопления электроэнергии и выбор накопителя для жилого дома//Компьютерные и информационные технологии в науке, инженерии и управлении «КомТех-2022»: материалы Всероссийской научно-технической конференции с международным участием : в 2 т . – Ростов-на-Дону; Таганрог: ЮФУ, 2022. – Том 2. С. 106 – 113. EDN: KDDTBQ
15. Superflywheel. Kinetic Energy Storage (KEST) // *Kinetic-Power* [сайт]. – 2022. – URL: <https://www.kinetic-power.com/?lang=en> (дата обращения 20.05.2023)

**Майдаченко Владислав Владиславович**, студент гр. РТб03-30, кафедра электротехники и мехатроники, Южный федеральный университет, 347928, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44; тел.: +78634371694; e-mail: [maidachenko@sfedu.ru](mailto:maidachenko@sfedu.ru).

**Maydachenko Vladislav Vladislavovich**, student gr. RTб03-30, Department of Electrical Engineering and Mechatronics, Southern Federal University, 44, Nekrasovskiy street, Taganrog, 347928, Russia; phone: +78634371694; e-mail: [maidachenko@sfedu.ru](mailto:maidachenko@sfedu.ru).

УДК 621.315: 621.318.4: 621.396

Горелов Марк Олегович

## **ТЕХНОЛОГИИ БЕСПРОВОДНОЙ ПЕРЕДАЧИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ**

*В докладе рассмотрены имеющиеся на сегодняшний день технологии и системы беспроводной передачи энергии на основе магнитной индукции, радиочастотного луча и резонансной связи. Приведены основные параметры и схемы систем, рассмотрены конструктивные и схемные решения, исследованы возможности для применения системы беспроводной передачи энергии в быту и промышленности.*

*Системы беспроводной передачи энергии, зарядные устройства, магнитная индукция, радиочастотный луч, резонансная связь, фазированная антенная решетника, СВЧ техника.*

Gorelov Mark Olegovich

## **TECHNOLOGIES OF WIRELESS TRANSMISSION OF ELECTRICAL ENERGY**

*The report examines the currently available technologies and systems of wireless energy transmission based on magnetic induction, radio frequency beam and resonant connection. The main parameters and schemes of the systems are given, design and circuit solutions are considered, the possibilities for the use of a wireless power transmission system in everyday life and industry are investigated.*

*Wireless power transmission systems, chargers, magnetic induction, radio frequency beam, resonant connection, phased array antenna, microwave technology.*

### **Введение**

Возрастающее количество потребителей электрической энергии, а также разнообразие их типов приводит к необходимости развития качественно технологий в области энергетики, позволяющих передавать энергию без проводов. Такие технологии особенно актуальны для питания подвижных объектов, таких как мобильные роботы, множества датчиков и ретрансляторов сигнала, когда организация автономного питания не представляется целесообразной.

Впервые эксперименты по передаче энергии без проводов предпринял Никола Тесла в 1899 году. Параллельно с изысканиями Николы Теслы в 1894 М. Утен и М. Ле-Блан изобрели способ индуктивного питания элек-

тромабиля, использующий генератор переменного тока с частотой 3 кГц. Поэтому можно сказать, что индуктивная беспроводная передача энергии и передача с помощью радиочастотного луча были изобретены почти одновременно в начале 20 века.

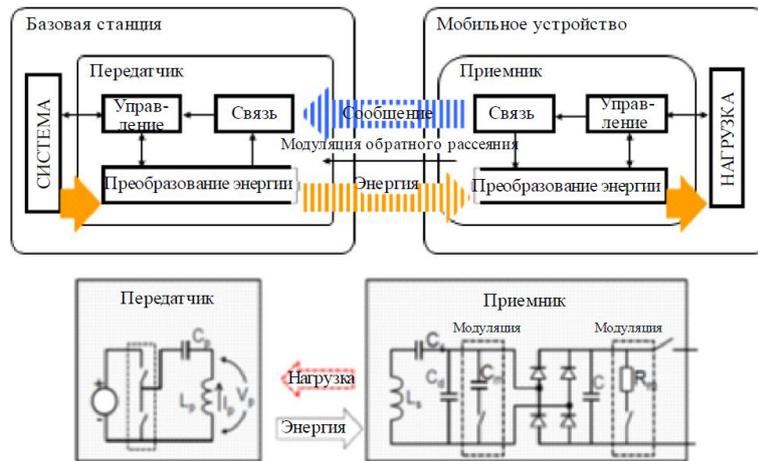
К изобретению современных технологий беспроводной передачи энергии с помощью радиочастотного луча можно отнести эксперименты Уильяма Брауна, который использовал в своей лаборатории СВЧ диапазон длин волн для передачи энергии от передатчика к приемнику в 60-е годы 20 столетия. При этом ему удалось получить удовлетворительный КПД преобразования постоянного тока в микроволны и обратно в постоянный ток приблизительно равный 54%. В 80-е и 90-е годы 20 века появилось множество изобретений, развивающих технологию индукционной беспроводной передачи энергии, применяемой, например, для зарядки автомобилей. В 2000-е годы исследователями Массачусетского технологического института был предложен новый способ нелучевой передачи энергии, использующей технологию резонансной связи [1]. Исследования в области беспроводной энергоэффективной передачи энергии активно проводятся и в нашей стране [2-5].

### **Основная часть**

Классификация технологий беспроводной передачи энергии:

- 1) на основе магнитной индукции;
- 2) передача посредством радиочастотного луча;
- 3) резонансная связь.

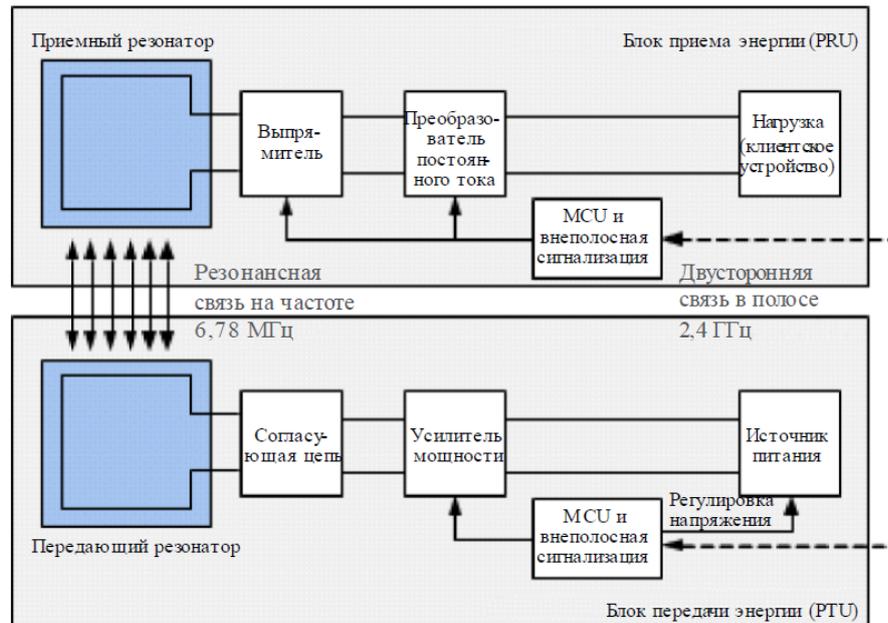
Технология беспроводной передачи энергии на основе явления электромагнитной индукции хорошо известна и давно применяется в трансформаторах, в которых первичная и вторичная обмотки индукционно связаны, например, с помощью магнитного сердечника. Недостатком этой технологии является падение эффективности передачи энергии, если воздушный зазор больше диаметра катушки или обмотки не выставлены в пределах расстояния смещения. На эффективность передачи существенное влияние оказывает коэффициент связи между катушками и их параметры. Однако эта технология обеспечивает высокую эффективность передачи энергии при выполнении необходимых условий по сравнению с методом на основе магнитного резонанса. Пример системы беспроводной передачи энергии на основе магнитной индукции приведен на рис. 1 [6].



*Рис. 1. Система беспроводной передачи энергии на основе магнитной индукции*

Сейчас эта технология широко применяется для зарядки мобильных и приносных устройств. Наличие решетки из нескольких катушек снижает требования по позиционированию зарядной станции и приемного устройства.

В технологии беспроводной передачи энергии на основе магнитного резонанса применяются индуктивность и емкость в качестве резонатора, осуществляющего передачу энергии при резонансе между катушками индуктивности передатчика и приемника. Если резонансная частота катушек передатчика и приемника согласована, то имеется возможность передавать энергию на расстояния нескольких метров с высоким КПД при слабой связи между катушками. Существенным преимуществом этой технологии является возможность свободно размещать катушку приемника относительно катушки источника энергии. На рис. 2 приведена схема системы беспроводной передачи энергии на основе магнитного резонанса [6].



*Рис. 2. Система беспроводной передачи энергии на основе магнитного резонанса*

Беспроводная передача энергии с помощью радиочастотного луча характеризуется:

- 1) возможностью осуществлять передачу энергии на большие расстояния;
- 2) между источником и приемником не образуется электромагнитная связь;
- 3) широким спектром возможных приложений технологии: организация передачи электроэнергии от мощных источников, осуществлении питания множества маломощных сенсоров, проектирование беспроводных зарядных устройств.

Технология передачи энергии с помощью радиочастотного луча требует применения антенн. Приемная и передающая антенны не образуют электромагнитную связь, поэтому число приемников и передатчиков не определяется характеристиками их схем. Системы беспроводной передачи энергии с посредством радиочастотного луча можно разделить на: использующие широкий луч, позволяющий питать большое число потребителей на небольших расстояниях; системы передачи в замкнутых пространствах; использующие узкий луч для питания нагрузки, размещенной на дальней дистанции. Системы беспроводной передачи энергии с использованием узкого луча и в закрытом пространстве позволяют избавиться от нежелательного излучения в пространстве с помощью настройки свойств антенн.

Узкий луч может формироваться с помощью фазированной антенной решетки, состоящей из множества антенн с управляемой фазой и амплитудой, которая позволяет управлять направлением и формой луча. Для систем беспроводной передачи энергии посредством радиочастотного луча используются СВЧ диапазон длин волн. Поэтому основной проблемой является разработка энергоэффективных СВЧ приемных и передающих устройств, позволяющих повысить КПД преобразования переменного тока в постоянный. Современные системы, преобразующие энергию переменного тока в постоянный, позволяют достичь, например, на частоте 2,4 ГГц значения КПД около 80% [1].

На рис.3 приведена реальная установка беспроводной передачи энергии с использованием узкого луча на основе фазированных антенных решеток, предназначенная для работы СВЧ диапазоне, предложенная JAXA [7]. С помощью таких установок японское космическое агентство планирует организовать передачу энергии от источников в космосе на Землю.



Рис. 3. Установка беспроводной передачи энергии на основе фазированных антенных решеток.

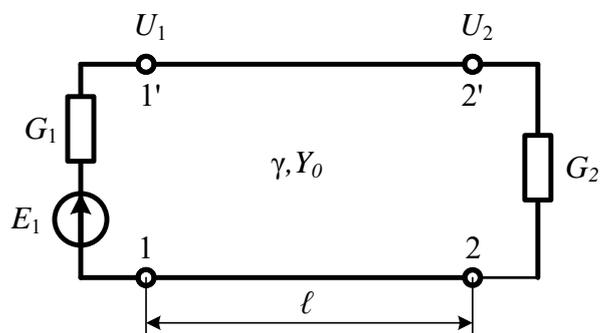


Рис. 4. Эквивалентная схема установки беспроводной передачи энергии с использованием узкого луча.

Системы беспроводной передачи энергии с использованием узкого луча – достаточно сложные устройства. На рис.4 приведена эквивалентная схема, моделирующая процесс передачи энергии в установке на рис.3 [8-12]. Эквивалентная схема состоит из источника  $E1$  с проводимостью  $G1$ , подключенного к зажимам обобщенной длинной линии, моделирующей свободное пространство, через которое передается энергия и нагрузки  $G2$ , моделирующей приемную часть.

### **Выводы**

В докладе рассмотрены имеющиеся на сегодняшний день технологии и системы беспроводной передачи энергии на основе магнитной индукции, радиочастотного луча и резонансной связи. Приведены основные параметры и схемы систем. Системы беспроводной передачи энергии на основе магнитной индукции уже нашли широкое применение в быту и промышленности для устройств зарядки устройств связи, мобильных, компьютерных и робототехнических систем. Установка беспроводной передачи энергии с использованием узкого луча предназначены для создания мощных передающих систем на большие расстояния и пока остаются перспективной технологией из-за ряда нерешенных проблем с формированием и фокусировкой луча.

### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Отчет МСЭ-R SM.2303-3 (06/2021). Беспроводная передача энергии с использованием технологий, не предусматривающих передачу с помощью радиочастотного луча // Международный союз электросвязи (МСЭ) [сайт]. –2021. URL: [https://www.itu.int/dms\\_pub/itu-r/opb/rep/R-REP-SM.2303-3-2021-PDF-R.pdf](https://www.itu.int/dms_pub/itu-r/opb/rep/R-REP-SM.2303-3-2021-PDF-R.pdf) (дата обращения 15.05.2023)
2. Волощенко П.Ю., Волощенко Ю.П. Моделирование нелинейных электрических процессов в элементах электронной волновой цепи: учебное пособие.– Ростов-на-Дону; Таганрог: Издательство ЮФУ, 2018. – 116 с. EDN: YTPREQH
3. Волощенко П.Ю., Волощенко Ю.П. Основы теории одномерной нелинейной электрической и электронной волновой цепи: учебное пособие.– Ростов-на-Дону; Таганрог: Издательство ЮФУ, 2015. – 100 с. EDN: VGYXNH
4. Волощенко П.Ю., Волощенко Ю.П. Моделирование электронных компонентов интегральных схем методами теории электрических цепей. –

- Ростов-на-Дону; Таганрог: Издательство ЮФУ, 2017. – 111 с. EDN: YHOZPL
5. *Волощенко Ю.П., Волощенко П.Ю.* Диагностика трансформации амплитуды сигнала в логическом элементе СВЧ // Современные информационные технологии: тенденции и перспективы развития: Материалы XXVIII научной конференции. – Ростов-на-Дону; Таганрог: ЮФУ, 2021. С. 108-110. EDN: CVABBU
  6. Отчет МСЭ-R SM.2392-0 (08/2016). Применения беспроводной передачи энергии с помощью радиочастотного луча // Международный союз электросвязи (МСЭ) [сайт]. – 2016. –URL: [https://www.itu.int/dms\\_pub/itu-r/opb/rep/R-REP-SM.2392-2016-PDF-R.pdf](https://www.itu.int/dms_pub/itu-r/opb/rep/R-REP-SM.2392-2016-PDF-R.pdf) (дата обращения 15.05.2023)
  7. Ground demonstration testing of microwave wireless power transmission // Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA) [сайт]. – 2015. –URL: <https://www.kenkai.jaxa.jp/eng/research/ssps/150301.html> (дата обращения 15.05.2023).
  8. *Волощенко Ю.П., Волощенко П.Ю.* Нелинейные электрические колебания в электронной цепи учебное пособие.– Ростов-на-Дону; Таганрог: Издательство ЮФУ, 2020. 106 с. EDN: WKEESE
  9. *Волощенко П.Ю., Волощенко Ю.П.* Экспериментальное исследование регенеративного вторичного источника СВЧ энергии // Известия высших учебных заведений. Электромеханика, 2020. Т. 63. № 4. С. 84-89. EDN: DUGXJU
  10. *Карпук А.Н., Волощенко П.Ю., Волощенко Ю.П.*, Моделирование регенеративного модуля активной фазированной антенной решетки // Моделирование. Фундаментальные исследования, теория, методы и средства. Материалы 18-ой Национальной молодежной научно-практической конференции. – Новочеркасск: Лик, 2018. С. 82-83. EDN: XVNTSH
  11. *Карпук А.Н., Волощенко П.Ю., Волощенко Ю.П.*, Моделирование резистивно-негатронного элемента СВЧ целевой активной антенны// Моделирование. Фундаментальные исследования, теория, методы и средства. Материалы 18-ой Национальной молодежной научно-практической конференции. – Новочеркасск: Лик, 2018. С. 83-84. EDN: UWCHNA
  12. *Shinohara, N.*, "Wireless Power Transfer via Radiowaves (Wave Series)", ISTE Ltd. and John Wiley & Sons, Inc., Great Britain and United States, 2014.1.

**Горелов Марк Олегович**, студент гр. РТбо3-30, кафедра электротехники и мехатроники, Южный федеральный университет, 347928, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44; тел.: +78634371694; e-mail: magorelov@sfnedu.ru

**Gorelov Mark Olegovich**, student gr. RTbo3-30, Department of Electrical Engineering and Mechatronics, Southern Federal University, 44, Nekrasovskiy street, Taganrog, 347928, Russia; phone: +78634371694; e-mail: magorelov@sfnedu.ru

УДК 621.548:621.31:004.94

Гисцов Владислав Геннадьевич

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ MPPT КОНТРОЛЛЕРА СОЛНЕЧНОЙ БАТАРЕИ В СРЕДЕ MATLAB/SIMULINK**

*В работе приведена модель солнечной батареи с MPPT контроллером, основанном на ШИМ управлении DC/DC преобразователем. Описан алгоритм работы контроллера и результаты моделирования системы.*

*Simulink, контроллер заряда, солнечная батарея, солнечная электростанция, MPPT, моделирование.*

Gistcov Vladislav Gennadevich

## **MODELLONG THE MPPT SOLAR BATTERY CONTROLLER IN MATLAB/SIMULINK**

*The paper presents a model of a solar battery with an MPPT controller based on PWM control of a DC/DC converter. The algorithm of the controller operation and the results of the system simulation are described.*

*Simulink, Charge controller, Solar battery, Solar power plant, MPPT, Simulation*

### **Введение**

Все большую популярность в мире набирают альтернативные источники энергии, в частности, для электроснабжения частных домов активно используется гибридная установка, основанная на комплексном использовании ветра и солнечной энергии. Для преобразования солнечного излучения (далее СИ) в электричество применяют солнечные батареи (далее СБ), а для повышения эффективности последних используют различные алгоритмы, заложенные в контроллер, являющийся звеном между СБ и потре-

бителем. Современные типы контроллера заряда – MPPT (Maximum Power Point Tracking/слежение за точкой максимальной мощности) - используют различные алгоритмы для поиска наилучшей точки по напряжению для снятия наибольшей мощности со СБ. Для отработки алгоритмов предлагается модель солнечной электростанции (далее СЭС), позволяющей обойтись без сборки на реальных элементах [1-7].

### Основная часть

Для моделирования контроллера СЭС (рис. 1) были выбраны: 4 СБ по 220 Вт на 24-35 В – aavid solar asms-220p, аккумуляторная батарея (далее АКБ) 24 В на 200 А·ч, начальный заряд 20%. В модели имеется функция отключения СБ при перезаряде АКБ, но основной упор идет на реализацию алгоритмов MPPT. Настройка Simulink: Discrete 1e-06s, ode23tb [8-9].

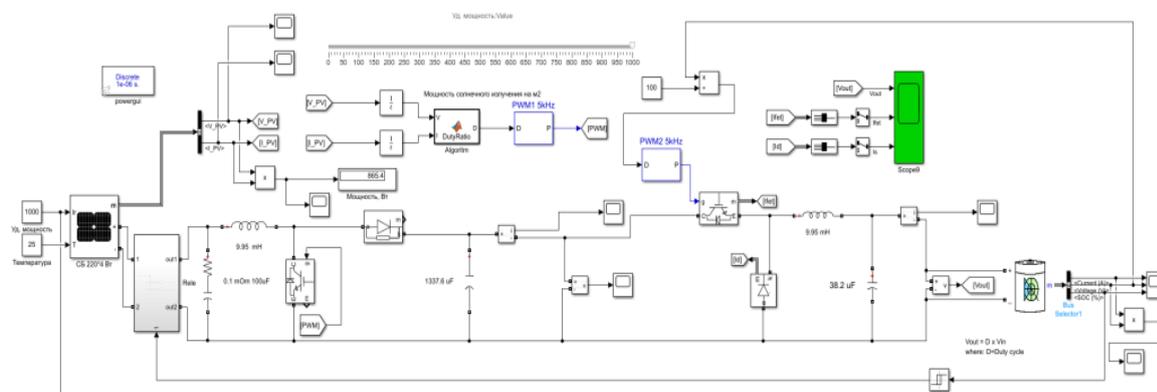


Рис. 1. Модель контроллера СЭС

Структурная схема СЭС с MPPT контроллером продемонстрирована на рис. 2.

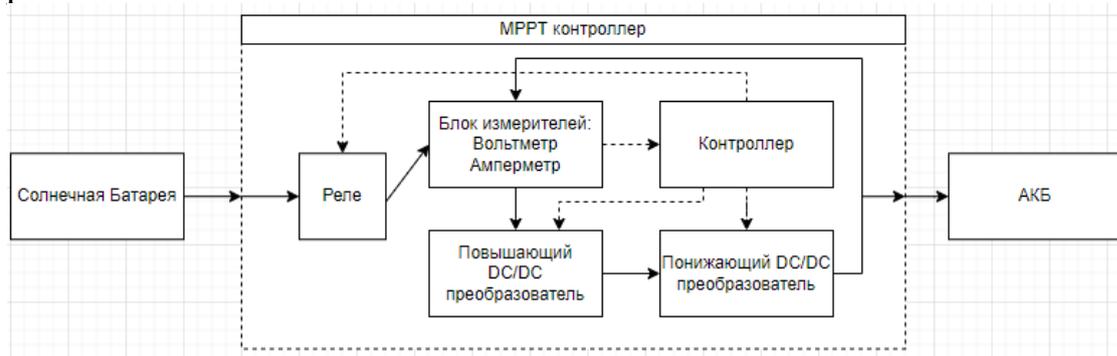


Рис. 2. Структурная схема модели.

MPPT контроллер представляет собой управляемый DC/DC преобразователь и состоит из последовательно соединенных повышающего (boost) и понижающего (buck) DC/DC преобразователей [2].

Расчет минимальных значений для элементов схемы повышающего преобразователя находится следующим образом:

$$L = \frac{V_{ip}(V_{op} - V_{ip})}{f_{sw} \cdot \Delta I \cdot V_{op}} = \frac{24(100 - 24)}{5000 \cdot 0,3667 \cdot 100} = 9,95 \text{ мГн}$$

$$C = \frac{I_{op}(V_{op} - V_{ip})}{f_{sw} \cdot \Delta V \cdot V_{op}} = \frac{8,8(100 - 24)}{5000 \cdot 1 \cdot 100} = 1337,6 \text{ мкФ}$$

где  $V_{ip}$  – напряжение входа boost преобразователя, из диапазона 24-35 В выбирается рабочее напряжение 24 В;  $V_{op}$  – выходное напряжение boost преобразователя и принимается равным за 100 В;  $f_{sw}$  – частота ШИМ, принимается за 5 кГц;  $\Delta I$  – допустимое отклонение по току, принимается за 1%, что в пересчете с номинального входного тока  $P_H/V_{in}=220*4/24=36,67$  А дает 0,3667 А;  $I_{op}$  – номинальный выходной ток  $P_H/V_{in}=220*4/100=8,8$  А;  $\Delta V$  – допустимое отклонение по напряжению, принимается за 1%, что в пересчете с номинального выходного напряжения 100 В равняется 1 В.

Расчет минимальных значений для элементов схемы понижающего преобразователя находится следующим образом:

$$L = \frac{V_{op}(V_{ip} - V_{op})}{f_{sw} \cdot \Delta I \cdot V_{ip}} = \frac{24(100 - 24)}{5000 \cdot 0,3667 \cdot 100} = 9,95 \text{ мГн}$$

$$C = \frac{\Delta I}{8 \cdot f_{sw} \cdot \Delta V} = \frac{0,3667}{8 \cdot 5000 \cdot 0,24} = 38,2 \text{ мкФ},$$

где  $V_{ip}$  – напряжение входа buck преобразователя 100 В;  $V_{op}$  – выходное напряжение buck преобразователя и принимается равным за 24 В;  $f_{sw}$  – частота ШИМ, принимается за 5 кГц;  $\Delta I$  – допустимое отклонение по току, принимается за 1%, что в пересчете с номинального входного тока  $P_H/V_{in}=220*4/24=36,67$  А дает 0,3667 А;  $\Delta V$  – допустимое отклонение по напряжению, принимается за 1%, что в пересчете с номинального выходного напряжения 24 В равняется 0,24 В [3].

Для реализации МРРТ был выбран широко распространенный алгоритм Р&О (perturb and observe) – метод возмущения и наблюдения (рис. 3) [10]. Контроллер выполняет полное сканирование параметров подключенного к нему солнечного модуля и рассчитывает текущее положение ТММ (точки максимальной мощности). Для моделирования, ввиду небольшого временного диапазона, алгоритм работает по изменению извлекаемой мощности из СБ и не содержит временной паузы для деактивации поиска ТММ.

На рис. 4 можно наблюдать выработку мощности СБ с использованием режима МРРТ и без него. При солнечном излучении 1000 Вт/м<sup>2</sup> с МРРТ

режимом СБ вырабатывает около 865 Вт, без – 789 Вт. При моделировании с МРРТ наблюдаются резкие броски по мощности, что объясняется некомпенсированными переходными процессами и погрешностями, но это не мешает конечной работе алгоритма.

На рис. 5 можно наблюдать выработку мощности СБ с использованием режима МРРТ при изменении солнечного излучения во времени и осциллограмму мощности заряда АКБ при МРРТ (мощность заряда после потерь на контроллере). При СИ 1000 Вт/м<sup>2</sup> с и без МРРТ – 865/789 Вт, 300 Вт/м<sup>2</sup> – 255/238, 700 Вт/м<sup>2</sup> – 605/551 Вт. Мощность заряда (учитывает потери) – 850, 250, 600 Вт соответственно.

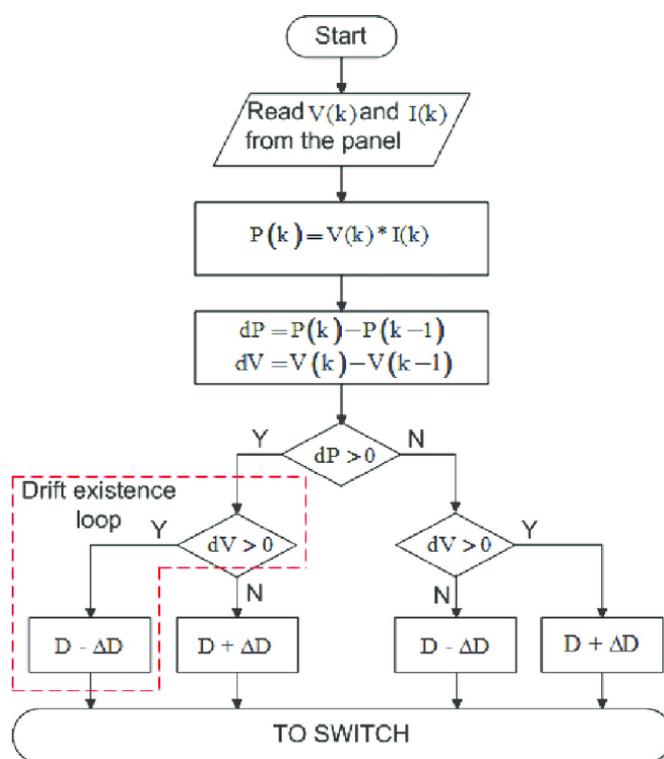


Рис. 3. Алгоритм P&O.

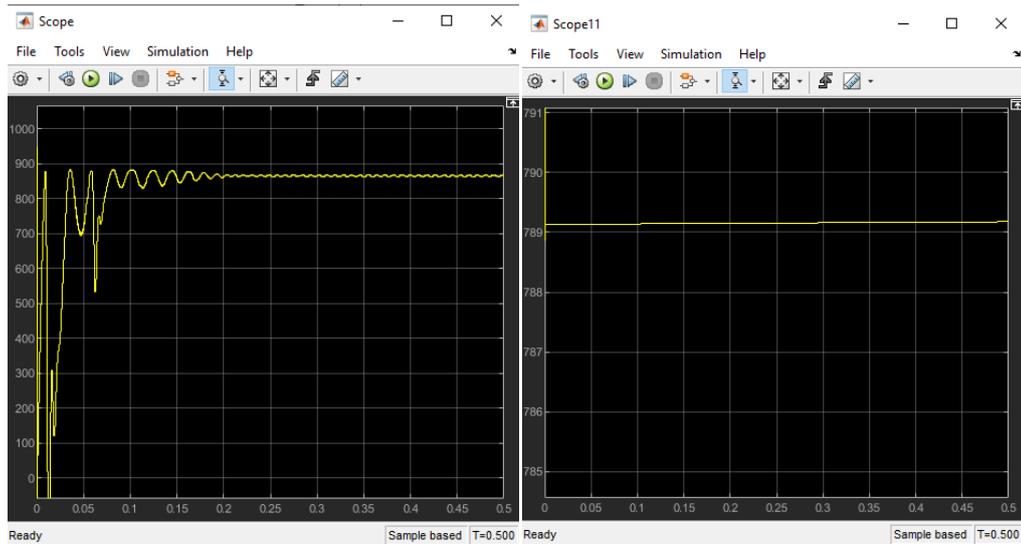


Рис. 4. Осциллограммы вырабатываемой мощности СБ, слева – с МРРТ, справа – без.

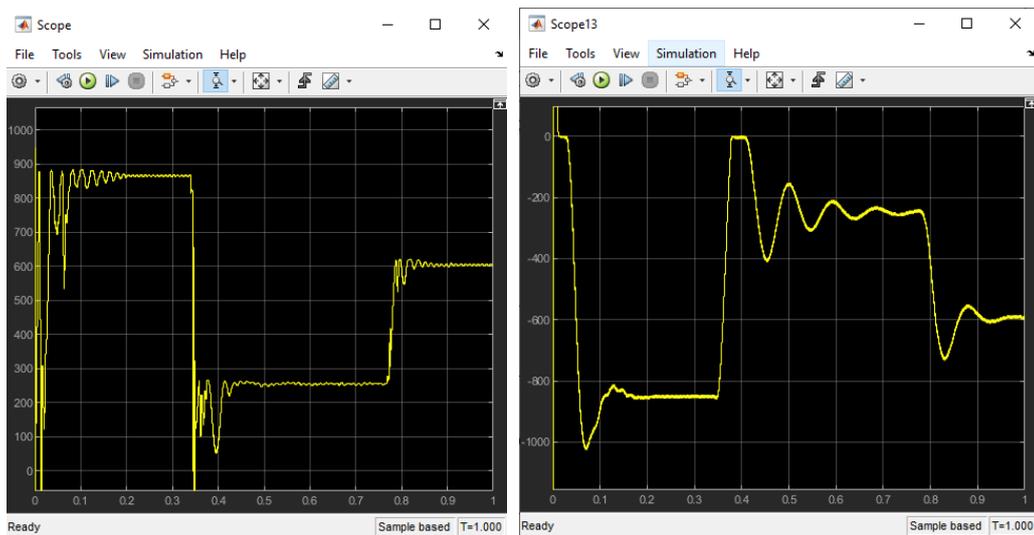


Рис. 5. Слева осцил. мощности СБ, справа – мощность заряда АКБ.

В работе осуществлено моделирование МРРТ контроллера с Р&О алгоритмом, показана работоспособность модели и алгоритма по реальному образцу солнечной батареи. Модель реализована на основе набора функциональных блоков, которые позволяют осуществить моделирование как логических, так и силовых частей реального устройства. Также принимаются во внимание всплески и погрешности, обусловленные численной неточностью используемых методов расчета внутри программного комплекса.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *T.Mariprasath, V.Kirubakaran, M.Ravindaran*. Modern Trends in Renewable Energy Technology. Cambridge Scholars Publishing, 2019, P. 129. ISBN: 1-5275-3884-2
2. *Гисцов В.Г., Волощенко Ю.П.* Моделирование МРРТ преобразователя электрической энергии фотогальванической панели // Компьютерные и информационные технологии в науке, инженерии и управлении «КомТех-2022»: материалы Всероссийской научно-технической конференции с международным участием: в 2 т. –Ростов-на-Дону; Таганрог: ЮФУ, 2022. – Том 2. С. 101 – 106. EDN: IXFFDM
3. *Гисцов В.Г., Волощенко Ю.П.* Расчёт и выбор электрооборудования ветроэнергетической установки малой мощности для электроснабжения жилого загородного дома// Компьютерные и информационные технологии в науке, инженерии и управлении «КомТех-2021»: материалы Всероссийской научно-технической конференции с международным участием: в 2 т.– Ростов-на-Дону; Таганрог: ЮФУ, 2021. с. 49-56. EDN: TOAVVU
4. *Батагов К.А., Гисцов В.Г., Волощенко Ю.П.* Исследование характеристик модели автономной электрической системы с маломощной ветроэнергетической установкой // Всероссийская научная конференция «Теоретические и методические проблемы эффективного функционирования радиотехнических систем» («Системотехника-2020»). Проблемы современной системотехники: сборник научных статей. – Таганрог: Изд-ль ИП Ступин С.А, 2020. -вып.XIV. С.63-69 EDN: KYGEAE
5. *Волощенко П.Ю., Волощенко Ю.П.* Основы теории одномерной нелинейной электрической и электронной волновой цепи: учебное пособие.– Ростов-на-Дону; Таганрог: Издательство ЮФУ, 2015. – 100 с. EDN: VGYXNH
6. *Батагов К.А., Гисцов В.Г., Волощенко Ю.П.* Моделирование горизонтально-осевой ветроэнергетической установки малой мощности в программном пакете Matlab//Компьютерные и информационные технологии в науке, инженерии и управлении «КомТех-2020»: материалы Всероссийской научно-технической конференции с международным участием: в 2 т. –Ростов-на-Дону; Таганрог: ЮФУ, 2020. – Том 2. С. 56 – 62. EDN: ZCLQZY
7. *Волощенко П.Ю., Волощенко Ю.П.* Моделирование нелинейных электрических процессов в элементах электронной волновой цепи: учебное посо-

бие.– Ростов-на-Дону; Таганрог: Издательство ЮФУ, 2018. – 116 с. EDN: YTPREQH

8. *Волощенко П.Ю., Волощенко Ю.П.* Моделирование электронных компонентов интегральных схем методами теории электрических цепей. – Ростов-на-Дону; Таганрог: Издательство ЮФУ, 2017. – 111 с. EDN: YHOZPL
9. *Бурьков Д.В., Волощенко Ю.П.* Математическое и имитационное моделирование электротехнических и робототехнических систем: учебное пособие. – Ростов-на-Дону; Таганрог: Издательство ЮФУ, 2020. – 159 с. EDN: EGHJRJ
10. *Muralidhar Killi, Susovon Samanta*, «Modified Perturb and Observe MPPT Algorithm for Drift Avoidance in Photovoltaic Systems» IEEE Transactions on Industrial Electronics , т. 62, № 9, pp. 5549-5559, 2015.
11. *Muhammad H. Rashid*, Power Electronics: Circuits, Devices & Applications, Pearson, 2013.

**Гисцов Владислав Геннадьевич**, студент гр. РТмо2-31, кафедра электротехники и мехатроники, Южный федеральный университет, 347928, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44; тел.: +78634371694; e-mail: [giscov@sfnu.ru](mailto:giscov@sfnu.ru)

**Giscov Vladislav Gennadevich**, student gr. RTmo1-31, Department of Electrical Engineering and Mechatronics, Southern Federal University, 44, Nekrasovskiy street, Taganrog, 347928, Russia; phone: +78634371694; e-mail: [giscov@sfnu.ru](mailto:giscov@sfnu.ru)

УДК 681.11.031.1: 629.331

Грунтовский Всеволод Игоревич

## **АНАЛИЗ И СБОР ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ СОЗДАНИЯ КОНЦЕПЦИИ РОБОТА-МЕДБРАТА**

*С ростом требований к робототехническим системам, обладающим повышенной автономностью, а также с увеличением количества медицинских роботов-медбрата на рынке, возникает актуальная потребность в технологиях оценки и сравнения их степени эффективности. В данной статье предлагается сформулировать методы оценки и классификации степени автономности роботов-медбрата. Предложенный подход направлен на систематизацию оценок качества и эффективности применения автономных роботов-медбрата в медицине. Это позволит быстро подготовить методическую базу для широкого*

*внедрения робототехники в медицинскую практику. Одним из положительных следствий такого системного подхода является унификация формулировок и решений (модулей) в задачах, связанных с оценкой и сравнением степени автономности медицинских роботов-медбратов.*

*Робототехническая система, робот-медбрат, робототехника, автономность роботов.*

Gruntovsky Vsevolod Igorevich

## **ANALYSIS AND COLLECTION OF INFORMATION TO CREATE THE CONCEPT OF A NURSE-ROBOT**

*With the growing requirements for robotic systems with increased autonomy, as well as with the increase in the number of medical robotic nurses on the market, there is an urgent need for technologies for evaluating and comparing their degree of effectiveness. This article proposes to formulate methods for assessing and classifying the degree of autonomy of robotic nurses. The proposed approach is aimed at systematizing assessments of the quality and effectiveness of the use of autonomous robotic nurses in medicine. This will allow you to quickly prepare a methodological base for the widespread introduction of robotics into medical practice. One of the positive consequences of such a systematic approach is the unification of formulations and solutions (modules) in tasks related to assessing and comparing the degree of autonomy of medical robotic nurses.*

*Robotic system, nurse robot, robotics, autonomy of robots.*

### **Введение**

С тех пор, как медицинские роботы впервые начали появляться в 1980-х годах, они произвели революцию в отрасли здравоохранения. Рынок роботизированных медицинских устройств развивается с каждым годом. Благодаря достижениям в области искусственного интеллекта и технологий, использование роботизированного медицинского оборудования расширилось. Так во время пандемии COVID-19, где медицинские работники использовали медицинские робототехнические устройства для ограничения воздействия на человека болезнетворных патогенов. Так робот Томму помогал врачам и медсестрам ухаживать за пациентами с коронавирусом. Он использовался в больнице Сирколо в Варезе, городе в северной части Ломбардии, который является эпицентром вспышки коронавируса в Италии. По своей сути робот являлся обычным ассистентом от ком-

пании Sanbot. Если оборудовать робота необходимыми датчиками и специальными инструкциями, то возможно снять большее количество рутинных задач медицинских работников.

Первый шаг в анализе информации для создания концепции многофункционального робота медбрата - это определение задач, которые он должен выполнять:

1. Измерение параметров пациента, таких как температура тела, давление, пульс, уровень кислорода в крови.
2. Подача лекарственных средств, контроль за правильностью принятия медикаментов, а также информирование пациента о расписании приема лекарств.
3. Осуществление первичного обследования пациента, а также помощь при проведении диагностических процедур, таких как взятие анализов и обработка полученной информации.
4. Обеспечение комфорта пациента, включая подготовку к кровати, уход за кожей, смену белья и другие мероприятия.
5. Коммуникация с пациентами и их родственниками, предоставление им необходимых информации, ответы на вопросы и поддержка.
6. Поддержка медицинского персонала, включая подачу необходимого оборудования и материалов, а также помощь в проведении медицинских процедур.
7. Осуществление контроля за соблюдением мер безопасности и гигиены для предотвращения распространения инфекций и других заболеваний.

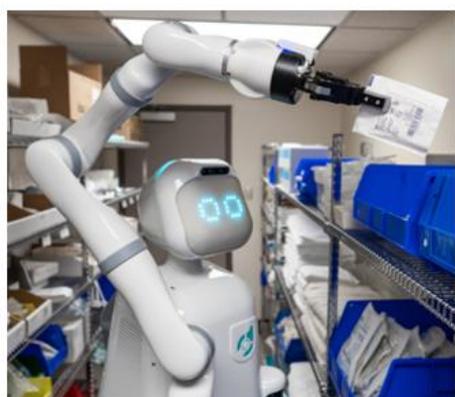
**Анализ существующих роботизированных систем в медицинской практике, чтобы выявить их преимущества и недостатки.**

Было выбрано 3 робота (Moxi, Tommi и Hanwha), которые использовались в медицинских учреждениях, для помощи врачам и заботой о пациентах. Так на сравнительной таблице видно, что многие роботы представляют собой роботов-ассистентов, модернизированных для работы в больницах. Представленные образцы можно считать отличным примером роботов-медбратов.

Таблица 1

## Сравнение функциональности автономных медицинских роботов

| Робот  | Наличие манипулятора | Доставка лекарств | Доставка еды | Доставка Лаб. образцов | Связь с доктором  | Автономное передвижение |
|--------|----------------------|-------------------|--------------|------------------------|-------------------|-------------------------|
| Мохі   | да                   | да                | нет          | да                     | да                | да                      |
| Томмі  | нет                  | нет               | нет          | нет                    | да                | да                      |
| Нанхва | нет                  | да                | да           | нет                    | да                | да                      |
| Робот  | Время работы, час    | Док станция       | Платформа    | Скорость передвижения  | Полезная нагрузка | Дальность сканирования  |
| Мохі   | 8-10                 | да                | ROS          | 0.8                    | 50 (6)            | 25                      |
| Томмі  | 10-24                | да                | ROS 1.1      | 0.8 м/сек              | -                 | 16                      |
| Нанхва | 19                   | да                | Tug          | 0.76 м/сек             | 60                | 30                      |



Moxi(Fetch robotics)



Tommi(Sanbot)



Hanwha(Tug)

*Рис.1. Медицинские роботы*

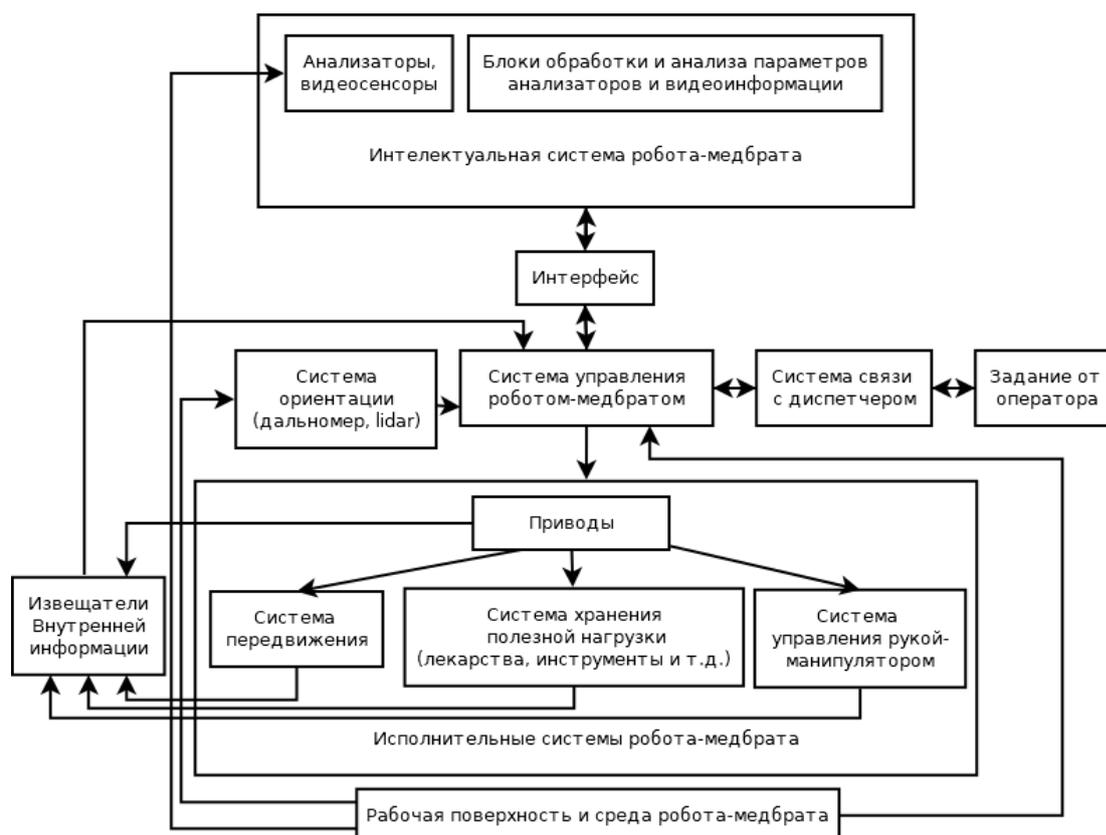


Рис.2. Блок-схема робота медбрата

Из представленной таблицы видно, что на текущий момент функциональность роботов-медбратов, позволяет снять некоторые рутинные задачи с медицинских работников. И, наконец, необходимо изучить возможности технических систем, которые будут использоваться при создании робота-медбрата, таких как искусственный интеллект, машинное обучение, датчики, моторика. Кроме того, использование датчиков позволяет роботам-медбратам получать информацию о состоянии пациента, а моторика позволяет им выполнять сложные манипуляции, например, проводить хирургические операции. В целом, развитие технических систем и применение новых технологий в медицине открывает широкие возможности для создания более эффективных и функциональных роботов-медбратов, которые помогут снять нагрузку с медицинских работников и обеспечить более высокую качество медицинской помощи.

### **Взаимодействие робота-медбрата и человека.**

Робот-медбрат должен уметь вести себя так, чтобы не вызывать у пациентов чувства недоверия или страха. Важно изучить способы коммуникации между медицинским персоналом и пациентами, чтобы робот-медбрат мог эффективно коммуницировать с пациентами и легко осу-

ществлять передачу информации. Взаимодействие пациентов с Роботом-медбратом может зависеть от нескольких факторов, таких как возраст и здоровье пациента, его опыт работы с технологиями и уровень комфорта в общении с роботами. Для большинства пациентов взаимодействие с Роботом-медбратом может быть новым и незнакомым опытом, поэтому робот должен быть способен предоставить инструкции по использованию и описывать процессы и действия для улучшения опыта пациента. Робот-медбрат может быть особенно полезен для пациентов, которые испытывают страх перед медицинским персоналом или подверглись травмам или операциям. В этом случае, робот может предоставить более уютную и безопасную атмосферу для пациента, что может помочь уменьшить стресс и повысить уровень доверия.

#### **Использование базы медицинских данных пациентов.**

Для того, чтобы искусственный интеллект мог точно определить признаки заболевания, необходимо обучаться на достоверных данных. Данные для обучения могут быть получены из различных источников, таких как электронная медицинская карта, клинические лабораторные исследования, генетические данные, результаты электрофизиологических исследований (например, ЭЭГ или ЭКГ) и диагностические изображения. Перед тем, как данные будут использованы для обучения искусственного интеллекта, они проходят этап аннотирования специалистами. Врачи проводят детальный анализ диагностических снимков, данных электрофизиологических и генетических исследований, оставляя свои заключения, которые становятся ориентиром для ИИ. Такой подход позволяет повысить точность и достоверность результатов, получаемых в ходе работы искусственного интеллекта.

#### **Примеры отечественного и зарубежного опыта применения ИИ для анализа ЭКГ:**

1. Сервис "ЭКГ" от СберМедИИ представляет уникальную возможность для специалистов медицинского сообщества существенно сократить время обработки электрокардиограммы пациентов, находящихся в критическом состоянии. Благодаря этому инновационному подходу врачи-эксперты могут проводить онлайн-консультации и определять дальнейшие реанимационные мероприятия с высокой точностью и скоростью.

2. В журнале *International Scholarly Research Notices* было проведено исследование, которое описывает инновационную нейронную сеть, способную определять наличие ишемических зон (областей, имеющих недо-

статочное кровоснабжение) на электрокардиограммах. Эта технология дает возможность классифицировать нормальные участки сердца и выделить области, требующие особого внимания и дополнительных исследований.

3. Команда исследователей из Шэньчжэньского института передовых технологий создала новую нейронную сеть, способную диагностировать признаки пароксизмальной аритмии - сердечного заболевания, которое проявляется в виде приступообразного учащения сердечного ритма. Эта разработка может существенно улучшить процесс диагностики и лечения этого заболевания.

### **Выводы.**

В первой части представлены задачи, которые должен выполнять робот-медбрат. Выполнен обзор аналогов медицинских роботов подходящих под критерии задач. Описаны основные принципы взаимодействия между человеком и роботом. Затем предлагается использование нейросетей для анализа состояния пациентов. В заключении, отдавая отчёт сложности рассмотренной проблемы хочется увидеть дальнейшее развитие этой отрасли в мире. Ведь сотрудничество робота-медбрата и врача поможет улучшить результаты диагностики и сохранить время на общение с пациентом.

### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. ГОСТ Р 60.0.0.4–2019. Роботы и робототехнические устройства. Термины и определения. –[https://allgosts.ru/25/040/gost\\_r\\_60.0.0.4-2019](https://allgosts.ru/25/040/gost_r_60.0.0.4-2019).
2. *Кайснер Э., Раффо Д., Вунш-Винсент С.* Робототехника: прорывные технологии, инновации, интеллектуальная собственность // Форсайт.–2016. – No 2. –Т. 2.
3. *Янушевич, Подураев, Панченков:* Медицинская робототехника. С 5-15
4. Фей Цзян, Юн Цзян, Хуэй Чжи и др. Искусственный интеллект в здравоохранении: прошлое, настоящее и будущее // Stroke Vasc Neurol. 2017 декабрь; 2(4): 230–243. doi: 10.1136/svn-2017-000101
5. *Джон Хикнер, Памела Джей Томпсон, Том Уилкинсон и др.* Проблемы врачей первичного звена при назначении клинических лабораторных анализов и интерпретации результатов // J Am Board Fam Med. март-апрель 2014 г.; 27(2):268-74. doi: 10.3122/jabfm.2014.02.130104.
6. *Хани Х. Абуджуде, Джайлз В. Боланд, Ратачай Кевлай и др.* Интерпретация компьютерной томографии (КТ) брюшной полости и малого таза: частота расхождений среди опытных рентгенологов // Eur Radiol. август 2010 г.;20(8):1952-7. doi: 10.1007/s00330-010-1763-1

7. Дайдзю Уэда, Акира Ямамото, Акитоши Симадзаки и др. Обнаружение рака легких с помощью искусственного интеллекта с помощью читателей из нескольких учреждений с помощью рентгенограмм грудной клетки от разных поставщиков: ретроспективное клиническое проверочное исследование // BMC Cancer. 2021 18 октября; 21 (1): 1120. doi: 10.1186/s12885-021-08847-9
8. Дайдзю Уэда, Акира Ямамото, Акитоши Симадзаки и др. Обнаружение рака легких с помощью искусственного интеллекта с помощью читателей из нескольких учреждений с помощью рентгенограмм грудной клетки от разных поставщиков: ретроспективное клиническое проверочное исследование // BMC Cancer. 2021 18 октября; 21 (1): 1120. doi: 10.1186/s12885-021-08847-9
9. Нейронные сети [Электронный ресурс] // IBM. URL: <https://www.ibm.com/cloud/learn/neural-networks> (дата обращения 28.01.2022)
10. Сахар Х. Эль-Хафиф, Мохамед А. Эль-Бравани. Автоматизированный классификатор сигналов ЭКГ на основе искусственной нейронной сети // International Scholarly Research Notices. Том 2013, 2013 г., 6 с. doi: 10.1155/2013/261917

**Грунтовский Всеволод Игоревич**, студент гр. РТбо3-40, кафедра робототехники и мехатроники, Южный федеральный университет, 347928, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44; тел.: +78634371694; e-mail: [gruntovskii@sfedu.ru](mailto:gruntovskii@sfedu.ru)

**Gruntovsky Vsevolod Igorevich**, student gr. RTbo3-40, Department of Robotics and Mechatronics, Southern Federal University, 347928, Almaty, st. Taganrog, per. Nekrasovsky, 44; tel.: +78634371694; e-mail: [gruntovskii@sfedu.ru](mailto:gruntovskii@sfedu.ru)

УДК 656.7.025

Юров Юрий Юрьевич

## НАЗЕМНАЯ ПЛАТФОРМА ДЛЯ БПЛА ДОСТАВКИ

*В последние годы использование беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) для доставки товаров и грузов стало все более популярным. Однако, существует ряд проблем, связанных с этим процессом: ограниченный радиус действия БПЛА, необходимость подзарядки или замены аккумуляторов, а также сложности при посадке на неровной поверхности. В этой статье мы*

*рассмотрим что такое платформа и предложим новую модель автономной платформы, предназначенную для решения задач приема товаров от дронов, зарядки аккумуляторов, выдачи товара, а так же его хранения и защиты от неблагоприятных условий.*

Yurov Yury Yuryevich  
**GROUND PLATFORM FOR UAV DELIVERY**

*In recent years, the use of unmanned aerial vehicles (UAVs) to deliver goods and cargo has become increasingly popular. However, there are a number of problems associated with this process: the limited range of the UAV, the need to recharge or replace batteries, and the difficulty of landing on uneven ground. In this article, we will consider what a platform is and propose a new model of an autonomous platform designed to solve the problems of receiving goods from drones, charging batteries, issuing goods, as well as storing and protecting them from adverse conditions.*

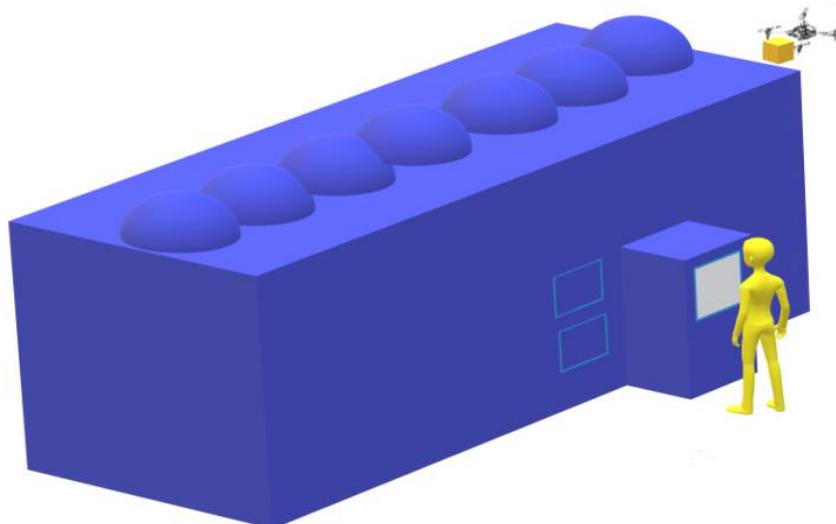
**Введение.** Основное назначение автоматической платформы — решение проблемы малого времени работы БПЛА коптерного типа (беспилотный летательный аппарат). Аппарат может выполнить зарядку или замену батарей в посадочной станции, и продолжить свою миссию. Также такие платформы могут иметь и другие функции автоматического наземного обслуживания БПЛА — получение грузов, укрытие и хранение БПЛА, обмен данными и т.п.

БПЛА используются для широкого круга задач, таких, как доставка грузов, изучение местности, сбор данных и т.д. Среди существенных недостатков можно выделить маленький объем аккумулятора, уязвимость систем дистанционного управления, и высокий шум. Сама платформа поможет устранить ряд проблем. Она обеспечит комфортную выдачу товара клиенту, и избавит от шума при доставке. Также при посадке дрона на платформу, она будет заряжать аккумуляторы, что позволит увеличить доступную зону покрытия [1], [3], [4], [5].

Цель проекта заключается в том, чтобы создать модель автономной платформы, предназначенную для решения задач приема товаров от дронов, зарядки аккумуляторов, выдачи товара, а так же его хранения и защиты от неблагоприятных условий [2].

Что предлагается:

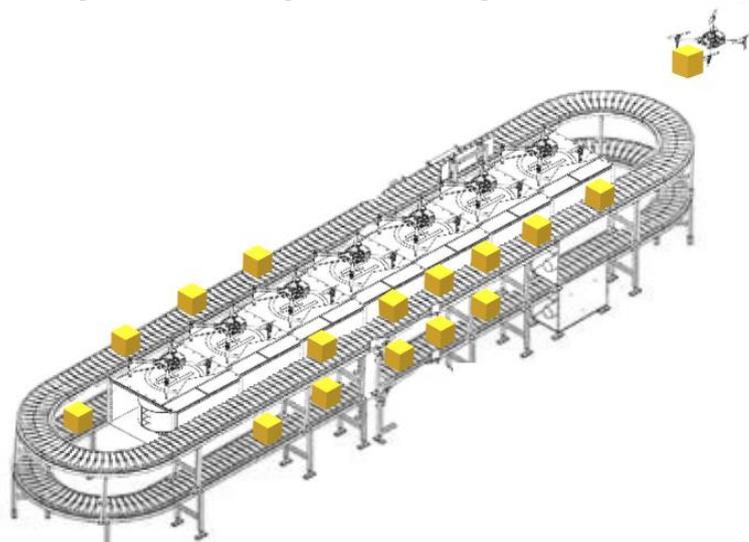
- 1) удобный сервис, с быстрой доставкой и получением;
- 2) автоматическое функционирование, которое обеспечит автономное функционирование на длительный срок;
- 3) надежное хранение, которое обеспечит защиту от неблагоприятных условий;
- 4) для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи;
- 5) разработать схему системы автоматического управления стыковочной платформы;
- 6) разработать систему моделирования стыковочной платформы;
- 7) провести компьютерное моделирование функционирования стыковочной платформы с использованием разработанной системы автоматического управления;
- 8) исследовать надежность подсистем и механизмов. Внести корректировки.



*Рис. 1 Внешний облик*

Платформа имеет простую форму параллелепипеда. Верхняя часть используется для посадки БПЛА, одна из боковых стенок имеет окно для выдачи товара (см. рис. 1). Внутри находится конвейерная система (рис. 2). Для повышения надежности она оснащена двумя двигателями. В этом случае, если один выйдет из строя, то система продолжит функционировать. Для переключения режимов система оснащена коробкой передач. С использованием конвейерной ленты товар распределяется внутри платформы между отделами хранения [6], [7], [8].

Процедура доставки товара выглядит следующим образом. БПЛА приземляется на свободную посадочную площадку.



*Рис. 2 Внутреннее устройство*

Затем летательный аппарат вместе с грузом отпускается внутрь платформы, где поступает на конвейер. Сенсоры считывают код груза и отправляют в один из подотделов конвейерной ленты при этом запоминая в каком подотделе он находится. Клиент взаимодействует с платформой через терминал, на котором он вводит код. Платформа выбирает товар с соответствующим штрих кодом. Обнаружив груз, система переместит его в место выдачи. Когда груз помещается в место выдачи, перед клиентом открывается одно из окон для получения. Окно выдачи закрывается после удаления товара [9].

Автономная платформа состоит из следующих элементов:

- вычислительная плата на базе микроконтроллера;
- исполнительные механизмы - двигатели, драйверы, коробка передач и т.д.;
- система беспроводной связи Wi-Fi 2.4/5.8 ГГц;
- сенсорная система - датчики расстояния, давления и т.д.

Блок управления исполнительными механизмами - драйверы [10]

## Алгоритм функционирования системы

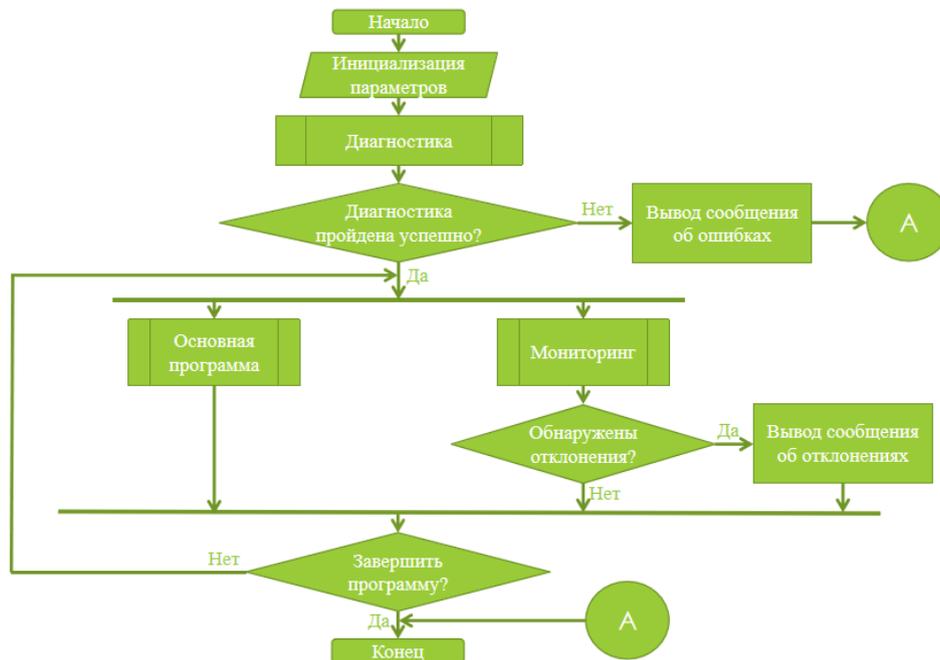


Рис.3 Общая блок-схема работы ПО

На рис. 3 приведен общий алгоритм функционирования системы. Он включает этапы:

- Начало - запуск системы.
- Инициализация параметров - считываться настройки из файла.
- Диагностика - (функция) получение результата.
- Диагностика успешно пройдена - (Вызов процедуры, условие)  
Если не прошли проверку то, вывод сообщение об ошибке.
- Если прошли проверку, то запускаются 2 параллельных процесса: основная программа работы платформы и мониторинг состояния.
- Если в ходе мониторинга обнаружены отклонения, то происходит вывод сообщения об ошибке и дальнейшая обработка, если нет ошибок, то продолжается работа в штатном режиме.
- Завершение программы – производится, если пользователь остановил программу или произошла критическая ошибка. В другом случае программа продолжает работать [1], [6].

### Выбор компонентов

В качестве вычислителя платформы предлагается использовать 32-разрядный микроконтроллер STM32L476ZGT6. Он имеет достаточную

производительность для подобных решений и необходимый набор интерфейсов (CAN, SPI, UART, GPIO).

Для определения расстояния выбран TOF датчик VL53L1X. Характеристики датчика полностью отвечают исходным техническим требованиям: дальность от 0 до 50 сантиметров, высокая частота опроса.

### **Заключение**

Рассмотрев, что такое платформа, как она устроена и для чего предназначена, мы можем сделать вывод. На данном этапе для проекта разработан алгоритм функционирования системы, произведён выбор вычислителя, разработана структурная схема автономной платформы и выбран компоненты системы. На следующем этапе предстоит разработать систему моделирования стыковочной платформы. Проверить функционирование стыковочной платформы с применением компьютерного моделирования и перейти к разработке демонстрационного макета.

### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Конструируем роботов. Дроны. Руководство для начинающих [Электронный ресурс] URL:<https://e-univers.ru/upload/iblock/9df/9df8a4fcffdf7024b9c33c2fe8bbcbd0.pdf> (дата обращения 12.03.2023).
2. [US7398946B1 - Power line sentry с harging - Google Patents](https://patents.google.com/patent/US7398946B1) [Электронный ресурс] URL:<https://patents.google.com/patent/US7398946B1> (дата обращения 13.03.2023)
3. URL:[google.com/patent/US7398946B1/en](https://patents.google.com/patent/US7398946B1/en) (дата обращения 13.03.2023)
4. Дронопорты. Автономные взлетно-посадочные платформы для беспилотников [Электронный ресурс] URL:<https://robotrends.ru/robopedia/avtomatizirovannye-sistemy-dlya-zapuska-bespilotnika> (дата обращения 24.03.2023)
5. Перспективы развития и применения комплексов с беспилотными летательными аппаратами [Электронный ресурс] URL:<https://mil.ru/files/morf/Sbornik-konferencii-2017.pdf> (дата обращения 25.03.2023)
6. Посадочная платформа для БПЛА вертикального взлета и посадки [Электронный ресурс] URL:[https://yandex.ru/patents/doc/RU2722249C9\\_20200724](https://yandex.ru/patents/doc/RU2722249C9_20200724) (дата обращения 05.04.2023)
7. Домики для дронов: какие посадочные платформы БПЛА бывают, что внутри, чем отличаются, кто делает и как выбрать нужную [Электронный ресурс]

- ресурс] URL:<https://habr.com/ru/company/innopolis/blog/521948/> (дата обращения 10.04.2023)
8. Ключевые отличия автономных БПЛА от обычных дронов, проблемы и перспективы [Электронный ресурс] URL:<https://militaryarms.ru/voennaya-texnika/aviaciya/avtonomnye-bpla/> (дата обращения 11.04.2023)
  9. Универсальная беспилотная платформа [Электронный ресурс] URL:<https://cyberleninka.ru/article/n/universalnaya-bespilotnaya-platforma/viewer> (дата обращения 18.04.2023)
  10. Корабль-платформа для БПЛА. [Электронный ресурс] URL:<https://topwar.ru/190185-korabl-platforma-dlja-bpla-perspektivnoe-predlozhenie-ili-bessmyslennaja-koncepcija.html> (дата обращения 20.04.2023)

**Юров Юрий Юрьевич**, студент гр. РТбо3-40, кафедра робототехники и мехатроники, Южный федеральный университет, 347928, г. Таганрог, пер. добролюбовский, 36; тел.: +79899882501; e-mail: [iiurov@sfedu.ru](mailto:iiurov@sfedu.ru)

**Yurov Yury Yuryevich**, student gr. RTbo3-40, Department of Robotics and Mechatronics, Southern Federal University, 347928, Taganrog, per. dobrolyubovsky, 36; tel.: +79899882501; e-mail: [iiurov@sfedu.ru](mailto:iiurov@sfedu.ru)  
УДК 531.391.3

Делшан Диб, Сайпулаев Гасан Русланович

## **РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ ОПТИМАЛЬНОЙ ПО ЭНЕРГОЗАТРАТАМ СТАБИЛИЗАЦИИ ПОЛОЖЕНИЯ АКТИВНОГО ЭКЗОСКЕЛЕТА ЧЕЛОВЕКА**

*Рассматривается модельная задача о динамике и стабилизации вертикального неустойчивого положения человека с нарушениями опорно-двигательного аппарата в реабилитационном активном экзоскелете. Целью исследования является исследование плоского движения многозвенного перевернутого маятника, шарнирно закрепленного на подвижном основании - на колесе. Предлагается управление движением системы в виде обратной связи, обеспечивающее асимптотическую устойчивость и стабилизацию системы с минимизацией энергозатрат и отклонений от требуемого положения. При построении управления в исследовании использовался итеративный подход к решению алгебраического уравнения Риккати. Расчеты проводились в математическом пакете Wolfram Mathematica.*

*Алгебраическое уравнение Риккати, экзоскелет, стабилизация, неустойчивое равновесие, перевернутый маятник.*

Delshan Deeb, Saypulaev Gasan Ruslanovich

## **DEVELOPMENT OF ALGORITHMS FOR ENERGY-OPTIMAL STABILIZATION OF THE POSITION OF THE ACTIVE HUMAN EXOSKELETON**

*We consider a model problem of the dynamics and stabilization of the vertical unstable position of a person with disorders of the musculoskeletal system in a rehabilitation active exoskeleton. The aim of the study is to study the plane motion of a multi-link inverted pendulum pivotally mounted on a movable base - on a wheel. A feedback control of the system motion is proposed, which provides asymptotic stability and stabilization of the system with minimization of energy consumption and deviations from the required position. When constructing the control in the study, an iterative approach was used to solve the algebraic Riccati equation. The calculations were carried out in the Wolfram Mathematica mathematical package.*

*Algebraic Riccati equation, exoskeleton, stabilization, unstable equilibrium, inverted pendulum.*

### **Введение**

Активные экзоскелеты продемонстрировали значительный потенциал в области медицинской реабилитации, особенно для пациентов с неврологическими заболеваниями или нарушениями опорно-двигательного аппарата [1–3]. Актуальность проблемы управления активным экзоскелетом связана с вопросами медицинской реабилитации – целенаправленного (управляемого) восстановления позы и движения человека с нарушениями в центральной нервной системе и в опорно-двигательном аппарате. Поддержание вертикального положения тела у человека представляет собой очень сложную задачу из-за механической неустойчивости многосуставного тела человека, большого числа степеней свободы [4] и необходимости удерживать проекцию центра масс тела внутри небольшого опорного контура [1, 5]. К современным медицинским экзоскелетам относятся «ReWalk» [6], «Indego» [7], «Rex» [8] и «Eksobionics» [9]. Все эти экзоскелеты были разработаны для помощи тем, кто потерял способность нормально ходить.

В процессе управления экзоскелетом требуется оценивать компоненты вектора состояния системы по измерительным сигналам датчиков, характеристики случайных величин и процессов, вырабатывать оптимальные процедуры наблюдения и управления состоянием объекта. Одной из задач, решаемых активными медицинскими экзоскелетами, является обеспечение устойчивости неустойчивого вертикального положения пациента с различными нарушениями опорно-двигательного аппарата и/или вестибулярного аппарата. Актуальность данного исследования обусловлена необходимостью стабилизации положения системы с наименьшими энергозатратами для управления с обеспечением максимальной точности.

### Основная часть

Рассмотрим схему активного экзоскелета человека (рис. 1): система, состоит из двух звеньев перевернутого маятника, закрепленного на колесе, способном катиться без проскальзывания по горизонтальной линии. Маятник движется в одной плоскости с колесом, при этом первое звено маятника шарнирно прикреплено к центру колеса  $O$ .

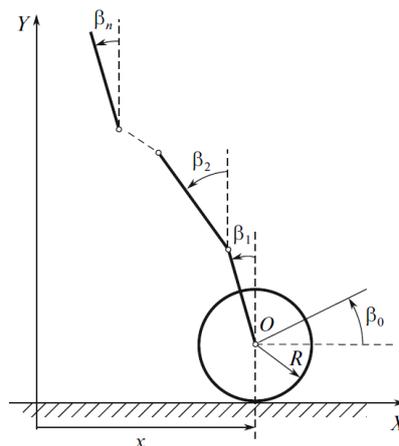


Рис. 1. Модель экзоскелета

Введем обозначения:  $\beta_0$  – угол поворота колеса, отсчитываемый от горизонтальной оси  $X$  в направлении против часовой стрелки;  $\beta_k$  – угол между вертикалью и  $k$ -м звеном;  $m_0$  – массу колеса;  $r_0$  – радиус инерции колеса относительно центра  $O$ ;  $m_k$  – массу  $k$ -го звена;  $l_k$  – длина  $k$ -го звена;  $r_k$  – радиус инерции  $k$ -го звена. Пусть центр масс колеса расположен в геометрическом центре  $O$ , а центр масс каждого звена находится на расстоянии  $b_k$  от  $k$ -го шарнира. В каждом шарнире прикладываем управляющий момент  $M_k$ , управляющий момент  $M_0$ , приложенный к первому звену, стремится повернуть это звено против часовой стрелки; такой же момент,

но направленный по часовой стрелке, действует на колесо. Все шарниры, соединяющие звенья маятника, считаются идеальными.

Для построения уравнений динамики экзоскелета был использован формализм Лагранжа. Исходная система, состоящая из колеса и двухзвеного маятника, закрепленного на нем, имеет три степени свободы. Тогда уравнение движения системы можно записать в виде

$$A(\beta)\ddot{q} + B(\beta)\|\dot{q}\|^2 - G \sin \beta = Q, \quad (1)$$

где  $q = \|\beta_0, \beta_1, \beta_2\|^T$  – вектор обобщенных координат системы;  $Q$  – вектор обобщенных сил, обусловленный управляющими моментами;  $A(\beta)$  – симметричная матрица кинетической энергии;  $B(\beta)$  – матрица центробежных и кориолисовых сил;  $G$  – диагональная матрица гравитационных сил. Выражения для указанных матриц имеют вид:

$$A(\beta) = \begin{vmatrix} a_{00} & a_{01} \cos \beta_1 & a_{02} \cos \beta_2 \\ a_{01} \cos \beta_1 & a_{11} & a_{12} \cos (\beta_1 - \beta_2) \\ a_{02} \cos \beta_2 & a_{12} \cos (\beta_1 - \beta_2) & a_{22} \end{vmatrix},$$

$$B(\beta) = \begin{vmatrix} 0 & -a_{01} \sin \beta_1 & a_{02} \sin \beta_2 \\ 0 & 0 & a_{12} \sin (\beta_1 - \beta_2) \\ 0 & -a_{12} \sin (\beta_1 - \beta_2) & 0 \end{vmatrix},$$

$$G = \frac{g}{R} \text{diag}(0, a_{01}, \dots, a_{0n}),$$

$$a_{00} = m_0(R^2 + r_0^2) + R^2(m_1 + m_2), \quad a_{01} = R(b_1 m_1 + l_1 m_2),$$

$$a_{02} = R(b_2 m_2), \quad a_{11} = r_1^2 m_1 + l_1^2 m_2, \quad a_{22} = r_2^2 m_2, \quad a_{12} = l_1 b_2 m_2.$$

Далее в пакете *Wolfram Mathematica* была проведена линеаризация системы около верхнего неустойчивого положения равновесия. В результате получены линеаризованные уравнения движения системы, записанные в форме Коши.

$$\dot{x} = Ax + Bu,$$

$$x(t_0) = x_0$$

На начальном этапе решения задачи требуется обеспечить асимптотическую устойчивость замкнутой системы. Для этого находим коэффициенты усиления в контуре обратной связи  $u = -Kx$ . После чего оцениваем потребляемую мощность и точность.

С учетом начальных условий формулу квадратичной функции  $J$  можно записать в следующем виде [10]

$$J = x^T(t_0) V x(t_0) \quad (2)$$

Для решения задачи управления с минимальным потреблением энергии была использована итеративная процедура решения алгебраического уравнения Риккати. Алгоритм состоит из следующих шагов:

- 1) Вычисляем коэффициент усиления  $K_m = B^T V_{m-1}$ ,
- 2) Вычисляем новую матрицу коэффициентов  $A_m = A - B^T K_m$ ,
- 3) Вычисляем  $V_m$  как решение линейного матричного уравнения:

$$A_m^T V + V A_m - V B B^T V + K_m^T K_m = 0,$$

- 4) Проверяем условия окончания вычислений:

$$\|V_m - V_{m-1}\| \leq \varepsilon.$$

Для инициализации вычисления необходимо подобрать  $K_0$  таким образом, чтобы матрица  $A - B K_0$  была устойчивой.

Результаты моделирования движения экзоскелета представлены на рис. 2.

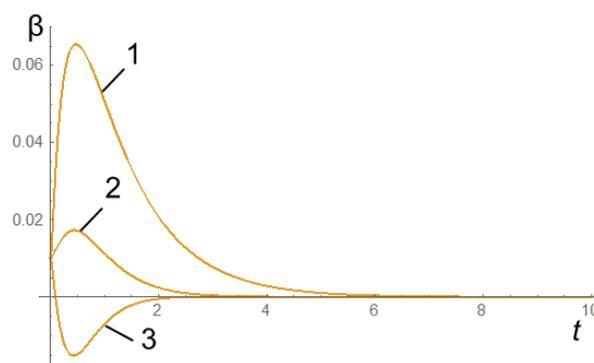


Рис. 2 Переходный процесс при начальных отклонениях

По результатам моделирования по

## Выводы

В данном докладе была разработана математическая модель экзоскелета и предложена система управления для автономного поддержания вертикального неустойчивого положения равновесия пациента. Алгоритм, предложенный в данном исследовании, позволил снизить затраты энергии на восстановление положения равновесия системы на 96% (по сравнению с результатами для значений коэффициентов усиления из начального приближения). Уменьшение затраты энергии было за счет выбора оптимального значения при решении алгебраического уравнения Риккати.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Chen B. et al.* Recent developments and challenges of lower extremity exoskeletons // *Journal of Orthopaedic Translation*. 2016. Vol. 5. P. 26–37.
2. *Miller L., Zimmermann A., Herbert W.* Clinical effectiveness and safety of powered exoskeleton-assisted walking in patients with spinal cord injury: systematic review with meta-analysis // *Medical Devices: Evidence and Research*. 2016. P. 455.

3. *Lajeunesse V. et al.* Exoskeleton's design and usefulness evidence according to a systematic review of lower limb exoskeletons used for functional mobility by people with spinal cord injury // *Disability and Rehabilitation. Assistive Technology*. 2016. Vol. 11, № 7. P. 535–547.
4. *Beer R.F., Dewald J.P.A., Rymer W.Z.* Deficits in the coordination of multijoint arm movements in patients with hemiparesis: evidence for disturbed control of limb dynamics // *Experimental Brain Research*. 2000. Vol. 131, No. 3. P. 305–319.
5. *Tesio L., Rota V.* The Motion of Body Center of Mass During Walking: A Review Oriented to Clinical Applications // *Frontiers in Neurology*. 2019. Vol. 10. P. 999.
6. Официальный сайт компании ReWalk // URL: <http://rewalk.com/> (дата обращения: 30.05.2023).
7. Официальный сайт компании Indego // URL: <http://indegocom.com> (дата обращения: 30.05.2023).
8. Официальный сайт компании Rex // URL: <http://www.rexbionics.com/> (дата обращения: 30.05.2023).
9. Официальный сайт компании Eksobionics // URL: <http://www.eksobionics.com/> (дата обращения: 30.05.2023).
10. *Андреев Ю.Н.* Управление конечномерными линейными объектами / Москва: Наука, 1976.

**Делшан Диб**, аспирант, Национальный исследовательский университет «МЭИ», Россия, город Москва, улица Красноказарменная 14, 111250, телефон: +7 (909) 659-21-62, email: [delshan2deeb@gmail.com](mailto:delshan2deeb@gmail.com).

**Сайпулаев Гасан Русланович**, аспирант, Национальный исследовательский университет «МЭИ», Россия, город Москва, улица Красноказарменная 14, 111250, телефон: +7 (985) 528-58-74, email: [saypulaevgr@mail.ru](mailto:saypulaevgr@mail.ru)

**Delshan Deeb**, postgraduate student, National research university “MPEI”, 111250, Russia, Moscow, 14 Krasnokazarmennaya street, phone: +7 (909) 659-21-62, email: [delshan2deeb@gmail.com](mailto:delshan2deeb@gmail.com).

**Saypulaev Gasan Ruslanovich**, postgraduate student, National research university “MPEI”, 111250, Russia, Moscow, 14 Krasnokazarmennaya street, phone: +7 (985) 528-58-74, email: [saypulaevgr@mail.ru](mailto:saypulaevgr@mail.ru)

Галиуллин Искандер Гаязович, Сабиров Раис Фаритович

Кокунин Петр Анатольевич

## **ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЙ КОМПЛЕКС СЕГМЕНТАЦИИ ПРЕПЯТСТВИЙ С АРХИТЕКТУРОЙ U-NET ДЛЯ АВТОНОМНОЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ**

*Автоматизация управления самоходной сельскохозяйственной техникой представляет собой важную технологическую задачу, однако ее эффективность ограничивается слабым развитием систем обнаружения препятствий и алгоритмов принятия решений. В частности, когда машинно-тракторные агрегаты и другие самоходные сельскохозяйственные машины сталкиваются с препятствиями на своем пути, возникает необходимость в точном и быстром распознавании этих препятствий для принятия соответствующих решений и избегания аварийных ситуаций. В данной статье представлен разработанный алгоритм и аппаратно-программный комплекс, предназначенные для решения этой проблемы. Разработанный комплекс обладает высокой производительностью и позволяет проводить распознавание и сегментацию препятствий непосредственно во время движения машинно-тракторных агрегатов по заданной траектории. Это позволяет избежать снижения рекомендуемой скорости работы и обеспечивает непрерывное и эффективное функционирование в различных операциях производства продукции растениеводства. Проведенные испытания подтвердили эффективность разработанного аппаратно-программного комплекса. Они демонстрируют применимость данных решений в системах параллельного движения и автономно управляемых машинно-тракторных агрегатов, способствуя повышению безопасности и эффективности работы в сельскохозяйственных условиях.*

*Машинно-тракторный агрегат, нейронная сеть, сегментация, распознавание препятствий, алгоритм, система технического зрения, автономный трактор, U-Net.*

Galiullin Iskander Gayazovich, Sabirov Rais Faritovich  
Kokunin Petr Anatolevich

## **SOFTWARE-HARDWARE COMPLEX FOR OBSTACLE SEGMENTATION WITH U-NET ARCHITECTURE FOR AUTONOMOUS AGRICULTURAL MACHINERY**

*Automation of control for self-propelled agricultural machinery represents an important technological challenge. However, its effectiveness is limited by the under-developed obstacle detection systems and decision-making algorithms. Specifically, when machine-tractor units and other self-propelled agricultural machines encounter obstacles in their path, there is a need for accurate and fast recognition of these obstacles to make appropriate decisions and avoid accidents. This article presents a developed algorithm and hardware-software complex designed to address this problem. The developed complex demonstrates high performance and enables real-time obstacle recognition and segmentation during the movement of machine-tractor units along the designated trajectory. This avoids a decrease in the recommended operating speed and ensures continuous and efficient functioning in various crop production operations. The conducted tests confirm the effectiveness of the developed hardware-software complex, showcasing the applicability of these solutions in parallel movement systems and autonomously controlled machine-tractor units, contributing to enhanced safety and operational efficiency in agricultural conditions.*

*Machine-tractor unit, neural network, segmentation, obstacle recognition, algorithm, computer vision system, autonomous tractor, U-Net.*

### **Введение**

Основной задачей развития сельскохозяйственного производства в нынешних условиях является цифровая трансформация процессов по эксплуатации сельскохозяйственной техники, как самоходной, так и сельскохозяйственных машин. Повсеместное применение различных разработанных устройств параллельного вождения привело к значительному снижению нагрузки на операторов машинно-тракторных агрегатов, но и внесло значительное изменение в процесс их работы в поле. Возможность проведения необходимых технологических работ в растениеводстве в период проведения сезонных полевых работ круглосуточно привело также и к определенным трудностям таким как снижение внимания механизаторов, в отдельных случаях – к засыпанию[1].

Современные разработки устройств параллельного вождения в сельскохозяйственном производстве не имеют функций активного определения и распознавания препятствий, а также алгоритмов их объезда[2].

Существующие разработки и исследования в области распознавания препятствий и построения алгоритмов их объезда, а также принятия решений в основном предназначены для автомобилей и не учитывают специфику проведения полевых работ в условиях отсутствия четких границ траектории движения, разметки, дорожных знаков.

Целью исследования является своевременное определение препятствий машинно-тракторных агрегатов с автономным управлением.

Задачами являются: Определение наличия препятствий на траектории движения машинно-тракторного агрегата с учетом габаритных характеристик трактора и присоединённого к нему сельскохозяйственного орудия, сегментация препятствия по видам, корректирование маршрута с целью построения траектории объезда препятствия и возвращения его на линию первоначального движения, т.е. возвращение на построенную ранее линию параллельно движения с целью минимизации потерь при проведении технологических операций при производстве продукции растениеводства.

#### **Методы и результаты исследования**

Основными препятствиями при полевых работах являются столбы, деревья и кустарниковые насаждения, которые необходимо детектировать и классифицировать для объезда автоматизированной техникой.

Учитывая технологические параметры использования сельскохозяйственных машин, был разработан аппаратно-программный комплекс сегментации объектов препятствий, включающий в себя цветную матричную камеру промышленного сканирования и вычислитель. По итогам исследования алгоритмов детектирования и классификации объектов на изображениях в рамках данной работы используется сверточная нейронная сеть U-Net.

Обучение нейросети проводилось на выборке из 10000 изображений, предварительно размеченных в целях сегментации препятствий типа «столб», «дерево» и «древесно-кустарниковая растительность». В рамках испытаний разработанного аппаратно-программного комплекса были проведены 10 групп экспериментов длительностью по 10 минут каждый по детектированию и классификации объектов классов «столб», «дерево», «кустарниковая растительность». При проведении испытаний были определены интервал времени обнаружения  $\Delta T = 0,5$  с и интервал дальности обна-

ружения до  $\Delta S = 40$  м. Результаты проведения испытаний распознавания (детектирование и классификация) представлены в таблицах 1 и 2. За нулевую гипотезу принято отсутствие целевого объекта на кадре: ошибка I-го рода соответствует ложной тревоге, ошибка II-го рода – пропуску цели.

Таблица 1

Результаты детектирования объектов

| Вид<br>ошибки | Номер испытания |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|---------------|-----------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|               | 1               | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   |
| I-го рода     | 2,82            | 2,09 | 1,81 | 1,26 | 1,90 | 2,81 | 2,80 | 1,84 | 2,33 | 2,32 |
| II-го рода    | 3,46            | 2,82 | 3,19 | 2,97 | 2,45 | 3,24 | 2,97 | 2,83 | 3,52 | 2,25 |

Таблица 2

Результаты классификации объектов

| Вид<br>ошибки | Номер испытания |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|---------------|-----------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|               | 1               | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   |
| I-го рода     | 2,13            | 2,54 | 2,89 | 2,39 | 2,62 | 2,32 | 2,77 | 2,39 | 2,96 | 2,15 |
| II-го рода    | 2,11            | 2,39 | 2,56 | 2,08 | 2,60 | 2,83 | 2,64 | 2,86 | 2,71 | 2,38 |

На рис. 1 представлены результаты сегментации препятствий разработанного алгоритма - типа «столб», «дерево» и их комбинации.



Рис. 1. Распознавание препятствий

**Выводы**

В данной работе показана возможность применения нейронной сети архитектуры U-Net для сегментации и детектирования препятствий типа столб, дерево, куст и их комбинации.

Проведенное исследование выявило высокую эффективность её применения в задаче сегментации и детектировании - принятия решения по ошибке I-го рода для алгоритмов детектирования составляет в среднем 2,2%, классификации в среднем 2,5%; по ошибке II-го рода для алгоритмов детектирования в среднем 2,9%; классификации в среднем 2,5%.

В дальнейших исследованиях предлагается произвести дообучение на изображениях препятствий на грунте – камней, поваленных деревьев, а также пороговых препятствий и рвов.

**Работа выполнена за счет средств Программы стратегического академического лидерства Казанского (Приволжского) федерального университета ("ПРИОРИТЕТ-2030").**

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Нейросетевое моделирование технологических процессов в сельском хозяйстве / Р. Ф. Сабилов, В. М. Медведев, Ф. Ф. Яруллин, Г. Т. Шафигуллин // Современное со-стояние, проблемы и перспективы развития механизации и технического сервиса агропромышленного комплекса: Материалы международной научно-практической конференции Института механизации и технического сервиса, Казань, 07–08 июня 2019 года. – Казань: Казанский государственный аграрный университет, 2019. – С. 182-184. – EDN WOJDMR.
2. Универсальные комплекты автоматизации сельскохозяйственной техники для робо-тизированных агрохозяйств // Чикрин Д.Е. // Международная агропромышленная выставка «АгроВолга 2021», 2021.
3. Задачи управления движением автономных колесных роботов в точном земледелии / Т. А. Тормагов, А. А. Генералов, М. Ю. Шавин, Л. Б. Рапопорт // Гироскопия и навигация. – 2022. – Т. 30, № 1(116). – С. 39-60. – DOI 10.17285/0869-7035.0083. – EDN GWCIQX.
4. Свид. о гос. регистрации прогр. для ЭВМ 2021667661 Рос. Федерация. Программ-ный модуль сегментации объектов препятствий дерево и столб на основе нейрон-ных сетей / Сабилов Р.Ф., Валиев А.Р., Медведев В.М., Шафигуллин Г.Т., Галиул-лин И.Г. Заявл. 20.10.2021 ; зарегистр. 01.11.2021 ; опубл. 01.11.2021, Бюл. № 11. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=47257657>
5. *Чикрин Д.Е.* Методологические основы проектирования инфокоммуникационных систем автомобильных транспортных средств высокой степени автоматизации : дис. ... д-ра техн. Наук, 05.13.01. – Казань, 2021. – 399с.
6. *Егорчев А.А.* Верифицируемые системы виртуального моделирования беспилотных транспортных средств : дис. ... канд. техн. наук, 05.13.01. – Казань, 2021. – 340с.

7. *Kots M.V.* U-Net adaptation for multiple instance learning / M. V. Kots, V. S. Chukanov // Journal of Physics: Conference Series, Saint Petersburg, 21–22 марта 2019 года. Vol. 1236. – Saint Petersburg: Institute of Physics Publishing, 2019. – P. 012061. – DOI 10.1088/1742-6596/1236/1/012061. – EDN SJUOKU.
8. *Ганченко В.В.* Распознавание сельскохозяйственной растительности на изображениях земной поверхности на основе сверточной нейронной сети U-Net / В. В. Ганченко, А. А. Дудкин, С. В. Шелег // Big Data and Advanced Analytics. – 2021. – № 7-1. – С. 110-116. – EDN ZDCYJM.
9. *Валиев А.Р.* Беспилотный трактор / А. Р. Валиев, Мануэль Бинело, Б. Г. Зиганшин, Р. Ф. Сабиров, Г. Т. Шафигуллин, И. Г. Галиуллин // Вестник НЦБЖД. – 2021. – № 4 (50). – С.69–75.
10. *Галиуллин И.Г.* Система автономного управления движением машинно-тракторного агрегата с использованием отечественной элементной базы / И. Г. Галиуллин // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. – 2022. – № 6(110). – С. 92-98. – DOI 10.35330/1991-6639-2022-6-110-92-98. – EDN NZIISF.

**Галиуллин Искандер Гаязович**, соискатель ученой степени кандидата наук, Институт вычислительной математики и информационных технологий Казанского (Приволжского) Федерального Университета, Россия, город Казань, телефон: +79046714294, email: [isgaluillin@email.com](mailto:isgaluillin@email.com).

**Сабиров Раис Фаритович**, к.т.н., доцент кафедры «Эксплуатация и ремонт машин» ФГБОУ ВО «Казанский государственный аграрный университет» 420015, г. Казань, ул. Карла Маркса, 65; тел.: 8(843)567-45-00; e-mail: [agromehnika116@gmail.com](mailto:agromehnika116@gmail.com)

**Чикрин Дмитрий Евгеньевич**, д.т.н, директор Института вычислительной математики и информационных технологий КФУ, профессор кафедры анализа данных и технологий программирования ИВМиИТ КФУ 420011, г. Казань, ул. Кремлевская, 35; телефон: +79172727100, email: [dmitry.kfu@ya.ru](mailto:dmitry.kfu@ya.ru)

**Егорчев Антон Александрович**, к.т.н, доцент кафедры анализа данных и технологий программирования Института вычислительной математики и информационных технологий КФУ 420011, г. Казань, ул. Кремлевская, 35; телефон: +79172373047, email: [eanton090@gmail.com](mailto:eanton090@gmail.com)

**Galiullin Iskander Gayazovich**, applicant for the degree of cand. of eng. sc., Institute of Computational Mathematics and Information Technologies, Kazan (Volga Region) Federal University, Russia, Kazan, phone: +79046714294, email: [is-galuillin@email.com](mailto:is-galuillin@email.com).

**Sabirov Rais Faritovich**, cand. of eng. sc., Associate Professor at the Department of Machine Operation and Repair, Kazan State Agrarian University, Address: 65 Karl Marx Street, Kazan, 420015, Russia, phone: +7 (843) 567-45-00, email: [agromehani-ka116@gmail.com](mailto:agromehani-ka116@gmail.com)

**Chikrin Dmitry Evgenievich**, dr. of eng. sc., Director of the Institute of Computational Mathematics and Information Technologies at Kazan Federal University, Professor at the Department of Data Analysis and Programming Technologies, Institute of Computational Mathematics and Information Technologies, Kazan Federal University, Address: 35 Kremlin Street, Kazan, 420011, Russia, phone: +7 (917) 272-7100, email: [dmitry.kfu@ya.ru](mailto:dmitry.kfu@ya.ru)

**Egorchev Anton Alexandrovich**, cand. of eng. sc., Associate Professor at the Department of Data Analysis and Programming Technologies, Institute of Computational Mathematics and Information Technologies, Kazan Federal University, Address: 35 Kremlin Street, Kazan, 420011, Russia, phone: +7 (917) 237-3047, email: [eanton090@gmail.com](mailto:eanton090@gmail.com)

УДК 004.716

Конченков Владимир Игоревич, Цыганков Владимир Андреевич

**РАЗРАБОТКА МИКРОПРОЦЕССОРНОЙ СИСТЕМЫ  
РАСХОДОМЕРА ТОПЛИВА, ПЕРЕДАЮЩЕГО ДАННЫЕ ПО  
CAN-ШИНЕ АВТОМОБИЛЯ**

*Разработано устройство-расходомер топлива, передающее данные по шине CAN. Микропроцессорная система построена на базе однокристалльного микроконтроллера STM32F107VCT6, реализована возможность измерения периода следования прямоугольных импульсов с использованием режима захвата встроенного в микроконтроллер таймера-счетчика. Система предназначена для подключения к штатной сети CAN автомобиля. Для отладки и визуализации приходящих данных разработан модуль, имитирующий бортовой компьютер, позволяющий отображать приходящие данные в программе-терминале, работающей на персональном компьютере. Программа для микроконтроллера обеих*

блоков построена с использованием средств операционной системы реального времени FreeRTOS.

*CAN-шина, FreeRTOS, блок управления, автомобиль, плата, датчик расхода топлива.*

Konchenkov Vladimir Igorevich, Tsygankov Vladimir Andreevich

## **DEVELOPMENT OF A MICROPROCESSOR SYSTEM OF A FUEL FLOW METER TRANSMITTING DATA ON CAN-BUS OF THE CAR**

*A fuel flow meter device has been developed that transmits data over the CAN bus. The microprocessor system is built on the basis of a single-chip microcontroller STM32F107VCT6, the possibility of measuring the repetition period of rectangular pulses using the capture mode of a timer-counter built into the microcontroller is implemented. The system is designed to connect to the standard CAN network of the car. For debugging and visualization of incoming data, a module has been developed that simulates an on-board computer, which allows displaying incoming data in a terminal program running on a personal computer. The program for the microcontroller of both blocks is built using the means of the FreeRTOS real-time operating system.*

*CAN bus, FreeRTOS, control unit, car, board, fuel consumption sensor.*

### **Введение**

В настоящее время в автомобилях находится большое количество разных датчиков и со временем их количество будет только увеличиваться, так как именно на их показаниях основывается взаимодействие электронного блока управления (ЭБУ) с остальными механизмами автомобиля [1]. Для обеспечения безопасности и большей отзывчивости управления транспортного средства постоянно разрабатываются новые датчики и совершенствуются старые [2, 3]. В современных автомобилях для организации совместной работы разнообразных устройств используется шина CAN [4]. Большая часть информации, передаваемой по этой шине, используется только в блоке управления и не выводится на приборную панель [5]. Чтобы увидеть эти данные, механики используют специализированные сканеры (см., например, [6]), которые, однако несут диагностическую функцию, их применение для постоянного отображения информации с какого-то определенного датчика затруднено. Поэтому актуально создание собственных устройств на базе однокристальных микроконтроллеров, выполняющих обмен данными по шине CAN. При подключении собственных

устройств к штатной шине автомобиля необходимо внимательно изучить формат пакетов, используемый в конкретной реализации, чтобы не нарушить работу критически важных устройств. Однако можно для самостоятельно разработанных устройств создать собственную систему передачи данных на базе протокола CAN – в этом случае есть возможность дооснастить автомобиль старого образца современными датчиками и приводами, используя достижения современного автомобилестроения.

### Аппаратная часть устройства-расходомера топлива

В настоящей работе в качестве устройства, передающего данные по CAN-шине, рассматривается расходомер топлива. В качестве бортового компьютера используется самостоятельно спроектированная микропроцессорная система на базе микроконтроллера STM32F107VCT6 (см., например, [7, 8]). На рис. 1 представлена структурная схема разрабатываемой системы.

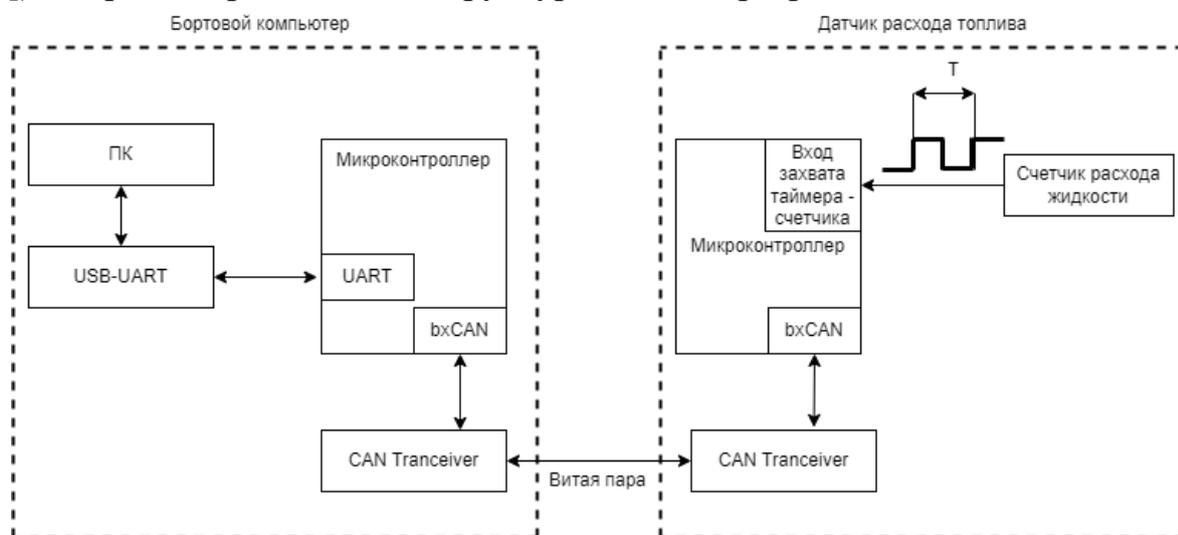


Рис. 1. Структурная схема системы получения данных о расходе топлива

Этот микроконтроллер оснащен рядом встроенных интерфейсов, среди которых CAN и UART. В настоящей работе для контроля работы устройства используется программа-терминал, считывающая и передающая данные посредством виртуального последовательного порта. Хотя используемый микроконтроллер поддерживает USB-устройства класса CDC (Communication Device Class – виртуальный последовательный порт), удобнее для отладки использовать интерфейс UART и внешнюю микросхему-преобразователь интерфейсов USB-UART (микросхема FT232RL). Модуль датчика расхода топлива строится на таком же микроконтроллере. Предполагается, что исходными данными является сигнал в виде прямоугольных импульсов, приходящих на вход захвата сигнала встроенного в

микроконтроллер таймера-счетчика. Для непосредственного измерения расхода топлива используется счетчик расхода жидкости, частота прямоугольных импульсов на выходе которого пропорциональна скорости расхода топлива. Для подключения к шине CAN и блок бортового компьютера, и блок датчика расхода топлива оснащаются преобразователями уровней – микросхемами TJA1042T. В рамках работы были спроектированы печатные платы указанных блоков, тестирование проводилось на отладочных платах Mikroelektronika EasyMX for STM32.

### Программная часть устройства-расходомера топлива

Программа для микроконтроллера написана в среде Keil uVision на языке Си с использованием библиотеки SPL. На рис. 2 показано взаимодействие между компонентами программы – заголовочными файлами, представленная в виде диаграммы, подобной диаграмме классов.

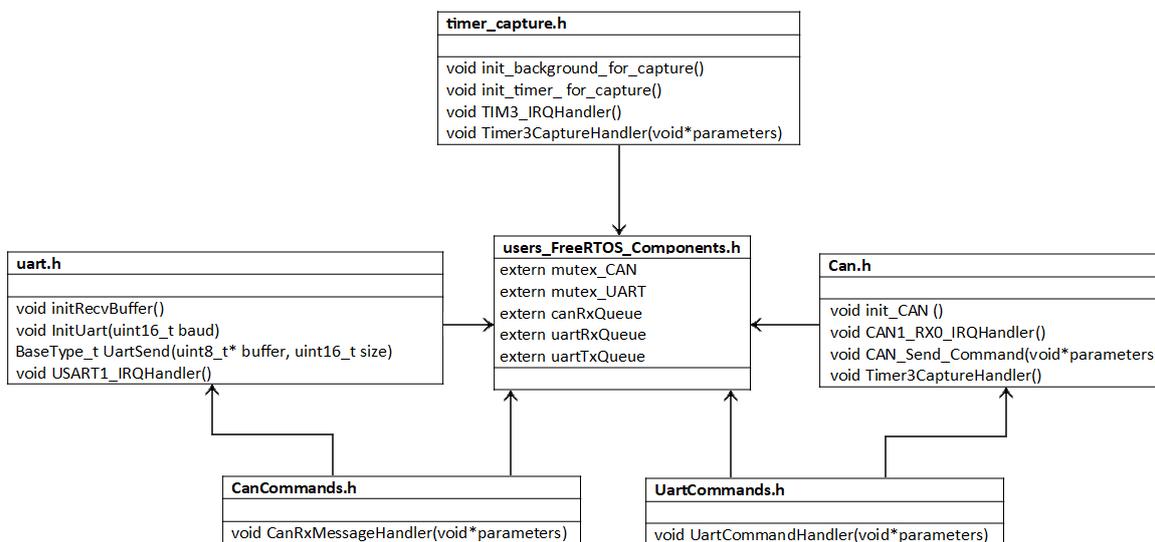


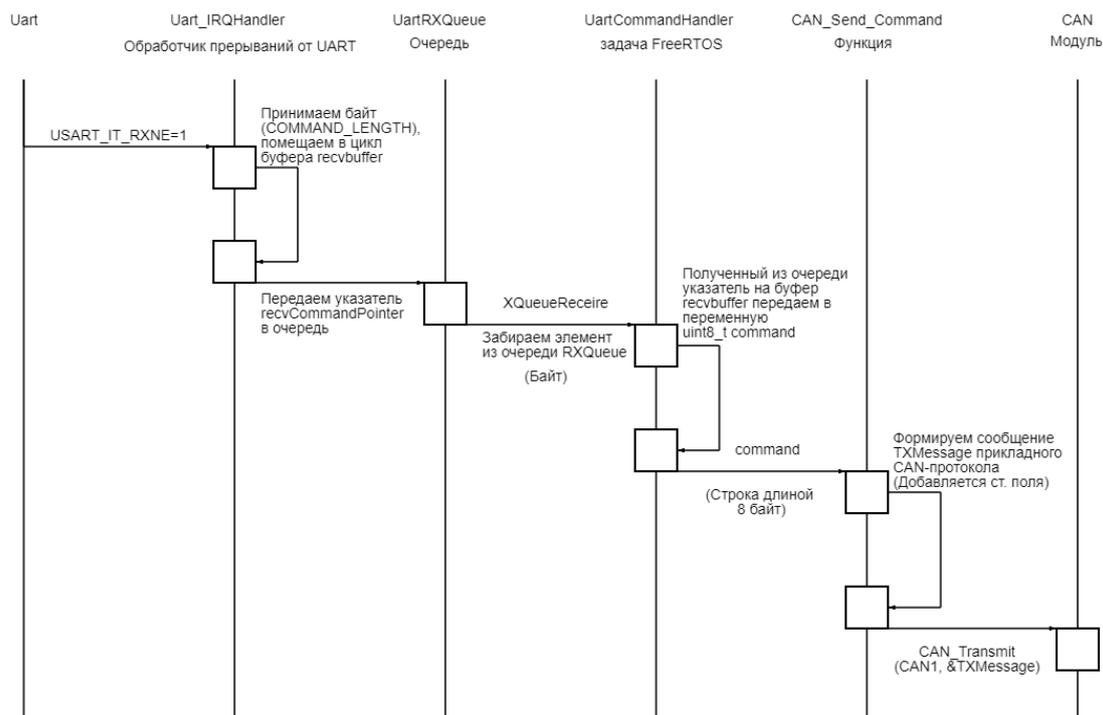
Рис. 2. Взаимосвязь компонентов программы

Программа написана с использованием средств операционной системы реального времени FreeRTOS (см., например, [8 – 10]). В первую очередь, реализована передача данных с интерфейса CAN на интерфейс UART и обратно. В этом смысле устройство подобно диагностическим модулям, подключающимся к шине CAN. Для организации такой передачи используются три очереди – очереди приема и отправки сообщений по интерфейсу UART (`uartRxQueue`, `uartTxQueue`) и очередь приема данных по интерфейсу CAN (`canRxQueue`). В сами очереди данные попадают в обработчиках прерывания `USART1_IRQHandler()` и `CAN1_RX0_IRQHandler()`. от соответствующих модулей. Эта функциональность достаточна для функцио-

нирования модуля бортового компьютера. Далее, реализовано измерение длительности импульсов, поступающих на вход таймера-счетчика, а также передача этих данных по интерфейсу CAN. Удобно писать одну программу для обоих модулей, кроме того, возможна ситуация, что микроконтроллер на стороне датчика может использовать шину CAN для передачи каких-то еще данных, поэтому интерфейс CAN микроконтроллера следует рассматривать как разделяемый ресурс, для защиты которого используется мьютекс `mutex_CAN`. Аналогичные причины побудили использовать мьютекс `mutex_UART`. Указанные мьютексы и очереди объявлены в файле `users_FreeRTOS_Components.h`. В программе работают три задачи `FreeRTOS – CanRxMessageHandler()` (прием данных по CAN и пересылка их по UART), `UartCommandHandler()` (прием данных по UART и пересылка их по CAN), `Timer3CaptureHandler()` (обработка данных со счетного входа таймера в режиме захвата и пересылка периода приходящих импульсов по интерфейсу CAN). Особенностью пересылки данных между интерфейсами является необходимость преобразования сообщений, поэтому при обработке данных, принимаемых модулем UART, используется циклический буфер, служащий для накопления байтов принимаемого сообщения заданной длины (`COMMAND_LENGTH`), которое затем передается целиком по интерфейсу CAN. Такой подход обусловлен тем, что предполагается использования модуля бортового компьютера для передачи команд конечным устройствам. На рис. 3 представлена диаграмма последовательностей пересылки данных с интерфейса UART на интерфейс CAN управляющего микроконтроллера.

### **Тестирование комплекса**

На подготовительном этапе тестировалась только программная часть комплекса. Для были взяты две платы `Mikroelektronika EasyMX for STM32` и соединены между собой шиной CAN при помощи витой пары. К одной из плат был подключен генератор сигналов произвольной формы, имитирующий прямоугольные импульсы, приходящих от счетчика расхода жидкости. Эта плата выступала в роли блока, получающего некоторые импульсы от датчика и передающего их в пакетах по CAN шине. Вторая плата выступала в качестве получателя (бортового компьютера).



*Рис. 3. Диаграмма последовательностей пересылки данных с интерфейса UART на интерфейс CAN*

На первом этапе был создан стенд для проверки работоспособности комплекса с данными, приходящими от датчиков в настоящий момент времени, и его настройки. Стенд состоит из овально-шестерёнчатого датчика с эффектом Холла AICHI Flow Sensor Model OF05ZAT, топливного насоса и мерного стакана (рис. 4). Принцип работы тестового стенда следующий:

- 1) топливный насос подает некоторое количество топлива по патрубку, в который установлен расходомер;
- 2) расходомер считает количество пролитого через него топлива при помощи датчика Холла и передает информацию об этом в виде электрических импульсов в тестируемый комплекс;
- 3) комплекс принимает и обрабатывает сигналы, выводит результирующее значение;
- 4) производится сравнение значений о расходе топлива полученных от комплекса и мерного стакана.

Целью данного этапа была проверка возможности комплекса получать и обрабатывать данные напрямую из датчиков.



*Рис. 4. Общий вид испытательного стенда*

На втором этапе комплекс был подключен к топливной магистрали автомобиля и напрямую к блоку управления. Данные, полученные от датчика из топливной магистрали, сравнивались с данными от блока управления. На данном этапе мы тестировали возможности комплекса при его взаимодействии с блоком управления автомобиля.

Третий этап тестирования использовался для проверки адекватности работы комплекса с шиной CAN. Для этого мы подключили комплекс к шине и блоку управления одновременно и сравнивали полученные от них данные. Тестирование показало удовлетворительное совпадение данных, получаемых от разработанного электронного блока и штатного расходомера топлива автомобиля.

### **Выводы**

Таким образом, разработан комплекс для получения информации из шины CAN, принимающий данные о расходе топлива (рис.4). Разработаны аппаратная и программная части микропроцессорной системы. Программная часть построена на основе операционной системы реального времени

FreeRTOS. Тестирование системы, проведенное в несколько этапов, показало ее работоспособность.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Кусяк В.А.* Проектирование автоматизированных мехатронных систем управления силовым агрегатом грузовых автомобилей и автопоездов. - Минск : БНТУ, 2015. — 295 с.
2. *Смирнов Ю.А.* Электронные и микропроцессорные системы управления автомобилей : учебное пособие. - Санкт-Петербург : Лань, 2021. - 624 с.
3. Разработка встраиваемой системы для опроса датчиков блока контроля температуры в автомобильном фургоне / И. М. Ли, А. Е. Марков, А. В. Скориков, П. С. Тарасов // Актуальные проблемы физической и функциональной электроники : материалы 20-й Всероссийской молодежной научной школы-семинара, Ульяновск, 05–07 декабря 2017 года. – Ульяновск: Ульяновский государственный технический университет, 2017. – С. 220-221.
4. Официальный сайт организации CAN in Automation (CiA) <https://www.can-cia.org/>
5. *Бармашова Л.В., Матисов А.А., Сидоров В.Н.* Электронные системы автомобиля и их диагностика : Учебное пособие Старый Оскол : ООО «Тонкие наукоемкие технологии», 2020. – 432 с.
6. Официальный сайт производителя диагностического оборудования Марафон – CAN-технологии <http://can.marathon.ru/>
7. *Басс А.В.* Особенности работы с микроконтроллером STM32 // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2019. – № 3. – С. 35-41.
8. *Конченков В.И., Скакунов В.Н.* Реализация MQTT-клиента на основе микроконтроллера – Волгоград : Волгоградский государственный технический университет, 2021. – 64 с.
9. *Курниц А.* FreeRTOS - операционная система для микроконтроллеров // Компоненты и технологии. 2011. № 2–9.
10. *Бороздин А., Сахно Ю.* Применение ARM-процессоров компании Миландр под управлением ОС FreeRTOS в приборах учета электроэнергии // Компоненты и технологии. – 2016. – № 4(177). – С. 70-72.

**Конченков Владимир Игоревич**, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры "Электронно-вычислительные машины и системы" Волгоградско-

го технического университета, Россия, Волгоградская область, г. Волгоград, пр-кт им. В.И. Ленина, д.28, 400005, телефон: +7(904)756-86-41, email: kontchenkov@yandex.ru

**Цыганков Владимир Андреевич**, студент-магистрант Волгоградского Государственного технического университета, Россия, Волгоградская область, г. Волгоград, пр-кт им. В.И. Ленина, д.28, 400005, телефон: +7 (917)647-69-59, email: vladimir.tsygankov27@yandex.ru.

**Konchenkov Vladimir Igorevich**, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor of the Department of Electronic Computers and Systems, Volgograd Technical University, Russia, Volgograd Region, Volgograd, Lenina av., 28, 400005, phone: +7(904)756-86-41, email: kontchenkov@yandex.ru

**Tsygankov Vladimir Andreevich**, undergraduate student of the Volgograd State Technical University, Russia, Volgograd region, Volgograd, Lenina av., 28, 400005, phone: +7 (917)647-69-59, email: vladimir.tsygankov27@yandex.ru.

УДК 681.11.031.1: 629.331

Михайленко Егор Дмитриевич, Будко Артем Юрьевич

## **РОЕВОЙ ИНТЕЛЛЕКТ ГРУППЫ РТК ДЛЯ СОВМЕСТНОЙ ДОБЫЧИ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ В КОСМОСЕ**

*Направление добычи в космосе имеет огромный потенциал в будущем времени. Например, был найден астероид Психея. Об этом гигантском космическом теле известно следующее: размеры — 214x181x145 километров; масса —  $2,27 \cdot 10^{19}$  в 19-й степени кг; И, что более интересно, на 90% он состоит из никеля и железа, что составляет 10 квинтиллионам долларов. Также поверхность Луны имеет на своей поверхности огромное количество гелия 3, который нужен для производства ракетного топлива. Посылать человека для этой задачи очень дорого и не целесообразно, поэтому следует отправлять для этого группу роботов, которые по 3D плану могут построить оптимальный маршрут и даже в случае каких-то ситуации, которые затруднят этот маршрут, смогут без проблем добраться до точки, поставленной миссией, добыть ресурс и привезти его.*

*Иерархические сети задач, аукционный принцип, мультиагентный подход, группа РТК, коллективное поведение, взаимодействие между РТК.*

Mikhailenko Egor Dmitrievich, Budko Artem Yurievich

## SWARM INTELLIGENCE OF THE RTK GROUP FOR JOINT MINING IN SPACE

*The direction of mining in space has a huge potential in the future. For example, the asteroid Psyche was found. The following is known about this giant cosmic body: dimensions — 214x181x145 kilometers; mass —  $2.27 \cdot 10^{19}$  kg; And, more interestingly, 90% of it consists of nickel and iron, which is 10 quintillion dollars. Also, the surface of the Moon has on its surface a huge amount of helium 3, which is needed for the production of rocket fuel. It is very expensive and not advisable to send a person for this task, therefore, a group of robots should be sent for this, which, according to a 3D plan, can build the optimal route and even in case of some situations that complicate this route, they will be able to get to the point set by the mission without problems, get a resource and bring it.*

*Hierarchical task networks, auction principle, multi-agent approach, RTK group, collective behavior, interaction between RTK.*

### **Введение**

Чтобы не создавать сложную систему одного робота, выполняющего полностью эту миссию, лучше разработать группу из простых РТК, где каждый разработан под свою конкретную задачу. Такую же структуру имеют насекомые, такие как колония муравьев, выкапывающих сеть туннелей, или стаи термитов, строящих высокие курганы с внутренними шахтами обогрева и охлаждения, демонстрируют потенциал мультиагентных систем в строительстве прочных конструкций. Эти социальные насекомые без какой-либо централизованной координации вырабатывают эмерджентное коллективное поведение, используемое для построения этих надежных структур.

Используя этот биологически вдохновленный метод, команды автономных роботов могут сконструировать ключевые элементы среды обитания человека на Луне. Они могут непрерывно работать в суровых условиях, что делает их очень производительными, отказоустойчивы к выходу из строя отдельных роботов и масштабируемы в зависимости от сложности задачи и графика выполнения. Роботам не требуется инфраструктура жизнеобеспечения, которая в противном случае потребовалась бы команде астронавтов. Кроме того, роботы могут потребоваться для выполнения определенных задач из-за соображений здоровья и безопасности астронав-

тов. В этой архитектуре операторы на местах смогут осуществлять полный контроль за деятельностью команды роботов, а также вмешиваться и восстанавливаться после неудач или неожиданных событий.

Предлагаемая архитектура позволяет осуществлять контроль за наземным управлением и освобождает наземных операторов от рутинных задач, оставляя все, кроме самых деликатных и критически важных задач, для вмешательства людей, что снижает вероятность усталости и человеческих ошибок. Эти факторы делают автономную роботизированную систему с возможностью телеуправления более целесообразным, чем само телеуправление. Данный подход позволяет развернуть базу и работает как раз к прибытию астронавтов с Земли. Основные подходы к разработке автономных систем управления используют человеческие знания, методы машинного обучения или комбинацию того и другого.

### **Основная часть**

Функциональной возможностью группы РТК должна являться как задача выбора структуры членов группы для выполнения определённой миссии, так и распределения отдельных задач между ними. Так как время выполнения полной добычи и доставки ресурсов, а также их целостность полностью зависит от целераспределения подзадач внутри робототехнической системы. Из этого можно составить первостепенные подзадачи для каждого из роботов (рис. 1):

- 1)Нахождение ресурса, а также оптимального маршрута и его корректировка из изменений окружающей среды.
- 2)Подсветка местности, в случае работы РТК в части космического тела, куда не падает свет.
- 3)Расчистка грунта, для более удобного и эффективного бурения.
- 4)Бурение места, где находится предполагаемое полезное ископаемое.
- 5)Загрузка и доставка ресурсов до базы, а также дальнейшая разгрузка и распределение.



*Рис.1*

Иерархический подход взаимодействия между роботами предполагает разделение группы роботов на уровни, где каждый уровень отвечает за выполнение определенной задачи. Высший уровень принимает общее решение для всей группы, а нижние уровни отвечают за выполнение конкретных задач. Этот подход может быть полезен при выполнении сложных задач, требующих координации действий многих роботов.

Аукционный подход взаимодействия между роботами основан на распределении задач между роботами на основе конкурентных торгов и ценового механизма. Каждый робот предлагает свою услугу для выполнения определенной задачи, а затем происходит торг за право выполнить задачу. Такой подход может быть эффективным при распределении задач в условиях ограниченных ресурсов.

Мультиагентные системы представляют собой группу автономных агентов, которые взаимодействуют друг с другом, чтобы достичь общих целей. Каждый агент может иметь свои цели, знания и способности, которые могут быть использованы в процессе выполнения задач. Мультиагентный подход может быть полезным при выполнении задач, которые требуют совместной работы многих роботов и координации их действий.

Каждый из этих подходов имеет свои преимущества и недостатки в зависимости от конкретной задачи и условий ее выполнения. Важно выбрать подход, который наилучшим образом соответствует поставленным целям и требованиям.

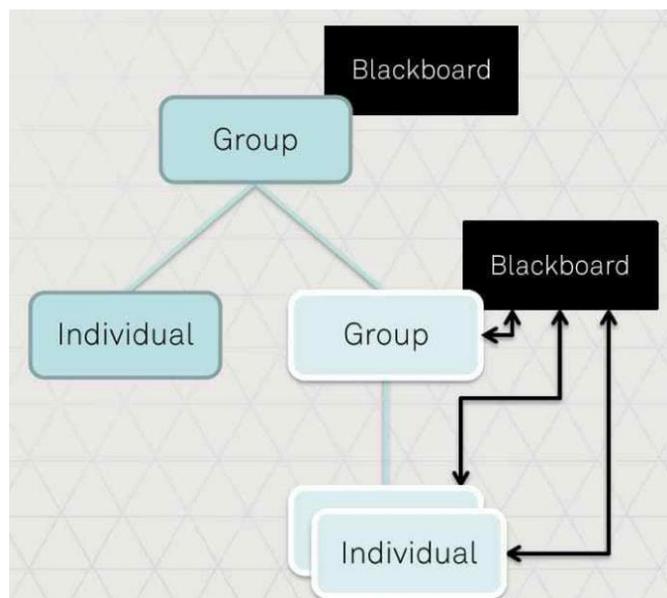
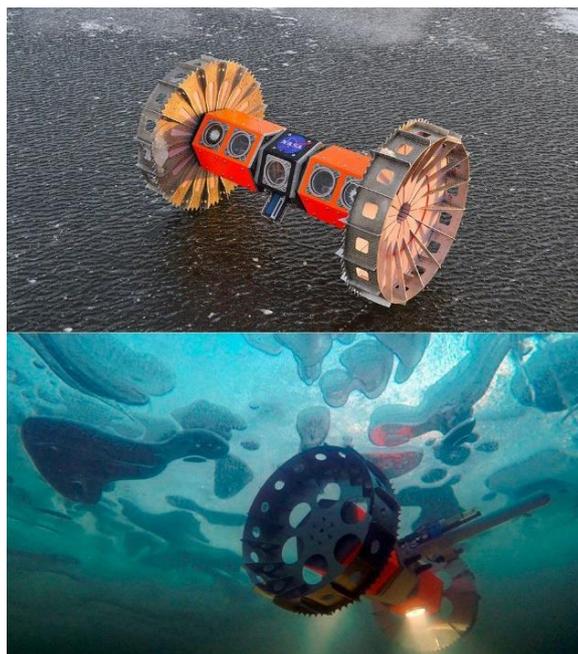


Рис. 2

Примером таких подходов можно считать систему, разработанную для игры Horizon Zero Dawn. Система ИИ имеет название «планировщик сети иерархических задач» (hierarchical task network planner, HTN, рис.2). В отличие от систем планирования, которые планируют действия в последовательном порядке, планировщик HTN генерирует планы, составленные из макросов действий. Каждый макрос содержит несколько действий в заданной последовательности. Каждый агент во внутриигровом мире имеет собственные методы, для обнаружения игрока, а также индивидуальные последующие действия, после его нахождения (Бежать или нападать), также каждый робот даёт знать о местонахождении игрока другим членам группы.

Аналогом робота, для нахождения оптимального маршрута и самого ресурса можно считать робота, разработанного компанией НАСА. В ноябре ученые и инженеры из Лаборатории реактивного движения NASA успешно провели полевые испытания Buce - «Плавучего марсохода для исследования подледного пространства» — подо льдами восточной Антарктиды (рис.3). Марсоход с дистанционным управлением был сконструирован так, чтобы ползти по нижней стороне морского льда и шельфовых ледников. Эти испытания на Земле преследуют долгосрочную цель - однажды найти доказательства существования жизни под толстой ледяной оболочкой, покрывающей океанический спутник Юпитера Европу. Под этим льдом в три раза больше жидкой воды, чем можно найти во всех океанах на Земле.



*Рис. 3*

За счёт того, что система для нахождения оптимального пути состоит из двух колёсных роботов на лебёдке, то она имеет следующие основные функции для выполнения миссии:

1. Может безопасно перемещаться по труднопроходимым поверхностям, т. к. в случае застревания лебёдка спокойно вытащит один из колёсных роботов.

2. Потребляет небольшое количество энергии, за счёт чего может работать в течение длительного времени. За счёт этого радиус действия велик, что позволит задавать самый благоприятный маршрут, чтобы добираться роботам, которые предназначены для добычи ресурса (поэтому их можно облегчать, что уменьшит затраты денежных средств и энергетических).

3. Роботы питаются через тросы, а значит даже после отсоединения от основной системы способны долго выполнять миссию.

4. За счёт размеров открывается больше мест, в которые нынешние марсоходы не смогут попасть, что увеличивает область применения.

5. За счёт лебёдки есть возможность доставать роботов, которые при добыче ресурсов застряли или не имеют пути выезда с территории.

6. Система способна преодолевать возвышенности, находящиеся под достаточно большим углом.

## Заключение

В данной работе были рассмотрены способ роевого управления РТК при добычи полезных ископаемых в космос и принципы взаимодействия членов группы роботов между собой.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Наса// Плавающий марсоход для исследования подо льдом // <https://europa.nasa.gov/resources/4/buoyant-rover-for-under-ice-exploration/>
2. Наса//Наса отправит зонд на металлический астероид Психея, который стоит как все богатства Земли// <https://dzen.ru/a/YRT3P5Rdqga8f0ua>
3. PVSM//Искусственный интеллект Horizon Zero Dawn// <https://www.pvsm.ru/iskusstvenny-j-intellekt/308803>
4. Julian Berteling, 2018. “Beyond Killzone: Creating New AI Systems for Horizon Zero Dawn”, GDC 2018.  
Arjen Beij, 2017. “The AI of Horizon Zero Dawn”, Game AI North 2017.
5. Wouter Josemans, 2017. “Putting the AI back into Air: Navigating the Air Space of Horizon Zero Dawn”, Game AI North 2017  
StudFiles//[Иерархия уровней управления роботами//  
https://studfile.net/preview/9693588/page:40/](https://studfile.net/preview/9693588/page:40/)
6. *Лопота А.В.* Самоорганизация в кибернетике и робототехнике / А.В. Лопота, Е.И. Юревич // Робототехника и техническая кибернетика. – 4(5). – 2014. – С. 4-5.
7. *Заборовский В.С.* Применение кибер физического подхода для сетцентрического управления роботами / В.С. Заборовский, М.Ю. Гук, В.А. Мулюха // Робототехника и техническая кибернетика. – 2(3). – 2014. – С. 12-18.
8. *Карпов В.Э.* Коллективное поведение роботов. Желаемое и действительное / В.Э. Карпов // Современная мехатроника: сб. науч. трудов Всероссийской науч. школы (г. Орехово-Зуево, 22-23 сентября 2011). – Орехово-Зуево. – 2011. – С. 35-51.

УДК 681.11.031.1: 629.331

Зборомирский Артем Вячеславович, Пивнев Виталий Викторович

## **СИСТЕМНОЕ ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗРЕНИЕ БИОРОБОТОВ**

*Биороботы, также известные как роботы-биомиметики или роботы, созданные по образу и подобию живых организмов, представляют собой новейшую технологию, которая применяет принципы биологии для создания устройств. Биороботы используются в различных областях, от медицины, где они могут быть использованы для проведения сложных операций, до производства, где они могут помочь автоматизировать процессы и повысить эффективность работы.*

*Однако, создание биороботов по-прежнему является сложной задачей, требующей высоких затрат и тщательного исследования биологических процессов. Тем не менее, благодаря продолжающимся исследованиям в области робототехники и биологии, можно ожидать, что будущее принесет еще больший прогресс в этой области.*

*Робототехническая система, робототехника, системное техническое зрение, биороботы.*

Zboromirskiy Artem Vyacheslavovich, Pivnev Vitaly Viktorovich

## **SYSTEM TECHNICAL VISION OF BIOBOTS**

*Biorobots, also known as biomimetic robots or robots made in the image and likeness of living organisms, are the latest technology that applies the principles of biology to create devices. Biorobots are being used in a variety of fields, from medicine, where they can be used to perform complex operations, to manufacturing, where they can help automate processes and improve work efficiency.*

*However, the creation of biorobots is still a complex task that requires high costs and careful study of biological processes. However, thanks to ongoing research in robotics and biology, it can be expected that the future will bring even more progress in this area.*

*Robotic system, robotics, system vision, biorobots.*

### **Введение**

Системное техническое зрение биороботов - это область исследований, которая объединяет в себе знания из различных наук, таких как робо-

тотехника, биология, компьютерное зрение и многие другие. Биороботы - это устройства, созданные на основе биологических принципов и предназначенные для выполнения конкретных задач. Система технического зрения является одной из ключевых составляющих биоробота, поскольку она обеспечивает получение информации о окружающей среде и позволяет принимать решения на основе этой информации. В данной области активно исследуются новые методы и технологии, направленные на улучшение системного технического зрения биороботов и повышение их эффективности в выполнении задач.

### Основная часть

Системное техническое зрение в биороботах - это высокотехнологичная область исследований, которая объединяет в себе знания из различных наук, таких как робототехника, компьютерное зрение, биология и многие другие. Биороботы - это устройства, созданные на основе биологических принципов и предназначенные для выполнения конкретных задач. Разработка системного технического зрения стала возможной благодаря успехам в области компьютерного зрения, которые позволили создать эффективные алгоритмы распознавания объектов и анализа изображений. По примеру блок-схемы системного технического зрения, можно разобраться из чего она состоит и принцип работы (рис.1)



Рис.1. Блок-схема системного технического зрения

Системное техническое зрение в биороботах используется для получения информации о окружающей среде, анализа этой информации и принятия решений на основе полученных данных. Для работы системного технического зрения в биороботах используются многоканальные датчики, которые могут измерять различные параметры окружающей среды, такие как расстояние до объектов, яркость света, цвет, форму и текстуру поверхностей. Полученные данные передаются на компьютер, который обрабатывает информацию и принимает решения о следующих шагах.

Для анализа полученной информации используются различные методы компьютерного зрения, такие как распознавание образов и объектов,

определение расстояний, выявление движущихся объектов и т.д. В результате обработки данных, биоробот может определить свое положение в пространстве, обнаруживать объекты, препятствия и исследовать окружающую среду.

Примером применения системного технического зрения в биороботах, является Дрон-шпион «Black Hornet», созданный компанией Prox Dynamics. «Black Hornet Nano» оснащен двумя камерами видеонаблюдения, размещенными в его носу. Передача данных на станцию управления аппаратом осуществляется в режиме реального времени. Длина составляет около 100 мм, ширина 25 мм, диаметр ротора составляет 100 мм. Его общий вес составляет около 18 граммов. Весь комплект с учётом дисплея весит 1,3 кг. Может летать со скоростью до 5 м/с при ветре до 8 м/с. Максимальная продолжительность полета составляет 25 минут, на дальности до 1 км. Комплекс обеспечивает выполнение 2,5 часа полётов.

В целом, системное техническое зрение в биороботах играет важную роль в выполнении различных задач и может быть использовано в различных областях, таких как производство, медицина, эксплорация космоса и многие другие. Например, биороботы могут быть использованы для осмотра труднодоступных мест и выполнении задач в условиях опасности. Также они могут быть применены в медицине для выполнения сложных операций, где требуется высокая точность и малое воздействие на окружающие ткани.

Однако разработка системного технического зрения в биороботах все еще является активной областью исследований, и существует несколько вызовов, которые нужно решить. Один из примеров - это разработка технологий, позволяющих улучшить точность и скорость обработки информации. Для этого необходимо разработать новые алгоритмы компьютерного зрения, которые будут более эффективно работать с большими объемами данных. Также требуется улучшение качества датчиков, чтобы полученные данные были более точными и надежными.

Кроме того, системное техническое зрение в биороботах может столкнуться с проблемой переносимости между различными окружениями. Например, если биоробот разработан для работы в лаборатории, то его система технического зрения может оказаться неэффективной в условиях реального мира с большим количеством шумов и препятствий. Эту проблему можно решить путем разработки универсальных систем технического зрения, которые могут адаптироваться к различным условиям.

В целом, системное техническое зрение в биороботах является важной и перспективной областью исследований. Она имеет потенциал улучшить технологии в различных областях, таких как производство, медицина, космическое исследование и другие. Несмотря на текущие вызовы, существует большой потенциал для развития технологий системного технического зрения в биороботах, что может привести к созданию новых высокотехнологичных устройств, способных упростить и улучшить жизнь людей.

### **Заключение**

В заключении можно сказать, что системное техническое зрение в биороботах является областью, которая имеет большой потенциал для применения в различных сферах деятельности. Разработка этой технологии открывает возможности для создания высокотехнологичных устройств, способных выполнять сложные задачи, которые ранее были недоступны для автоматизации. Тем не менее, ее разработка все еще требует научных и технологических достижений. Однако нужно подходить к его разработке, особым способом, так как если биоробот разработан в лабораторных условиях, то его система технического зрения может быть неэффективна в реальном мире.

Специалистам нужны новые методы и технологии, чтобы повысить точность и скорость обработки данных, а также улучшить качество датчиков. Это может быть полезно в широком спектре приложений, начиная от производства и медицины до космического исследования и многого другого.

### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. *Романов А.М.* Обзор аппаратно-программного обеспечения систем управления роботов различного масштаба и назначения. Ч.3. Экстремальная робототехника // Российский технологический журнал. –2020. –Т. 8. –No 3(35). –С. 14-32. –DOI:10.32362/2500-316X-2020-8-3-14-32.
2. Suman Harapanahalli, Niall O Mahony, Gustavo Velasco Hernandez, Sean Campbell, Daniel Riordan, Joseph Walsh. Autonomous Navigation of mobile robots in factory environment//Procedia Manufacturing.–2019. – Vol.38.–P.1524-1531.–ISSN 2351-9789.  
<https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.01.134>.
3. *Pileun Kim, Jisoo Park, Yong K. Cho, Junsuk Kang.* UAV-assisted autonomous mobile robot navigation for as-is 3D data collection and registration in cluttered

- environments//Automation in Construction.–2019. –Vol.106, 102918.–ISSN 0926-5805.<https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.102918>.
4. *Pieter M. Blok, Koen van Boheemen, Frits K. van Evert, Joris IJsselmuiden, Gook-Hwan Kim.* Robot navigation in orchards with localization based on Particle filter and Kalman filter//Computers and Electronics in Agriculture.–2019.–Vol.157.–P.261-269.–ISSN 0168-1699, <https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.12.046>.
  5. *Haitao Zhao, Lingchu Mao, Jibo Wei.* Coverage on demand: A simple motion control algorithm for autonomous robotic sensor networks//Computer Networks.–2018.–Vol.135.–P.190-200.–ISSN 1389-1286.–<https://doi.org/10.1016/j.comnet.2018.02.004>.
  6. *Власов С. М., Бойков В. И., Быстров С. В., Григорьев В. В.* Бесконтактные средства локальной ориентации роботов// учебное пособие образовательных программ высшего образования магистратуры.–2017.
  7. *Dae-Gun Kim, Serin Lee, Cheol-Hu Kim, Sungho Jo, Phill-Seung Lee.* Parasitic Robot System for Waypoint Navigation of Turtle.–2017
  8. *Макаренков М.* Немного о биороботах и их желаниях//статья.–2020.–<https://russiancouncil.ru/blogs/maksim-makarenkov/nemnogo-o-biorobotakh-i-ikh-zhelaniyakh/>
  9. Биороботы могут восстанавливать поврежденную нервную ткань//статья.–2022 <https://new-science.ru/bioroboty-mogut-vozstanavlivat-povrezhdennuju-nervnuju-tkan/> <https://new-science.ru/bioroboty-mogut-vozstanavlivat-povrezhdennuju-nervnuju-tkan/>
  10. *Попов Е.П.* Робототехника и гибкие производственные системы//<http://roboticslib.ru/'Робототехника'> .–1987г.

УДК 621.396

**Нельсон Гутьеррес**

## **ПРОЕКТИРОВАНИЕ И СБОРКА КАРТИНГА С ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ПРИВОДОМ**

*Карт - это одноместный пассажирский автомобиль, используемый для гонок, изобретенный в США в 1950-х годах. Первые коммерческие модели были построены с двигателем от газонокосилки. В настоящее время большинство картов приводится в движение двигателем внутреннего сгорания, аналогичным двигателю мотоцикла. В настоящем проекте был разработан дизайн и конструкция транспортного средства такого типа с электрической силовой уста-*

новкой. Устойчивость автомобиля осталась такой же, как и у обычного картинга, центр тяжести находится близко к земле. Использовались четыре нетрубчатых гладких резиновых колеса, что позволило добиться отличного сцепления с асфальтом, передние колеса управлялись рулевыми тягами, закрепленными на оси руля, два задних колеса были соединены осью и двумя ступицами, составляющими единое целое. Двигатели, соединенные с блоками, обеспечивают движение картинга с задней тягой.

*Картинг, электромобиль, эко логичный транспорт, встроенное управление, электродвигатель, мехатроника.*

**Nelson Gutiérrez**

## **DESIGN AND CONSTRUCTION OF A GO KART WITH ELECTRIC PROPULSION**

*A go-kart is a single passenger vehicle used for racing, invented in the USA in the 1950s. The first commercial models were built with a lawnmower engine. Nowadays, most karts are powered by an internal combustion engine similar to that of a motorcycle, in the present project the design and construction of a vehicle of this type with electric propulsion was carried out. The stability of the vehicle remained the same as a conventional kart, keeping the center of gravity close to the ground. Four non-tubular smooth rubber wheels were used, thus obtaining great adherence to the asphalt, the front wheels are controlled by steering rods anchored to the steering wheel axis, its two rear wheels were coupled by an axle and two-wheel hubs which form a single piece. The motors coupled to the blocks allow the movement of the kart with rear traction.*

*Go kart, electric vehicle, sustainable transport, embedded control, electric motor, mechatronics.*

### **1. Introduction**

One of the most discussed topics nowadays is the consumption of fossil fuels which over time have carried on a great environmental impact such as the climatic change, shown in the loss of layers of the planet atmosphere, the melting of the polar ice caps, or hydrocarbon processing that produces toxic waste, so as the industry and consumers have evolved at the same time as such problems searching for a solution to the direct effects generated by the processes for which there are domain and decision over of, one of them being mobility [1], for which the implementation of the movement of vehicles by alternative energies

have been developed, currently one of the most studied ones is electrical energy which through the usage of batteries or battery storage systems and electric motors allows the translational movement of vehicles [2]. Unlike fossil fuels electrical energy doesn't produce emissions or contamination, as such is considered like a clean energy [3]. Furthermore, its usage reduces the risk of explosions and illness to the user from fumes and emissions, because of these reasons it is sought to promote the usage of renewable energies [4]. With the design of this kart the attempt is to create an efficient model to take on the interest of the user, combining the benefit of taking care of the environment and the benefits of driving a vehicle with reduced maintenance costs. With this change on mind it's expected to optimize the operation of the kart, without altering its functionalities [5]. Karting is a very practiced sport nowadays, one considered to be a similar competition to the Formula1, with the difference that the vehicles have a different technological development and a different level of precision. A go-kart is a small car for only one passenger used for races in closed circuits also called karting tracks [6], go-karting as a sport was created in the USA around the 50s, the first commercial models available were built using the engine of a lawnmower which allowed for movement of the chassis, but with a very reduced speed, records indicate that the first competence was made in 1956 [7]. Nowadays most karts move through the propulsion of an internal combustion engine similar to the one of a motorcycle, the vehicle stability comes from its gravity center close to the floor, the vehicle counts with four, non-tubular, smooth rubber wheels which gives it a great adhesion to the asphalt and prevents the vehicle from going off track [8]. The steered wheels are controlled by a rack and pinion steering mechanism that allows bi-directional movement, the two back wheels are coupled by an axle and two-wheel hubs which make one piece together. As a security precaution they have a disc brake system on the same axle, they have only one central seat that allows the user to reach the pedals and the steering-wheel. The sport practiced with these vehicles is known as karting, it is not very known in Ecuador [9].

## **2. Methodology**

This project was developed using the methodology of the V-Model, this methodology is the most suitable for the design of mechatronic systems. In this way, the mechanical design, electrical design, controller design and automatization areas are covered together within the functionality and validation tests [10].

### **2.1 Design**

The goal of this project is the implementation of a 4 wheels vehicle with electric propulsion, which maximum straight speed be of 40 km per hour and stand turns with a speed of 30 km per hour, the total weight of a Go-kart with one average build person is 128 kg. The average power of an electric motor is of 60 V and 5 A/h (1500 W) on each one.

**Table 1. Specifications and Requirements of the Design**

| Specifications                                    | Requirements of the Design  |
|---|---|
| 4 rubber wheels                                   | The weight should be proportional across all of the body work, engine, battery and additional implements.   |
| Steering Wheel and acceleration and brake pedals. | The design of the chassis should be on concordance with the components to be placed like: seat, bumper protections, drive shaft, engine couplings, pedals, steering wheel and tie rods. |
| Lateral bumper protections                        | The chassis should be secured by plastic parts.   |
| Front and rear bumper protections                 | The go-kart should have detachable parts to be able to perform maintenance services.  |
| Speed limiter controller                          |   |

## 2.3 Mechanical Design

### 2.3.1 Design of the chassis

Forces that act over the chassis:

**Rigidity:** Is the force that the chassis is able to produce to withstand the generated strain preventing the torsion or deformation, in this way two types of rigidity ( $K$ ) can be arise by bending or by torsion [11]. Rigidity is defined as:

$$K = \frac{F}{d} \quad (1)$$

In which:  $K$ = Rigidity calculated by (N/m),  $F$ = force that the chassis will experiment, calculated in (N),  $d$ = displacement, calculated in (m)

Therefore, the rigidity is directly proportional to the elasticity modulus of the used material, the moment of inertia and the area of the section of the used tube [12].

$$K = E * I \quad (2)$$

$$K = E * A \quad (3)$$

In which:  $E$ = Modulus of elasticity of the material, calculated by (N/m<sup>2</sup>),  $A$ =Area of the section of the used tube, calculated by (Kg/m<sup>2</sup>),  $I$ = Moment of inertia, calculated by (m<sup>2</sup>)

The rigidity is one of the most significant aspects on the chassis of a kart, since it doesn't count with suspension and this is very important because it interferes in the stability and driving [9].

### **Rigidity to bending**

The strains that affect the chassis are: traction, pilot, engine, battery and additional components, which are perpendicular strains to the plane of the chassis, this results on the production of a bending moment [12]. Rigidity to bending is determined with the following equation:

$$K = \frac{M}{\theta} = \frac{E \cdot I}{L} \quad (4)$$

In which: K= Rigidity to bending, calculated by (N\*m/grades),  $\theta$  = Angle of deformation, calculated in (grades), E= Modulus of elasticity of the material, calculated by (N/m<sup>2</sup>), I= Moment of inertia, calculated by (kg\*m<sup>2</sup>), L= Length, calculated in (m).

### **Rigidity to torsion**

This kind of strain is produced when the chassis is inflicted to asymmetrical stress, this strain is produced at the time when the kart goes through a bump on the track, a very tight curve or a super elevation on the border of the track. Rigidity to torsion is determined with the following formula:

$$K = \frac{T}{\theta} = \frac{G \cdot J}{L} \quad (5)$$

In which: K= Rigidity to torsion, calculated by (N\*m/grades), T= Applied torque, calculated in (N\*m),  $\theta$  = Angle of deformation, calculated in (grades), G= Shear modulus, calculated by (N/m<sup>2</sup>), J= Torsional constant, calculated by (N/m<sup>2</sup>), L= Length, calculated in (m).

#### **2.3.1.1. Center of mass**

The center of mass of the kart is the point where there is more concentration of strain in all of the kart compared to the chassis, this should be distributed in an uniform way that will help to maintain a better control over the drift of the kart, since all of the weight is in different points, but in a well-balanced way [13].

#### **2.3.1.2 Modelling of the chassis structure**

When implementing a design for the chassis a modelling in a CAD software will be made, which enable us to visualize the chasses and the union of its components in 2D and 3D, when obtaining the model an analysis is done of each of the components, in this way a comparison between the theoretical part and of the modelling part exists. The complete design of the chassis is based on the already established parameters, like the weight, the design of the components, measurements of the dimensions, diameters of the tube and thickness, which are

all the more common ones used for competition and from various manufacturers, with this the structural analysis is shown which will allow to better optimize the chassis and obtain the best results in the final model [14]. The chassis is the base of the go-kart and where a higher concentration of force exists, as such the kart will not exist without it, and the physical chassis has a weight of 20 kg, which can be seen on its CAD software modelling in Figure 1.

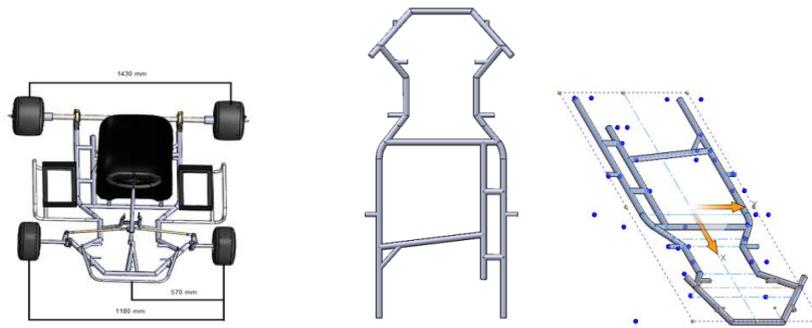


Figure 1. Modelling of the chassis.

#### 2.3.1.6 Material selection.

According to the recommendations of the FIA the used material should be in the category of the steel, companies like Tony Kart use chromoly steel which are used because of its high mechanical properties such as its ductility and resistance to the traction that affect the chassis [15], there is various technical specifications that the FIA grants to be able to regulate all used chassis and in this way be certified.

### 2.4 Electrical design

#### 2.4.1. Power dimensioning and engine controller.

The engine controller contains a connection of the Hall effect type that allows the motion of the engine, for the synchronization of each of the magnets and the 60 v with 2.5 Ah power supply and the controller board having power electronic that gives it enough force for the motion. For the engine selection:

$$F = w * g \quad (6)$$

$$T = F * d \quad (7)$$

$$P = F * Vel \quad (8)$$

#### 2.4.2. Battery capacity

For the operation of the vehicle two batteries are required, the specifications are 60 V at 12 A/h with whose an autonomy of 35.85 k/h with a constant velocity is provided [16].

##### 2.4.2.1. Charging time and Discharge time

The charging time was determined in base of the following equation:

$$\text{Charging time} = \frac{\text{Battery current in ampere/hour}}{\text{Applied current}} = 4.875 \text{ hours} \quad (9)$$

The discharge time was determined using equation 10:

$$\text{Discahrge time} = \frac{\text{Baterry (Ah)} * \text{voltage of the baterry}}{\text{Applied charge}} = 337.5 \text{ minutes} \quad (10)$$

## 2.5. Design of the security control system

The design of the control system begins with the development of the state machine, to afterwards make the source code in Arduino and test the operations of each state as it can be seen in Figure 2.

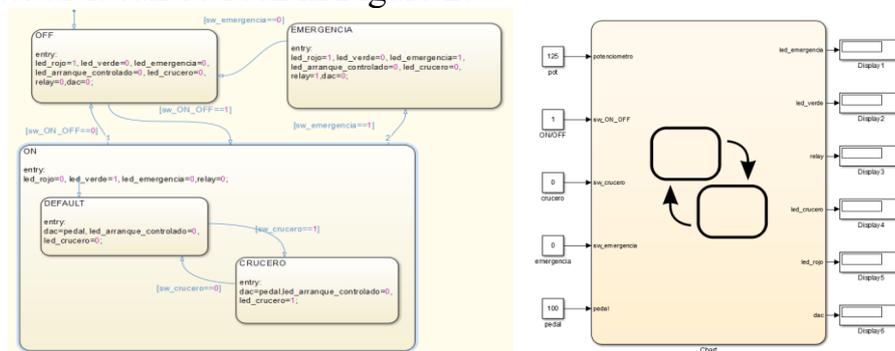


Figure 2. State machine for the control of the go-kart

### 2.5.2. Cruise acceleration

The cruise acceleration state, is the acceleration state in which the kart consumes less energy and advances with a lower acceleration according to what is selected with the potentiometer, this acceleration is constant and like this when accelerating the same forward speed is maintained without increases, it is done with the regulation of the potentiometer with respect to an acceleration point, if more acceleration is required on the kart, with a switch it is possible to exit the cruise acceleration state and return to the default state that controls the acceleration according to the pressure on the accelerator pedal.

### 2.5.3. Emergency stop

The emergency stop is activated at the moment of having an accident or trouble on the road that rate for it since it cuts off all current pass to the kart and stops functioning so the pilot can be safe at the moment of leaving the kart or move it if the pilot happens to stop or has an accident.

## 3. Operation tests and results analysis.

### 3.1 Vehicle assembly

In Figure 3 the preliminary assembly of the go-kart can be observed, with the batteries and controllers installed. In Figure 4, the cabling and components

installation in the go-kart can be observed, that includes the DAC, the screen, the buttons, LEDs and the potentiometer.



Figure 3. Mechanical assembly.



Figure 4. Electrical assembly

### 3.1 Operation tests

The operation tests on the track were made on the competition denominated: “PRIMERA VALIDA CAMPEONATO NOVACERO INTERUNIVERSIDADES” that was realized in Quito-Ecuador. During the race time data was taken on each lap, maximum velocity on each section of the track, the circuit can be seen in Figure 5.

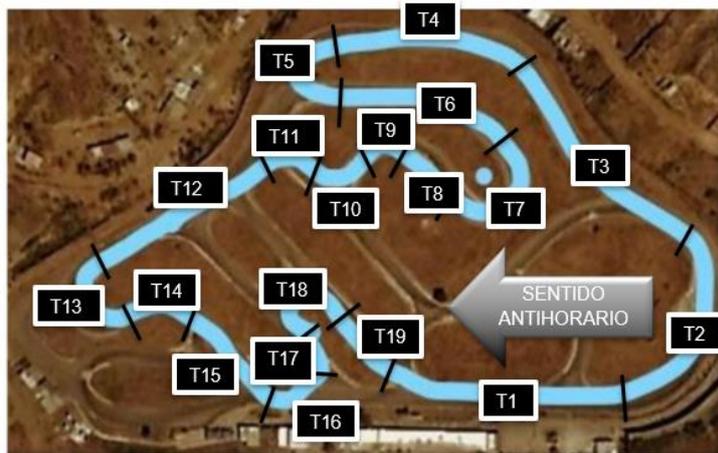


Figure 5. Circuit by sections.

With the obtained data, a calculation to obtain more data was made, which is shown below. In which through the processed data the speed per turn, maximum velocity and minimum velocity per section can be observed, the time per lap and dimensions of the circuit were also registered. The results obtained from the competition qualifying rounds indicates that the go-kart had an average maximum velocity of 30.39 km/h in the first lap and a minimum velocity of 29.24 km/h obtaining a qualification on the fifteenth place of all categories. In the 2nd Table the results obtained throughout the competition are shown:

Table 2.

Results from the qualifying rounds

|            | Lap | Distance<br>[Km] | Time (sec) | Av. Velocity<br>[m/s] | Av. Velocity<br>[Km/h] |
|------------|-----|------------------|------------|-----------------------|------------------------|
| Qualifying | 1   | 0.84             | 99.4911444 | 8.44                  | 30.39                  |
| Qualifying | 2   | 0.84             | 100.442243 | 8.36                  | 30.11                  |
| Qualifying | 3   | 0.84             | 103.052843 | 8.15                  | 29.34                  |
| Qualifying | 4   | 0.84             | 103.104572 | 8.15                  | 29.33                  |
| Qualifying | 5   | 0.84             | 102.128318 | 8.22                  | 29.61                  |
| Qualifying | 6   | 0.84             | 103.422436 | 8.12                  | 29.24                  |

#### 4. Conclusions

With the development of this project a completely functional design of the mechanical part and control system for a go-kart with electric propulsion powered by two engines was accomplished. The mechanical design was calculated and validated over simulations of the maximum force produced by the engines of the drive shaft, this force is minor to the allowed limits, so they won't cause accidents for the pilot and deformations to the structure of the chassis.

The couplers that link the wheel hubs with the engine ones are critical elements in the structure, so they need to obligatorily be checked to be well adjusted, since they tend to loosen up because of the force generated by the engines, if not coupled they can cause accidents by the release of the rear tires.

The mobility tests on the competence allowed to validate that the engines have the adequate power to transport one pilot over 80 kg and a structure over 48 kg, so it has been proven that the vehicle is suitable for competition, obtaining third place of go-karting in the karting tracks "Kartódromo Dos Hemisferios" of Quito- Ecuador.

In the tests made on the circuit an average velocity of 37 km/h was obtained, with a 100% charge on the batteries. These tests were done in the beam of the qualifying rounds and on a full competition.

## REFERENCES

1. *Álvarez Gallego, S., Rubio Sánchez, A., & Rodríguez Olalla, A.* (2015). Conceptos básicos de la huella de carbono. Madrid: AENOR INTERNACIONAL, S.A.U. URL:[https://www.edicionescpge.es/wp-content/uploads/2016/06/9788481438932\\_extracto.pdf](https://www.edicionescpge.es/wp-content/uploads/2016/06/9788481438932_extracto.pdf)
2. *Luzuriaga Delgado, A. D.* (2018). Adecuación de un tren motriz de un go kart de combustión interna a una de propulsión eléctrica provista de baterías de Ni MH. Cuenca: Universidad del Azuay. URL: <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/8350> (дата обращения: 10.08.2020).
3. *Berger G., Feindt P., Holden E., Rubik F.* (2014) Sustainable Mobility—Challenges for a Complex Transition. *Journal of Environmental Policy & Planning*, 16:3, pp. 303-320, DOI: 10.1080/1523908X.2014.954077
4. *Chakraborty S., Kumar N.M., Jayakumar A., Dash S.K., Elangovan D.* (2021). Selected Aspects of Sustainable Mobility Reveals Implementable Approaches and Conceivable Actions. *Sustainability* 2021, 13, 12918. <https://doi.org/10.3390/su132212918>.
5. Fédération Internationale de l'Automobile - Karting.FIAKarting.com. URL: <https://www.fiakarting.com/history/1956>. (дата обращения: 26.01.2021).
6. *Sharma N., Singh A., Kumar. N.* (2017). Design and Modelling of Go-Kart. *International Journal of Machine Design and Manufacturing*. Vol.3, No.2. URL:<https://mechanical.journalspub.info/index.php?journal=JMDM&page=article&op=view&path%5B%5D=584> (дата обращения: 08.08.2020).
7. *Ding N., Prasad K., Lie T.T.* (2017). The electric vehicle: a review. *Int. J. Electric and Hybrid Vehicles*, Vol. 9, No. 1, pp. 49-66. DOI:10.1504/IJEHV.2017.10003709
8. *Chauhan A., Naagar L., Chawla S.* (2016). Design and analysis of a go-kart. *International Journal of Aerospace and Mechanical Engineering*. Volume 3, No.5. URL:<http://www.ijamejournals.com/pdf/rps161152.pdf>
9. *Sarmiento Torres, J. D.* (2015). Estudio de viabilidad en la Implementación de vehículos Eléctricos en la Ciudad de Cuenca. Cuenca: Universidad Politécnica Salesiana. URL: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/8050/1/UPS-CT004893.pdf>
10. *Fernández, V.* (2010). Desarrollo de Sistemas de Información, una Metodología Basada en el Modelado. España. Ediciones de la UPC, S.L.
11. *Robert, M.* (2009). Diseño de elementos de máquinas. México: Pearson.
12. Nisbett, R. G. (2012). Diseño en ingeniería mecánica de Shigley. México: Mc Grawhill

13. *Abdullah N., Sani M. , Husain N., Rahman M., Zaman I.* (2017). Dynamics properties of a Go-kart chassis structure and its prediction improvement using model updating approach. *International Journal of Automotive and Mechanical Engineering*, Volume 14, Issue 1, pp. 3887-3897. DOI: <https://doi.org/10.15282/ijame.14.1.2017.6.0316>
14. *Dere A.A., Singh M., Thakan A., Kumar R., Singh, H.* (2021). Design Optimization of Go-Kart Chassis Frame Using Modal Analysis. In: Prakash, C., Krolczyk, G., Singh, S., Pramanik, A. (eds) *Advances in Metrology and Measurement of Engineering Surfaces . Lecture Notes in Mechanical Engineering*. Springer, Singapore. [https://doi.org/10.1007/978-981-15-5151-2\\_17](https://doi.org/10.1007/978-981-15-5151-2_17)
15. *Pattanshetti V.* (2016). Design and analysis of go kart chassis. *International Journal of Mechanical and Industrial Technology*, Vol. 4, Issue 1, pp: 150-164.
16. *Mateja K.* (2021). Battery system design of electric Go kart. *Transdisciplinary Engineering for Resilience: Responding to System Disruption*. DOI: 10.3233?ATDE210119.

**Нельсон Гутьеррес**, кандидат технических наук, Юго-Западный государственный университет, Эквадор, Кито, улица Мариана де Хесус, телефон: +593 987546130, email: [nelson.gutierrez@ute.edu.ec](mailto:nelson.gutierrez@ute.edu.ec)

**Nelson Gutierrez**, Candidate of Technical Sciences (Ph.D.), South-West Russian State University (UESOR), Ecuador, Quito, Mariana de Jesus street, phone: +593 987546130, email: [email: nelson.gutierrez@ute.edu.ec](mailto:nelson.gutierrez@ute.edu.ec)

## Секция – Системы мониторинга, диагностики и управления

УДК 004.713

Мангушев Александр Вячеславович, Зыбин Валерий Андреевич,  
Полухин Игорь Дмитриевич

### **РАЗРАБОТКА АНАЛИЗАТОРА СЕТЕВОГО ТРАФИКА НА ПЛИС**

*Разработана схема сниффера для аппаратной реализации на базе ПЛИС. Схема спроектирована на уровне RTL на языке System Verilog. Особое внимание уделяется модулям приема и передачи данных, а также реализации аппаратной очереди с возможностью изменения ее содержимого. Главной особенностью является возможность добавления любого аппаратного модуля для мониторинга, обработки или шифрования сетевого трафика. Для передачи и приема информации применен интерфейс МП, что позволяет использовать любые доступные микросхемы физического уровня для подключения устройства.*

*Плис, сетевой трафик, сниффер, мп.*

Mangushev Alexander Vyacheslavovich, Zybin Valery Andreevich

### **DEVELOPMENT OF NETWORK TRAFFIC ANALYZER ON FPGA**

*A sniffer scheme has been developed for hardware implementation based on FPGA. The scheme is designed at the RTL level in SystemVerilog language. Particular attention is paid to data reception and transmission modules, as well as the implementation of a hardware queue with the possibility of changing its contents. The main feature is the ability to add any hardware module for monitoring, processing or encrypting network traffic. The MII interface is used for transmitting and receiving information, which allows you to use any available physical layer chips to connect the device.*

*Fpga, network traffic, sniffer, mii.*

#### **Введение**

Для сетевых инженеров крайне важной является задача мониторинга, обработки и анализа [1] сетевого трафика. Существует ряд программных, аппаратных и программно-аппаратных решений, например Wireshark [2] или Protosphere [3]. Однако программные средства при прочих равных условиях являются менее производительными. Именно поэтому в данной работе будет рассматриваться именно аппаратное решение. В качестве

платформы проекта используется ПЛИС компании Altera – DE2-115 [4]. Применение именно ПЛИС позволяет легко переконфигурировать схему устройства. А поскольку мы имеем в распоряжении программируемую логику, то малая задержка распространения сигнала и практически безграничная степень параллелизма позволяют добиться высокой скорости обработки данных.

### Описание проектируемой системы

В составе схемы требуется наличие как минимум трех модулей, которые будут обеспечивать прием данных с записью в память, обработку полученных пакетов и отправку, соответственно. В дальнейшем модуль приема будет называться write, модуль обработки – handle, а модуль отправки – send. Принятые данные требуется сохранять, и при этом предоставлять к ним доступ всем трем блокам одновременно, что необходимо для слаженной работы системы. Пакеты необходимо отправлять в том же порядке, в котором они пришли, поэтому логично использовать очередь (FIFO) [5].

Для хранения каждого пакета будет использоваться своя отдельная ячейка, устройство которой представлено на рис. 1.

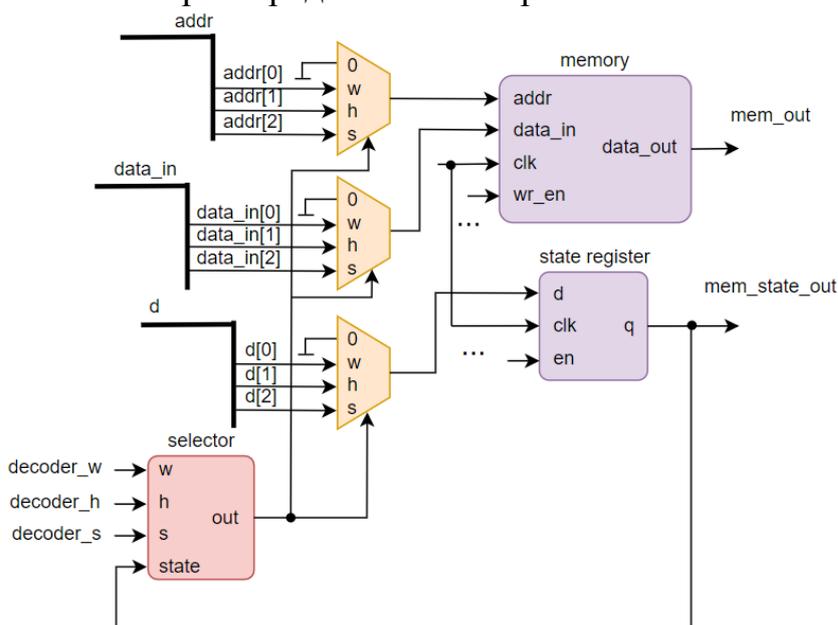


Рис. 1. Устройство модуля cell

Memory – модуль однопортовой памяти [6], в которой и сохраняется пакет. Поскольку максимальный размер пакета в Ethernet ограничен 1500 байтами [7], то объем адресуемой памяти составляет 2048 байт.

State register – регистр состояния ячейки памяти. Ячейка может находиться в одном из трех состояний, закодированных следующим образом:

данные отправлены (ячейка готова к записи данных) – 0, данные записаны (ячейка готова к обработке) – 1, данные обработаны (ячейка готова к отправке) – 2. Так как состояний всего 3, то для хранения достаточно двух бит. Тактовый сигнал у регистра и памяти общий.

К каждому из портов памяти и регистра подключены мультиплексоры, которые предоставляют доступ к ячейке одному из модулей (write, handle или send).

Управление мультиплексорами осуществляет модуль selector. Алгоритм его работы следующий. На входы decoder\_w, decoder\_h и decoder\_s поступают сигналы запроса от соответствующих модулей. При логической единице считается, что соответствующий модуль собирается взаимодействовать с ячейкой. На основании запросов и текущего состояния ячейки происходит следующее: если состояние 0 и запрос на запись, то мультиплексоры передают данные от модуля write. Иначе если состояние 1 и есть запрос на обработку, то данные поступают от модуля handle. Иначе если состояние 2 и запрос на отправку, управление передается модулю send. Иначе на все входы поступает логический 0, что защищает ячейку от изменения данных.

### Общая схема проекта

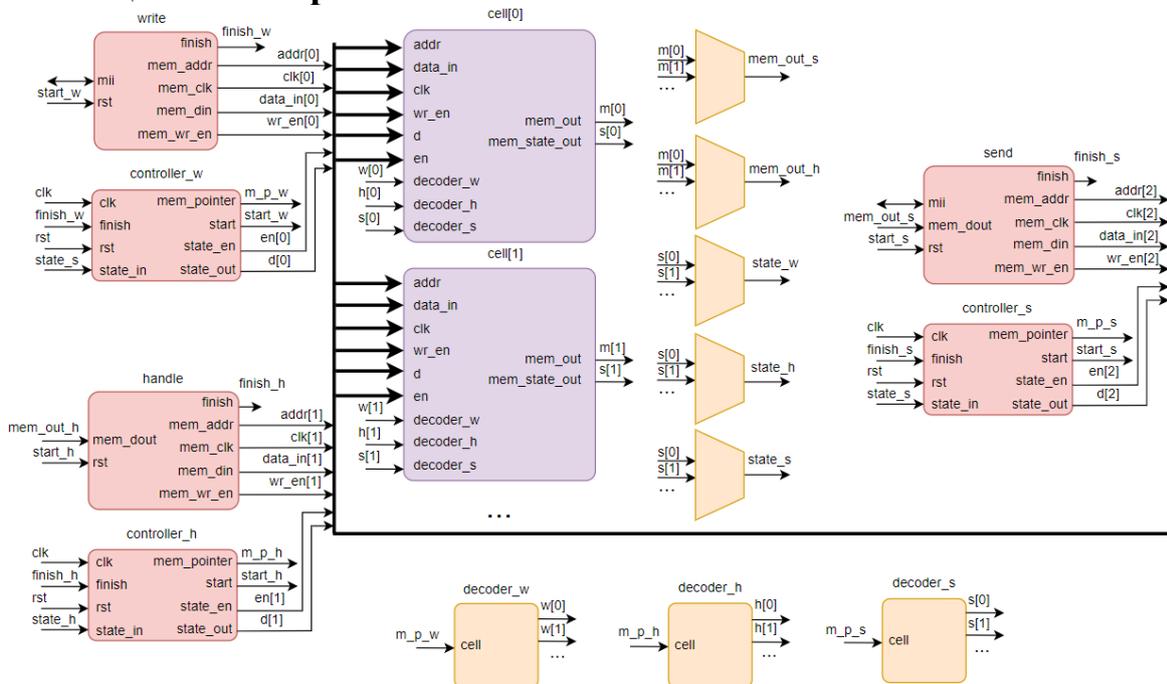


Рис. 2. Общая схема разрабатываемого устройства

На рис. 2 изображена диаграмма, визуализирующая содержимое файла верхнего уровня проекта. Для хранения данных имеется ряд одинаковых ячеек (cell), устройство которых рассмотрено выше. Для обеспечения записи, обработки и отправки данных имеются модули write, handle и send. Каждому из этих модулей требуется свой контроллер, необходимый для выбора ячеек и управления работой модуля. Рассмотрим работу схемы поэтапно.

Изначально после сброса все контроллеры собираются взаимодействовать с ячейкой 0 (cell[0]). Номер ячейки для взаимодействия хранится внутри каждого из контроллеров (controller\_w, controller\_h, controller\_s) и поступает на вход своего декодера (decoder\_w, decoder\_h, decoder\_s). Каждый из них представляет собой преобразователь позиционного кода в унитарный [8]. Логическая единица на соответствующем выходе декодера формирует запрос для соответствующей ячейки. Выбор того, кому предоставить доступ осуществляется внутри ячейки.

Изначально состояние ячейки показывает, что она пуста и готова к записи данных. Поэтому работа с ней предоставляется модулю write. Теперь этот модуль ожидает, когда по интерфейсу МП [9] придет пакет данных. После того как пакет будет принят и записан, будет выставлен сигнал finish\_w, после чего controller\_h запишет новое состояние в регистр ячейки и начнется отслеживание следующей ячейки. Кроме данных в памяти также сохраняется адрес предпоследнего байта данных, что необходимо для корректного указания граница пакета. Хранение осуществляется в двух первых байтах в порядке от младшего к старшему.

После изменения состояния доступ к данным будет предоставлен модулю handle. Он произведет соответствующую обработку, которая может заключаться в шифровании, изменении полей пакета или внешнем сохранении информации о пакете. В третьем байте памяти кодируется следующая информация: 0 – не отправлять данный пакет, 1 – отправить без пересчета контрольной суммы, 2 – отправить пакет и пересчитать контрольную сумму. После этого выставляется сигнал finish\_h и новое состояние записывается в регистр.

Далее управление предоставляется модулю отправки, который первоначально считывает первые три байта и на их основе сразу выставляет сигнал finish\_s либо же передает управление соответствующим подмодулям. В конце также производится перезапись состояния ячейки и весь процесс начинается с начала.

Все модули `controller_x` являются одинаковыми. Разница состоит лишь в том, какое состояние ячейки он ожидает и какое запишет после выполнения работы своим подчиненным. Он также полностью управляет соответствующим модулем, удерживая его в состоянии сброса до момента начала работы, а также хранит адрес ячейки, за состоянием которой необходимо следить. Эти данные поступают от соответствующего мультиплектора (рис. 2, справа от `cell`).

### **Выводы**

В результате был получен код на языке System Verilog, позволяющий реализовать аппаратный сниффер. Так как в ходе разработки не были применены проприетарные IP ядра [10], есть возможность запустить данный проект практически на любой ПЛИС, имеющей встроенную память. В качестве интерфейса для приема и передачи пакетов был применен МП. Полученные наработки можно применить для доработки схемы под задачи обработки, мониторинга или шифрования.

### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Белоусов А.С. Анализ сетевого трафика: от анализа пакетов до анализа потоков / А. С. Белоусов, Н. В. Будылдина // Инфокоммуникационные технологии: актуальные вопросы цифровой экономики : Сборник научных трудов II Международной научно-практической конференции, Екатеринбург, 26–27 января 2022 года / Под редакцией В.П. Шувалова. Сост. М.П. Карачарова. – Екатеринбург: Уральский технический институт связи и информатики (филиал) федерального государственного образовательного бюджетного учреждения высшего профессионального образования "Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики", 2022. – С. 17-21. – EDN BWTBIJ.
2. Анализатор трафика для компьютерных сетей // Официальный сайт URL: <https://www.wireshark.org/> (дата обращения: 05.05.2023).
3. Protosphere: система анализа сетевого трафика // Официальный сайт URL: <https://www.ispras.ru/technologies/protosphere/>
4. DE2 – 115 User manual // URL: [http://www.terasic.com.tw/attachment/archive/502/DE2\\_115\\_User\\_manual.pdf](http://www.terasic.com.tw/attachment/archive/502/DE2_115_User_manual.pdf)
5. Алгоритмы. Теория и практическое применение / Род Стивенс. – Москва : Издательство «Э», 2016. – 544 с.

6. *Соловьев В.* Логическое проектирование встраиваемых систем на FPGA. Часть 14. Проектирование встроенной памяти в системе Quartus / В. Соловьев // . – 2019. – № 11(220). – С. 38-46. – EDN PFRNGI.
7. IEEE Standard for Ethernet [Электронный ресурс]. URL: <https://standards.ieee.org/ieee/802.3/7071/> (дата обращения: 05.05.2023).
8. Цифровой синтез: практический курс / под общ. ред. А. Ю. Романова, Ю. В. Панчула. – М.: ДМК Пресс, 2020. – 556 с.
9. Media-independent interface [Электронный ресурс]. URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Media-independent\\_interface](https://en.wikipedia.org/wiki/Media-independent_interface)
10. *Фрэнк Бруно.* Программирование FPGA для начинающих / пер. с англ. С. Л. Плехановой; под науч. ред. А. Ю. Романова, Ю. В. Ревича. – М.: ДМК Пресс, 2022. – 304 с.: ил.

**Мангушев Александр Вячеславович**, студент третьего курса бакалавриата Волгоградского государственного технического университета (ВолгГТУ), Россия, город Волгоград, проспект имени В.И. Ленина 28, 400066, телефон: +7 (988) 052-20-90, email: [mangushev2001@yandex.ru](mailto:mangushev2001@yandex.ru).

**Зыбин Валерий Андреевич**, студент четвертого курса бакалавриата Волгоградского государственного технического университета (ВолгГТУ), Россия, город Волгоград, проспект имени В.И. Ленина 28, 400066, телефон: +7 (961) 057-34-64, email: [vazybin@mail.ru](mailto:vazybin@mail.ru).

**Полухин Игорь Дмитриевич**, студент четвертого курса бакалавриата Волгоградского государственного технического университета (ВолгГТУ), Россия, город Волгоград, проспект имени В.И. Ленина 28, 400066, телефон: +7 (902)-095-13-11, email: [poluxin.2001@mail.ru](mailto:poluxin.2001@mail.ru).

**Mangushev Alexander Vyacheslavovich**, third-year undergraduate student of Volgograd State Technical University (VSTU), 400066, Russia, Volgograd, Lenin Avenue 28, phone: +7 (988) 052-20-90, email: [mangushev2001@yandex.ru](mailto:mangushev2001@yandex.ru).

**Zybin Valery Andreevich**, fourth-year undergraduate student of Volgograd State Technical University (VSTU), 400066, Russia, Volgograd, Lenin Avenue 28, phone: +7 (961) 057-34-64, email: [vazybin@mail.ru](mailto:vazybin@mail.ru).

**Polukhin Igor Dmitrievich**, fourth-year undergraduate student of Volgograd State Technical University (VSTU), 400066, Russia, Volgograd, Lenin Avenue 28, phone: +7 (902)-095-13-11, email: [poluxin.2001@mail.ru](mailto:poluxin.2001@mail.ru).

Виноградова Наталья Викторовна

## **ПРОБЛЕМЫ ИНТЕГРАЦИИ ERP И MES СИСТЕМ НА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ПРЕДПРИЯТИИ**

*В статье рассматриваются проблемы интеграции ERP и MES-систем для построения единой системы управления предприятием. Выполняется анализ уровней и систем автоматизации, формулируются и разрешаются задачи по интеграции указанных систем, делается вывод о целесообразности построения информационной среды предприятия с применением различных видов автоматизированных систем, используемых по своему функциональному назначению.*

*Автоматизация, ERP, MES, интеграция, предприятие, АСУ ТП, управление, SCADA.*

Vinogradova Natalia Viktorovna

## **PROBLEMS OF INTEGRATION OF ERP AND MES SYSTEMS IN A TECHNOLOGICAL ENTERPRISE**

*The article discusses the problems of integrating ERP and MES systems to build a unified enterprise management system. The analysis of levels and automation systems is carried out, tasks for the integration of these systems are formulated and solved, the conclusion is made about the expediency of building an enterprise information environment using various types of automated systems used for their functional purpose.*

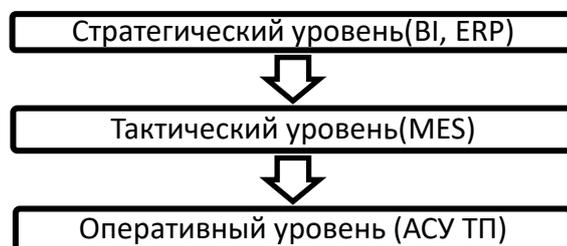
*Automation, ERP, MES, integration, enterprise, automated process control, management, SCADA.*

### **Введение**

Современные реалии 2023 года таковы, что на производственных предприятиях для принятия эффективных управленческих решений требуется анализировать огромные объемы данных. Для этого используется целый ряд автоматизированных систем, которые основаны на разных концепциях, методиках и стандартах. [1]

Российские предприятия, вне зависимости от вида их деятельности, всё чаще и чаще сталкиваются с необходимостью автоматизации на всех уровнях. Огромные массивы, не всегда структурированных данных, требуемые для анализа и принятия решений, в настоящий момент вручную

обрабатывать становится практически невозможно. Именно поэтому на устах использование таких систем автоматизации, как BI (Business Information), ERP (Enterprise Resource Planning), MES (Manufacturing Execution System) и АСУ ТП (автоматизированные системы управления технологическими процессами) [1]. Совместное применение такого типа систем позволяет выстроить жёсткую вертикаль управления деятельностью предприятия, начиная с автоматического сбора информации и заканчивая получением сводных отчётов. Использование данных систем обеспечивает управление информацией в масштабах всего предприятия. В классической теории управления [2] выделяют три уровня управления: стратегический, тактический и оперативный (рис. 1).



*Рис. 1. Уровни управления технологическим предприятием*

Интеграция BI систем, ERP систем и MES систем имеет ряд сложностей, которые могут затруднить внедрение этих решений на технологическом предприятии. Основные проблемы связаны с различиями между функциональностью систем, их структурами данных, а также особенностями производственных процессов на технологическом предприятии. [4]

#### **Анализ проблем, возникающих при интеграции ERP и MES систем**

Системы вида BI и ERP определяют стратегический уровень управления, MES-системы задают тактический уровень, а АСУ ТП – оперативный. Подобное определение уровней автоматизации деятельности предприятия встречается в большинстве работ [7, 8, 9].

Уровень АСУ ТП и SCADA представляет собой комплекс технических и программных средств, предназначенный непосредственно для автоматизации управления технологическим оборудованием на промышленных предприятиях. Выделяют управляющие, информационные и вспомогательные функции АСУ ТП, которые позволяют регулировать

отдельные технологические переменные процессов, вести программное управление группой оборудования, технологическими режимами или отдельными участками процессов, а также контролировать и измерять технологические параметры процессов [5].

MES-уровень – это автоматизированная система управления производственной деятельностью предприятия, позволяющая в режиме реального времени планировать, оптимизировать, контролировать и документировать производственные процессы от формирования заказа до выпуска готовой продукции предприятия. На этом уровне приоритетное значение имеет точность и выполнимость планов, а также высокая степень детализации каждого этапа изготовления изделия. Возможности системы MES таковы, что руководство способно в любой момент оценить оперативную обстановку на всем предприятии, сделать соответствующие выводы и фактически мгновенно скорректировать процесс. Результаты подобных внедрений во многом оцениваются с финансовой точки зрения.

Уровень ERP-систем позволяет реализовать стратегию интеграции логистических (закупки, производство, сбыт), финансовых (дебиторы, кредиторы, банки) и кадровых функций компании, ориентированную на оптимизацию ресурсов предприятия посредством специализированного программного обеспечения. ERP-системы в большинстве своём ведут обработку транзакционных данных и относятся к классу систем OLTP (OnLine Transactional Processing).

Совместное использование указанных уровней автоматизации формирует единую информационную среду предприятия (табл. 1). Так, уровень АСУ ТП, ограниченный программируемыми логическими контроллерами, SCADA-системами и базами данных, позволяет вести сбор и обработку технологических данных в режиме реального времени. Обработанная информация передаётся на уровень MES-систем и используется для оперативного управления производством с учётом взаимозаменяемости и переналадок оборудования. Оперативный план производства данного уровня соотносится с результатами работы ERP-систем по стратегическому планированию и управлению административно-хозяйственными операциями компании. Сводная аналитическая отчётность, полученная на основе транзакционных данных ERP-уровня, определяет финальный шаг автоматизации средствами VI-систем.

### **Проблемные области интеграции.**

Описанный процесс взаимодействия уровней интеграции предприятия позволяет сформулировать задачи, решение которых необходимо для построения единой информационной среды. Если рассмотреть работу интегрированной среды ERP, MES и АСУ ТП сверху вниз, то ERP-системы формируют календарный план производства на основе стандарта MRP II (Material Requirement Planning). Созданный план, переданный на уровень MES, служит основой для формирования и последующей оптимизации производственного расписания. Производственное расписание определяет технологические процессы, проводимые и контролируемые на уровне АСУ ТП. Следует отметить, что возможны различные сценарии объединения систем, включая полное отсутствие интеграции. В последнем случае каждая система будет работать независимо: так, ERP-система будет использоваться для объёмного планирования и фиксации результатов производства, MES – для объёмного/детального планирования и управления производством, а АСУ ТП – для процесса мониторинга. Это свидетельствует о необходимости чёткого разграничения функциональности систем в случае их интеграции.

Одна из основных проблем, связанных с интеграцией ERP и MES систем, заключается в несовместимости структур данных. ERP системы специализируются на управлении ресурсами предприятия (от учета материалов до управления финансами), в то время как MES системы ориентированы на управление процессами производства. В результате, структуры данных, используемые в различных системах, могут значительно отличаться друг от друга, что затрудняет интеграцию и обмен данными между ними.

Кроме того, различные системы обычно имеют свои собственные базы данных, что приводит к расхождениям в информации между системами, а также к сложностям в мониторинге и анализе производственных данных.

Еще одна проблема, возникающая при интеграции ERP и MES систем, состоит в том, что эти системы могут использовать разные методы сбора, анализа и интерпретации данных. Например, MES системы могут собирать данные в режиме реального времени, которые не всегда могут быть интерпретированы ERP системами. Кроме того, ERP системы, как правило, используют агрегированную информацию, которая может быть недостаточно точной для управления производственными процессами.

Также необходимо учитывать, что на технологическом предприятии многие процессы являются автоматизированными и используют интеллектуальные и роботизированные системы. Их интеграция в ERP и MES системы также может иметь технические сложности.

Наконец, стоит отметить, что внедрение ERP и MES систем на предприятии требует внедрения и изменения производственных процессов. Это может привести к сложностям в организации деятельности предприятия, обучении персонала и оказанию технической поддержки.

### **Практические способы разрешения проблем интеграции.**

Ранее было показано, что существует несколько возможных вариантов разграничения производственной функциональности в ERP и MES-системах. В системах ERP отсутствует возможность управления производственными процессами, данные функции присущи исключительно MES, в то время как в ERP существует лишь возможность фиксации полученных результатов производства (табл. 1).

Таблица 1

#### Характеристики систем автоматизации

| Система автоматизации | Горизонт планирования  | Частота обработки                       | Автоматизируемые процессы                    | Особенности планирования   |
|-----------------------|------------------------|---|--|--|
| BI (OLAP)             | –                      | Ежедневно                               | Получение аналитической отчётности           | –  |
| ERP (OLTP)            | Квартал, месяц, неделя | Ежедневное/еженедельное планирование    | Административно-хозяйственные процессы       | Стратегическое планирование, включая объёмное планирование производства с возможностью фиксации выходных результатов |
| MES                   | Неделя, смена, час     | Планирование в режиме реального времени | Производственные процессы                    | Оперативное планирование производства с учётом различных производственных ситуаций                                   |
| АСУ ТП (SCADA)        | –                      | Режим работы в реальном времени         | Процесс обработки технологической информации | –  |

Существует несколько практических способов интеграции ERP и MES систем, каждый из которых имеет свои преимущества и недостатки:

- полностью интегрировать MES систему в ERP систему. Этот метод позволяет обеспечить единый интерфейс и общую базу данных для всех производственных операций. Однако этот способ требует высоких затрат на разработку, настройку и обслуживание информационных систем.

- использование специализированного посредника для интеграции MES и ERP систем. В этом случае посредник перенаправляет данные между MES и ERP системами, используя стандартные и промышленные протоколы. Этот метод является более гибким и экономически обоснованным, поскольку не требует больших затрат на разработку и обслуживание систем.

- использование набора API, который позволяет передавать данные между MES и ERP системами. Этот метод является наиболее гибким и простым в использовании, поскольку не требует дополнительной настройки систем. Однако этот способ может быть менее надежным и не гарантирует защиту данных.

Независимо от выбранного метода интеграции, важно убедиться в том, что обе системы корректно взаимодействуют, а данные передаются без ошибок. Важно также учитывать особенности каждой отдельно взятой системы и адаптировать интеграцию под их требования.

Наконец, для успешной интеграции ERP и MES систем необходима четкая стратегия, которая включает оценку текущих бизнес-процессов, анализ требований и определение ключевых показателей эффективности. Только после этого можно принять решение о выборе оптимального способа интеграции и успешно реализовать его на практике.

#### **Выводы.**

Совместное применение BI, ERP, MES и АСУ ТП позволяет выстраивать единую систему управления предприятием, в которой каждый уровень интеграции выполняет строго заданную функцию: формирование аналитической отчетности, ведение объёмно-календарного планирования, расчёт оптимального производственного расписания и контроль технологических процессов. Помимо ERP существуют и другие автоматизированные системы предприятия: SRM, CRM, PLM и SCM, обеспечивающие управление взаимоотношениями с поставщиками и клиентами, а также жизненным циклом продукции и цепочками поставок. SCM-системы успешно решают задачи по управлению всей логистической сетью. Одной из подсистем SCM служит APS (Advanced Planning and Scheduling), отвечающая за оптимизированное производственное планирование. В случае использования APS-систем схема планирования ресурсов предприятия будет включать три уровня: ERP для объёмно-календарного планирования, APS для формирования производственного расписания в масштабах всего предприятия, а также MES для создания оперативного плана производства по цехам. Включение APS-систем в контур планирования ресурсов предприятия приводит к появлению проблем, которые были проанализированы ранее. Тем не менее, использование систем данного вида представляется перспективным направлением дальнейшей автоматизации работы производственного предприятия.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Соколова Д. Г., Агафонова А.А.* Российский рынок ERP-систем // Развитие современной науки и технологий в условиях трансформационных процессов: Сборник материалов II Международной научно-практической конференции, Москва, 13 мая 2022 года / Редколлегия: Л.К. Гуриева [и др.]. М.: Общество с ограниченной ответственностью «ИРОК»,
2. *Уланов Е.А., Новикова В.Д.* Тренды российского рынка ERP-систем // Наука Красноярья. 2021. Т. 10. № 5-2. С. 255-262.
3. *Цыганкова В.Н., Чурилина Е.А.* Исследование российского рынка ERP-систем // Научный журнал Дискурс. 2019. № 3(29). С. 154-161.
4. *Пряхина Т.М., Бородачева Л.В.* Анализ системы управления организацией и рекомендации по совершенствованию ERP-системы // Прикладные исследования в области цифровизации управления бизнес-процессами: Материалы конкурса, Москва, 02 ноября 2020 года. М.: ФГБОУ ВО «Московский политехнический университет», 2021. С. 239-249.
5. *Мухаметов Р.И., Максимов Н.А.* ERP - системы // Перспективы развития науки и образования: Материалы Международной (заочной) научно-практической конференции, Нефтекамск, 31 марта 2021 года / Под общей редакцией А.И. Вострецова. Нефтекамск: Научно-издательский центр "Мир науки" (ИП Вострецов Александр Ильич), 2021. С. 132-137 ИП Овчинников Михаил Артурович (Типография Алеф), 2022. С. 60-65 Гвоздева Т.В., Баллод Б.А. Проектирование информационных систем: учеб. пособие. – Р. н/Д.: Феникс, 2009.
6. *Жужгов М.В., Семенов В.А.* Об основных направлениях развития платформ ERP систем // Физика для Пермского края: материалы региональной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Пермь, 15–29 апреля 2021 года. Пермь: Пермский государственный национальный исследовательский университет, 2021. С. 187-192.
7. *Клочкова А.В., Орлов О.П.* ERP-системы как инструмент стратегического менеджмента // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Экономика и экологический менеджмент. 2021. № 2. С. 134-142 Логиновский О.В., Шестаков А.Л., Шинкарев А.А. Построение современных корпоративных информационных систем // Управление большими системами: сборник трудов. 2019. № 81. С. 113-146.

8. Любимов А.Ю., Бритвина В.В. Статистический анализ мирового рынка ERP- систем // Теория и практика проектного образования. 2021. № 2(18). С. 32-33.
9. Андреев Е.Б., Куцевич И.В., Куцевич Н.А. MES-системы: взгляд изнутри. – М.: РТСофт, 2015.

**Виноградова Наталья Викторовна**, магистрант 1 курса, группы РТмо1-42, кафедры Систем автоматического управления Института радиотехнических систем и управления Южного федерального университета, Россия, город Таганрог, пер. Некрасовский 44, 347900, телефон: + 7 918 531-10-19, e-mail: [vinogradovainworld@mail.ru](mailto:vinogradovainworld@mail.ru).

**Vinogradova Natalia Viktorovna**, 1st year Master's student, RT mo1-42 Group, Department of Automatic Control Systems of the Institute of Radio Engineering Systems and Management of the Southern Federal University, Russia, Taganrog, lane. Nekrasovsky, 44, 347900, tel.: + 7 918 531-10-19, e-mail: [vinogradovainworld@mail.ru](mailto:vinogradovainworld@mail.ru)

УДК 621.3.049.77–048.24:537.2

Батура Александр Александрович

**УЧЁТ УСТОЙЧИВЫХ И ВРЕМЕННЫХ ОТКАЗОВ  
ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ ЭЛЕКТРОННОЙ СИСТЕМЫ  
БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ОЦЕНКЕ ЕЁ НАДЁЖНОСТИ**

*На примере одного из помещений небольшого банковского учреждения показано, как при расчёте надёжности электронной системы безопасности, обеспечивающей защиту материальных ценностей от хищения, можно учесть устойчивые и временные отказы функциональных устройств системы.*

*Электронная система безопасности, функциональные устройства, надёжность, устойчивые отказы, временные отказы.*

Batutra Aliaksandr Aliaksandrovich

## ACCOUNTING FOR STABLE AND TEMPORARY FAILURES OF FUNCTIONAL DEVICES OF THE ELECTRONIC SAFETY SYSTEM WHEN ASSESSING ITS RELIABILITY

*Using the example of one of the premises of a small banking institution, it is shown how, when calculating the reliability of an electronic security system that protects material assets from theft, one can take into account persistent and temporary failures of the system's functional devices.*

*Electronic security system, functional devices, reliability, persistent failures, temporary failures.*

### **Введение**

Устойчивые отказы функционального устройства электронной системы безопасности (ЭСБ) являются следствием возникновения неисправности в устройстве. Проявляются эти отказы в виде потери устройством работоспособного состояния, если в устройстве не предусмотрено резервирование. Восстановление работоспособного состояния устройства в этом случае обеспечивается путём проведения его ремонта, включающего обнаружение неисправного элемента или функциональной части устройства и их замену заведомо исправными. Временные отказы, называемые сбоями [1, 2], представляют собой кратковременную потерю устройством работоспособного состояния вследствие действия естественных или искусственных дестабилизирующих факторов (гроза, молния, ураганные порывы ветра, электромагнитное излучение мощных промышленных установок, помехи по сети электропитания, умышленные действия нарушителей и т.п.). При классическом расчёте надёжности ЭСБ обычно учитывают устойчивые отказы её функциональных устройств [3–7]. Неучёт возможных временных отказов приводит к тому, что расчётная вероятность безотказной работы системы и, следовательно, вероятность защиты объекта с помощью ЭСБ оказываются выше реальных эксплуатационных значений, что может проявиться на степени защищённости объекта при его функционировании.

В данной работе показано, как в инженерных расчётах можно учесть совместное влияние устойчивых и временных отказов на надёжность функциональных устройств и электронной системы безопасности в целом. Учёт как устойчивых, так и временных отказов позволит для электронной

системы безопасности получить проектные показатели надёжности, которые более достоверно характеризуют потенциальные возможности системы по защите объекта в конкретных эксплуатационных условиях.

### **Основная часть**

Объектом защиты является небольшое банковское учреждение, рассматриваемое в лабораторной работе по учебной дисциплине «Теоретические основы проектирования электронных систем безопасности» [8]. Задача ЭСБ состоит в том, чтобы обнаружить несанкционированное проникновение нарушителя в здание и дать команду исполнительным устройствам и охране (операторам – ОП) на ликвидацию угрозы. В состав ЭСБ входят следующие функциональные устройства:

- ударозвуковые датчики разбития стекла (У), устанавливаются на окна;
- магнитоконтактные датчики (М), устанавливаются на дверях;
- инфракрасные датчики (ИК), устанавливаются в комнатах;
- видеокамеры (ВК), устанавливаются в коридорах и рассматриваются как разновидности датчиков;
- микропроцессорное приёмно-контрольное устройство (МП);
- видеорегистратор (ВР);
- пульт управления (ПУ).

Устройства МП, ВР и ПУ установлены в помещении охраны. Схема помещений здания, места операторов (охраны) и размещение функциональных устройств системы показаны на рис. 1.

Защита объекта заключается в обнаружении датчиками и видеокамерами факта проникновения нарушителя, передаче сигналов, сформированных ими, для обработки устройствами МП и ВР с последующей выдачей управляющих сигналов операторам (охране) на устройство ПУ. Ликвидация возникшей угрозы осуществляется действиями работников охраны.

На примере подсистемы, контролирующей выделенную жирной линией область в левой стороне здания (см. рис. 1), покажем, как можно одновременно учесть устойчивые и временные отказы устройств ЭСБ. Обозначим эту подсистему как «Т1–Кор1». Она включает следующие устройства:

- датчик М, установленный на входной двери тамбура Т1;
- видеокамеру ВК, установленную в коридоре Кор1 и контролирующую выход из тамбура Т1 и вход в комнаты 1–8;

- устройство ВР, записывающее изображения, фиксирующие видеокамерой ВК;
- устройство МП, обрабатывающие сигналы, поступающие от датчика М.

Устройства МП и ВР, входящие в состав подсистемы «Т1–Кор1», установлены в помещении, где располагаются операторы (охрана).

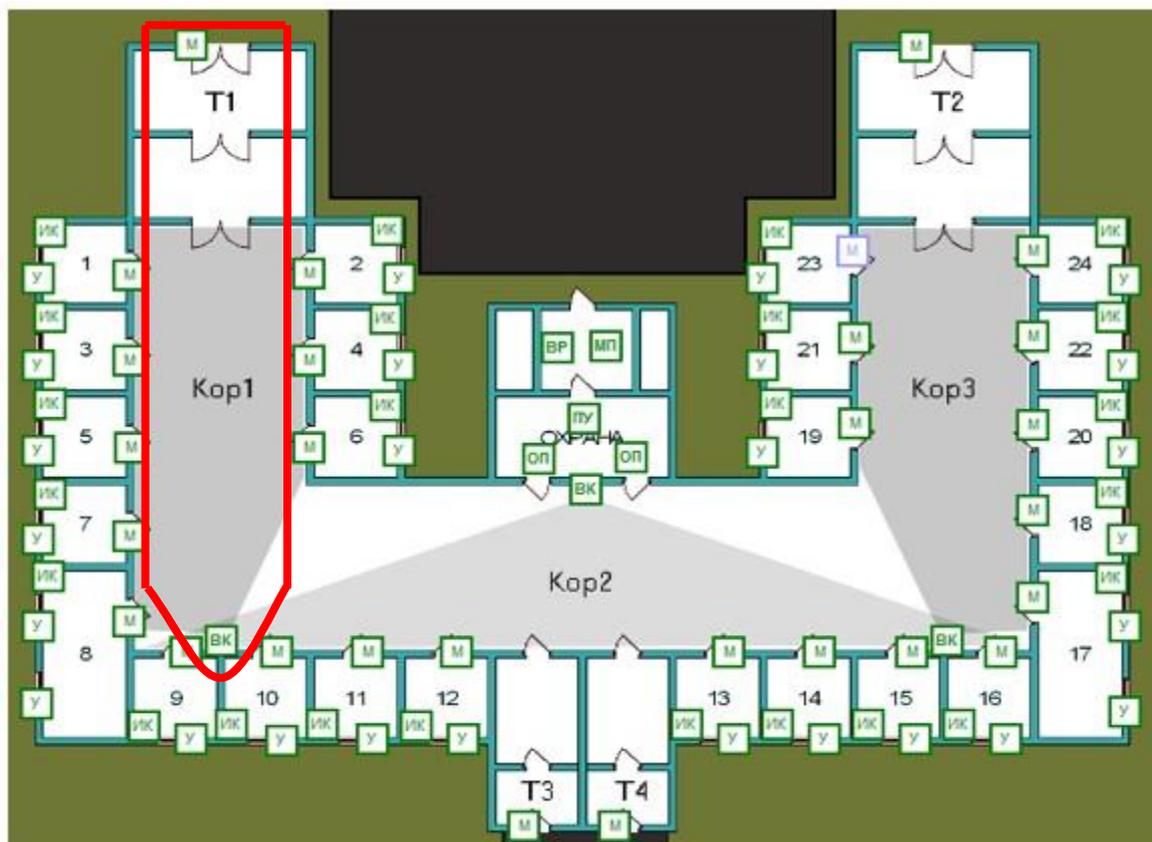


Рис. 1. План объекта защиты и размещения устройств электронной системы безопасности

Для расчёта вероятности работоспособного состояния подсистемы «Т1–Кор1», то есть вероятности обнаружения подсистемой нарушителя (обозначим эту вероятность через  $P_{Т1-Кор1}$ ) может быть использована формула, полученная с использованием [8, 9]:

$$P_{Т1-Кор1} = 1 - (1 - P_M P_{МП})(1 - P_{ВК} P_{ВР}). \quad (1)$$

В формуле (1) буквой  $P$  после знака равенства обозначены вероятности работоспособного состояния составных частей подсистемы с учётом как устойчивых, так и временных отказов, а по нижним индексам интуитивно понятно, к каким устройствам относятся указанные вероятности.

Возможные состояния любой электронной системы безопасности определяются состояниями работоспособности и неработоспособности устройств, входящих в рассматриваемую систему. В подсистему «Т1–Кор1» входят устройства М, ВК, МП и ВР. Каждое из них в любой момент времени (в случае отсутствия резервирования) может находиться в состоянии работоспособности или же состоянии неработоспособности. Количество возможных состояний подсистемы определится как  $2^n$ , где  $n$  – количество устройств, входящих в подсистему. В нашем случае число состояний (обозначим через  $N$ ) подсистемы «Т1–Кор1»  $N = 2^4 = 16$ .

Формула расчёта вероятности  $i$ -го состояния подсистемы «Т1–Кор1» принимает вид (вероятность  $i$ -го состояния обозначена через  $h_i$ )

$$h_i = s(M) \cdot s(ВК) \cdot s(МП) \cdot s(ВР), \quad (2)$$

где  $s(j)$  – вероятность, характеризующая техническое состояние (работоспособное или неработоспособное)  $j$ -го устройства подсистемы «Т1–Кор»;  $j \rightarrow M, ВК, МП, ВР$ .

Для выполнения расчётов по формуле (2) можно воспользоваться символическими обозначениями состояний подсистемы и функциональных устройств, входящих в эту подсистему (табл. 1).

Таблица 1

Возможные состояния подсистемы «Т1–Кор1»

| Номер состояния | Символическое обозначение состояния подсистемы | Состояние работоспособности устройств подсистемы |    |    |    | Формула определения вероятности технического состояния $h_i$ | Коэффициент работоспособности состояния $\Phi_i = \Phi(XXXX)$ |
|-----------------|--|--|----|----|----|--|---|
|                 |  | М  | ВК | МП | ВР |  |   |
| 1               | 1111   | 1  | 1  | 1  | 1  | $r(M) \cdot r(ВК) \cdot r(МП) \cdot r(ВР)$                   | $\Phi(1111)$  |
| 2               | 1110   | 1  | 1  | 1  | 0  | $r(M) \cdot r(ВК) \cdot r(МП) \cdot [1 - r(ВР)]$             | $\Phi(1110)$  |
| 3               | 1101   | 1  | 1  | 0  | 1  | $r(M) \cdot r(ВК) \cdot [(1 - r(МП))] \cdot r(ВР)$           | $\Phi(1101)$  |
| ...             | ...  |  |    |    |    | ...  | ...   |

|  |      |   |   |   |   |  |                  |
|--|------|---|---|---|---|--|------------------|
| 16   | 0000 | 0 | 0 | 0 | 0 | $[1 - r(M)] \cdot [1 - r(BK)] \times$<br>$\times [1 - r(MP)] \times$<br>$\times [1 - r(BP)]$ | $\Phi(0000) = 0$ |
| <i>Примечание</i> – Цифра «1» обозначает работоспособное, «0» – неработоспособное состояния устройств. |      |   |   |   |   |  |                  |

Вероятность работоспособного состояния устройств с учётом как устойчивых, так и временных их отказов (обозначим через  $P_j$ ) определим, принимая во внимание то, что потеря работоспособного состояния устройства происходит в случаях, если для устройства возникает хотя бы один из отказов: либо устойчивый отказ из-за возникшей технической неисправности, или же временный отказ из-за действия факторов внешней среды (метеорологических факторов, физического окружения, преднамеренных действий нарушителя):

$$P_j = 1 - (1 - r_j)(1 - p_j), \quad (3)$$

где  $r_j, p_j$  – соответственно вероятность работоспособного состояния  $j$ -го устройства с учётом только устойчивых отказов (технических неисправностей) и вероятность работоспособного состояния этого же устройства с учётом только временных отказов при технически исправном состоянии устройства ( $j \rightarrow M, BK, MP, BP$ ).

Итоговый показатель надёжности подсистемы «Т1–Кор1» – вероятность работоспособного состояния подсистемы в любой выбранный момент времени в соответствии с [10] определяется формулой

$$P_{\text{Т1-Кор1}} = \sum_{i=1}^{16} h_i \Phi_i, \quad (4)$$

где  $\Phi_i$  – вероятность работоспособного состояния подсистемы в случае нахождения её в  $i$ -м техническом состоянии.

Значение  $\Phi_i$  определяется по формуле (1), то есть  $\Phi_i = P_{i, \text{Т1-Кор1}}$ .

В теории надёжности технических систем [8, 10] итоговый показатель надёжности  $P_{\text{Т1-Кор1}}$  называют показателем эффективности функционирования подсистемы, а величину  $\Phi_i$  – коэффициентом эффективности функционирования, соответствующим  $i$ -му техническому состоянию подсистемы.

С учётом справочных данных об устойчивых и временных отказах устройств подсистемы «Т1–Кор1» [8] вероятность работоспособного со-

стояния функциональных устройств с учётом их как устойчивых, так и временных отказов рассчитана по формуле (3).

Итоговые показатели надёжности, полученные для подсистемы «Т1–Кор1» с учётом только устойчивых отказов, а также с учётом как устойчивых, так и временных отказов её функциональных устройств, составили соответственно 0,999934 и 0,998125.

Оценка вероятности работоспособного состояния ЭСБ в целом в предположении, что 28 подсистем, входящих в состав системы, примерно одинаковы по уровню надёжности, дала соответственно результаты 0,998 и 0,949. Расхождение значений вероятностей для случаев неучёта и учёта временных отказов устройств составило примерно пять процентов.

### **Выводы**

В данной статье, на конкретном примере показано, как при расчёте надёжности электронной системы безопасности можно учесть влияние устойчивых и временных отказов функциональных устройств, входящих в состав рассматриваемой системы. Из приведённого примера видно, что учёт только устойчивых отказов устройств системы при расчёте её надёжности приводит к получению завышенного значения вероятности работоспособного состояния системы.

### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Надёжность в технике. Термины и определения: ГОСТ 27.002-2015. / Введён 1.03.2017. – М.: Стандартиформ, 2016.
2. *Боровиков С.М.* Теоретические основы конструирования, технологии и надёжности: учебник для инж.-техн. спец. вузов. – Минск: Дизайн ПРО, 1998.
3. *Боровиков С.М., Цырельчук И.Н., Троян Ф.Д.* Расчёт показателей надёжности радиоэлектронных средств: учебно-метод. пособие / Под ред. С.М. Боровикова. – Минск: БГУИР, 2010.
4. *Прытков С.В., Горбачева В.М., Борисов А.А.* Надёжность электрорадиоизделий, 2006: справочник. – М.: ФГУП «22 ЦНИИ МО РФ», 2008.
5. Надёжность в технике. Структурная схема надёжности (IEC 61078:2016, Reliability block diagrams, IDT) / ГОСТ Р МЭК 61078-2021. / Введён 1.01.2022. – М: Российский институт стандартизации, 2021.
6. Reliability prediction of electronic equipment: Military Handbook MIL / HDBK-217F. – Washington: Department of defense DC 20301, 1995.

7. A universal model for reliability prediction of Electronics components, PCBs and equipment. RDF 2000: reliability data handbook. – Paris: UTE C 80-810, 2000.
8. Боровиков С.М., Шнейдеров Е.Н., Гришель Р.П., Бересневич А.И., Бурак А.И. Теоретические основы проектирования электронных систем безопасности. Лабораторный практикум: пособие / Под ред. С.М. Боровикова. – Минск: БГУИР, 2014.
9. Венцель Е.С. Теория вероятностей: учеб. для вузов / 10-е изд. стер. – М.: Высш. шк., 2006.
10. Беляев Ю.К., Богатырев В.А., Болотин В.В. и др. Надёжность технических систем: справочник / Под ред. И.А. Ушакова. – М.: Радио и связь, 1985.

**Батура Александр Александрович**, магистрант кафедры проектирования информационно-компьютерных систем факультета компьютерного проектирования Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники, Республика Беларусь, город Минск, улица П. Бровки 6, 220013, телефон: +375256335470, email: alexandr1979ton@gmail.com.

**Batura Aliaksandr Aliaksandrovich**, master student [Academic department Information and Computer-Aided Systems Design](#) Faculty of Computer-Aided Design Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Republic of Belarus, Minsk, 6 P.Brovki street, 220013 phone: +375256335470, email: alexandr1979ton@gmail.com.

УДК 621.396

Зарайченков Станислав Максимович

## РАЗВИТИЕ ТЕХНОЛОГИЙ СИСТЕМ МОНИТОРИНГА, ДИАГНОСТИКИ И УПРАВЛЕНИЯ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ

*В данной научной статье рассматривается развитие технологий мониторинга, диагностики и управления в промышленном секторе с 1990 по 2021 год, фокусируясь на конкретных примерах компаний. В начале 1990-х годов основное внимание уделялось автоматизации производственных процессов и использованию проводных систем мониторинга. В середине 1990-х годов широкое распространение получили беспроводные технологии, упрощающие установку и подключение датчиков. В 2000-х годах развитие аналитики данных и машинного обучения позволило повысить эффективность анализа данных и прогнозирова-*

ния отказов. С 2010-х годов внедрение технологий Интернета вещей (IoT) и систем на основе искусственного интеллекта привело к более тесной интеграции компонентов промышленных систем и повышению уровня автоматизации. Приводятся конкретные примеры компаний, демонстрирующие развитие этих технологий. В заключение следует отметить, что будущие достижения в этой области будут направлены на повышение кибербезопасности, дальнейшую автоматизацию и интеграцию технологий IoT. Данное исследование расширяет наше понимание технологической эволюции в промышленном секторе и ее влияния на эффективность и безопасность процессов.

*Системы мониторинга, диагностика, управление, промышленность, автоматизация, проводные технологии, беспроводные технологии, аналитика данных, машинное обучение, Интернет вещей, искусственный интеллект, примеры компаний.*

Zaraychenkov Stanislav Maksimovich

## **EX DEVELOPMENT OF MONITORING, DIAGNOSTIC AND CONTROL SYSTEM TECHNOLOGIES IN INDUSTRY**

*This research article examines the development of monitoring, diagnostics, and control technologies in the industrial sector from 1990 to 2021, focusing on specific examples from companies. In the early 1990s, the emphasis was on automating manufacturing processes and using wired monitoring systems. In the mid-1990s, wireless technologies became widely adopted, simplifying the installation and connection of sensors. In the 2000s, advancements in data analytics and machine learning enabled more effective data analysis and failure prediction. Since the 2010s, the implementation of Internet of Things (IoT) technologies and AI-based systems has led to tighter integration of industrial system components and increased automation. Concrete examples from companies demonstrating the development of these technologies are provided. In conclusion, future advancements in this field will focus on improving cybersecurity, further automation, and integration of IoT technologies. This study enhances our understanding of technological evolution in the industrial sector and its impact on process efficiency and safety.*

*Monitoring systems, diagnostics, control, industry, automation, wired technologies, wireless technologies, data analytics, machine learning, Internet of Things, artificial intelligence, company examples.*

## **Введение**

Промышленность является одной из важнейших отраслей экономики, и эффективность ее работы играет решающую роль в обеспечении конкурентоспособности предприятий. В последние десятилетия развитие технологий систем мониторинга, диагностики и управления в промышленности стало ключевым фактором для повышения эффективности производственных процессов и снижения операционных рисков. Введение в статье рассматривает актуальность проблемы, описывает основные задачи исследования и формулирует цель работы.

## **Основная часть**

Развитие технологий систем мониторинга, диагностики и управления в промышленности с 1990 по 2021 год отражает значительные изменения и прорывы в этой области. В течение этого периода произошло значительное развитие информационных и коммуникационных технологий, которые сыграли ключевую роль в улучшении производительности и эффективности промышленных систем.

В начале 1990-х годов основной акцент делался на автоматизации производственных процессов. Это включало в себя применение программного обеспечения для управления и контроля систем, а также использование первых систем мониторинга. В это время в основном использовались проводные сенсоры и системы передачи данных.

Примером из реальной жизни в начале 1990-х годов является внедрение системы автоматизации производства на автомобильном заводе "Toyota Motor Corporation". В это время Toyota активно применяла передовые технологии в своих производственных процессах, и системы мониторинга и управления были ключевыми компонентами их стратегии.

На автомобильном заводе Toyota было внедрено программное обеспечение для управления и контроля производственных линий. Это позволяло операторам и инженерам мониторить и управлять различными этапами производства автомобилей, такими как сборка, установка компонентов и тестирование.

Для сбора данных о состоянии оборудования и процессов использовались проводные сенсоры, которые были установлены на различных участках производственной линии. Эти сенсоры измеряли параметры, такие как температура, вибрация, давление и другие, и передавали данные на центральный компьютер для анализа и контроля.

В результате внедрения систем мониторинга и управления на автомобильном заводе Toyota была достигнута более высокая эффективность и качество производства. Мониторинг и контроль процессов позволяли оперативно реагировать на возможные неисправности или отклонения от заданных параметров, что способствовало сокращению времени простоя и повышению надежности производства автомобилей.

Приведенный пример с автомобильным заводом Toyota является иллюстрацией внедрения систем мониторинга, диагностики и управления в промышленности на примере конкретной компании.

В середине 1990-х годов были применены беспроводные технологии на нефтедобывающих платформах различных компаний в разных регионах мира. Одним из примеров может быть нефтедобывающая платформа "North Sea" в Северном море.

Нефтедобывающие платформы в Северном море, такие как те, что находятся в акватории Северного моря у берегов Норвегии, Великобритании, Германии и других северных европейских стран, широко использовали беспроводные технологии в технических системах мониторинга и управления. Крупные компании в нефтяной и газовой отрасли, такие как BP, Shell, Equinor (ранее Statoil), могли быть вовлечены в использование беспроводных технологий на своих нефтедобывающих платформах в Северном море.

Применение беспроводных технологий на нефтедобывающих платформах в Северном море позволяло операторам и инженерам получать информацию о состоянии систем, таких как системы бурения, системы подачи энергии и системы безопасности, без использования проводной инфраструктуры. Это значительно упрощало процесс установки и обслуживания датчиков и устройств мониторинга, а также обеспечивало оперативный мониторинг процессов на платформе.

Важно отметить, что конкретные нефтедобывающие платформы, компании и местоположения могут различаться в зависимости от конкретных проектов и контекста времени. Приведенный пример с нефтедобывающими платформами в Северном море служит иллюстрацией широкого применения беспроводных технологий в промышленности в середине 1990-х годов.

В 2000-х годах авиационные компании стали активно применять аналитику данных и машинное обучение для обработки и анализа данных, собираемых от различных систем мониторинга на борту самолетов.

Один из конкретных примеров это система мониторинга состояния двигателя (Engine Health Monitoring System) в авиации. Система собирает большой объем данных о работе двигателей в режиме реального времени, включая параметры, такие как температура, давление, вибрация и т.д. Эти данные передаются на землю для дальнейшей обработки и анализа.

С помощью аналитики данных и машинного обучения, компании могут создавать модели, которые анализируют собранные данные и выявляют аномалии и предсказывают возможные отказы или проблемы в работе двигателей. Это позволяет принимать предупреждающие меры заранее, проводить плановое обслуживание и устранять проблемы до того, как они приведут к серьезным поломкам или авариям.

Такое применение аналитики данных и машинного обучения в системах мониторинга двигателей в авиации в 2000-х годах привело к повышению безопасности полетов, оптимизации обслуживания и сокращению простоев самолетов. Это является ярким примером прогресса в области технологий систем мониторинга, диагностики и управления в промышленности в указанный период времени.

В начале 2010-х в Швеции, на промышленных предприятиях в городе Мальмё, компания Signify (ранее известная как Philips Lighting) внедрила IoT-систему умного освещения под названием Interact Industry. Эта система позволяет управлять освещением на производственных площадках, оптимизировать энергопотребление и предоставлять данные о состоянии освещения для анализа и принятия решений.

В США, на нефтедобывающих платформах в Техасе, компания General Electric (GE) реализовала IoT-систему, которая включает в себя смарт-датчики и сеть связи. Эта система позволяет мониторить и диагностировать работу оборудования на платформе, оптимизировать производственные процессы и обеспечивать безопасность.

Таким образом, конкретное предприятие и страна, где реализованы системы IoT-управления освещением или другими системами, могут варьироваться в зависимости от контекста и промышленной сферы. Важно отметить, что развитие технологий систем мониторинга, диагностики и управления в промышленности с применением IoT-концепции происходит во многих странах в разных отраслях промышленности.

Один из конкретных примеров применения систем диагностики, основанных на искусственном интеллекте и машинном обучении, можно найти в авиационной отрасли. Компания General Electric Aviation (GE

Aviation) разработала систему диагностики и прогнозирования состояния двигателей под названием "Predix". Эта система внедряется на самолетах в различных странах, включая Соединенные Штаты и Европу.

Система "Predix" использует алгоритмы машинного обучения и анализ больших данных для непрерывного мониторинга работы двигателей в режиме реального времени. С помощью датчиков и систем сбора данных, установленных на двигателях, система собирает информацию о различных параметрах работы двигателя, таких как температура, давление, скорость вращения и другие физические величины.

Алгоритмы машинного обучения обрабатывают эти данные, выявляют аномалии и корреляции между различными параметрами работы двигателя. Система способна предсказывать потенциальные отказы и неисправности, даже в случае, когда они еще не проявились. Это позволяет предпринять меры по предотвращению возможных проблем и планированию профилактического обслуживания.

Применение системы "Predix" в авиационной отрасли позволяет улучшить безопасность полетов, снизить затраты на обслуживание и увеличить доступность воздушных судов. Эта система была успешно внедрена на реактивных двигателях GE Aviation и находит применение в различных авиакомпаниях и аэропортах по всему миру.

Таким образом, системы диагностики, основанные на искусственном интеллекте и машинном обучении, имеют широкое применение в различных компаниях и отраслях, обеспечивая более точную и прогнозируемую диагностику неисправностей и повышая эффективность производства.

Один из конкретных примеров, иллюстрирующих развитие технологий систем мониторинга, диагностики и управления в промышленности, можно найти в области умного городского управления.

В городе Барселона, Испания, была разработана и внедрена система умного управления общественным транспортом под названием "Superblocks". Эта система основана на принципах IoT и включает в себя сеть сенсоров, видеокамер и системы сбора данных, которые непрерывно мониторят состояние транспортной инфраструктуры и дорожного движения.

Система "Superblocks" позволяет контролировать и анализировать данные о трафике, загруженности общественного транспорта, состоянии дорог и других параметрах. С использованием алгоритмов аналитики данных и машинного обучения, система способна прогнозировать потенци-

альные проблемы и оптимизировать поток транспорта в режиме реального времени.

Благодаря этой системе, город Барселона смог реорганизовать свою городскую инфраструктуру, создав участки "Superblocks" - зоны с ограниченным автомобильным движением в центре города. Это позволило улучшить качество воздуха, уменьшить пробки и создать более безопасные условия для пешеходов и велосипедистов.

Пример системы "Superblocks" демонстрирует, как развитие технологий мониторинга, диагностики и управления в промышленности, основанных на IoT и аналитике данных, может применяться для повышения эффективности и улучшения жизни в городской среде.

Следует отметить, что существует множество других конкретных примеров применения этих технологий в различных отраслях промышленности, таких как производство, энергетика, нефтегазовая промышленность и другие. Однако, приведенный пример "Superblocks" иллюстрирует широкий спектр преимуществ, которые могут быть достигнуты благодаря развитию технологий систем мониторинга, диагностики и управления в промышленности.

### **Заключение**

В данной научной статье было рассмотрено развитие технологий систем мониторинга, диагностики и управления в промышленности с 1990 по 2021 годы на основе конкретных примеров компаний. Отмечается, что за последние три десятилетия произошли значительные изменения в промышленных системах, благодаря внедрению новых технологий.

### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. "Toyota Motor Corporation"[https://www.toyota-global.com/company/history\\_of\\_toyota/75years/data/automotive\\_business/production/system/change.html](https://www.toyota-global.com/company/history_of_toyota/75years/data/automotive_business/production/system/change.html)
2. "Беспроводные технологии на нефтедобывающих платформах в Северном море" <https://rogtecmagazine.com/wp-content/uploads/2014/10/103.pdf>
3. Engine Health Monitoring System  
<https://patents.google.com/patent/RU87816U1/ru>

**Зарайченков Станислав Максимович**, студент ПИ (филиала) ДГТУ в г. Таганроге, Россия, город Таганрог, улица Фрунзе 112, 347904, телефон: +7 (952) 602-71-79, email: royultra77@gmail.com.

**Zaraychenkov Stanislav Maksimovich**, student of the PI (branch) of the DSTU in Taganrog, Russia, Taganrog city, Frunze street 112, 347904, phone: +7 (952) 602-71-79, email: royultra77@gmail.com.

УДК: 628.8:005.584.1

Кадыркулова Кыял Кудайбердиевна, Акунов Алим Акунович

## **СИСТЕМА МОНИТОРИНГА ПАРАМЕТРОВ МИКРОКЛИМАТА В СЕРВЕРНЫХ ПОМЕЩЕНИЯХ**

*С каждым годом большинство компаний используют высокотехнологическое оборудование в своей деятельности и работают в различных информационных системах. Для непрерывного функционирования требуется серверное помещение, в котором будет расположено серверное оборудование.*

*Серверное оборудование следует эксплуатировать в определенных микроклиматических условиях: в условиях, отличных от рекомендованных заводом-изготовителем, выйти из строя оборудование. Таким образом, система контроля состояния микроклимата помещения позволяет увеличить срок службы оборудования.*

*В связи с этим разработка информационных систем мониторинга параметров серверных помещений с учетом индивидуальных потребностей заказчиков носит актуальный характер.*

*Мониторинг, Дисплей, Arduino, Микроклимат, Сервер, Система.*

Kadyrkulova Kyial Kudayberdievna, Akunov Alim Akunovich

## **MONITORING SYSTEM OF THE MICROCLIMATE PARAMETERS IN THE SERVER ROOMS**

*Every year, most companies use high-tech equipment in their activities and work in various information systems. For continuous operation, a server room is required in which server equipment will be located.*

*Server equipment should be operated in certain microclimatic conditions, in conditions other than those recommended by the manufacturer, it can lead to equipment failure. Thus, the system for monitoring the state of the microclimate of the room allows you to increase the service life of the equipment.*

*In this regard, the development of information systems for monitoring the parameters of server rooms, considering the individual needs of customers, is relevant.*

*Monitoring, Display, Arduino, Microclimate, Server, System.*

Система мониторинга – это комплекс аппаратных и программных средств, обеспечивающих мгновенное отображение актуальной информации по состоянию оборудования информационной инфраструктуры для дальнейшего анализа и обнаружения возможных неисправностей и своевременного устранения проблем. Оповещение в системах мониторинга позволяет ответственным специалистам вовремя заметить неисправность в серверной комнате и незамедлительно принять меры по устранению этой неисправности. Подобный постоянный контроль приводит к минимизации сбоев и простоев в работе оборудования, позволяет поддерживать все ключевые сервисы в работоспособном состоянии и сохранить оптимальный уровень качества.

До появления автоматизированных систем мониторинга системные администраторы вынуждены были либо лично контролировать работу подведомственного оборудования, либо не контролировать вообще ввиду нехватки рабочего времени. Такой подход включает в себя некоторые риски для организации в виде потери оборудования и, как следствие, части бюджета, или потери данных, что уже несет большой урон.

В настоящее время существует множество автоматических и полуавтоматических систем мониторинга, которые круглосуточно осуществляют контроль за оборудованием, что, несомненно, снимает большую нагрузку с системного администратора.

Наиболее типовыми задачами мониторинга серверных помещений являются:

- мониторинг климата и окружающей среды при работе компьютерного оборудования;
- мониторинг доступа в помещение и наличие движения в серверной комнате;
- мониторинг наличия электропитания;
- оповещение персонала в случае необходимости.

Система мониторинга должна круглосуточно следить за параметрами и работать бесперебойно в течении длительного времени, быть простой в установке и настройке, а также не требовать частого сервисного обслужи-

вания. На основе полученных данных выявляются проблемные места, опасные для производительности серверных помещений.

Для создания данной системы, необходимо знать, какие функциональные требования нужны. Существует ряд требований, которое должно выполнять устройство:

- 1) демонстрация основных данных. Позволяет демонстрировать основные параметры, собранные системой;
- 2) стабилизация температуры. Засчёт регулировки работы кондиционера, при повышении/понижении температуры выше/ниже среднего.
- 3) вкл/выкл света. Включать/выключать свет при присутствии/отсутствии персонала в серверном помещении соответственно;
- 4) оповещение сотрудника в случаях:
  - выхода значения температуры за критическое значение;
  - проникновение в помещение посторонних лиц;
- 5) регистрация логов.

На рис. 1 приведена функциональная схема системы. Устройством управления будет выступать микроконтроллер, а объектом управления будут служить три блока: лампа, замок двери, кондиционер.

Исполнительными механизмами модуль реле, ИК-передатчик, Электронный ключ. В обратной связи используются датчик температуры и датчик движения.

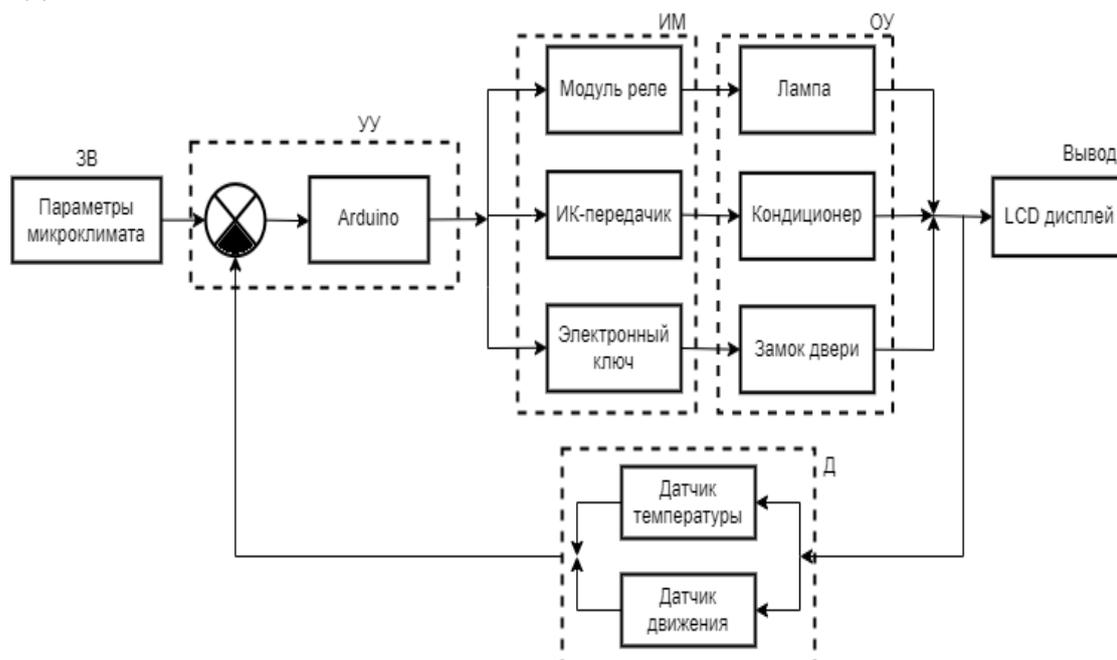


Рис. 1. Функциональная схема системы

Была построена структурно-принципиальная схема, которая наглядно покажет основные функциональные узлы устройства, их назначение и участие в общем процессе.

Структурная схема будет иметь следующие блоки:

- 1) датчик температуры;
- 2) инфракрасный датчик движения;
- 3) считыватель электронного ключа;
- 4) ИК-передатчик;
- 5) модуль реле;
- 6) микроконтроллер;
- 7) LCD-дисплей;
- 8) SD-card;
- 9) Web-application;
- 10) Mobile-application;
- 11) блок питания;
- 12) сетевой модуль.

Перед сборкой данной системы была составлена структурно-принципиальная схема подключения, которая показана на рис. 2. Так же была построена модель состояний программно-аппаратного комплекса, которая показывает, как объект переходит из одного состояния в другое. Модель состояний служат для моделирования динамических аспектов системы [5].

**Выводы:** Разработана система контроля и управления микроклимата способная обеспечивать в серверном помещении заданный уровень влажности и температуры, необходимый для нормального функционирования активного оборудования независимо от времени года, и рассчитанная на круглосуточную непрерывную работу. Данная система мониторинга микроклимата используется для обеспечения надежности работы оборудования в серверном помещении и для предупреждения возникновения аварийных ситуаций.

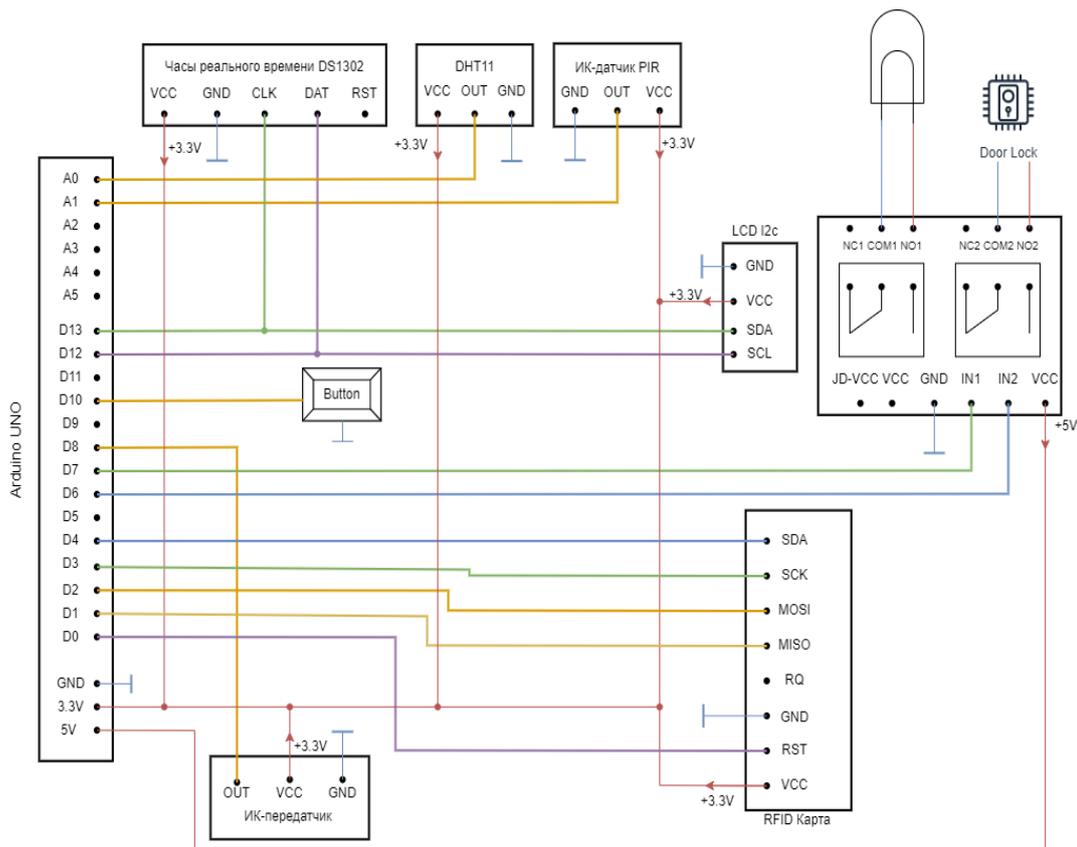


Рис. 2. Структурно-принципиальная схема системы

В данной работе описаны схемы подключения датчиков и модулей, продемонстрированных на функциональной и структурной схеме, а также были выбраны технические средства системы, построена схема соединения элементов системы.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Белов С.В., Морозова Л.Л., Сивков В.В. Безопасность жизнедеятельности: Конспект лекций. Ч.1. /Под ред. С.В. Белова.- М.: ВАСОТ,1992.- 136с.
2. Буч Г., Рамбо Д., Якобсон И. Диаграммы UML // Язык UML. Руководство пользователя = The Unified Modeling Language User Guide. — 2-е. — М.: ДМК Пресс, 2006. — С. 41. — 496 с.
3. Кабанов, А.А. Система контроля температуры и влажности / А.А. Кабанов // МНСК-2018: Информационные технологии; Новосибирский нац. ис-след. гос. ун-т. – Новосибирск, 2018. – С.57.
4. Программирование Arduino [Электронный ресурс] : / – Режим досту-па: <http://arduino.ru/Reference>

5. Проектирование информационных систем. Тема 15 Модель реализации [URL]: <https://sites.google.com/site/anisimovkhv/learning/pris/lecture/tema15>
6. Фейламазова С.А., Ахмедова З.Х., Абдуразакова З.Ш. Разработка аппаратно-программного комплекса дистанционного управления микроклиматом теплицы // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. 2021. № 4. С. 68-75. DOI: 10.24143/2072-9502-2021-4-68-75.
7. Черных, А.А. Блок климат контроля помещений / А.А. Черных // Современные техника и технологии: сборник докладов XX Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых; Нац. исслед. Томский политехнич. ун-т. – Томск, 2014. – С.277-278.

УДК 612.769

Шпаковская Оксана Юрьевна, Шпаковская Альбина Васильевна

### **ОБЗОР МЕТОДОВ И ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ, НАПРАВЛЕННЫХ НА КОРРЕКЦИЮ ОСАНКИ ШКОЛЬНИКА**

*Доклад посвящен обзору основных методов и анализу технических средств для лечения сколиоза. В качестве методов, позволяющих в разы увеличить эффективность комплексного лечения сколиоза в школьном возрасте, выделяют методы, направленные на активацию работы мышечного корсета. Среди методов, направленных на активацию работы мышечного корсета популярны тренажеры и различные устройства, носимые на теле человека и подающие вибросигнал в случае наклона спины. В статье приведен обзор наиболее популярных «умных» корректоров осанки. По отзывам пользователей, приобретавших данные устройства, выявлены ограничения и недостатки в работе «умных» корректоров.*

*Корректор осанки, сколиоз, искривление осанки, мышечный корсет, тренажер, микроконтроллер, инерциальные МЭМС датчики.*

Shpakovskaya Oksana, Shpakovskaya Albina Vasilyevna

### **REVIEW OF METHODS AND TECHNICAL MEANS AIMED AT CORRECTING THE STUDENT'S POSTURE.**

*The article is devoted to the review of the main methods and analysis of technical means for the treatment of scoliosis. As methods that can significantly increase the effectiveness of complex treatment of scoliosis at school age, there are methods aimed at*

*activating the work of the muscular corset. Among the techniques aimed at activating the work of the muscular corset, simulators and various devices worn on the human body and giving a vibration signal in the case of a back tilt are popular. The article provides an overview of the most popular "smart" posture correctors. According to the reviews of users who purchased these devices, limitations and shortcomings in the work of "smart" proofreaders were revealed.*

*Posture corrector, scoliosis, posture curvature, muscle corset, simulator, micro-controller, inertial MEMS sensors.*

Проблема деформации позвоночника является одной из самых распространенных у современных школьников. Причины сколиоза могут быть как врожденными, так и приобретенными. Сколиоз выявляется от 4 до 13% школьников. Наиболее распространённым фактором развития и прогрессирования приобретенного сколиоза у подростков является слабый мышечный корсет. В подростковом возрасте происходит активный рост скелета. Нагрузка на позвоночный столб усиливается, когда мышечный корсет не способен удерживать в ровном положении позвоночный столб. Происходит деформация позвоночника (сколиоз), скручивание отдельных позвонков относительно своей оси. Искривление позвоночника нередко вызывает патологии в окружающих тканях, смещение внутренних органов. При этом изменяются паттерны движения (двигательные стереотипы). В школьном возрасте риск приобретения сколиоза возрастает, поскольку современные школьники преимущественно ведут пассивный образ жизни, находясь половину дня за школьными партами, а в свободное время взаимодействуют с различными доступными им современными гаджетами. В то же время, врачи и ученые занимающиеся проблемой сколиоза, считают, что сколиоз поддается лечению до 17 лет [2,6,8]. Значит в школьном возрасте возможно и важно корректировать осанку. Сколиоз любой формы необходимо лечить, остановить процесс прогрессирования искривления. Лечение может быть: консервативным (без хирургического вмешательства), реабилитационно-ортопедическим либо оперативным. В условиях поликлиник пациентам предлагают консервативные методы лечения, включающие ношение от месяца до полугода ортопедических корсетов [6,9].

По мнению ученых, исследовавших проблему сколиоза (Беленький В.Е., Попова М.Ю., Абальмасова Е.А.; Малахов О.А.; Аршин В.В.), традиционное консервативное лечение не является достаточно эффективным,

зачастую у каждого третьего пациента сколиоз прогрессирует [1, 2, 3, 4, 5, 6].

Актуальной проблемой современной ортопедии является поиск новых неинвазивных методик лечения сколиоза на ранних стадиях. Методы реабилитации направленные на активацию работы мышечного корсета (группы мышц, удерживающих позвоночник в ровном положении). К данным методам относятся различные техники массажа, мануальная терапия, иппотерапия, электростимуляция мышц, лечебная гимнастика, физиотерапевтические методики. Особенно популярны тренажеры и различные устройства, позволяющие корректировать осанку человека за счет работы мышечного корсета.

Среди корректоров осанки, представленных на торговых интернет-платформах OZON, ALIEXPRESS, WILDBERRIES. Наиболее популярными являются “умные” корректоры осанки, носимые на теле человека. Данные устройства (как правило, выполненные на основе микроконтроллера с инерционными МЭМС датчиками) легкие, малогабаритные, беспроводные, подают вибросигнал при малейшем наклоне туловища, заставляя пользователя принять правильное положение в пространстве и держать спину ровно. Наиболее распространенными являются «умные» корректоры осанки, китайского производства: Intelligent [10], Smart Coach [11], Smart SensorCorrector [12] и др. Недостатком данных корректоров является невозможность настройки угла наклона, вызывающего тревожный вибросигнал. Даже при небольшом кратковременном наклоне они подают вибросигнал, что вызывает негативные эмоции со стороны пользователя. Частое срабатывание вибромотора приводит к быстрому разряду аккумулятора. Отсутствие обратной связи, не позволяет пользователю понять в какую именно сторону происходит наклон. Ремни, на которых закреплено устройство сдавливают тело и натирают кожу. Более усовершенствованной моделью является “умный” корректор осанки Xiaomi YoupinHipee P1 Smart Global, китайского производства [13]. Данный корректор способен не только подавать вибросигнал при наклоне тела, но и ведет статистику положения тела в течение дня. Однако приложение для смартфона не поддерживает русский язык, что затрудняет проводить анализ данных. Конструкция корректора разработана для взрослого человека худощавого телосложения. Датчик наклона позволяет оценивать искривления только в верхнем грудном отделе позвоночника. Недостатком является слабый ак-

кумулятор; отсутствие инструкции на русском языке; отсутствие поддержки производителя.

Обзор существующих в продаже «умных» корректоров показал, что данные корректоры не способны проводить мониторинг положения позвоночника в течение дня; не дают возможности качественной и количественной оценки положения позвоночника с одновременной тренировкой в виде вибростимуляции мышечного корсета; не позволяют обучаться правильной посадке на рабочем месте с помощью механизма обратной связи.

Методы реабилитации направленные на активацию работы мышечного корсета, несомненно, должны войти в состав комплексной реабилитации, дополняя традиционные методы лечения. Однако технические средства в виде «умных» корректоров нуждаются в доработке и доказательствах эффективности их применения.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК:

1. Абальмасова Е.А. Сколиоз в рентгеновском изображении и его изменение// Ортопедия, травматология и протезирование.-1964 - № 5.- С. 49-52.
2. Аршин В. В., Чебыкин А. В. Сколиоз, причины и механизм развития, новый метод коррекции // Вестник медицинского института «Реавиз»: реабилитация, врач и здоровье. 2015. №1 (17).
3. Беленький В.Е., Попова М.Ю. Компенсированная и декомпенсированная вертикальная поза больного сколиозом //Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова. 1994. - № 1. - С. 47.
4. Казьмин А.И., Кон И.И., Беленький В.Е. Сколиоз. — М.: Медицина, 1981. — 272 с.
5. Малахов О.А., Жердев К.В., Челпаченко О.Б., Malakhov O.A., Zherdev K.V., Chelpachenko O.V. Ортопедические аспекты и особенности оперативного лечения воронкообразной деформации грудной клетки у детей и подростков // Вестник травматологии и ортопедии им Н.Н. Приорова. - 2011. - Т. 18. - №3. - С. 3-9.(URL: 10.17816/vto20111833-9)
6. Михайловский М.В., Садовой М.А., Новиков В.В., Васюра А.С., Суздаков В.А. Идиопатический сколиоз: 20-летний ретроспективный анализ хирургической активности в узкоспециализированной клинике // Хирургия позвоночника. 2017. Т. 14. № 1. С. 8–13. (URL: <http://dx.doi.org/10.14531/ss2017.1.8-13>).
7. Синютин С.А., Шпаковская О.Ю., Шпаковская А.В. “Разработка smart-корректора осанки на основе инерциальных мэмс-датчиков”// Научное

издание “Методы абилитации и реабилитации с помощью лошади в системе комплексной реабилитации”// Сборник статей всероссийской научно-практической конференции, 2022, с.78-85

8. Статья Р. ИСТОРИЯ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ ВЕРТЕБРОЛОГИИ Цивьян Я.Л. «Операция». "Хирургия позвоночника". 2008;(3):093-095.
9. [Электронный ресурс]: материалы сайта МЕДКОР, дата обращения 25.12.2022 (URL: <https://www.med-core.com/med-mladshiy-shkolnyu-period-7-12-let-narusheniya-osanki>).
10. [Электронный ресурс]: материалы сайта OZON, дата обращения 29.12.2022 (URL: <https://www.ozon.ru/product/umnyy-elektronnyy-korrektor-osanki-intelligent-induction-type-corrector-239674083/?sh=KTrk-gAW7Q>).
11. [Электронный ресурс]: материалы сайта wildberries, дата обращения 29.12.2022 (URL: <https://www.wildberries.ru/catalog/16437163/detail.aspx>).
12. [Электронный ресурс]: материалы сайта aliexpress, дата обращения 29.12.2022 (URL: <https://aliexpress.ru/popular/smart-sensor-corrector.html>).
13. [Электронный ресурс]: материалы сайта OZON, дата обращения 29.12.2022 (URL: <https://www.ozon.ru/category/korrektor-osanki-xiaomi-youpin-hipee-p1/>).

**Шпаковская Оксана Юрьевна** , аспирант кафедры САУ, заведующая лабораторией кафедры встраиваемых и радиоприемных систем Института радиотехнических систем и управления Южного федерального университета, Россия, город Таганрог, улица Энгельса 1, телефон: +7 (961)2928515 , email: [oshpakovskaya@sfedu.ru](mailto:oshpakovskaya@sfedu.ru).

**Шпаковская Альбина Васильевна**, ученица 11 класса MAOU лицея №28, город Таганрог, пер. Трудовых Резервов 1, телефон: +7(989)6366483, email: [amanda82@list.ru](mailto:amanda82@list.ru).

**Shpakovskaya Oksana**, PhD Student of the ACS Department, Head of the Laboratory of the Department of Embedded and Radio Receiving Systems of the Institute of Radio Engineering Systems and Management of the Southern Federal University, 1 Engels Street, Taganrog, Russia, phone: +7 (961)2928515 , email: [oshpakovskaya@sfedu.ru](mailto:oshpakovskaya@sfedu.ru).

**Shpakovskaya Albina Vasilyevna**, a student of the 11th grade of the MAOU Lyceum No. 28, Taganrog city, lane. Labor Reserves 1, phone: +7(989)6366483, email: [amanda82@list.ru](mailto:amanda82@list.ru) .

УДК 612.769

Емелина Елизавета Александровна, Леонова Антонина Валерьевна,  
Шпаковская Оксана Юрьевна

**АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ  
РЕАБИЛИТАЦИИ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ  
ЧЕЛОВЕКА ПОСЛЕ ПЕРЕНЕСЕННОГО COVID-19**

*В статье представлен анализ проблем диагностики и восстановления дыхательной системы человека после перенесенных заболеваний, в том числе COVID-19. Проведен обзор аналогов малогабаритных спирометров. На базе чего разработан индивидуальный малогабаритный прибор для эффективной тренировки дыхательной системы. Описана функциональная схема пневмотренажера и разобраны основные тренажерно-игровые сценарии для достижения лечебного эффекта.*

*Дыхательная система, COVID-19, пневмотренажер, портативный прибор, датчик давления, МЭМС-технологии.*

Emelina Elizaveta Alexandrovna, Leonova Antonina Valerievna,  
Shpakovskaya Oksana Yurievna

**HARDWARE AND SOFTWARE COMPLEX FOR THE  
REHABILITATION OF A PERSON'S FUNCTIONAL STATE AFTER  
SUFFERING COVID-19**

*The article presents an analysis of the problems of diagnosis and recovery of the human respiratory system after diseases, including COVID-19. The review of analogues of small-sized spirometers is carried out. Based on which an individual small-sized device has been developed for effective training of the respiratory system. The functional scheme of the pneumatic trainer is described and the main simulator-game scenarios for achieving a therapeutic effect are analyzed.*

*Respiratory system, COVID-19, pneumatic trainer, portable device, pressure sensor, MEMS technologies.*

**Введение.**

Последние четыре года показали, что проблема, связанная с пандемией COVID-19, не решена окончательно. Коронавирусная инфекция особенно опасна для дыхательной системы человека и приводит к изменениям в тканях легких и даже после окончания заболевания эти изменения сохра-

няются. Меняется упругость и эластичность тканей, что негативно отражается на функционировании легких в целом.

По статистике ВОЗ о классах заболеваний приводящих смертности за 2022 год болезни дыхательной системы занимают 3 место [8].



*Рис.1 Статистика смертности в мире по различным классам заболеваний в мире по данным ВОЗ 2022 год*

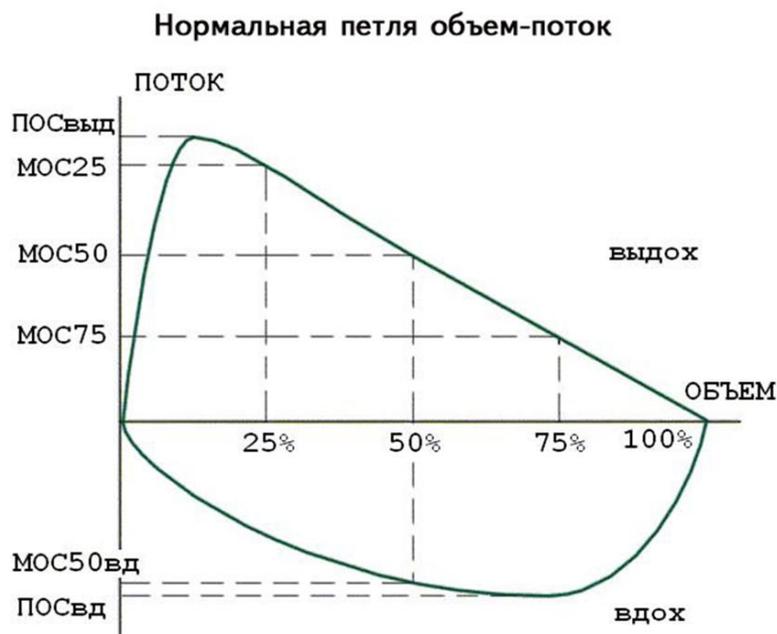
Восстановить дыхательную функцию и повысить устойчивость ослабленной дыхательной системы к нагрузкам возможно с помощью дыхательной гимнастики. Ежедневная дыхательная гимнастика в домашних условиях рекомендуется людям с патологией легких, поскольку способна повышать эффективность комплексной реабилитации. Однако существует проблема с подбором индивидуальной нагрузки, поскольку людям, нуждающимся в реабилитации трудно самостоятельно выбрать уровень нагрузки и определить длительность занятия на основе субъективных ощущений. Неправильно выбранная дыхательная нагрузка может привести к ухудшению самочувствия и даже спровоцировать приступ удушья.

Решением проблемы тренировки функции внешнего дыхания в домашних условиях является портативный, легкий и компактный пневмотренажер. Аппаратно-программный комплекс (АПК) предназначен для диагностики и тренировки дыхательной системы. На основе диагностических данных, полученных во время непрерывного мониторинга состояния дыхательной системы человека, устройство подбирает индивидуальный уровень нагрузки и корректирует тренировку в случае необходимости. Заниматься с аппаратно-программным комплексом легко и безопасно. Система самостоятельно останавливает процесс тренировки, если допустимый уровень нагрузки на дыхательную систему превышен. Устройство не требует

от пользователя специальных технических или медицинских знаний. Аппаратно-программный комплекс работает сопряжен со смартфоном пользователя и не требует подключения дополнительных устройств.

**Обзор аналогов.** В настоящее время существует множество приборов для диагностики и тренировки дыхательной системы, которые могут применяться в стационаре и в пределах поликлиник из-за их габаритов и требуют присутствия специалиста, обладающего медицинскими знаниями. Также существуют приборы для тренировки дыхания, которые могут использоваться дома, но данные приборы не диагностируют состояние дыхательной системы. Отсутствует возможность подбора индивидуальной нагрузки дыхательной системы. Обработка результатов и оценка эффективности тренировки отсутствуют [1,3-5]. Представленные на торговых интернет-площадках дыхательные тренажеры отвечают потребностям пользователя лишь частично. Преимуществами разрабатываемого АПК является: комплексность (возможность осуществлять диагностику и тренировку); возможность подбора индивидуальной нагрузки; простота в использовании, компактность, автономность (не требуется подключение дополнительных устройств кроме смартфона пользователя).

**Выбор метода для оценки состояния дыхательной системы.** В качестве метода объективной оценки респираторной системы использованы методы пневмотахометрии и спирографии (спирометрии). Данные методы широко используются в медицине для выявления патологий легких. Суть метода сводится к контролю двух параметров: объема вдыхаемого/выдыхаемого воздуха и потока воздуха через верхние дыхательные пути, его скорость и течение. В процессе естественного дыхания при нормальном состоянии легких, эти два параметра можно отобразить в виде кривой, которая называется петля поток-объем. Эта петля образуется в результате наложения по вертикальной оси графика скорости потока, а по горизонтальной - величины легочного объема и строится современными электронными спирометрами в автоматическом режиме. На этой петле выделяются основные показатели спирограммы, рис.1 [1,2].



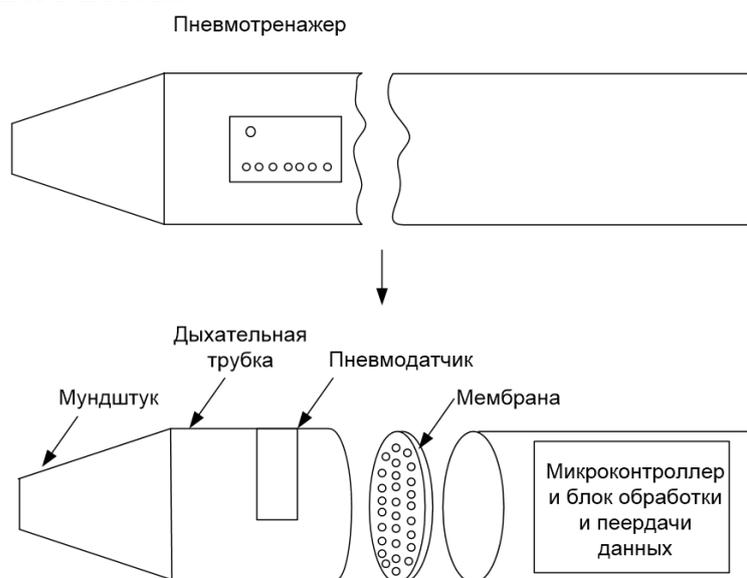
*Рис. 2. Нормальная петля поток-объем*

На рис. 2 ПОСвд – пиковая скорость выдоха, ПОСвд – пиковая скорость вдоха, МОС 25 – максимальная объемная скорость в момент достижения 25% объема форсированной жизненной емкости легких (ФЖЕЛ) – отражает проходимость крупных бронхов. МОС 50 - максимальная объемная скорость в момент достижения 50% объема ФЖЕЛ – отражает проходимость средних бронхов. МОС 75 - максимальная объемная скорость в момент достижения 75% объема ФЖЕЛ – отражает проходимость мелких бронхов. По оси абсцисс откладывается объем (в литрах), а по оси ординат – поток (в л/с). Исследование петли позволяет определить уровень обструкции ПОСвд – пиковая скорость выдоха – верхняя часть графика.

По форме петли и изменениям ее показателей можно выделить норму и основные типы дыхательной недостаточности: обструктивную, рестриктивную и смешанную. В настоящее время современные спирографы широко используются для диагностики дыхательной системы. Однако во время тренинга дыхания с использованием спирографа пациента трудно мотивировать дышать, соблюдая норму петли. При создании АПК важно создать максимальные условия вовлеченности человека в процесс тренировки и исключить факторы, повышающие уровень тревожности. Решением стало включение элемента геймификации в виде тренажно-игровой картинки для осуществления обратной связи с пользователем и выводом инструкций. Результаты исследования в виде кривой поток-объем, а также

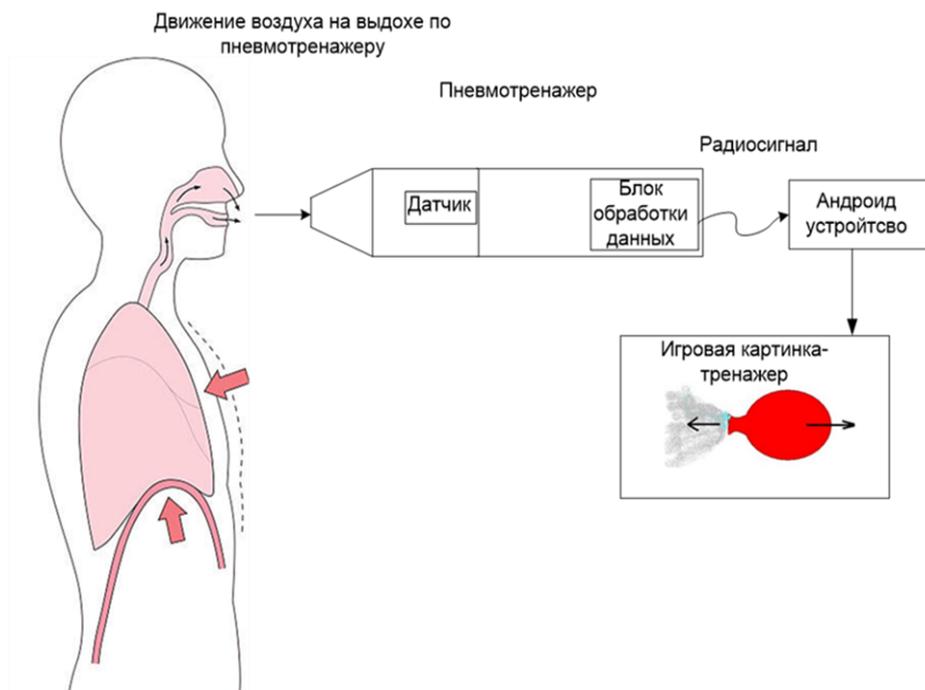
анализ в виде сравнения в разные дни тренировки показателей петли поток-объем уместно выводить на экран после прохождения тренинга.

**Принцип работы аппаратно-программного комплекса (АПК).** Разработана модель портативного пневмотренажера, представляющая собой малогабаритный прибор, состоящий из трубки, внутри которой имеется аэродинамическое сопротивление (мембрана). В пространстве за мембраной находится высокочувствительный датчик давления [12,13] и температуры, который используется для регистрации скорости и направления воздушного потока, а также датчик концентрации CO<sub>2</sub>. На рисунке 3 представлен эскиз модели портативного пневмотренажера, представляющая собой малогабаритный прибор, состоящий из трубки, внутри которой имеется аэродинамическое сопротивление (мембрана). В пространстве за мембраной находится высокочувствительный датчик давления [1,6,7] и датчик температуры, который используется для регистрации скорости и направления воздушного потока.



*Рис. 3. Создание эскиза дыхательной трубки (трубки Флейша), в состав которой входит датчик давления*

Человек дышит в трубку, поток воздуха поступает на датчик, подключенный к микроконтроллеру, который обрабатывает и передает данные по радиоканалу на андроид-устройство. Приложение в андроид-устройстве отображает эти данные в виде определенной тренажно-игровой картинки [1].



*Рис. 4. Движение воздуха от человека к пневмотренажеру, создание игровой картинки*

В зависимости от того какой лечебный эффект необходим подбираются упражнения с разной степенью сложности на основе анализа реальных параметров дыхательной системы.

Примерами тренажных задач могут быть:

- методика «виртуальный пин-понг» (пользователь отбивает виртуальный шарик с помощью ракетки, управляемой глубиной и скоростью дыхания);
- методика надуть шарик определенного размера за определенное время (шарик обладает сопротивлением и чтобы его надуть необходимо приложить усилия);
- резким выдохом сдуть лепестки цветка (усилия направленные на резкий выдох, способствуют тренировке дыхательной системы).

С помощью данного прибора при наличии андроид-устройства пользователь сможет тренировать дыхательную систему в домашних условиях. Данный прибор позволит активировать дыхательные функции и снизить риск возникновения осложнений для людей страдающих хроническими заболеваниями дыхательных путей, а также от последствий пневмонии, в том числе вызванной COVID-19. Данный прибор будет актуален и интересен спортсменам, которым необходимо вырабатывать правильный темп

и глубину дыхания, а также людям, следящим за своим здоровьем для проведения дыхательного тренинга.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Леонова А.В., Синютин С.А., Шпаковская О.Ю.* Разработка портативного пневмотренажера для тренировки дыхательной системы в борьбе с последствиями от перенесенного COVID-19. // Инженерный вестник Дона, №4 (2022) URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2022/7575](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2022/7575) (дата обращения: 5.05.2022)
2. Газета.ru. «Медленное умирание: как восстановиться от Covid 19 в России» от 12.11.2020 // Электронный ресурс: <https://www.gazeta.ru/social/2020/11/11/13357159.shtml?updated>, (дата обращения 12.12.2021).
3. *Miller M.R., Crapo R., Hankinson J. et al.* General considerations for lung function testing. *Eur. Respir. J.* 2005; 26 (1): 153–161.
4. Официальный сайт медицинских международных исследований URL: [spirometry.com](http://spirometry.com) (дата обращения: 08.04.2022).
5. *Richardson C.H., Orr N.J., Ollosson S.L., Irving S.J., Balfour-Lynn I.M., Carr S.B.* Initiating home spirometry for children during the COVID-19 pandemic Dept. Paediatric Respiratory Medicine, Royal Brompton Hospital, London, UK. URL: [spirometry.com/publications](http://spirometry.com/publications) (дата обращения: 08.04.2022).
6. *Тараканов С. А., Кузнецов В. И., Кузнецов А. О.* Длительный мониторинг дыхания человека // Инженерный вестник Дона, 2013, №4. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2017](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2017) (дата обращения: 08.04.2022).
7. *Лысенко И.Е.* Моделирование интегрированного внутреннего упругого подвеса микромеханического устройства // Инженерный вестник Дона, 2010, №3. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2010/223](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2010/223) (дата обращения: 08.04.2022)
8. [Электронный ресурс] – Официальный сайт всемирной организации здравоохранения (URL: <https://www.who.int/ru/data> , дата обращения 12.05.2023).

**Леонова Антонина Валерьевна**, к.т.н., доцент кафедры встраиваемых и радиоприемных систем Института радиотехнических систем и управления Южного федерального университета, Россия, город Таганрог, улица Энгельса 1, телефон +7(904)346-79-91, email: [leonova@sfedu.ru](mailto:leonova@sfedu.ru).

**Шпаковская Оксана Юрьевна** , аспирант кафедры САУ, заведующая лабораторией кафедры встраиваемых и радиоприемных систем Института радиотехнических систем и управления Южного федерального университета, Россия, город Таганрог, улица Энгельса 1, телефон: +7 (961)2928515 , email: oshpakovskaya@sfedu.ru

**Емелина Елизавета Александровна** , студентка группы РТбо 1-52 Института радиотехнических систем и управления Южного федерального университета, Россия, город Таганрог, улица Энгельса 1, телефон +7(950)253-22-18, email:emelina@sfedu.ru.

**Leonova Antonina Valeryevna**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Embedded and Radio Receiving Systems of the Institute of Radio Engineering Systems and Management of the Southern Federal University, 1 Engels Street, Taganrog, Russia, phone +7(904)346-79-91, email: leonova@sfedu.ru .

**Shpakovskaya Oksana**, PhD Student of the ACS Department, Head of the Laboratory of the Department of Embedded and Radio Receiving Systems of the Institute of Radio Engineering Systems and Management of the Southern Federal University, 1 Engels Street, Taganrog, Russia, phone: +7 (961)2928515 , email: [oshpakovskaya@sfedu.ru](mailto:oshpakovskaya@sfedu.ru)

**Emelina Elizaveta Aleksandrovna** , student of the RTbo group 1-52 of the Institute of Radio Engineering Systems and Management of the Southern Federal University, Russia, Taganrog, Engels Street 1, phone +7(950)253-22-18, email:emelina@sfedu.ru.

УДК 681.3.019

Михеева Наталья Ивановна, Михеев Дмитрий Иванович,  
Кульчинов Тимур Ташибаевич

## **АВТОМАТИЗАЦИЯ КОНТРОЛЯ РАСХОДА ВОДЫ ПРИ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ**

*Для совершенствования обработки результатов гидрологических исследований озера Иссык-Куль разработана микропроцессорная система автоматизации мониторинга расхода и объема пропускаемой воды. Система позволяет визуализировать результаты на экране компьютера и смартфона, а также фиксировать на microSD-карту. Разработка может быть применена для других аналогичных целей при условии использования соответствующего датчика*

*Мониторинг, автоматизация, расход, объем, вода, система, микропроцессор, Arduino.*

Mikheeva Natalia Ivanovna, Mikheev Dmitrii Ivanovich,  
Kulchinov Timur Tashibaevich

## **AUTOMATION OF WATER FLOW CONTROL IN HYDROLOGICAL INVESTIGATIONS**

*To improve the processing of the results of hydrological studies of Lake Issyk-Kul, a microprocessor-based system for automating monitoring of the flow and volume of water passed has been developed. The system allows you to visualize the results on the screen of a computer and smartphone, as well as record them on a microSD card. The development can be applied for other similar purposes, provided that the appropriate sensor is used.*

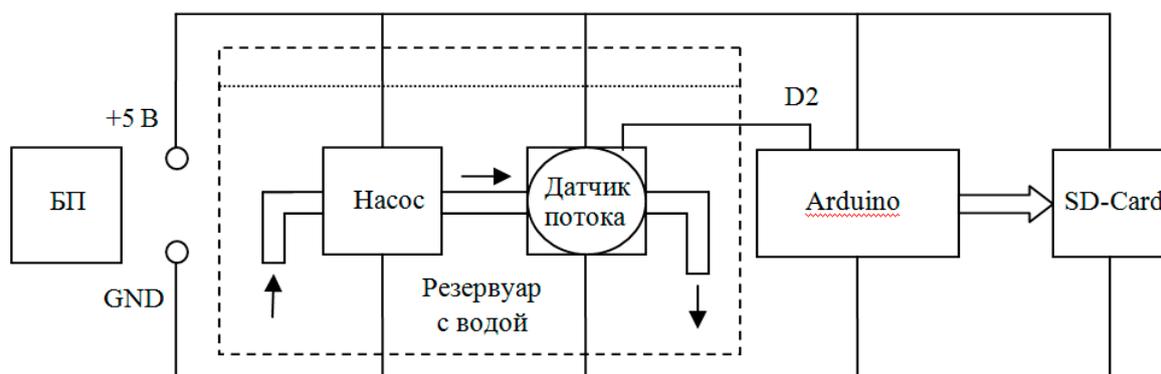
*Monitoring, automation, flow, volume, water, system, microprocessor, Arduino.*

Возрастание количества экологических проблем как природного, так и техногенного характера обуславливает увеличение значимости гидрологических исследований водных объектов различного вида и размера, от океанов до болот и грунтовых вод. Среди различных стран Кыргызстан отличается разнообразием водных ресурсов благодаря наличию высокогорных запасов снега и льда. При этом главным богатством можно считать озеро Иссык-Куль, уникальное по своей величине и глубине, чистоте воды и красоте, благоприятному климату.

Исследования Иссык-Куля имеют давнюю историю. Они начались около 150 лет назад силами Русского географического общества и продолжают поныне. Так, начиная с 2014 года экспедиция в составе специалистов института океанологии им. П.П. Ширшова Российской академии наук, ученых Института физико-технических проблем и материаловедения национальной академии наук Кыргызской республики и Кыргызского государственного технического университета им. И. Раззакова проводит гидрологические исследования Иссык-Куля. Накопленные результаты обобщены в трудах [1,2] и продолжают изучаться в соответствии с принятыми методами [3], сопоставляются с данными со спутниковой аппаратуры. При этом возникло мнение о целесообразности мониторинга расхода и объема воды, используемой в процессе гидрологических исследований. Данная статья посвящена разработке соответствующей автоматизированной системы контроля расхода и объема воды.

Основой измерительной установки был специальный гидрологический зонд YSI 6600 [3], позволяющий контролировать параметры воды - температуру, электропроводность, концентрацию примесей и др. Зонд размещался в емкости, через которую прокачивалась вода под действием центробежного насоса [4].

Для контроля расхода и объема воды была разработана специальная система на микропроцессорной основе, функциональная схема которой приведены на рис. 1.



*Рис. 1 Функциональная схема автоматизированной системы контроля расхода и объема вода (КРОВ)*

С целью демонстрации возможности реализации данной системы и отладки ее работы был разработан и изготовлен макет. Макет выполнен в виде замкнутой системы в герметичном корпусе, где насос нагнетает воду из резервуара через датчик YF-S201, затем поток воды возвращается обратно в резервуар (рис. 2).

Насос представляет собой погружной роторный мини-насос производительностью 80-120 литров в час [5].

Дискретный датчик скорости водяного потока YF-S401 основан на эффекте Холла [6] и содержит элемент Холла и турбину с магнитом. Поток воды вращает колесо с магнитом, вращение магнитного поля запускает датчик Холла, который выдает прямоугольные импульсы (рис. 3).



Рис. 2 Макет КРОВО

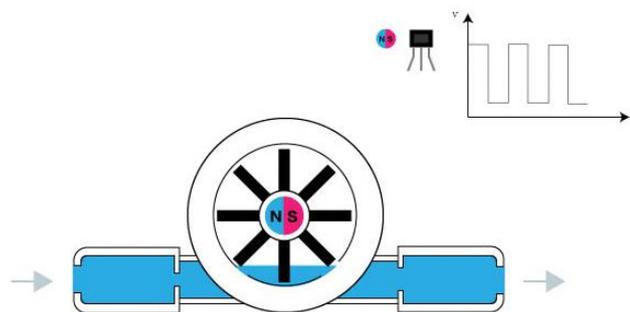


Рис. 3 Принцип работы датчика YF-S201

Сигнал с датчика YF-S401 поступает на цифровой вход D2 микроконтроллера Arduino [7]. Число импульсов в единицу времени преобразуется в величину расхода воды по следующим формулам.

Формула для расчета расхода воды:

$$Q = F / (5,9F + 4570), \quad (1)$$

где  $Q$  - расход (скорость) потока воды в л/с, (количество литров прошедшее через датчик за 1 секунду);  $F$  - частота импульсов в Гц (количество импульсов с датчика за 1 секунду); 5,9 - коэффициент, учитывающий влияние скорости на количество импульсов; 4570 - коэффициент линейной зависимости количества импульсов от объема воды.

Формула определения объема воды:

$$V = \sum_{i=1}^n Q_i T_i ,$$

(2)

где  $V$  - объем воды, прошедшей через датчик, литров;  $Q_i$  - расход (скорость) потока воды в течение промежутка времени  $T_i$ ;  $n$  - число интервалов времени с неизменной скоростью воды  $Q_i$  .

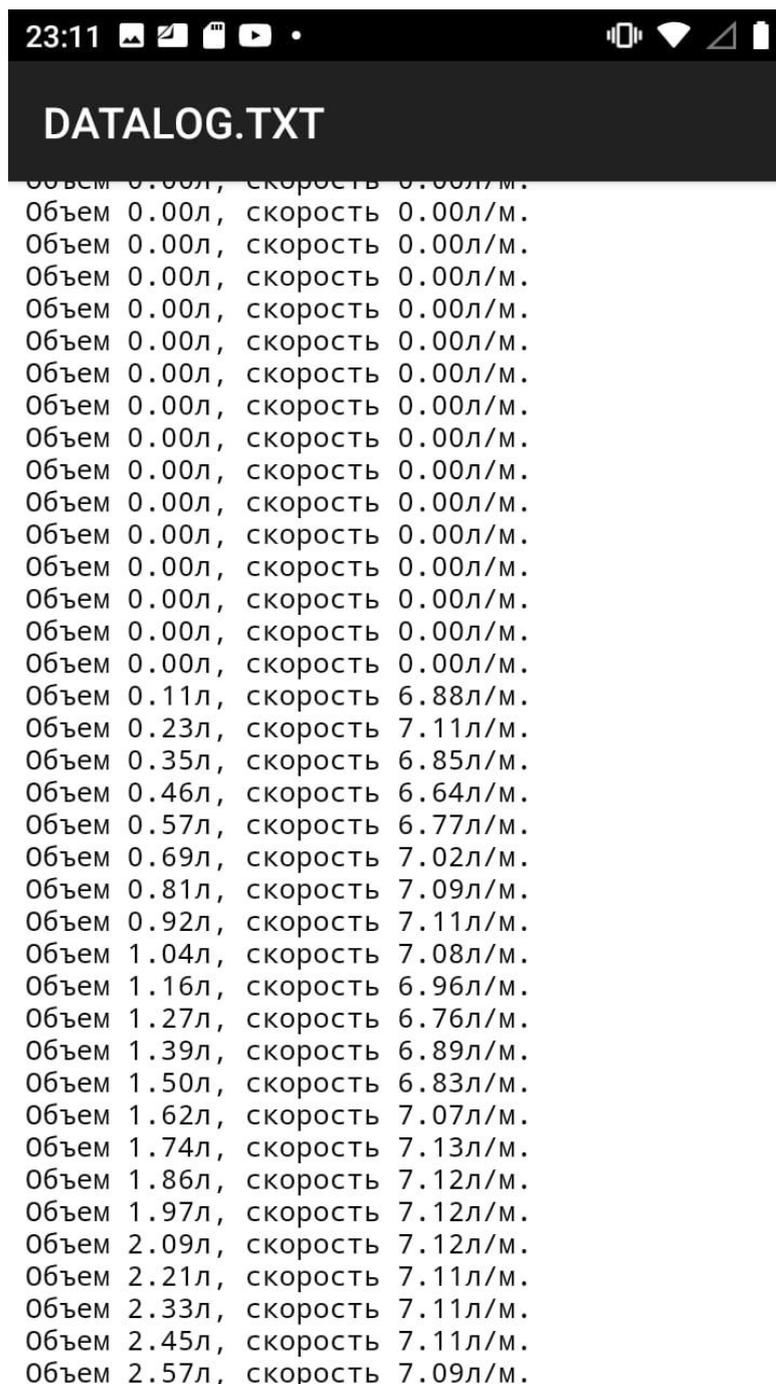
Получаемые в процессе работы значения записываются на карту памяти формата microSD [8] с периодичностью в 1 секунду.

Обмен данными микроконтроллера и карты памяти происходит по протоколу интерфейса SPI. Этот интерфейс обеспечивает большую скорость передачи данных с высокой надежностью. В рассматриваемом случае ведущим (Master) устройством является контроллер, ведомым (Slave) - microSD-карта.

Данные с карты памяти могут быть прочитаны с использованием стандартного кард-ридера на компьютере или встроенного на мобильном телефоне. Снимок экрана мобильного телефона с открытым файлом данных с SD карты представлен на рис. 4.

Данные рис. 49 позволяют оценить максимально возможную продолжительность непрерывной записи результатов эксперимента. Так, при кодировке Юникод 8 каждый символ занимает 2 байта памяти. Тогда каждая строка будет иметь объем 60 байт. При объеме памяти карты 2 Гб в нее можно будет записать 35791394 строк, что при частоте записи 1 Гц обеспечит время непрерывной записи 414 суток, что обеспечивает широкие возможности выбора вариантов планирования и проведения эксперимента.

Для управления системой КРОВ разработана программа на варианте языка СИ для Arduino IDE. Блок-схема алгоритма программы представлена на рис. 5.



*Рис. 4 Скриншот экрана мобильного телефона с открытым файлом данных с SD карты*

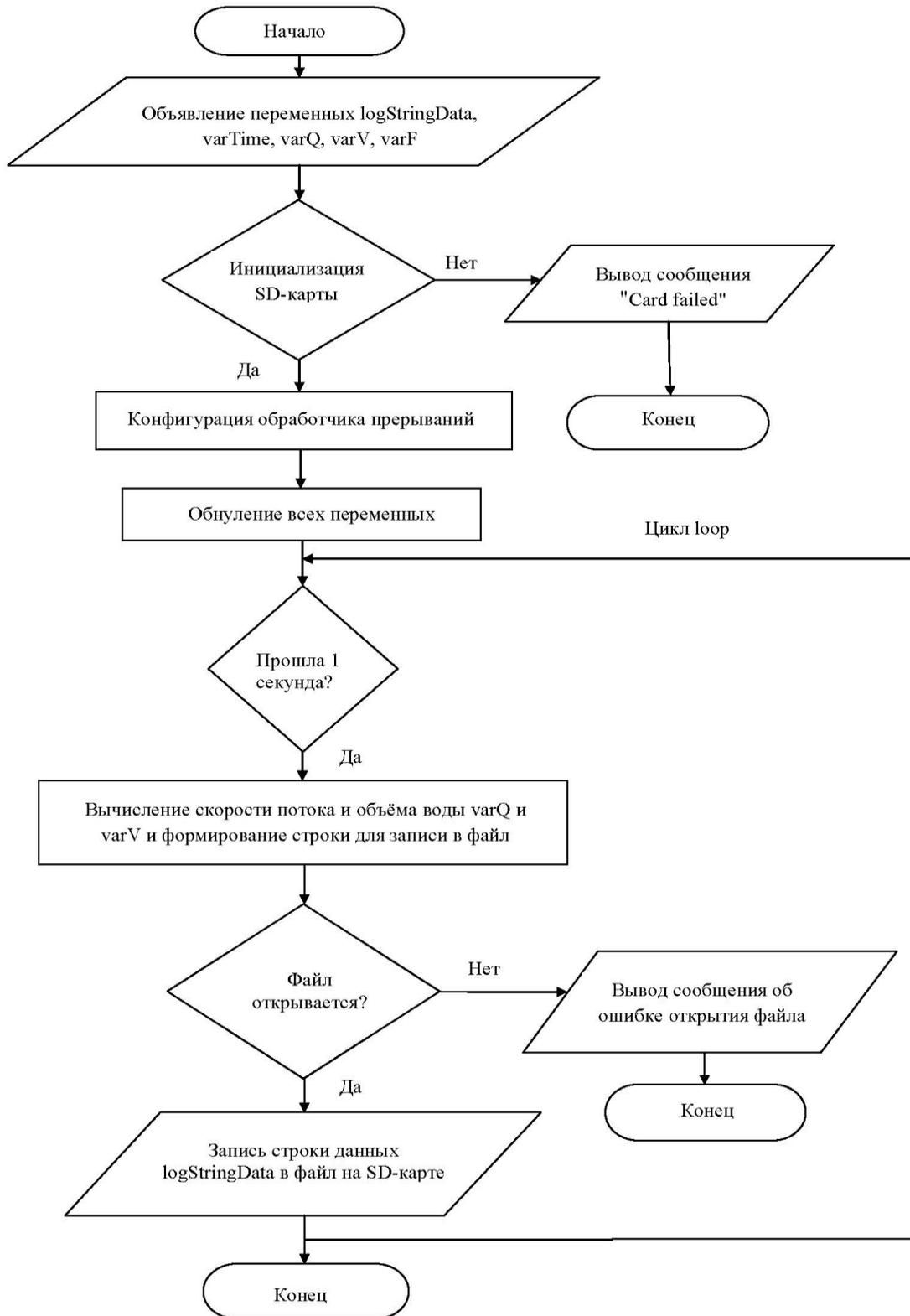


Рис.5 Блок-схема алгоритма программы для системы КРОВО

Фрагмент листинга программы представлен на рис. 6

```

#include <SPI.h>
#include <SD.h>

```

```

String logStringData; // Объявляем переменную для
хранения строки данных.
const int PIN_CHIP_SELECT = 10; // Определяем номер
вывода Arduino, к которому подключён пин CS SD-карты.
uint8_t pinSensor = 2; // Определяем номер вывода
Arduino, к которому подключён датчик расхода воды.
uint32_t varTime; // Объявляем переменную для
хранения времени последнего расчёта.
float varQ; // Объявляем переменную для
хранения рассчитанной скорости потока воды (л/с).

```

...

*Рис.6 Фрагмент листинга программы для управления системой КРОВ*

Разработанная и опробованная на макете информационная система автоматизации мониторинга расхода и объема воды может быть использована в реальных гидрологических исследованиях при условии использования соответствующего датчика расхода [9]. Рассмотренный подход к построению автоматизированной информационной системы мониторинга может быть применен при исследовании других параметров и явлений.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Комплексные исследования озера Иссык-Куль Часть 1 / П.О. Завьялов, К.М. Жумалиев, С.А. Алымкулов и др. - Бишкек: КРСУ, 2018. - 194 с.
2. Комплексные исследования озера Иссык-Куль Часть 2 / П.О. Завьялов, С.А. Алымкулов, К.М. Жумалиев и др. - Бишкек: КРСУ, 2020. - 208 с.
3. Руководство по гидрологическим работам в океанах и морях /Гл. редактор Г.С. Иванов. - М.: Государственный океанографический институт им. Н.Н. Зубова, 2016. - 537 с.
4. **Центробежный насос и его принцип действия**  
<https://nasosvdom.com.ua/ru/-/poleznaya-informaciya/Centrobezhnyj-nasos>
5. Погружной роторный мининасос <https://arduinka.biz.ua/ru/mini-nasos-3-5-v-rotornyy-pogruzhnoy-p496c81.html>
6. Датчик расхода воды 0.3 - бл. / мин. для Arduino  
<https://iarduino.ru/shop/Sensory-Datchiki/datchik-rashoda-vody-0-3---6l---min.html>
7. Плата Arduino Uno – описание, схема, распиновка  
<https://volti.ru/wiki/arduino-uno-review/>

8. Руководство по типам карт SD и microSD  
<https://www.kingston.com/ru/blog/personal-storage/microsd-sd-memory-card-guide>
9. Индукционный микропроцессорный преобразователь расхода ПРИМ  
<http://xn--90ahjlpcccjdm.xn--plai/catalog/prim/>

**Михеева Наталья Ивановна**, кандидат технических наук, доцент, Кыргызская республика, г. Бишкек, улица Токтогула, 250, квартира 4, 720010, телефон: +996 550 60-36-76, email: mihnata@mail.ru.

**Михеев Дмитрий Иванович**, Кыргызская республика, г. Бишкек, улица Токтогула, 250, квартира 4, 720010, телефон: +996 550 96-21-76, email: dymmy@gmail.com.

**Кульчинов Тимур Ташибаевич**, телефон: +996 507 25-39-34.

**Mikheeva Natalia Ivanovna**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Kyrgyz Republic, Bishkek, Toktogul Street, 250, apartment 4, 720010, phone: +996 550 60-36-76, email: mihnata@mail.ru.

**Mikheev Dmitrii Ivanovich**, Kyrgyz Republic, Bishkek, Toktogul Street, 250, apartment 4, 720010, phone: +996 550 96-21-76, email: dymmy@gmail.com.

**Kulchinov Timur Tashibaevich**, phone: +996 507 25-39-34.

УДК 656.62::629.5.069

Луговой Артём Романович, Пьявченко Алексей Олегович

## **ВОПРОСЫ ПОСТРОЕНИЯ РЕГИСТРАТОРА ДАННЫХ РЕЙСА ДЛЯ МАЛОМЕРНЫХ СУДОВ РЕЧНОГО ФЛОТА**

*В данной работе рассматриваются вопросы, касающиеся построения программно-аппаратного комплекса регистрации данных рейса маломерных судов речного флота. Определяются требования к устройству и рассматриваются принципы его структурной и функциональной организации. Приводятся результаты экспериментов по разработке отдельных его компонентов на примере реализации на программном уровне части функционала устройства регистрации данных.*

*Программно-аппаратный комплекс, упрощённый регистратор данных рейса, птеа 0183.*

Lugovoy Artyom Romanovich, Alexey Olegovich Pyavchenko

## QUESTIONS OF BUILDING A SHIP'S VOYAGE DATA RECORDER FOR SMALL VESSELS OF THE RIVER FLEET

*In this paper, we consider issues related to the construction of a hardware-software complex for recording data on the navigation of small-sized vessels of the river fleet. The requirements for the device are determined and the principles of its structural and functional organization are considered. The results of experiments on the development of its individual components are given on the example of the implementation at the software level of a part of the functionality of the device for recording and reproducing data.*

*Hardware and software complex, simplified voyage data recorder, nmea 0183.*

### **Введение**

В настоящее время в условиях увеличения интенсивности движения на речных артериях страны остро встает проблема обеспечения безопасности судоходства. Причинами высокого уровня аварийности маломерных судов речного флота являются не только плохие условия, но и текущее состояние судна (судов) – участника (ов) происшествия, возможное несоблюдение каким-либо из судоводителей (или обоими) правил поведения на воде, установленных соответствующими регламентирующими документами [1, 2, 3].

Очевидно, что разбор такого происшествия лучше всего производить на месте там, где оно произошло, используя соответствующие судовые технические средства регистрации различных событий, как предшествующих моменту возникновения аварии, так и возникающих в процессе ее протекания. Ведь своевременный анализ различного рода данных об имевших место происшествиях позволяет не только с высокой степенью достоверности установить причины возникновения происшествия на воде, их виновников, но и разработать меры по недопущению возникновения аналогичных ситуаций в будущем.

Согласно действующим требованиям Российского Регистра Морского Судоходства [3], в качестве судовых технических средств регистрации критических событий применяются упрощённые регистраторы данных рейса (УРДР), устанавливаемые на маломерных судах речного флота. Именно к такому классу судовых регистраторов и относится рассматриваемый в статье разрабатываемый программно-аппаратный комплекс, зада-

чей которого является автоматическая регистрация в режиме реального времени цифровой и аналоговой информации, поступающей от судовых датчиков, включая гидроакустические (при наличии); синхронизированных по времени видео-, аудио-, метео- и навигационных данных, других судовых приборов с целью использования при расследовании происшествий [4-9]. Причем, как показал предварительный анализ состояния рынка, актуальность и необходимость такой разработки в первую очередь обусловлены отсутствием сегодня в широком доступе подобных современных отечественных судовых средств регистрации.

### **Основная часть**

В рамках статьи рассматриваются вопросы, касающиеся разработки программно-аппаратного комплекса регистрации данных рейса для маломерных судов речного флота РФ. Причем сам процесс разработки укладывается в классическую структуру эскизного проектирования: от анализа технических характеристик представленных на рынке современных подобных устройств до разработки собственных технических предложений и проведения макетирования отдельных компонентов устройства с целью получения предварительных оценок о работоспособности и эффективности предложенных технических решений.

Выполненный авторами предварительный анализ имеющихся в продаже типовых устройств регистрации, а также требований Морского Регистра РФ, предполагающих сохранность УРДР и данных в соответствующих условиях применения, а также цикличность и способ записи, хранения объективной информации, разнообразие каналов связи [1], показал, что конкурентно-способное устройство такого класса должно обеспечивать:

- регистрацию и сохранение данных от судовых источников с точностью, обеспечивающей восстановление картины событий;
- регистрацию и сохранение от источника звуковых данных;
- регистрацию и сохранение данных местоположения судна от устройства навигации;
- возможность периодического самотестирования;
- организацию обмена навигационными данными должна соответствовать стандарту NMEA 0183 [7];
- доступность к сохранённым данным через интерфейс с поддержкой необходимого уровня их защиты от несанкционированного доступа в различных целях, включая преднамеренное внесение искажений в объективные данные контроля и диагностики;

– регистрацию за предыдущие 48 часов (не менее) рейса в защищённом накопителе информации всплывающей конструкции.

Причем, отличительными чертами в сравнении с типовыми аналогами являются как реализация функции аудио- и видео-воспроизведения данных на месте происшествия, не прибегая к использованию сторонних устройств, так повышенная ремонтпригодность комплекса.

Отсюда на структурном уровне программно-аппаратный комплекс должен базироваться на блочном принципе построения и состоять из следующих составных частей: блока записи звука, вычислительного блока, блока индикации статуса и тревог, блока аудио- и видео-воспроизведения, блока долговременной памяти, интерфейсного блока и блока питания (рис. 1).




Рис. 1. Структурная схема УРДР

Дадим краткое описание процессов функционирования комплекса. Как известно, процесс функционирования типового УРДР носит циклический характер. Так, получение информации с устройств мониторинга осуществляется в ходе параллельно-последовательного выполнения определённых операций обработки данных для заполнения соответствующих информационных структур необходимого формата, выбранного для их архивации. Причем уровень распараллеливания реализуемых функций во многом зависит от выбранной архитектуры комплекса, возможностей используемых при ее построении аппаратных средств. Разрабатываемый ап-

паратно-программный комплекс собирает пакеты данных с GPS-модуля и эхолота, а также оцифрованные аудио- и видеоданные, сигналы с различных судовых датчиков, включая метеодатчики, датчики тревожной сигнализации. Причем, типовой процесс сбора регистрируемых показаний с датчиков начинается с задания требуемой частоты опроса каждого из них с последующим задействованием программно-аппаратных ресурсов комплекса с целью периодического получения, обработки и архивации значений соответствующих показаний с присвоением им временных меток моментов их получения.

Процесс сбора, обработки и архивации аудио- и видеоданных происходит постоянно, из-за чего применяется их циклическая поблочная запись во встроенный SSD-накопитель, обладающий необходимым классом защиты. На рис. 2 приведены примерные временные диаграммы организации функционирования комплекса в основном режиме работы.




Рис. 2. Примерная временная диаграмма организации функционирования комплекса в основном режиме работы

Анализ состава комплекса, его режимов функционирования, функций основных его компонентов и обобщенных временных диаграмм их работы позволил сформулировать следующие требования к его программному обеспечению (ПО). Так ПО комплекса должно обеспечивать решение следующих основных задач:

- управление приёмом данных с датчиков с временем опроса, согласно требованиям к УРДР;
- управление приёмом данных с отдельных блоков устройства и внешней периферии по требованию пользователя;
- обработка и архивация периодически принимаемых данных с устройств мониторинга, включая аудио- и видео-фиксацию, приборов навигации и метеостанции;
- выполнение в фоновом режиме самодиагностики с выдачей результата в блок индикации статусов и тревог;
- обеспечение работоспособности устройства с постепенной деградацией функциональных возможностей при возникновении неполадок в аппаратуре;
- поддержка режима интерактивного защищенного доступа с разграничением прав и блокировкой возможности несанкционированного внесения изменений в текущие и ранее записанные данные объективного контроля и диагностики;
- обеспечение режима низкого потребления при отключении основного источника питания.

Отсюда укрупненная базовая структура ПО комплекса примет вид, соответствующий рис. 3.




Рис. 3. Структура ПО комплекса

С целью повышения ремонтпригодности комплекса в предложенном на рис. 1 составе, УРДР может быть конструктивно разбит на три основных модуля, таких как модуль сбора данных и мониторинга, спасаемый бортовой накопитель и коммутационный щит. Причем, модуль сбора данных и мониторинга включает в себя вычислительный блок, блок индикации статуса и мониторинга, блок воспроизведения, блок записи звука. На данный модуль возлагаются функции вложенных в него блоков. Спасаемый бортовой накопитель предназначен для хранения регистрируемых данных. Представляет собой блок, расположенный в специальной капсуле с наружной части судна. При погружении под воду срабатывает механизм, который открывает капсулу и выталкивает блок, обеспечивая его разъединение от УРДР. В состав спасаемого бортового накопителя входит блок памяти, реализуемый с применением SSD-накопителя требуемой емкости и с соответствующим гальванически развязанным интерфейсом сопряжения. И, наконец, коммутационный щит содержит в себе интерфейсный блок и блок питания. Назначением щита является обеспечение сопряжения модуля сбора данных и мониторинга со спасаемым бортовым накопителем, также с различными судовыми приборами мониторинга при помощи встроенных в щит устройств коммутации, состав которых определяется конкретным вариантом применения УРДР.

В рамках экспериментальной части была реализована часть функционала блока воспроизведения из состава комплекса. В качестве среды разработки была использована система автоматизированного проектирования Proteus 8.9. Экспериментальная схема приведена на рис. 4. Программирование осуществлялось на языке C для микроконтроллеров AVR. Произведена инициализация работы микроконтроллера и SD-карты, организован обмен данными с SD-картой по интерфейсу SPI [10], обеспечено воспроизведение тестовых текстовой и графической информации на соответствующих индикаторах, модели которых использовались в эксперименте. На рис. 4 представлен результат работы программы, демонстрирующий покадровое воспроизведение навигационных и эхолотных информационных данных, циклически получаемых с карты памяти.




Рис. 4. Воспроизведение данных с SD-карты

## Выводы

В рамках статьи рассмотрены требования к программно-аппаратному комплексу регистрации данных рейса для маломерных судов речного флота, принципы структурной и функциональной организации устройства. Отличительными чертами комплекса в сравнении с типовыми аналогами являются как поддержка на аппаратно-программном уровне функций аудио- и видео-воспроизведения данных на месте происшествия, не прибегая к использованию сторонних устройств, так и модульность его компоновки.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Национальный стандарт российской федерации ГОСТ Р МЭК 61996-1-2009 Морское навигационное оборудование и средства радиосвязи. Судовой регистратор данных рейса (РДР) Часть 1 Регистратор данных рейса (РДР). Техничко-эксплуатационные требования, методы и требуемые результаты испытаний. Россия, 2011 г.
2. Статья 4. Требования безопасности к маломерным судам, спасательным средствам и оборудованию для маломерных судов // [www.consultant.ru](http://www.consultant.ru)  
URL:  
[http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_131319/4a91aba4bfcc7d8bc6575f71f50bce26784e5fae/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_131319/4a91aba4bfcc7d8bc6575f71f50bce26784e5fae/) (дата обращения: 20.02.23).

3. ФАУ «Российский Морской Регистр Судоходства» // smtu.ru URL: <https://www.smtu.ru/ru/page/242/> (дата обращения: 25.02.23).
4. Регистраторы данных рейса // nsrmarine.ru URL: <https://www.nsrmarine.ru> (дата обращения: 23.02.23).
5. Регистратор данных рейса (VDR) // kyrs.ru URL: <http://kyrs.ru/page31897759.html#!/tproduct/516306764-1500469909554> (дата обращения: 20.04.23).
6. Регистратор данных рейса // transportsolve.ru URL: <http://www.transportsolve.ru/skes-256-1.html> (дата обращения: 12.02.23).
7. Протокол NMEA 0183 // sicom.ru URL: <https://sicom.ru/projects/national-marine-electronics-association.html> (дата обращения: 20.02.23).
8. *Пьявченко А.О., Рыбас С.А.* Устройство регистрации и отображения эхо-сигнала // X всероссийская научная конференция «Техническая кибернетика, радиоэлектроника и системы управления»: Сборник материалов - Таганрог: Изд-во ГТИ ЮФУ. 2010 – Т.1. – С.81.
9. *Пьявченко А.О., Переверзев В.А.* Распределенная WI-FI система функционального контроля и удаленного тест-мониторинга подвижного автономного необитаемого аппарата// *Фундаментальные и прикладные аспекты компьютерных технологий и информационной безопасности / Сборник статей I Всероссийской научно-технической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов.* – Таганрог: Издательство Южного федерального университета, 2015. - С.111 – 114.
10. Работа с SD-картой по интерфейсу SPI // habr.com URL: <https://habr.com/ru/post/495400/> (дата обращения: 13.02.23).

**Луговой Артём Романович**, студент 4-го курса бакалавриата, кафедры вычислительной техники Института компьютерных технологий и информационной безопасности Южного федерального университета, Россия, город Таганрог, улица Энгельса 1, 347900, email: [alugovoy@sfedu.ru](mailto:alugovoy@sfedu.ru).

**Пьявченко Алексей Олегович**, кандидат технических наук, доцент кафедры вычислительной техники, Институт компьютерных технологий и информационной безопасности Южного федерального университета, Россия, город Таганрог, улица Энгельса 1, 347900, email: [aopb1@mail.ru](mailto:aopb1@mail.ru).

**Lugovoy Artyom Romanovich**, 4rd year Bachelor's student, Department of Computer Engineering, Institute of Computer Technologies and Information Security, Southern Federal University, Taganrog, Russia, Taganrog city, Rostov Region, 347900, email: [alugovoy@sfedu.ru](mailto:alugovoy@sfedu.ru).

**Pyavchenko Aleksey Olegovich**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Computer Science, Institute of Computer Technologies and Information Security, Southern Federal University, Russia, Taganrog, 1 Engels Street, 347900, email: aop61@mail.ru.

УДК 004.048

Анферова Маргарита Сергеевна, Белевцев Андрей Андреевич,  
Белевцев Андрей Михайлович

## **АНАЛИЗ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ТРЕНДОВ**

*В условиях резкого обострения борьбы за технологическое превосходство и технологический суверенитет задача мониторинга и стратегического анализа направлений развития науки и технологий приобретает исключительно важное значение.*

*В работе проведен анализ основных проблем построения процедур мониторинга и выявления зарождающихся технологий, формирования и развития технологических трендов.*

*Определены основные этапы формирования новых технологий. Выделены характеристики и основные критерии нового тренда. Предложена классификация типов новых трендов. Для заданных предметных областей предложен алгоритм формирования и анализа характеристик технологического тренда.*

*Технологические тренды, технологии, приоритеты; мониторинг, характеристики.*

Anferova Margarita Sergeevna, Belevtsev Andrey Andreevich,  
Belevtsev Andrey Mikhailovich

## **ANALYSIS OF CHARACTERISTICS OF TECHNOLOGICAL TRENDS**

*In the context of a sharp escalation of the struggle for technological superiority and technological sovereignty, the task of monitoring and strategic analysis of the directions of development of science and technology becomes extremely important.*

*The paper analyzes the main problems of building monitoring procedures and identifying emerging technologies, the formation and development of technological trends.*

*The main stages of the formation of new technologies are determined. The characteristics and main criteria of the new trend are highlighted. A classification of the*

*types of new trends is proposed. For the given subject areas, an algorithm for the formation and analysis of the characteristics of the technological trend is proposed.*

*Technological trends, technologies, priorities; monitoring, characteristics.*

## **Введение**

В условиях чрезвычайно высокой динамики формирования новых направлений и траекторий технологического развития, неопределенностями, связанными, как с созданием базисов новых технологий, так и инновационных продуктов и новых рынков сбыта задача определения направлений развития технологий и анализа характеристик технологических трендов является чрезвычайно актуальной [1].

Её решение предполагает создание эффективных методов мониторинга и стратегического анализа технологий и технологических трендов [2]. При этом одной из основных проблем является: анализ, фиксации и исследования развития технологических фронтов и зарождающиеся технологий.

Этот анализ невозможен без понимания эволюции технологий и технических решений во времени, а также прогнозирования их новых функциональных возможностей, параметров и технических характеристик [3]. Создание новой технологии может занимать несколько лет. В этой связи необходимо, чтобы к моменту завершения разработки цель проекта оставалась по-прежнему актуальной, а достигнутые параметры имели конкурентные преимущества.

Задача анализа зарождающихся технологий, развития технологических фронтов осложняется наличием следующих факторов:

- сложный междисциплинарный характер данных областей
- подходы к измерению все еще находятся в стадии тестирования.
- ограниченные знания об основных источниках роста и потенциальном применении тренда.

В данной работе предложена методика определения и классификации научно-технологических фронтов и зарождающихся технологий.

## **Основная часть**

Информационно аналитической основой решения поставленной задачи является постоянный глобальный мониторинг и анализ развития технологических трендов, а также выявление новых технологических трендов и технологий [4], которые:

- являются результатом современных достижений в существующем тренде;

- создают новые технологические направления;
- имеют высокую интенсивность развития;
- обладают высоким потенциалом для создания изобретений и инноваций со значительными социальными и экономическими последствиями.
- создают новые способы преобразования вещей и могут оказать значительное влияние на функциональные возможности других технологий.

При проведении глобального мониторинга возникают следующие задачи [5,6]:

1. Формирование направлений исследований;
2. Определение состава тренда;
3. Определение типа тренда;
4. Оценка основных характеристик тренда.

В этой связи можно выделить следующие проблемы по обнаружению трендов и технологий:

- Технологии на ранней стадии своего жизненного цикла некатегоризированные и хаотичные.
- Сложность выявления конкретных параметров трендов.
- Сложность реализации алгоритма из-за множества относительных параметров.
- В ходе анализа можно обнаружить несколько конкурирующих технологий, которые имеют одинаковое функциональное назначение.

При этом в разный период времени могут лидировать разные технологии [7].

Проведенный анализ показал, что тренд должен соответствовать следующим критериям:

- Целенаправленность.
- Устойчивость. Предположительно, технология будет продолжительна по времени.
- Эффективность. Технология обладает потенциалом и масштабом для улучшения существующих технологий.
- Распространенность.

Важно различать момент, когда конкретная технология начинает появляться и когда она становится релевантной для измерения в статистических терминах, таких как «интенсивность», «уровень готовности технологии» «научная продуктивность», создание, распространение и использо-

вание технологий, а также производство технологических товаров и услуг (рис. 1).




Рис. 1. Этапы формирования новой технологии

Пусть в процессе мониторинга в заданной предметной области  $P_m$  выявлены начало исследований по созданию новой технологии  $c_{ij}^n$  ( $i = \overline{1, I}$ ). Для каждой  $c_{ij}^n$  определены функциональные назначения  $\Phi n_i^n$  и сформированы области применения  $O_i^n$ .

Часто будущие тренды вначале проявляются как технологии внутри существующих трендов, пока их значимость не будет установлена более определенно [8,9].

При этом возникает задача- технология  $c_{ij}^n \in C_n^{p_m} - P_m$  или это технология нового технологический тренд  $C_n^{p_m+1}$ .

Для решения задачи введем следующие характеристики:

1. Скорость роста интенсивности технологии  $c_{ij}^n$ ;
  2. Интенсивность работ по созданию технологии  $c_{ij}^n$ ; (количество предприятий, публикаций, патентов);
  3. Уровень готовности технологии  $c_{ij}^n$ ;
  4. Принадлежность к классификатору ( $O_i^n$ );
  5. Множество областей применения;
  6. Направления исследований в заданной предметной области [ 3 ]
- $$c_{ij}^n \rightarrow \Phi n_i^n \rightarrow O_i^n \rightarrow C_n^{p_m} \rightarrow P_m \quad (1)$$
7. Вес технологии (метод анализа иерархий).

Для заданной предметной области алгоритм формирования трендов можно представить в виде следующей последовательности:

1. Проведение глобального мониторинга. Предложены алгоритмы, обеспечивающие определение опорных тем, оценку ранжирования и релевантности информации [10].
2. Выявление новой технологии.
3. Фиксация параметров, описанных выше.
4. Описание и интерпретация. Выявление области применения относится технология, функциональных назначений, кем используется, на какую аудиторию рассчитана, какие задачи решает.
5. Кластеризация. Объединение периметров в однородные группы, которые говорят о наличии какого-то заметного изменения [11].
6. Верификация. Достаточно ли много сигналов, чтобы говорить о существенном изменении [12].
7. Формулировка тренда и интерпретация.

### **Выводы**

В работе проведен анализ и определены основные задачи проведения глобального мониторинга и этапы формирования новых технологий.

Предложена система критериев формирования технологического тренда. Разработан перечень характеристик анализа технологического тренда и алгоритм формирования трендов для заданной предметной области.

Методика определения и классификации научно-технологических фронтов и зарождающихся технологий может быть положена в основу автоматизации мониторинга и стратегического анализа в информационно-аналитических комплексах.

### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. *Анферова М.С., Белевцев А.М.* Анализ направлений развития технологий мониторинга в условиях большого объема неструктурированной информации // XXIV Всероссийская научно-техническая конференция с международным участием имени профессора О.Н. Пьявченко // "Компьютерные и информационные технологии в науке, инженерии и управлении" «Ком-Тех-2020»
2. *Анферова М.С., Белевцев А.М.* Разработка алгоритмов интеллектуального сервиса поиска и мониторинга информации // Известия ЮФУ. Технические науки. №3 2021г с 6 - 17.

3. *Белевцев А.М., Балыбердин В.А., Белевцев А.А.* Методика оценки времени и стоимости реализации технологических трендов в условиях неопределенности и не полноты информации // НТ №5 2019
4. *Белевцев А.М., Дворецкий В.В., Садреев Ф.Г.* Навигация мониторинга как инструмент стратегического анализа // Сборник научных трудов Пятнадцатой Международной научно-практической конференции «Управление качеством», 2016г.
5. *Белевцев А.М., Балыбердин В.А., Бендерский Г.П., Белевцев А.А.* Основные тенденции развития информационных технологий для систем сетецентрического управления // Сборник докладов. Материалы Всероссийской научно-технической конференции с международным участием «Компьютерные и информационные технологии в науке, инженерии и управлении» «комтех 2016», 2016г
6. *Белевцев А.М., Садреев Ф.Г., Белевцев А.А., Балыбердин В.А.* Разработка интеллектуальных сервисов мониторинга технологических трендов в информационно-аналитических комплексах // Статья в российском журнале из перечня ВАК. Наукоемкие технологии т. 20 №3 2019г с. 24-29.
7. *Белевцев А.М., Балыбердин В.А., Бендерский Г.П., Белевцев А.А.* Анализ направлений развития nano- и IT-технологий для построения специализированных сетевых коммуникационных систем нового поколения // Южный федеральный университет «Известия» №,3 Тематический выпуск Компьютерные и информационные технологии в науке, инженерии и управлении, 2015г.
8. *Белевцев А.М., Балыбердин В.А., Бендерский Г.П., Белевцев А.А.* Основные тенденции развития информационных технологий для систем сетецентрического управления // Сборник докладов. Материалы Всероссийской научно-технической конференции с международным участием «Компьютерные и информационные технологии в науке, инженерии и управлении» «комтех 2016», 2016г
9. *Микова Н.С., Соколова А.В.* Мониторинг глобальных технологических трендов: теоретические основы и лучшие практики // Форсайт. Т. 8. № 4 2014 г.
10. *Анферова М.С., Белевцев А.М.* Анализ требований и разработка алгоритмов интеллектуальных сервисов мониторинга // Известия ЮФУ. Технические науки. №3 2022г с 119 - 129.
11. *Анферова М.С., Белевцев А.М.* Анализ направлений создания алгоритмов эффективного поиска информации в сетях общего и специального назна-

чения //Материалы III Всероссийской научно-технической конференции «Актуальные проблемы современной науки и производства» /Рязань: РГРТУ, 2018

12. *Белевцев А.А, Белевцев А.М, Балыбердин В.А.* Методика анализа и оценки приоритетов технологических трендов и технологий. Известия ЮФУ» № 6, 2022 г.

**Анферова Маргарита Сергеевна**, старший преподаватель, «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)», Россия, г. Москва, Волоколамское шоссе, д. 4, 125993, телефон: +7 905 522-07-49, e-mail: [gludkina@yandex.ru](mailto:gludkina@yandex.ru)

**Белевцев Андрей Андреевич**, ПАО «Сбербанк», Россия, Москва, 117312, ул. Вавилова, д. 19 телефон: + 7 (495) 957-57-31, e-mail: [Andrey.Belevtsev@gmail.com](mailto:Andrey.Belevtsev@gmail.com)

**Белевцев Андрей Михайлович**, доктор технических наук, профессор, «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)», Россия, г. Москва, Волоколамское шоссе, д. 4, 125993, телефон: +7 903 769-17-88, e-mail: [ambelevtsev@yandex.ru](mailto:ambelevtsev@yandex.ru)

**Anferova Margarita Sergeevna**, senior lecturer, Moscow Aviation Institute (National Research University), Russia, Moscow, Volokolamskoe shosse, 4, 125993, phone: +7 905 522-07-49, e-mail: [gludkina@yandex.ru](mailto:gludkina@yandex.ru)

**Belevtsev Andrey Andreevich**, Sberbank PJSC, Moscow, 117312, Vavilova str., 19, Russia phone: + 7 (495) 957-57-31, e-mail: [Andrey.Belevtsev@gmail.com](mailto:Andrey.Belevtsev@gmail.com)

**Belevtsev Andrey Michailovitch**, doctor of science, professor, Moscow Aviation Institute (National Research University), Russia, Moscow, Volokolamskoe shosse, 4, 125993, phone: +7 903 769-17-88, e-mail: [ambelevtsev@yandex.ru](mailto:ambelevtsev@yandex.ru)

Карпов Антон Александрович

**РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ  
АДАПТИВНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ПЕРЕХОДНОГО  
ПРОЦЕССА DC-DC ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ**

*В данной научной публикации рассмотрен способ применения адаптивного регулятора для улучшения качества переходного процесса DC-DC преобразователя. В результате проведенного анализа DC-DC преобразователя был составлен алгоритм по улучшению устойчивости переходного процесса при переменных параметрах в объекте управления. На основании разработанного алгоритма управления была составлена принципиальная схема, что позволяет перейти к непосредственной практической реализации устройства.*

*Адаптивный регулятор, принципиальная схема, микроконтроллер, алгоритм, обратная связь, напряжение.*

Karpov Anton Alexandrovich

**DEVELOPMENT AND RESEARCH OF ADAPTIVE CONTROL  
SYSTEM FOR TRANSIENT PROCESS OF DC-DC CONVERTER**

*In this scientific publication, a method for using an adaptive controller to improve the quality of the transient process of a DC-DC converter is considered. As a result of the analysis of the DC-DC converter, an algorithm was compiled to improve the stability of the transient process with variable parameters in the control object. Based on the developed control algorithm, a schematic diagram was drawn up, which allows us to proceed to the direct practical implementation of the device.*

*Adaptive regulator, principal diagram, microcontroller, algorithm, feedback, voltage.*

**Введение**

Оценка эффективности силовой преобразовательной техники во многом зависит от возможности поддерживать заданный переходный процесс при различных режимах работы. В большинстве случаев применение стандартных ПИД-регуляторов с постоянными коэффициентами корректирующих звеньев весьма затруднительно. Дело в том, что для снижения величины пульсаций напряжения на нагрузки, в DC-DC преобразователях применяют сетевые фильтры. Из-за применения сетевых фильтров переходной

процесс имеет нелинейную зависимость между внешним воздействием на объект управления и выходными параметрами с объекта управления. Если на такой объект управления подавать переменную величину внешнего воздействия, которая будет изменяться в широком диапазоне, то регулятор не сможет поддержать заданный переходный процесс с высокой точностью. [1]

### **Основная часть**

Одним из способов поддержки заданного переходного процесса при переменном внешнем воздействии является применение адаптивного регулятора. Сущность адаптивного регулирования заключается в том, что параметры ПИД регулятора не являются постоянными, а изменяются со временем относительно текущего состояния объекта управления. [2]

Рассмотрим блок-схему функционирования адаптивного регулятора для понижающего DC-DC преобразователя. Общий вид такой блок-схемы представлен на рис. 1. Как следует из представленной схемы, работа регулятора начинается при подаче напряжения на нагрузку. В случае отсутствия входного напряжения значение коэффициентов регулятора равно нулю. Напряжение на нагрузки в таком случае тоже равно нулю.

Если напряжение на нагрузки не равно нулю, то начинает работать ШИМ регулятор DC-DC преобразователя. Через LC фильтр пульсирующее напряжения преобразуется в постоянное напряжение, после чего подается на нагрузку  $R_{\text{наг}}$ .

Микропроцессорное устройство измеряет величину падения напряжения на нагрузки  $R_{\text{наг}}$ . В том случае, если величина переходного процесса не соответствует уставки заданного напряжения, происходит изменение коэффициентов ПИД регулятора. Контролируя величину отклонения заданного напряжения от текущего, происходит определение величины параметров адаптивного ПИД регулятора для конкретного промежутка времени.




Рис.1. Блок-схема адаптивного регулятора для работы DC-DC преобразователя

Изменяя параметры ПИД регулятора можно изменять подаваемое напряжение на нагрузку  $U_{наг}$ . Процесс изменения параметров адаптивного ПИД регулятора осуществляется до тех пор, пока величина падения напряжения на нагрузки  $R_{наг}$ , не станет соответствовать величине заданной уставки падения напряжения.

Таким образом, на выходе DC-DC преобразователя мы получим качественное стабилизированное постоянное напряжение. В случае изменения величины уставки входного напряжения происходит перерасчет параметров ПИД регулятора, и процесс регулирования величиной напряжения на нагрузки  $R_{наг}$ , будет снова повторяться.

На основании проведенного анализа блок-схемы адаптивного регулятора была осуществлена разработка принципиальной схемы адаптивного регулятора для DC-DC преобразователя. Общий вид принципиальной схе-

мы адаптивного регулятора для DC-DC преобразователя приведен на рис. 2.




Рис. 2. Принципиальная схема DC-DC преобразователя с адаптивным регулятором

В представленной принципиальной схеме переменными параметрами являются величина заданной уставки  $U_{zad}$ , а также внешнее возмущающее воздействие RL1. Основой системы адаптивного управления является микроконтроллер серии STM32F401VE. [3]

Принцип работы представленной принципиальной схемы заключается в следующем. Внутренний АЦП микроконтроллера осуществляет контроль над заданной величиной уставки  $U_{zad}$ , а также реагирует на величину падения напряжения на нагрузки R4.

Алгоритм микроконтроллера работает на основании заранее определенной зависимости между исходными данными и необходимой для этого величины ПИД регулятора. Определение зависимости между ПИД регулятором и величиной внешнего воздействия осуществляется при помощи заранее проведенных математических расчетов и соответствующих результатов моделирования объекта управления.

Рассчитанное значение ПИД регулятора преобразуется в соответствующий ему ШИМ сигнал, управляющее воздействие которого подается на драйвер IR2104. Драйвер осуществляет преобразование электрического сигнала, которое необходимо для последующего управления транзистор-

ными ключами. Полученный сигнал с транзисторных ключей стабилизируется через сетевой фильтр, и затем подается на нагрузку R4.

Через встроенный АЦП микроконтроллер осуществляет контроль над падением напряжения на нагрузки R4, образуя тем самым обратную связь с объектом управления. Если в ходе последующих коммутаций системы, регулируемая величина вновь не будет соответствовать заданным требованиям, то цикл алгоритма микроконтроллера будет повторяться, но уже для новых значений ПИД регулятора.

### **Выводы**

Представленные результаты работы, мною будут использованы для дальнейшей разработки адаптивного регулятора, способного поддерживать заданный переходный процесс DC-DC преобразователя при различных режимах работы. Снижение зависимости переходного процесса от внешнего воздействия позволит сделать применение DC-DC преобразователей более гибким, что расширит возможности по их применению в силовой преобразовательной технике.

### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. *Зиновьев Г.С.* Основы силовой электроники. - Новосибирск, 2003, 664 с.
2. Стабилизаторы переменного напряжения с высокочастотным широтно-импульсным регулированием / А.В. Кобзев, Ю.М. Лебедев, Г.Я. Михальченко и др. — М.: Энергоатомиздат. 1986, 152 с.
3. *Гусев В.Г., Гусев Ю.М.* Электроника и микропроцессорная техника. 3-е изд., перераб. и доп. -М.: Высш. шк., 2005, 790 с.
4. *Никифоров В.О., Фрадков А.Л.* Системы адаптивного управления с расширенной ошибкой // Автоматика и телемеханика. – 1994. – № 9. – С. 3–22.
5. *Мирошник И.В., Никифоров В.О., Фрадков А.Л.* Нелинейное и адаптивное управление сложными динамическими системами. Серия «Анализ и синтез нелинейных систем» / Под ред. Г.А. Леонова и А.Л. Фрадкова. – СПб: Наука, 2000. – 549 с.
6. *Першин И. М.* Анализ и синтез систем с распределенными параметрами. Пятигорск: Изд-во „РИА-КМВ“, 2007. 234 с.
7. *Малков А. В., Першин И. М.* Системы с распределенными параметрами. Анализ и синтез. М.: Научный мир, 2012. 476 с.
8. *Соловьев В.В.* Синтез нечеткого адаптивного регулятора с априори неопределенной базой правил // Труды Всероссийской научной конфе-

- ренции «Актуальные вопросы исследования общественных и технических систем». Ч. 2. – Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2010. – С. 62-62.
9. *Финаев В.И.* Модели принятия решений: Учебное пособие. – Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2005. – 118 с.
  10. *Соловьев В.В., Шестова Е.А.* Оптимизация регуляторов сложных технических систем управления с нечеткими параметрами // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2012. – № 2 (127). – С. 191-197.
  11. *Николаенко С.А., Цокур Д.С.* Автоматизация систем управления: учеб. пособие. – Краснодар: Изд-во ООО «Крон», 2015. - 119 с.
  12. *Сидоров С.Н., Лунина Н.А.* Теория автоматического управления в задачах электропривода: учебное пособие. – Ульяновск: УлГТУ, 2013. – 122 с.

**Карпов Антон Александрович**, студент Южного федерального университета, Россия, город Таганрог, улица Петровская 81, 347900, телефон: +7 (960) 134-76-45, email: anton300998@gmail.com.

*Научное издание*

**Компьютерные и информационные  
технологии  
в науке, инженерии и управлении  
«КомТех-2023»**

В двух томах  
Том 2

Отв. за выпуск Клевцов С. И.  
Оригинал-макет подготовила Замай Н. А.

Подписано в печать 11.09.2023 г.  
Бумага офсетная. Формат 60×84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Тираж 20 экз.  
Усл. печ. лист. 18,19. Уч.-изд. л. 12,6. Заказ № 9139.

Отпечатано в отделе полиграфической, корпоративной и сувенирной продукции  
Издательско-полиграфического комплекса КИБИ МЕДИА ЦЕНТРА ЮФУ.  
344090, г. Ростов-на-Дону, пр. Стачки, 200/1, тел (863) 243-41-66.