

Сборник избранных статей научной сессии ТУСУР



**ПО МАТЕРИАЛАМ МЕЖДУНАРОДНОЙ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ
СТУДЕНТОВ, АСПИРАНТОВ
И МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ
«НАУЧНАЯ СЕССИЯ ТУСУР–2025»**

**г. Томск, 21–23 мая 2025 г.
(в трех частях)**

ЧАСТЬ 2

г. Томск

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ
УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ (ТУСУР)»

Сборник избранных статей научной сессии ТУСУР

**по материалам
международной научно-технической конференции
студентов, аспирантов и молодых ученых
«Научная сессия ТУСУР–2025»**

21–23 мая 2025 г., г. Томск

В трех частях

Часть 2

ТУСУР
В-Спектр
Томск, 2025

УДК 621.37/.39+681.518 (063)

ББК 32.84я431+32.988я431

С 23

С 23 Сборник избранных статей научной сессии ТУСУР, Томск, 21–23 мая 2025 г.: в 3 ч. – Томск: ТУСУР (заказчик); В-Спектр (ИП В.М. Бочкарева, исполнитель), 2025. – Ч. 2. – 332 с.

ISBN 978-5-902958-38-3

ISBN 978-5-902958-39-0 (Ч. 1)

ISBN 978-5-902958-40-6 (Ч. 2)

ISBN 978-5-902958-41-3 (Ч. 3)

Сборник избранных статей научной сессии ТУСУР включает избранные доклады по итогам международной научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Конференция посвящена различным аспектам разработки, исследования и практического применения радиотехнических, телевизионных и телекоммуникационных систем и устройств, сетей электро- и радиосвязи, вопросам проектирования и технологии радиоэлектронных средств, аудиовизуальной техники, бытовой радиоэлектронной аппаратуры, а также автоматизированных систем управления и проектирования. Рассматриваются проблемы электроники СВЧ- и акустооптоэлектроники, нанофотоники, физической, плазменной, квантовой, промышленной электроники, радиотехники, информационно-измерительных приборов и устройств, распределенных информационных технологий, вычислительного интеллекта, автоматизации технологических процессов, в частности, в системах управления и проектирования, информационной безопасности и защиты информации. Представлены статьи по экономике и менеджменту, антикризисному управлению, правовым проблемам современной России, автоматизации управления в технике и образовании, а также работы, касающиеся социокультурных проблем современности, экологии, мониторинга окружающей среды и безопасности жизнедеятельности.

УДК 621.37/.39+681.518 (063)

ББК 32.84я431+32.988я431

ISBN 978-5-902958-38-3

ISBN 978-5-902958-40-6 (Ч. 2)

© ТУСУР, 2025

Сборник избранных статей научной сессии ТУСУР

**по материалам
Международной научно-технической конференции
студентов, аспирантов и молодых ученых
«Научная сессия ТУСУР–2025», 21–23 мая 2025 г.**

ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ

- Рулевский В.М. – председатель Программного комитета, ректор ТУСУРа, д.т.н., проф.;
- Куксенко С.П. – заместитель председателя Программного комитета, директор департамента науки и инноваций, д.т.н., доцент;
- Афанасьева М.А., нач. отд. международного сотрудничества ТУСУРа;
- Афонасова М.А., зав. каф. менеджмента ТУСУРа, д.э.н., проф.;
- Бабур-Карателли Г.П., к.т.н., PhD (TU Delft), научный сотрудник лаборатории радиооптики каф. ТОР ТУСУРа;
- Беляев Б.А., зав. лаб. электродинамики и СВЧ-электроники Ин-та физики СО РАН, д.т.н., г. Красноярск (по согласованию);
- Ботаева Л.Б., руководитель направления по оказанию инжиниринговых услуг, АНО «Томский региональный инжиниринговый центр», к.т.н. (по согласованию);
- Васильковская Н.Б., доцент каф. экономики ТУСУРа, к.э.н.;
- Голиков А.М., доцент каф. РТС ТУСУРа, к.т.н., с.н.с.;
- Дмитриев В.М., проф. каф. КСУП ТУСУРа, д.т.н.;
- Еханин С.Г., проф. каф. КУДР ТУСУРа, д.ф.-м.н., доцент;
- Зариковская Н.В., доцент каф. АОИ ТУСУРа, к.ф.-м.н.;
- Зейниденов А.К., PhD, зав. каф. радиофизики НАО Карагандинский университет им. академика Е.А. Букетова, проф., г. Караганда (Казахстан) (по согласованию);
- Исакова А.И., доцент каф. АСУ ТУСУРа, к.т.н.;
- Карташев А.Г., проф. каф. РЭТЭМ ТУСУРа, д.б.н.;
- Катаев М.Ю., проф. каф. АСУ ТУСУРа, д.т.н.;
- Ким М.Ю., зав. каф. ИСР ТУСУРа, к.и.н., доцент;
- Костина М.А., доцент каф. УИ, к.т.н.;
- Костюченко Е.Ю., и.о. зав. каф. БИС ТУСУРа, к.т.н., доцент;
- Кочубинский В.П., зам. зав. каф. КСУП ТУСУРа, доцент каф. КСУП, к.т.н.;
- Красинский С.Л., декан ЮФ ТУСУРа, к.и.н.;
- Крозер В., проф., Университет Гёте, Франкфурт-на-Майне (Германия) (по согласованию);
- Куприянов Е.А., директор Центра по работе с талантливой молодежью ТУСУРа;

- Лукин В.П., зав. лаб. когерентной и адаптивной оптики ИОА СО РАН, д.ф.-м.н., проф., г. Томск (по согласованию);
- Малюк А.А., проф. отделения интеллектуальных кибернетических систем офиса образовательных программ, Институт интеллектуальных кибернетических систем НИЯУ МИФИ, к.т.н., проф., г. Москва (по согласованию);
- Малютин Н.Д., гл.н.с. НИИ Систем электрической связи, проф. каф. КУДР ТУСУРа, д.т.н.;
- Медовник А.В. – начальник научного управления, д.т.н., доцент;
- Мицель А.А., проф. каф. АСУ ТУСУРа, д.т.н.;
- Одинцов С.Д., гл.н.с., Институт пространственных исследований, ICE-CSIC, Барселона (Испания) (по согласованию);
- Озеркин Д.В., доцент каф. РЭТЭМ ТУСУРа, к.т.н.;
- Орлова В.В., зав. каф. ФИС ТУСУРа, д.соц.н., доцент;
- Оскирко В.О., технический директор ООО «Прикладная электроника», к.т.н. (по согласованию);
- Перин А.С., директор Передовой инженерной школы «Электронное приборостроение и системы связи» им. А.В. Кобзева, доцент каф. СВЧМКР, к.т.н.;
- Покровская Е.М., зав. каф. ИЯ ТУСУРа, к.фил.н., доцент;
- Разинкин В.П., проф. каф. ТОР, декан факультета радиотехники и электроники Новосибирского государственного технического университета, д.т.н., г. Новосибирск (по согласованию);
- Рогожников Е.В., зав. каф. ТОР ТУСУРа, к.т.н., доцент;
- Ромашко Р.В., член-корреспондент РАН, директор ИАПУ ДВО РАН, д.ф.-м.н., проф., г. Владивосток (по согласованию);
- Семенов В.Д., проф. каф. ПрЭ ТУСУРа, к.т.н., с.н.с.;
- Семенов Э.В., проф. каф. РСС ТУСУРа, д.т.н., доцент;
- Сенченко П.В., доцент каф. АОИ, к.т.н.;
- Суровцев Р.С., доцент каф. ТУ ТУСУРа, д.т.н.;
- Титов В.С., зав. каф. вычислительной техники Юго-Западного государственного университета, д.т.н., проф., заслуженный деятель наук РФ, академик международной академии наук ВШ, г. Курск (по согласованию);
- Троян П.Е., проф. каф. ФЭ ТУСУРа, д.т.н.;
- Труханов А.В., академик-секретарь Отделения химии и наук о Земле Национальной академии наук Беларуси, д.ф.-м.н., проф., г. Минск (Республика Беларусь) (по согласованию);
- Туев В.И., зав. каф. РЭТЭМ ТУСУРа, д.т.н., проф.;
- Ходашинский И.А., проф. каф. КСУП ТУСУРа, д.т.н.;
- Цветкова Н.А., доцент Высшей школы проектной деятельности и инноваций в промышленности института машиностроения, материалов и транспорта Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого, к.т.н., г. Санкт-Петербург (по согласованию);
- Чжан Е.А., зам. директора по информационной политике Института космических и информационных технологий (ИКИТ), ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет», к.т.н. (по согласованию);
- Шелупанов А.А., президент ТУСУРа, директор ИСИБ, д.т.н., проф.
- Шелупанова П.А., зав. каф. ЭБ ТУСУРа, к.э.н., доцент;

- Шурыгин Ю.А., советник при ректорате по комплексным вопросам функционирования университета ТУСУРа, зав. каф. КСУП, д.т.н., проф.;
- Шумилин А.Г., академик-секретарь Отделения физики, математики и информатики Национальной академии наук Беларуси, д.э.н., проф., г. Минск (Республика Беларусь) (по согласованию);
- Щербаков С.С., академик-секретарь Отделения физико-технических наук Национальной академии наук Беларуси, д.ф.-м.н., проф., г. Минск (Республика Беларусь) (по согласованию).

ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ

- Медовник А.В. – председатель Организационного комитета, начальник научного управления, д.т.н., доцент;
- Алябьева А.Д., студентка каф. ЭП, председатель Студенческого научного сообщества «Система»;
- Боберь Ю.Н., специалист по учебно-методической работе ОАиД;
- Климов А.С., председатель Совета молодых ученых, с.н.с. лаборатории плазменной электроники каф. физики, д.т.н.;
- Коротина Т.Ю., зав. аспирантурой, ОАиД, к.т.н.;
- Михальченко Т.С., специалист по работе с молодежью ОПиРШ;
- Покровская Е.М., зав. каф. ИЯ, к.фил.н.;
- Юрченкова Е.А., вед. инженер ОАиД, к.х.н.;

СЕКЦИИ КОНФЕРЕНЦИИ

Секция 1. Радиотехника и связь

- Подсекция 1.1. Радиотехнические системы и распространение радиоволн. Председатель секции – Аникин Алексей Сергеевич, доцент каф. РТС, к.т.н.; зам. председателя – Мещеряков Александр Алексеевич, доцент каф. РТС, к.т.н.
- Подсекция 1.2. Проектирование и эксплуатация радиоэлектронных средств. Председатель секции – Озёркин Денис Витальевич, доцент каф. РЭТЭМ, к.т.н., доцент; зам. председателя – Понамарев Дмитрий Евгеньевич, преподаватель каф. КИПР.
- Подсекция 1.3. Радиотехника. Председатель секции – Семенов Эдуард Валерьевич, проф. каф. РСС, д.т.н., доцент; зам. председателя – Артищев Сергей Александрович, и.о. зав. каф. КУДР, к.т.н.
- Подсекция 1.4. Интеллектуальные видеоинформационные технологии. Председатель секции – Курячий Михаил Иванович, проф. каф. ТУ, к.т.н., с.н.с.; зам. председателя – Каменский Андрей Викторович, доцент каф. ТУ, к.т.н.
- Подсекция 1.5. Системы беспроводной связи и интернета вещей. Председатель секции – Рогожников Евгений Васильевич, зав. каф. ГОР, к.т.н., доцент; зам. председателя – Дмитриев Эдгар, старший преподаватель каф. ГОР.

Подсекция 1.6. Интеллектуальные системы проектирования технических устройств. Председатель секции – Шурыгин Юрий Алексеевич, советник при ректорате по комплексным вопросам функционирования университета, д.т.н., проф.; зам. председателя – Черкашин Михаил Владимирович, доцент каф. КСУП, к.т.н.

Секция 2. Электроника и приборостроение

Подсекция 2.1. Проектирование биомедицинских электронных и нанoeлектронных средств. Председатель секции – Еханин Сергей Георгиевич, проф. каф. КУДР, д.ф.-м.н., доцент; зам. председателя – Славникова Марина Михайловна, доцент каф. КУДР.

Подсекция 2.2. Разработка контрольно-измерительной аппаратуры. Председатель секции – Бомбизов Александр Александрович, начальник СКБ «Смена», к.т.н.; зам. председателя – Тренкаль Евгений Игоревич, доцент каф. КУДР, к.т.н.

Подсекция 2.3. Физическая и плазменная электроника. Председатель секции – Троян Павел Ефимович, проф. каф. ФЭ, д.т.н.; зам. председателя – Смирнов Серафим Всеволодович, проф. каф. ФЭ, д.т.н.

Подсекция 2.4. Промышленная электроника. Председатель секции – Семенов Валерий Дмитриевич, проф. каф. ПрЭ, к.т.н., с.н.с.; зам. председателя – Михальченко Сергей Геннадьевич, зав. каф. ПрЭ, д.т.н.; Оскирко Владимир Олгович, технический директор ООО «Прикладная электроника», к.т.н.

Подсекция 2.5. Оптические информационные технологии, нанофотоника и оптоэлектроника. Председатель секции – Перин Антон Сергеевич, директор Передовой инженерной школы «Электронное приборостроение и системы связи» им. А.В. Кобзева, доцент каф. СВЧиКР, к.т.н.; зам. председателя – Долгирев Виктор, ассистент каф. СВЧиКР, инженер ЛФИС Передовой инженерной школы «Электронное приборостроение и системы связи» им. А.В. Кобзева.

Подсекция 2.6. Электромагнитная совместимость. Председатель секции – Суровцев Роман Сергеевич, доцент каф. ТУ, д.т.н.; зам. председателя – Белоусов Антон Олегович, доцент каф. ТУ, к.т.н.

Подсекция 2.7. Светодиоды и светотехнические устройства. Председатель секции – Туев Василий Иванович, зав. каф. РЭТЭМ, д.т.н., проф.; зам. председателя – Солдаткин Василий Сергеевич, доцент каф. РЭТЭМ, к.т.н.

Подсекция 2.8. Робототехника. Председатель секции – Коцубинский Владислав Петрович, доцент каф. КСУП, к.т.н.; зам. председателя – Шандаров Евгений Станиславович, старший преподаватель каф. ЭП.

Секция 3. Информационные технологии и системы

Подсекция 3.1. Интегрированные информационно-управляющие системы. Председатель секции – Катаев Михаил Юрьевич, проф. каф. АСУ, д.т.н.; зам. председателя – Суханов Александр Яковлевич, доцент каф. АСУ, к.т.н.

Подсекция 3.2. Распределённые информационные технологии и системы. Председатель секции – Сенченко Павел Васильевич, доцент каф. АОИ, к.т.н.; зам. председателя – Сидоров Анатолий Анатольевич, зав. каф. АОИ, к.э.н., доцент.

Подсекция 3.3. Автоматизация управления в технике и образовании. Председатель секции – Дмитриев Вячеслав Михайлович, проф. каф. КСУП, д.т.н.; зам. председателя – Ганджа Тарас Викторович, проф. каф. КСУП, д.т.н., доцент.

Подсекция 3.4. Вычислительный интеллект. Председатель секции – Ходашинский Илья Александрович, проф. каф. КСУП, д.т.н.; зам. председателя – Сарин Константин Сергеевич, доцент каф. КСУП, к.т.н.

Подсекция 3.5. Молодежные инновационные научные и научно-технические проекты. Председатель секции – Костина Мария Алексеевна, доцент каф. УИ, к.т.н.; зам. председателя – Нариманова Гуфана Нурлабековна, зав. каф. УИ, декан ФИТ, и.о. проректора по УРИМД, к.ф.-м.н., доцент.

Подсекция 3.6. Инструментальные средства автоматизации проектирования, управления и обработки данных. Председатель секции – Хабибулина Надежда Юрьевна, доцент каф. КСУП, к.т.н.; зам. председателя – Потапова Евгения Андреевна, ст. преподаватель каф. КСУП.

Секция 4. Информационная безопасность

Подсекция 4.1. Методы и системы защиты информации. Информационная безопасность. Председатель секции – Шелупанов Александр Александрович, президент ТУСУРа, директор ИСИБ, д.т.н., проф.; зам. председателя – Новохрестов Алексей Константинович, доцент каф. КИБЭВС, к.т.н.

Подсекция 4.2. Цифровые системы радиосвязи и средства их защиты. Председатель секции – Голиков Александр Михайлович, доцент каф. РТС, к.т.н., с.н.с.; зам. председателя – Громов Вячеслав Александрович, доцент каф. РТС, к.т.н.

Подсекция 4.3. Экономическая безопасность. Председатель секции – Шелупанова Полина Александровна, зав. каф. ЭБ, к.э.н., доцент; зам. председателя – Колтайс Андрей Станиславович, преподаватель каф. ЭБ.

Подсекция 4.4. Искусственный интеллект и его приложения. Председатель секции – Костюченко Евгений Юрьевич, и.о. зав. каф. БИС, к.т.н., доцент; зам. председателя – Новохрестова Дарья Игоревна, доцент каф. КИБЭВС, к.т.н.

Секция 5. Экономика, управление, социальные и правовые проблемы современности

Подсекция 5.1. Моделирование в экономике. Председатель секции – Мицель Артур Александрович, проф. каф. АСУ, д.т.н.; зам. председателя – Грибанова Екатерина Борисовна, проф. каф. АСУ, д.т.н.

Подсекция 5.2. Информационные системы в экономике. Председатель секции – Исакова Анна Ивановна, доцент каф. АСУ, к.т.н.; зам. председателя – Григорьева Марина Викторовна, доцент каф. АСУ, к.т.н.

Подсекция 5.3. Реализация современных экономических подходов в финансовой и инвестиционной сферах. Председатель секции – Васильковская Наталья Борисовна, доцент каф. экономики, к.э.н.; зам. председателя – Цибульников Валерия Юрьевна, зав. каф. экономики, к.э.н., доцент.

Подсекция 5.4. Проектный менеджмент и его использование в цифровой экономике. Председатель секции – Афонасова Маргарита Алексеевна, зав. каф. менеджмента, д.э.н., проф.; зам. председателя – Богомолова Алена Владимировна, доцент каф. менеджмента, декан ЭФ, к.э.н.

Подсекция 5.5. Современные социокультурные технологии в организации работы с молодежью. Председатель секции – Орлова Вера Вениаминовна, зав. каф. ФиС, д.соц.н., доцент; зам. председателя – Шевченко Лариса Владимировна, доцент каф. ФиС, к.филол.н.

Подсекция 5.6. Актуальные проблемы социальных коммуникаций в современном обществе. Председатель секции – Ким Максим Юрьевич, зав. каф. ИСР, к.ист.н., доцент; зам. председателя – Куренков Артем Валериевич, доцент каф. ИСР, к.ист.н.

Подсекция 5.7. Актуальные вопросы частного права в условиях цифровой трансформации. Председатель секции – Мельникова Валентина Григорьевна, доцент, зав. каф. ИГПиПОИД, к.ю.н.; зам. председателя – Часовских Кристина Викторовна, ст. преподаватель каф. ИГПиПОИД.

Подсекция 5.8. Современные тенденции развития российского права. Председатель секции – Ахмедшин Рамиль Линарович, проф. каф. ГПДиПД, д.ю.н.; зам. председателя – Алексеева Татьяна Александровна, доцент каф. ГПДиПД, к.ю.н.

Секция 6 Экология и мониторинг окружающей среды.

Безопасность жизнедеятельности. Председатель секции – Карташев Александр Георгиевич, проф. каф. РЭТЭМ, д.б.н.; зам. председателя – Денисова Татьяна Владимировна, доцент каф. РЭТЭМ, к.б.н.

Секция 7. Открытия. Творчество. Проекты. (Секция для школьников).

Председатель секции – Куприянов Евгений Александрович, директор Центра по работе с талантливой молодежью ТУСУРа; зам. председателя – Михальченко Татьяна Сергеевна, специалист по работе с молодежью ОПиРШ УНН.

Секция 8. Postgraduate and Master Students' Research in Electronics and Control Systems.

Председатель секции – Покровская Елена Михайловна, зав. каф. ИЯ, доцент, к.филос.н.; зам. председателя – Шпит Елена Ирismetовна, ст. преподаватель каф. ИЯ; Соболевская Ольга Владимировна, ст. преподаватель каф. ИЯ; Таванова Эльвира Борисовна, ст. преподаватель каф. ИЯ.

Адрес оргкомитета:

634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 40,

ФГБОУ ВО «ТУСУР»

Научное управление (НУ), к. 205. Тел.: 8-(382-2) 701-524

1 часть – 1-я секция (подсекции 1.1 – 1.6); 2-я секция (подсекции 2.1 – 2.5).

2 часть – 2-я секция (подсекции 2.6 – 2.8); 3-я секция (подсекции 3.2 – 3.6); 6-я секция; 8-я секция.

3 часть – 4-я секция (подсекции 4.1 – 4.4); 5 секция (подсекция 5.1 – 5.8).

7 секция – для школьников издается отдельным сборником.

Генеральные спонсоры

АО «НИИПП»



Томское региональное отделение
ООО «Союз машиностроителей России»



АО «НПФ «Микран»



ООО НПК «ТЕСАРТ»



АО «ИнфоТеКС»



ООО «Научные приборы и системы»



Спонсор

ООО «500M TEX.»



Генеральный спонсор конференции – АО «НИИПП»



АО «НИИПП»
niipp@niipp.ru
www.niipp.ru

634034, г. Томск,
ул. Красноармейская, 99а
Т.: +7 (382-2) 28-82-88,
28-84-83

Акционерное общество «Научно-исследовательский институт полупроводниковых приборов» (АО «НИИПП») – одно из ведущих предприятий Госкорпорации «Ростех», флагман в области разработки и создания СВЧ-изделий и оптоэлектронных приборов ИК- и видимого диапазонов. Общество является одним из ведущих предприятий российской электронной промышленности, специализирующихся на разработке и выпуске полупроводниковых приборов в области СВЧ- и оптоэлектроники. По нескольким позициям ассортимента предприятие выпускает продукцию, не имеющую аналогов на отечественном рынке. Текущая деятельность АО «НИИПП» направлена на то, чтобы значительно повысить конкурентоспособность и технологический уровень, которые позволят поднять уровень производительности труда и занять устойчивые позиции на внутреннем и мировом рынках радиоэлектроники. В институте налажен полный цикл от разработки до выпуска готовых изделий.

Предприятие производит продукцию для ВПК и радиоэлектронную продукцию гражданского назначения (СВЧ-ЭКБ, светотехнику, медицинские приборы, промышленную электронику).

НИИПП основан в Томске в 1964 г. для разработки СВЧ- и оптоэлектронных изделий на основе полупроводниковых соединений АЗВ5. Исследование нового материала – арсенида галия – предопределило вектор развития предприятия на последующие 60 лет.

В 1967 г. на базе института заработал завод по серийному выпуску полупроводниковых приборов. Начинаясь как научный институт, НИИПП и сегодня работает с ведущими вузами Томска: Томским государственным университетом систем управления и радиоэлектроники (ТУСУР), Томским политехническим университетом (ТПУ), Томским государственным университетом (ТГУ), Сибирским государственным медицинским университетом (СибГМУ). В 2022 г. у АО «НИИПП» появилась вторая площадка по производству металлокерамических изделий, которая расположена в Великом Новгороде.

АО «НИИПП» входит в состав Союза машиностроителей России, являясь опорным предприятием объединения в регионе.

С октября 2020 г. генеральный директор АО «НИИПП» Е.А. Монастырев возглавляет Томское региональное отделение «СоюзМаш России».

Научно-производственный потенциал АО «НИИПП»: 4 доктора наук, 5 аспирантов, 24 кандидата технических наук, 462 конструктора и технолога.

СВЧ-электроника – одно из главных направлений разработок на предприятии – это создание СВЧ-полупроводниковых приборов, таких как генераторные (диоды Ганна), смесительные, детекторные, настроенные диоды с барьером Шоттки и монокристалльные интегральные схемы. На предприятии разработаны настроенные корпусные и бескорпусные диоды дм-, см- и мм-диапазонов длин волн, кремниевые и арсенидогаллиевые варикапы и варикапные матрицы, предназначенные для применения в частотно-избирательных схемах дм-, м-, декаметрового и гектометрового диапазонов длин волн. Смесительно-детекторные диоды для ГИС мм- и субмиллиметрового диапазонов типа с балочными выводами стали основой для последующего создания широкого спектра монокристалльных интегральных схем (МИС) мм-диапазона.

Оптоэлектроника. Параллельно с СВЧ-электроникой в НИИПП развивалось направление оптоэлектроники – от создания первых ИК-диодов на арсениде галлия (базовая технология которых послужила основой для создания высокоскоростного светодиода и серии мощных излучающих ИК-диодов) до оптоэлектронных приборов. Оптоэлектронные приборы производства НИИПП нашли широкое применение в аппаратуре космического назначения, в системах атмосферной оптической связи, активно-импульсных приборах ночного видения, для управления движением объектов. Аппараты, в которых применялись изделия оптоэлектроники НИИПП, побывали в космосе.

Производство гражданского назначения составляет около 30% от объемов производства и активно развивается в АО «НИИПП».

Лидирующее направление – **производство светотехнической продукции** (светодиодные светильники и лампы, более 100 наименований, более 25 патентов и авторских свидетельств в области разработки и конструирования светотехники). АО «НИИПП» предлагает энергоэффективную высококачественную светотехническую продукцию для освещения широкого спектра объектов. Светильники собраны на основе отечественной компонентной базы со степенью локализации в НИИПП, имеют все необходимые разрешительные сертификаты, лицензии и соответствия.

В 2022 г. АО «НИИПП» представило уникальный для российского рынка продукт – **зондовые станции** собственного производства,

предназначенные для измерений в области СВЧ-электроники. В 2022–2023 гг. выполнены поставки ручных зондовых станций Omega Air-150 СОАХ на ведущие российские предприятия радиоэлектронной промышленности, в измерительные центры и научные лаборатории; заключены контракты на поставку полуавтоматических зондовых станций Terra-200 СОАХ; предприятие готово также выполнять поставки программно-аппаратных комплексов (ПАК) для измерения параметров монолитных интегральных схем на неразделенных полупроводниковых пластинах. Полностью российское решение задачи импортозамещения в условиях санкций, при этом более эффективное по соотношению цена/качество по сравнению с любыми импортными аналогами.

Зарядные устройства для аккумуляторов «Кедр-Авто» производства АО «НИИПП» занимают первые места в рейтингах и конкурсах регионального и федерального уровня (в 2023 г. – «Автокомпонент года», «Лучшие товары Томской области»).

*Генеральный директор АО «НИИПП» –
Монастырев Евгений Александрович*

Генеральный спонсор конференции – АО «НПФ «МИКРАН»



АО «НПФ «Микран» Т.: +7 (382-2) 90-00-29
634041 г. Томск, Ф.: +7 (382-2) 42-36-15
пр-т Кирова, д. 51д www.micran.ru

АО «НПФ «Микран» – ведущий производитель радиоэлектроники России, успешно конкурирующий с зарубежными компаниями. В 1991 г. Виктор Яковлевич Гюнтер с командой из семи человек создал предприятие на базе научной лаборатории Томского института автоматизированных систем управления и радиоэлектроники (сейчас ТУСУР).

Основные направления деятельности сегодня – производство телекоммуникационного оборудования, контрольно-измерительной аппаратуры и аксессуаров СВЧ-тракта, сверхвысокочастотной электроники и модулей, радаров для навигации и обеспечения безопасности, мобильные комплексы связи, комплексные решения в области связи и автоматизации.

Множество наших разработок являются уникальными: начиная от электронной компонентной базы СВЧ и заканчивая серийными изделиями и комплексными решениями. «Микран» активно внедряет инновационные разработки, контролирует процесс создания технологии и отслеживает качество выпускаемой продукции.

В 2020 г. под эгидой Минпромторга «Микран» был включен в перечень системообразующих организаций Российской Федерации в числе предприятий радиоэлектронной отрасли.

Практически с самого начала своей деятельности «Микран» активно взаимодействует с томскими университетами. В 2012 г. была учреждена стипендия имени основателя «Микрана» Виктора Яковлевича Гюнтера. На стипендию могут претендовать студенты технических направлений ТУСУРа, ТПУ и ТГУ, которые имеют достижения в учебной, научной, спортивной и общественной деятельности.

Кроме того, с 2019 г. в компании успешно реализуется проект стажировки для студентов и молодых специалистов технических специальностей MICRANstart. Участники стажировки получают возможность работать над реальными проектами компании под руководством опытных наставников, а лучших из них «Микран» приглашает стать частью своей дружной команды.

*Генеральный директор АО «НПФ «Микран» –
Парамонова Вера Юрьевна*

Генеральный спонсор конференции – ООО НПК «ТЕСАРТ»



НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ КОМПАНИЯ
ТЕСАРТ

ООО НПК «ТЕСАРТ» Т./ф.: +7 (382-2)
634015, г. Томск, 90-05-30
ул. Циолковского, Эл. почта:
д. 19, каб. 318 office@tes-art.ru
www.tesart.ru

Научно-производственная компания «ТЕСАРТ» – высокотехнологичный бизнес полного цикла в области комплексных радиоизмерительных систем. Общество существует на рынке с 07 мая 2015 г. благодаря коллаборации инженеров, исследователей, конструкторов и технологов Томского научного центра.

Все технические решения компании основаны на инновационном подходе в области микроволновых измерений, электромехатронных систем, телекоммуникаций и радаров.

Основная продукция компании:

1. Опорно-поворотные устройства и прецизионные позиционеры.
2. Радиопоглощающий материал.
3. Безэховые экранированные камеры.
4. Автоматизированные измерительно-вычислительные комплексы.
5. СВЧ-электроника.

За 10 лет существования компании реализовано более 50 крупных проектов, основу которых составляет испытательное оборудование собственного отечественного производства. Благодаря квалифицированным сотрудникам, которых в 2025 г. насчитывается 120 человек, компания непрерывно модернизирует производственную базу и стремится расширить свои возможности. Поэтому нас выбирают такие заказчики, как Госкорпорации «Роскосмос» и «Ростех», АО «Концерн ВКО «Алмаз-Антей», АО Корпорация «Тактическое ракетное вооружение», ООО «Бюро 1440» и др.

Мы чутко подходим к каждому проекту и заботимся о качестве наших продуктов на всех стадиях жизненного цикла, включая техническое сопровождение в процессе эксплуатации. Нам важно, чтобы наше испытательное оборудование полностью соответствовало запросам, решало основные задачи, при этом улучшало качество и скорость работы заказчиков.

С самого старта своей деятельности НПК «ТЕСАРТ» активно развивает связи с ведущими университетами Томска и страны в области прикладных научных исследований по тематике, соответствующей

щей профилю компании. В нашей компании успешно реализуется программа стажировки для студентов и молодых специалистов технических специальностей. Участники стажировки получают возможность работать над реальными проектами компании под руководством опытных наставников и впоследствии стать частью нашей дружной команды.

*Директор ООО НПК «ТЕСАРТ» –
Семкин Артем Олегович*

Генеральный спонсор конференции – АО «ИнфоТеКС»



АО «ИнфоТеКС»
127083, Москва,
ул. Отрадная, 2Б, стр. 1

Т.: +7 (495) 737-61-92,
8 (800) 250-0-260
www.infotecs.ru

АО «ИнфоТеКС» является ведущим разработчиком, а также производителем высокотехнологичных программных и программно-аппаратных средств и систем защиты информации. Входит в ТОП-10 крупнейших российских компаний в сфере информационной безопасности. Будучи лидером, ИнфоТеКС активно развивает партнёрскую сеть, в которую на данный момент входит свыше 400 компаний. В штате трудоустроено более 1 700 сотрудников, а офисы открыты в 13 городах России.

Главный продукт компании – бренд ViPNet. В этой торговой марке более 50 различных продуктов (программных и программно-аппаратных комплексов), каждый из которых может содержать в себе несколько функциональных модулей. Они по праву признаны самым масштабируемым и гибким решением для построения защищённых сетей, которое соответствует всем требованиям законодательства РФ. ViPNet широко известен среди большинства отраслевых специалистов, ведь с его помощью защищено уже более 10 млн рабочих станций. Например, все элементы системы продажи билетов в ОАО «Российские железные дороги» и Портал государственных услуг РФ.

Помимо этого, АО «ИнфоТеКС» плодотворно взаимодействует с регуляторами, профильными комитетами Росстандарта и профессиональным сообществом по вопросам стандартизации в сфере защиты информации. Эксперты компании принимали участие в разработке нового стандарта ГОСТ Р 34.11–2012 (Стрибог) и криптографического протокола CRISP. А специалисты являются членами таких профильных общественных организаций и ассоциаций, как АРПП «Отечественный Софт», «Ассоциация предприятий компьютерных и информационных технологий», «Ассоциация документальной электросвязи», «Ассоциация защиты информации» и «Ассоциация ЕВРААС».

Важным направлением для компании является партнерство и сотрудничество с образовательными учреждениями, поддержка научных разработок и исследовательских проектов, а также обучение и продвижение молодых специалистов. Поэтому уже более 12 лет «ИнфоТеКС» активно работает над развитием кадрового потенциала в ИТ- и

ИБ-отраслях и реализует специальный проект «ИнфоТеКС Академия». В рамках партнерской программы «ИнфоТеКС Академия» организует площадки по обмену опытом, взаимодействует с вузами, колледжами страны, организует стажировки для студентов, проводит грантовую и экспертную поддержку разработок в области информационной безопасности, интегрирует в учебный процесс экспертизу штатных специалистов ГК «ИнфоТеКС».

«ИнфоТеКС Академия» сотрудничает и заинтересована в сотрудничестве с:

1. Образовательными учреждениями различного уровня подготовки – школы, колледжи и вузы, желающими сотрудничать с отраслевым партнером по направлению образовательной, научной деятельности, проведения совместных мероприятий.

2. Партнёрами компании, которые нуждаются в квалифицированных специалистах.

3. Учредителями и регуляторами различных программ и проектов федерального и регионального уровня в области науки и образования.

4. Обучающимися и недавними выпускниками вузов, которые хотят получить опыт работы в крупной компании или повысить уровень своих знаний, а также принять участие в различных мероприятиях соревновательного плана.

*Генеральный директор АО «ИнфоТеКС» –
Чапчаев Андрей Анатольевич*

Генеральный спонсор конференции – Группа компаний «НАУЧНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ»



Группа компаний «Научное оборудование»
630090, г. Новосибирск,
ул. Николаева, 11/5

Т.: (383-3) 30-82-95
Эл. почта:
sales@spegroup.ru
www.spegroup.ru

Группа компаний «Научное оборудование» более 25 лет существует на рынке высокотехнологичного оборудования и занимается разработкой собственных уникальных технологических решений и производством оборудования для их реализации.

Сегодня «Научное оборудование» представляет целую группу компаний, в которую входят торговые организации, специализирующиеся на поставке отдельных направлений оборудования, научно-производственное предприятие, занимающееся созданием радиоизмерительных комплексов, исследовательские команды, занятые разработкой наукоемких решений для приборостроительной, химической и биологической отраслей.

Большое внимание мы уделяем организации совместной работы с научными коллективами и промышленными предприятиями электронной и космической отраслей для решения широкого круга задач наших российских и иностранных партнеров. Сотрудничаем с научными организациями СО РАН, УРО РАН, ДВО РАН, промышленными предприятиями, технологическими компаниями, учебными заведениями высшего образования.

Выстраиваем партнерские отношения с представителями многих отраслей экономики, предлагаем комплексный подход к решению задач заказчика. Выступаем отраслевым интегратором и прорабатываем комплексно любые сложные задачи.

Среди реализованных проектов компании – оснащение учебных аудиторий в Региональном центре выявления, поддержки и развития способностей и талантов у детей и молодежи «Альтаир»; Физико-математической школе им. А.М. Лаврентьева при НГУ, разработки в области радиоизмерения и СВЧ, микроэлектроники, вакуумного, рентгеновского, испытательного и технологического оборудования, системы видеорегистрации, микроскопии, оптики и т.д.

В своей деятельности мы считаем важным следить за юридической чистотой и безопасностью, объективностью и достоверностью, открытостью и компетентностью.

Наши заказчики получают оборудование, оформленное с соблюдением всех необходимых формальностей. Мы предоставляем партнерам полную и достоверную информацию по всем интересующим вопросам и работаем на эффективный результат.

В нашем арсенале более 1 050 брендов и более 7 750 реализованных контрактов за три года. За каждым нашим проектом стоит большая команда высококвалифицированных технических специалистов в самых разнообразных отраслях науки и техники.

Нам доверяют такие заказчики, как «Росатом» и «Роскосмос», инновационный центр «Сколково», УК «Биотехнопарк Кольцово», филиал ПАО «Компания Сухой», НАЗ им. В.П. Чкалова, СибГУ им. М.Ф. Решетнева и др.

Надеемся на долгосрочное сотрудничество, будем рады новым партнерам и заказчикам.

*Директор ООО «Научные приборы и системы» –
Гордеев Владимир Дмитриевич*

Спонсор конференции – «50ohm Technologies»

50ohm Technologies

 634045, г. Томск

 info@50ohm.tech

 50ohm.tech.ru

 +7-923-

408-04-08

 fiftyohm

 fiftyohm

«50ohm Technologies» – российская компания из г. Томска. Ее специализация – разработка программного обеспечения для автоматизации измерений, моделирования электронных компонентов и проектирования высокочастотных и сверхвысокочастотных радиоэлектронных устройств. 50ohm Technologies с 2016 г. успешно помогает предприятиям и инженерам ускорять разработку новых устройств. Миссия компании – помочь специалистам по СВЧ-электронике сосредоточиться на сложных и творческих задачах за счет использования удобных интеллектуальных инструментов, ускоряющих решение технических задач.

Основные направления деятельности 50ohm Technologies:

- **Автоматизация проектирования СВЧ-устройств.** Компания разрабатывает «умные» программные инструменты для проектирования СВЧ-интегральных схем. С помощью методов искусственного интеллекта такие программы автоматически генерируют варианты схем и топологий (например, усилителей, аттенуаторов, фазовращателей) на основе заданных требований и элементной базы. Инженер получает сразу несколько готовых проектов и выбирает оптимальный, что значительно ускоряет самый сложный этап разработки и избавляет от рутинных операций.

- **Моделирование электронных компонентов.** «50ohm Technologies» обладает большим опытом в создании точных моделей пассивных и активных компонентов, для полупроводниковых соединений группы А^{III}В^V. Компания поставляет эти модели в формате комплектом средств проектирования (PDK) для популярных САПР. Автоматизация расчётов и применение собственных методик экстракции позволяют значительно сократить затраты времени и средств при разработке новых изделий.

- **Автоматизация измерений и испытаний.** «50ohm Technologies» создаёт программно-аппаратные комплексы для автоматизированного тестирования радиоэлектронных устройств на базе оборудования заказчика. Готовые сценарии измерений для типовых компо-

ментов и приборов позволяют значительно сократить время испытаний и снизить вероятность ошибок. Внедрение таких решений повышает эффективность работы измерительной лаборатории предприятия без необходимости приобретения дорогостоящих сторонних систем.

Опираясь на передовые технологии и экспертизу команды, «50ohm Technologies» обеспечивает своим партнерам ускорение цикла разработки и улучшение качества результатов. Решения компании уже помогли ряду предприятий сократить сроки вывода продуктов на рынок и оптимизировать издержки. «50ohm Technologies» поддерживает научно-техническую конференцию и развитие профессионального сообщества. Компания открыта к сотрудничеству и нацелена и дальше оставаться надёжным партнёром для организаций радиоэлектронной отрасли.

*Директор «50ohm Technologies» –
Калентьев Алексей Анатольевич*



Секция 2

ЭЛЕКТРОНИКА И ПРИБОРОСТРОЕНИЕ

(стр. 25 – 113)

Секция 3

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И СИСТЕМЫ

(стр. 114 – 270)

Секция 6

ЭКОЛОГИЯ И МОНИТОРИНГ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ. БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

стр. 271 – 291)

Секция 8

POSTGRADUATE AND MASTER STUDENTS' RESEARCH IN ELECTRONICS AND CONTROL SYSTEMS

(Секция на английском языке)

(стр. 292 – 322)

Секция 2

ЭЛЕКТРОНИКА И ПРИБОРОСТРОЕНИЕ

ПОДСЕКЦИЯ 2.6

ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ СОВМЕСТИМОСТЬ

Председатель – Суровцев Р.С., доцент каф. ТУ, к.т.н.;
зам. председателя – Белоусов А.О., доцент каф. ТУ, к.т.н.

УДК 621.372.2

ПОВЫШЕНИЕ ЗАЩИТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПЕЧАТНОЙ ПЛАТЫ С МОДАЛЬНЫМ РЕЗЕРВИРОВАНИЕМ

Е.О. Беликова, студентка каф. РТС;

К.Н. Абрамова, ассистент каф. ТУ

Научный руководитель Е.С. Жечев, доцент каф. СВЧиКР, к.т.н.
г. Томск, ТУСУР, belickova.elizaweta@yandex.ru

Рассматривается улучшенный вариант топологии тестовой печатной платы с модальным резервированием на основе структуры с лицевой связью. Проведена оценка эффективности разработанной топологии. Результаты моделирования показали, что после изменения топологии разность погонных задержек мод увеличилась в 1,2 раза. Это позволило увеличить максимальную разность задержек мод с учетом длины трассы до 291,02 пс, что значительно больше, чем у исходной топологии (53 пс).

Ключевые слова: модальное резервирование, печатная плата, разность погонных задержек мод.

Низкая помехоустойчивость радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) может привести к серьёзным последствиям, особенно в критически важных системах. Поэтому повышение помехоустойчивости РЭА является одной из ключевых задач современной электроники. Одним из методов ее обеспечения в РЭА является резервирование – создание одной или нескольких резервных копий устройства. Резерв-

ные копии включаются в работу после выхода из строя основного устройства или функционируют параллельно с ним. Это позволяет продолжить работу в том же режиме без остановки на диагностику и замену неисправного оборудования [1].

В работе [2] предложен метод повышения надежности РЭС, основанный на холодном резервировании с применением модальной фильтрации [3, 4], который назван модальным резервированием (МР). Метод представляет собой способ трассировки проводников печатной платы (ПП), который даёт сильную электромагнитную связь между резервируемой и резервной цепями. Это позволяет за счет модальных искажений реализовать защиту РЭС от сверхкоротких импульсов (СКИ). Основной характеристикой, обеспечивающей защиту от СКИ, является разность погонных задержек мод, причём чем она выше, тем от более длительного воздействия достигается защита.

В работе [5] рассмотрено однократное МР на реальной ПП и исследованы её защитные характеристики. Однако полученные результаты показали, что разность задержек мод не превышает 53 пс, что ограничивает эффективность защиты. Поэтому целью работы является оптимизация параметров проводников для повышения эффективности защиты.

В качестве исследуемого объекта используется ПП из работы [5] (рис. 1, а). Основное влияние на характеристики модальной фильтрации оказывают ширина и длина проводников, а также диэлектрические параметры материалов.

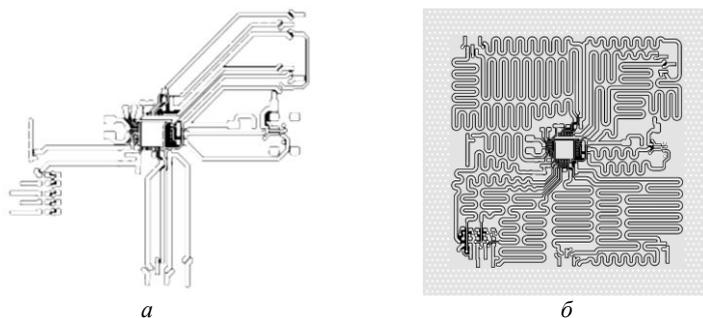


Рис. 1. Топология ПП с МР до (а) и после увеличения проводников (б)

В работе рассмотрено изменение параметров проводников без изменения материала и паяльной маски. Используемый материал СТФ-2-35 имеет следующие параметры: толщина проводников $t = 35$ мкм, толщина диэлектрика $h = 0,18$ мм, относительная диэлектрическая проницаемость $\epsilon_{rm} = 4,5$. Параметры паяльной маски: тол-

щина $h_m = 30$ мкм, относительная диэлектрическая проницаемость $\epsilon_{rm} = 3,8$.

Для улучшения характеристик было принято решение увеличить длину проводников в пределах всей возможной площади ПП (рис. 1, б).

Кроме того, изменены параметры поперечного сечения (рис. 2). Теперь для всех трасс, соединенных с элементами внешнего интерфейса, ширина трасс (основной и резервной) составляет $w = 1$ мм, ширина опорных проводников $w_1 = w_2 = 0,6$ мм, расстояние между проводниками $s = 200$ мкм.

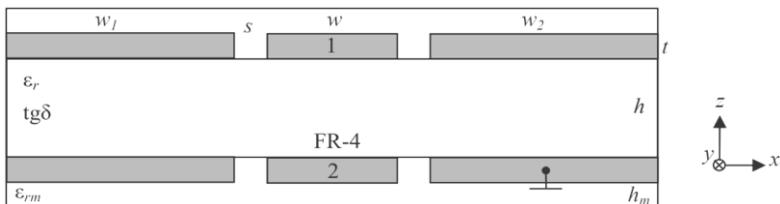


Рис. 2. Поперечное сечение фрагмента исследуемой ПП с МР

После оптимизации трассировки выполнено моделирование ПП с МР в системе TUSUR.EMC для оценки разности задержек мод. Так как поперечное сечение для всех линий одинаково, значение погонных задержек мод также оказалось одинаковым $\Delta\tau = 1,6$ нс/м. Однако длина каждой трассы ПП разная, и среднее значение задержки составило $\Delta\tau l = 125,54$ пс, а максимальное – $\Delta\tau l_{\max} = 291,02$ пс.

В работе [5], где исследована исходная топология ПП, параметры поперечного сечения каждой трассы различны, поэтому средняя погонная задержка составила $\Delta\tau = 1,3$ нс/м, а максимальная – $1,51$ нс/м. Максимальная разность задержек мод с учетом длины трассы $\Delta\tau l = 53$ пс. Сравнение с результатами, представленными в работе [5], выявило улучшение параметров после изменения топологии ПП. Наблюдается увеличение погонных задержек $\Delta\tau$ в 1,2 раза и соответственно увеличение $\Delta\tau l$ для всех проводящих трасс.

Таким образом, в работе приведены результаты оптимизации ПП с МР. Изменение топологии проводников, а именно увеличение их длины, привело к значительному росту $\Delta\tau$ для каждой проводящей трассы, что позволяет повысить защитные характеристики ПП.

ЛИТЕРАТУРА

1. Обеспечение надежности сложных технических систем / А.Н. Дорохов, В.А. Керножицкий, А.Н. Миронов, О.Л. Шестопалова. – СПб.: Лань, 2022. – 352 с.
2. Новый способ трассировки печатных проводников цепей с резервированием / Т.Р. Газизов, П.Е. Орлов, А.М. Заболоцкий, Е.Н. Буичкин // Доклады ТУСУР. – 2015. – № 3 (37). – С. 129–131.

3. Заболоцкий А.М. Модальные фильтры для защиты бортовой радиоэлектронной аппаратуры космического аппарата / А.М. Заболоцкий, Т.Р. Газизов. – Томск: ТУСУР, 2013. – 151 с.

4. Заболоцкий А.М. Модальное разложение импульса в отрезках связанных линий как новый принцип защиты от коротких импульсов / А.М. Заболоцкий, Т.Р. Газизов // Технологии ЭМС. – 2006. – № 4. – С. 40–44.

5. Абрамова К.Н. Оценка защитных характеристик печатной платы с модальным резервированием посредством лицевой связи // Сб. науч. трудов XIX Междунар. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых «Перспективы развития фундаментальных наук», Томск, 25–28 апреля 2023 г. – Томск: НИ ТГУ, 2023. – Т. 7. – С. 10–12.

УДК 621.391.825

АНАЛИЗ ВРЕМЕННЫХ ОТКЛИКОВ ПОЛОСНО-ЗАГРАЖДАЮЩИХ ФИЛЬТРОВ С ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТОТОЙ 2 ГГц НА ИМПУЛЬСНЫЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ

А.А. Киселева, инженер НИЛ ФИЭМС

Научный руководитель Е.С. Жечев, доцент каф. СВЧиКР, к.т.н.

г. Томск, ТУСУР, anastasiyak2301@mail.ru

Представлены результаты анализа временных откликов полосно-заграждающих фильтров (ПЗФ) на воздействие сверхширокополосной и узкополосной помех. Для комплексной оценки эффективности подавления таких помех рассчитаны N -нормы.

Ключевые слова: полосно-заграждающий фильтр, помеха, N -нормы, Гауссов импульс, затухающая синусоида.

Полосно-заграждающие фильтры (ПЗФ) защищают приемники, повышая их устойчивость к влиянию электромагнитных помех (ЭМП) и обеспечивая надежность работы радиотехнических систем. Отметим, что общепринятый анализ ПЗФ, основанный на исследовании их частотных характеристик, не всегда обеспечивает всестороннюю оценку эффективности подобных фильтров, особенно в условиях воздействия импульсных помех. Анализ временных откликов ПЗФ на разные воздействия позволяет глубже понять поведение фильтра в условиях преднамеренных помех от разных источников. Это позволяет оценить его способность подавлять помехи во временной области, что важно при синтезе радиосистем с повышенной помехоустойчивостью. Цель данной работы – выполнить анализ ПЗФ во временной области на воздействие сверхширокополосных и узкополосных помех.

Для анализа выбраны ПЗФ с центральной частотой 2 ГГц (рис. 1) [1–3].

С помощью электродинамического моделирования методом конечных элементов получены S -параметры ПЗФ, которые далее ис-

пользовались для анализа временных откликов на помеховые воздействия (рис. 2–4). Анализ проведен для двух сигналов: Гауссова импульса (ГИ) и затухающей синусоиды (ЗС), которые соответствуют определению сверхширокополосной и узкополосной ЭМП соответственно.

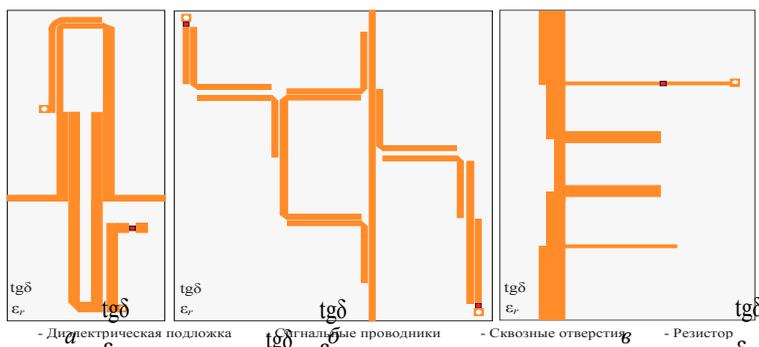


Рис. 1. Схемы трассировки исследуемых ПЗФ: [1] – а; [2] – б; [3] – в:

□ - Диэлектрическая подложка ■ - Сигнальные проводники - Сквозные отверстия - Резистор
 □ - Сквозные отверстия ■ - Резистор

Из полученных откликов видно, что форма ГИ на выходе ПЗФ искажена, а его амплитуда уменьшилась на выходе ПЗФ 1 – в 1,85 раза (см. рис. 2, а), ПЗФ 2 – в 1,89 раза (см. рис. 3, а) и ПЗФ 3 – в 1,38 раза (см. рис. 4, а). Формы напряжения ЗС при прохождении через рассматриваемые ПЗФ схожи. При этом пиковое напряжение уменьшается на выходе ПЗФ 1 – в 2,17 раза (см. рис. 2, б), ПЗФ 2 – в 2,3 раза (см. рис. 3, б) и ПЗФ 3 – в 3,17 раз (см. рис. 4, б). Для оценки уменьшения опасности помеховых воздействий вычислены значения N -норм (таблица) [4].

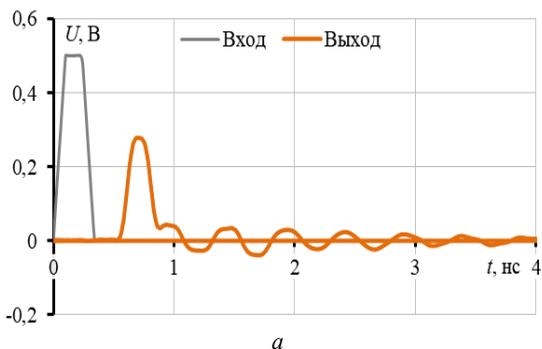


Рис. 2 (начало)

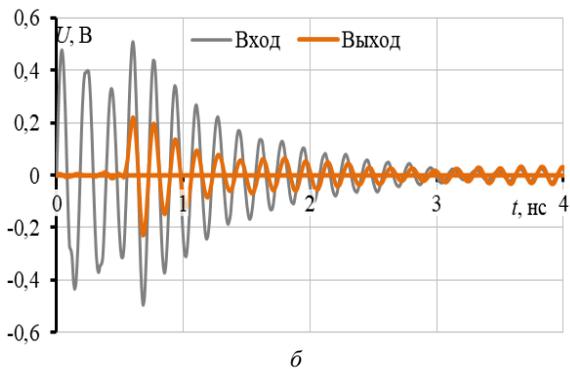


Рис. 2 (окончание). Временные отклики, полученные на входе и выходе ПЗФ из [1] на воздействие ГИ (а) и ЗС (б)

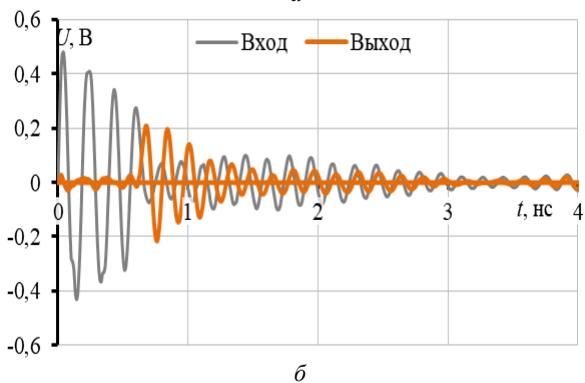
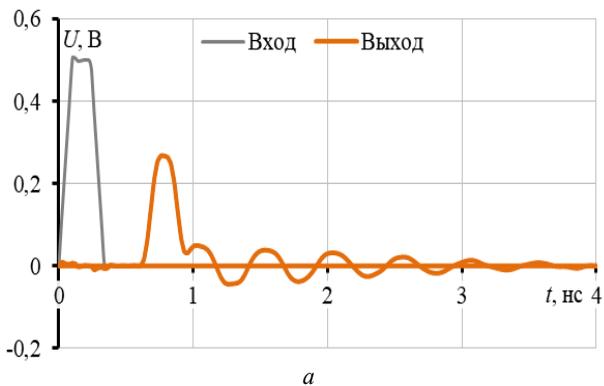
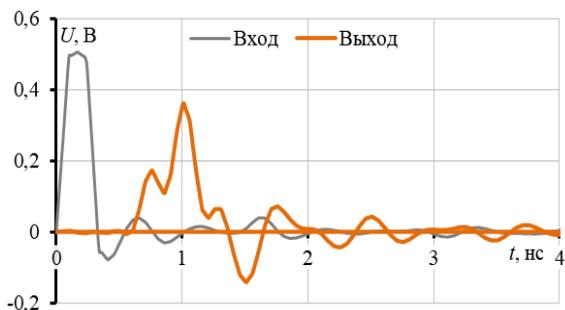
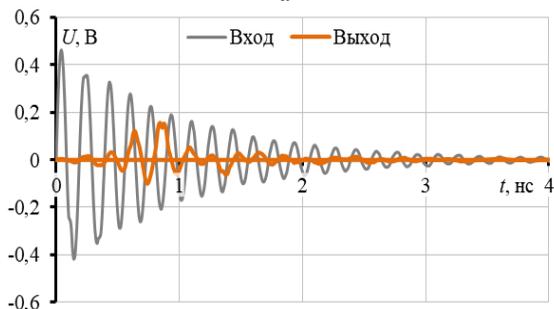


Рис. 3. Временные отклики, полученные на входе и выходе ПЗФ из [2], на воздействие ГИ (а) и ЗС (б)



а



б

Рис. 4. Временные отклики, полученные на входе и выходе ПЗФ из [3], на воздействие ГИ (а) и ЗС (б)

Вычисленные N -нормы для исследуемых фильтров

	Вид помехи	Фильтр	N_1	$N_2 \cdot 10^9$	$N_3 \cdot 10^{-11}$	$N_4 \cdot 10^{-10}$	$N_5 \cdot 10^{-6}$
1	ГИ	Вход	0,51	5,07	16,17	2,13	7,47
		Выход	0,28	3,09	6,17	1,13	3,72
	ЗС	Вход	0,51	19,43	2,17	4,54	10,1
		Выход	0,22	8,87	0,83	1,78	3,51
2	ГИ	Вход	0,51	5,43	15,89	2,15	7,41
		Выход	0,27	2,94	5,89	1,17	3,63
	ЗС	Вход	0,48	20,29	2,13	3,09	7,12
		Выход	0,21	8,34	0,79	1,59	3,22
3	ГИ	Вход	0,51	5,59	9,53	1,49	6,48
		Выход	0,36	2,79	9,51	1,94	5,21
	ЗС	Вход	0,46	18,29	1,28	2,99	7,45
		Выход	0,16	4,99	1,29	0,67	1,96

В данной работе выполнена оценка временных откликов ПЗФ на воздействие разных ЭМП. Выявлено, что ГИ для трех ПЗФ ослабился в среднем в 1,5–2 раза, а ЗС – в 2–3 раза.

Исследование выполнено за счет проекта FEWM-2024-0005 Минобрнауки России.

ЛИТЕРАТУРА

1. Lee J. Distributed-element reflectionless bandstop filter with a broadband impedance matching / J. Lee, J. Lee // IEEE Microwave and Wireless Components Letters. – 2020. – Vol. 30, No. 6. – P. 561–564.
2. Lee J. Arbitrary-order distributed-element narrowband reflectionless bandstop filter with canonical transmission response and broadband matching / J. Lee, J. Lee // IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques. – 2020. – Vol. 68, No. 10. – P. 4381–4389.
3. Lin Y.S. Miniature dual-band absorptive bandstop filters with improved passband performance / Y.S. Lin, Y.S. Huang, Q.Y. Jiang // IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Regular Papers. – 2022. – Vol. 69, No. 6. – P. 2339–2350.
4. Baum C.E. Norms and eigenvector norms // Mathematics Notes. – 1979. – Vol. 63. – P. 1–42.

УДК 621.372.22

ВРЕМЕННОЙ ОТКЛИК АСИММЕТРИЧНОЙ ЦЕПИ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ НА ВОЗДЕЙСТВИЕ СВЕРХКОРОТКОГО ИМПУЛЬСА ПО КОРПУСНОЙ ЗЕМЛЕ

В.Д. Нгуен, аспирант каф. ТУ

*Научный руководитель Т.Р. Газизов, зав. каф. ТУ, д.т.н., проф.
г. Томск, ТУСУР, nguyen.t.2213-2022@e.tusur.ru*

Оценено влияние преднамеренных электромагнитных воздействий по цепи заземления на цепи электропитания. Рассмотрена асимметричная структура тестовой цепи электропитания на основе связанной микрополосковой линии в прямоугольном заземленном корпусе. Моделировалось кондуктивное воздействие сверхкоротким импульсом на корпус. Приведены формы напряжения. Показано, что амплитуда напряжения достигает 12% от половины амплитуды электродвижущей силы, а асимметрия структуры создает помехи между проводниками электропитания, амплитуды которых достигают 1,5% в начале и 0,6% в конце проводников.

Ключевые слова: преднамеренная электромагнитная помеха, сверхкороткий импульс, временной отклик, асимметрия, корпусная земля, связанная микрополосковая линия.

Широкое применение радиоэлектронных средств, рост плотности их компоновки, а также верхних частот спектра полезных сигналов и помех обостряет проблему электромагнитной совместимости (ЭМС), в частности, защиты от преднамеренных силовых электромагнитных

воздействий (ПДЭМВ). Они могут создаваться электромагнитным полем, по проводным линиям связи, сети электропитания и металлоконструкциям. Последние два пути затрагивают ПДЭМВ по цепям заземления, что мало исследовано, но актуально для оценки опасности возможных угроз.

Предварительные подходы к решению этой проблемы недавно представлены в докладе [1]. В частности, предложено рассмотреть связанную микрополосковую линию (МПЛ) как тестовый пример цепи электропитания, а корпус, в который она помещена, – как электромагнитно связанный с ней и доступный для ПДЭМВ проводник. Это выполнено в работе [2], где приведены формы напряжения в моделируемой схеме и показано, что амплитуда напряжения достигает 7% от половины амплитуды электродвижущей силы (ЭДС) воздействия, а симметрия структуры минимизирует наводку между проводниками цепи электропитания. Из этого следует, что актуально рассмотреть подобную, но асимметричную структуру.

Цель данной работы – выполнить такое исследование.

Для анализа выбрана асимметричная структура с поперечным сечением, показанным на рис. 1, *а*, и параметрами: относительная диэлектрическая проницаемость $\epsilon_r = 5$, толщина подложки $h = 300$ мкм, ширина проводников $w = 300$ мкм, толщина проводников и схемной земли $t = 35$ мкм, расстояние между проводниками $s = 100$ мкм. Структура расположена внутри корпуса шириной $W = 8,3$ мм и высотой $H = 4,2$ мм. Асимметрия этой структуры (по сравнению со структурой из [2]) получена перемещением обоих проводников (нейтрали и фазы) к левому краю подложки.

Схема для моделирования приведена на рис. 1, *б*. Сопротивления 50 Ом и длина линии передачи 0,1 м взяты, как в [2].

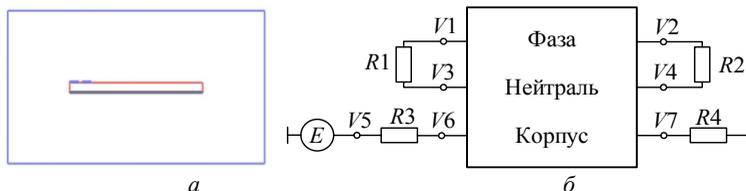


Рис. 1. Поперечное сечение асимметричной тестовой структуры (*а*) и схема для её моделирования (*б*)

Потери в проводниках и диэлектриках в пробном моделировании не учитываются. Поэтому матрицы погонных сопротивлений (\mathbf{R}) и проводимостей (\mathbf{G}) полагаются нулевыми. В системе TUSUR.EMC вычислены матрицы погонных коэффициентов электромагнитной (\mathbf{L})

и электростатической (С) индукции и матрица характеристического импеданса (Z) для оценки согласования структуры (таблица). Эти матрицы теоретически должны быть симметричными. Между тем на практике из-за погрешностей вычисления появляется их асимметрия. Однако она легко устранима, поэтому здесь это не рассматривается.

Воздействовал сверхкороткий импульс (СКИ) с амплитудой 1 кВ, длительностями фронта и спада по 1 нс, а плоской вершины – 2 нс. Временные отклики на воздействие получены в системе TUSUR.EMC посредством квазистатического анализа модифицированным узловым методом [3].

Матрицы L, C и Z для моделируемой асимметричной структуры

L , Гн/м	3,69848341e-07	1,34894579e-07	4,70775071e-08
	1,34887144e-07	3,50807066e-07	3,50171265e-08
	4,71459415e-08	3,51005554e-08	2,06069570e-07
C , Ф/м	9,71965053e-11	-2,57457706e-11	-6,15130284e-12
	-2,57426527e-11	1,13911713e-10	-3,11691691e-12
	-5,73668883e-12	-2,26546521e-12	5,93090411e-11
Z , Ом	63,68948928	18,85949044	7,76135031
	18,87658078	57,21985393	5,23310362
	7,5170831	4,90238794	58,99565228

На рис. 2 показаны формы ЭДС и напряжения в узлах $V6$ и $V7$. Видно, что по корпусной земле проходит СКИ в половину ЭДС по амплитуде (искажения вызваны рассогласованием) и с задержкой, близкой к задержке сигнала в воздухе ($3,3 \text{ нс}/\text{м} \times 0,1 \text{ м}$), что объяснимо преобладанием воздушного заполнения в корпусе.

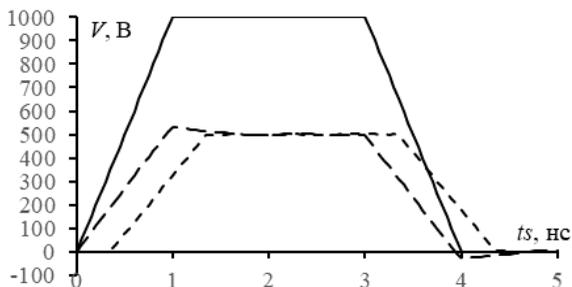


Рис. 2. Формы ЭДС (—) и напряжения в узлах $V6$ (---) и $V7$ (- -)

Воздействие на проводник 3 создает перекрестные помехи на проводниках 1 и 2. Их асимметричное расположение относительно центра приводит к неодинаковым наводкам в них. Это дает ненулевую разность потенциалов между узлами $V1$ и $V3$, а также $V2$ и $V4$, называемую дифференциальной помехой.

Формы напряжения V_1 , V_2 , V_3 и V_4 приведены на рис. 3, а, а их разности между узлами V_1 и V_3 , V_2 и V_4 – на рис. 3, б. Видно, что амплитуда помех достигает 12% от половины ЭДС, а асимметрия структуры создает напряжение между проводниками электропитания, амплитуды которых достигают 1,5% в начале и 0,6% в конце.

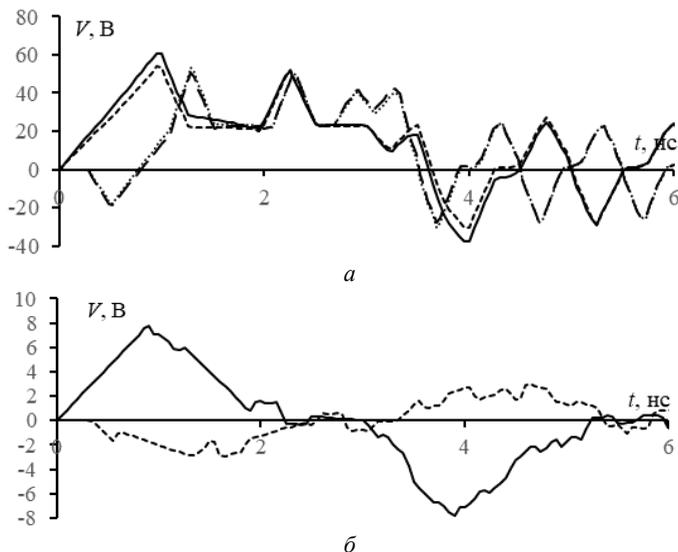


Рис. 3. Формы напряжения в узлах V_1 (—), V_2 (---), V_3 (- · -), V_4 (···) (а) и их разности между узлами V_1 и V_3 (—), V_2 и V_4 (- · -) (б)

Таким образом, в рамках исследования влияния ПДЭМВ по цепям заземления рассмотрена асимметричная структура тестовой цепи электропитания на основе связанной МПЛ. Моделировалось кондуктивное воздействие СКИ на корпус квазистатическим анализом в системе TUSUR.EMC. Вычислены формы напряжения в схеме. Показано, что амплитуда перекрестных помех может достигать 12% от половины амплитуды ЭДС, а асимметрия структуры создает наводки между проводниками электропитания, максимальные уровни которых достигают 1,5% в начале и 0,6% в конце проводников. Они малы, но целесообразно исследовать влияние других видов асимметрии на них.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда №24-29-00579, <https://rscf.ru/project/24-29-00579/> в ТУСУРе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Gazizov T.R. Complex analysis of IEMI in grounding circuits of critical equipment: preliminary results / T.R. Gazizov, V.D. Nguyen, A.A. Hasan //

International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM): Sochi, Russia, 2024. – P. 413–417.

2. Нгуен В.Д. Временные отклики тестовой цепи электропитания на воздействие сверхкороткого импульса по корпусной земле // Междунар. науч.-практ. конф. «Природные и интеллектуальные ресурсы Сибири (СИБРЕСУРС-30–2024)»: матер. конф. –Томск: ТУСУР, 2024. – С. 130–135.

3. Заболоцкий А.М. Временной отклик многопроводных линий передачи / А.М. Заболоцкий, Т.Р. Газизов. – Томск: ТГУ, 2007. – 152 с.

УДК 537.872.32

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ И АКУСТИЧЕСКИХ ПОМЕХ, СОЗДАВАЕМЫХ ИМПУЛЬСНЫМ ИСТОЧНИКОМ ПИТАНИЯ

Я.С. Николаева, студентка каф. 310 МАИ

*Научный руководитель М.К. Золотенкова, ассистент каф. 704
г. Москва, МАИ, skb-4@bk.ru*

Представлены результаты экспериментального исследования распределения электромагнитных и акустических помех вблизи узлов импульсного источника питания на основе мостового преобразователя мощностью 100 Вт, построенного на базе микросхемы UC3875N. Определены ключевые зоны ИИП, являющиеся источниками помех.

Ключевые слова: импульсный источник питания, мостовой преобразователь, микроконтроллер, электромагнитные и акустические помехи.

Сегодня в приборостроении всё чаще применяются импульсные источники питания (ИИП). К ним относятся устройства, которые преобразуют переменное напряжение сети электропитания в стабильное постоянное для питания электронных устройств. Их повсеместное внедрение связано с тем, что при малых габаритах можно обеспечить большую мощность, причём габариты будут обратно пропорциональны рабочей частоте преобразования.

В стремлении к миниатюризации, рабочие частоты источников питания становятся всё выше, что приводит к росту электромагнитных полей в непосредственной близости от элементов источника питания. Эти поля могут наводиться на проводники на платах и на индуктивные элементы и тем самым влиять на корректную работу прибора, в особенности, если прибор связан с регистрацией малых энергий (например, радиоприемники). При низкой частоте преобразования важным фактором становятся акустические (ультразвуковые) помехи, которые могут негативно сказываться на здоровье людей и прочности конструкций и элементов приборов.

Целью данной работы является экспериментальное исследование распределения помех вблизи различных узлов реального ИИП для выявления источников наибольшего излучения в радиочастотном и акустическом диапазонах. Исследования выполнены с использованием специализированных средств измерений, производится оценка уровня помех, генерируемых ключевыми компонентами. Особое внимание уделено влиянию параметров настройки источника питания (особенно частоты коммутации), настроек «мёртвого времени», резонансных элементов в мостовой схеме управления трансформатора и самого трансформатора на интенсивность электромагнитного и акустического излучения.

В качестве объекта исследования выбран мостовой импульсный преобразователь, построенный на базе микросхемы UC3875N. Этот контроллер фазового сдвига обладает ключевым преимуществом – переключением при нулевом напряжении, что существенно снижает потери и позволяет эксплуатировать преобразователь на повышенных частотах, используя более компактные пассивные компоненты. Кроме того, это положительно влияет на снижение уровня помех, обычно возрастающих при увеличении частоты коммутации. Таким образом, использование данного контроллера позволяет достичь оптимального сочетания компактности, эффективности и электромагнитной совместимости импульсного источника питания. Составляющие источника питания представлены на функциональной схеме (рис. 1).

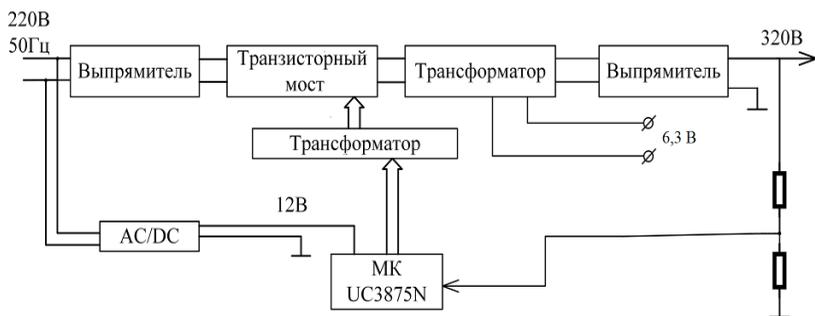


Рис. 1. Функциональная схема исследуемого ИИП

В работе исследовался источник питания, предназначенный для обеспечения питания анодов и накала радиоламп звукового усилителя. При этом высокая чувствительность радиоламп к помехам (из-за высокого входного сопротивления) стала, отчасти, поводом для исследования. Упрощенная электрическая принципиальная схема представлена на рис. 2.

На основании изучения литературы [1, 2] определены ключевые зоны конструкции ИИП, являющиеся источниками помех. Это такие зоны, как область вблизи непосредственно микросхемы контроллера, зона силовых ключей мостовой схемы, зоны трансформатора и выпрямителей, а также фильтров высокочастотного сигнала во вторичных цепях.

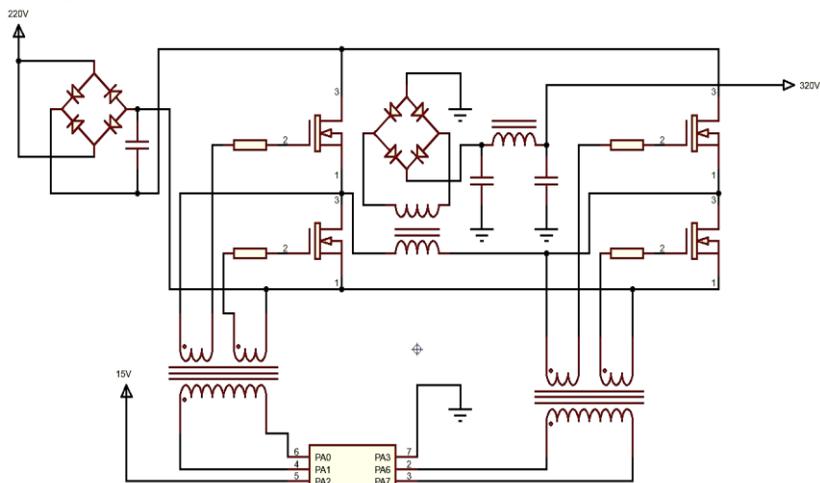


Рис. 2. Электрическая принципиальная схема исследуемого ИИП

Также оценивалось влияние параметров схемы на уровень помех. Теоретический расчет параметров преобразователя базировался на формулах и методиках, представленных в работах [3, 4]. Акустические помехи анализировались с помощью оборудования для записи ультразвуковых сигналов в различных режимах работы источника питания. Для оценки уровня электромагнитного поля применялась рамочная антенна, подключенная к высокоимпедансному входу осциллографа. Это позволило выявить наличие и оценить характер электромагнитных излучений. Полученные данные сопоставлены с результатами теоретического анализа.

На рис. 3 представлена осциллограмма акустического сигнала в области импульсного трансформатора (экспериментально выявлено, что эта зона испускает наиболее мощные акустические колебания при работе на максимальной нагрузке).

На рис. 4 показана осциллограмма сигнала, зарегистрированного на рамочную антенну в непосредственной близости от зоны силовых ключей при работе на холостом ходу (данный вариант показал наиболее мощные импульсы электромагнитных помех).



Рис. 3. Осциллограмма акустического сигнала вблизи импульсного трансформатора

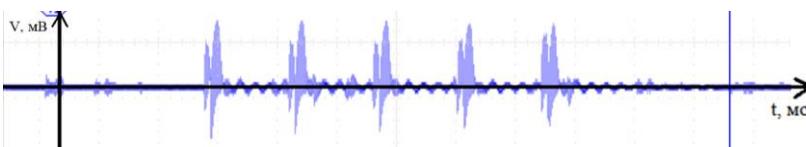


Рис. 4. Осциллограмма электрического сигнала вблизи зоны силовых ключей

Экспериментальные исследования показали, что при работе под нагрузкой основным источником как акустических, так и электромагнитных помех является трансформатор. Данный факт может быть обусловлен эффектами магнитострикции в сердечнике трансформатора под воздействием переменного магнитного поля. В режиме холостого хода, напротив, доминирующими источниками помех становятся мостовой преобразователь и микроконтроллер UC3875N. Вероятно, это связано с резонансными эффектами, возникающими при увеличении индуктивности первичной обмотки при уменьшении нагрузки. Эти результаты указывают на необходимость применения различных подходов для подавления помех в зависимости от режима работы импульсного источника питания.

ЛИТЕРАТУРА

1. Electromagnetic Compatibility Considerations for Switched Mode Power Supplies [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.cui.com/catalog/resource/1343, свободный (дата обращения: 16.02.2025).
2. SMPS AC/DC Reference Design User's Guide // Microchip Technology Inc [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://u.dianyuan.com/upload/space/2012/09/01/1346497002-714378.pdf>, свободный (дата обращения: 18.02.2025).
3. Бейков М.В. Математическая модель мостового статического преобразователя напряжения / М.В. Бейков, В.Г. Букреев // Доклады ТУСУР. – 2023. – Т. 26, № 1. – С. 119–129.
4. Забровский Д. Новое поколение контроллеров ШИМ с фазовым сдвигом // Компоненты и технологии. – 2001. – № 7.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ХАРАКТЕРИСТИК ЛИНИЙ ПЕРЕДАЧИ, РАСПОЛОЖЕННЫХ НА ВНУТРЕННИХ И ВНЕШНИХ СЛОЯХ ПЕЧАТНОЙ ПЛАТЫ

А.Е. Томских, студент каф. РТС;

М.С. Мурманский, аспирант каф. СВЧуКР

Научный руководитель Е.С. Жечев, доцент каф. СВЧуКР, к.т.н.

г. Томск, ТУСУР, timskikhalyona@gmail.com

Приведены результаты сравнения характеристик связанных микрополосковых линий (МПЛ) с трассировкой в виде внутренней спирали, расположенных на внешнем и внутреннем слоях печатной платы (ПП). Выявлено, что МПЛ на внутреннем слое хуже ослабляет сверхширокополосные электромагнитные помехи, но даёт уменьшение дальней перекрестной помехи в 2,6 раза относительно структуры на внешнем слое ПП.

Ключевые слова: микрополосковая линия передачи, трассировка в виде спирали, временной отклик, дальняя перекрестная помеха.

Микрополосковые линии (МПЛ) являются неотъемлемой частью печатных плат радиоэлектронной аппаратуры. При чрезмерно близкой трассировке МПЛ разных цепей в них возникают перекрестные помехи. Дальняя перекрестная помеха оказывает пагубное влияние на целостность и параметры передачи полезного сигнала [1]. Известны разные способы уменьшения дальней перекрестной помехи в таких линиях. Например, известно применение шлейфов или заземленных проводников [2, 3].

Одним из способов уменьшения уровня дальней перекрестной помехи является использование трассировки линий передачи в виде внутренней спирали с близким расстоянием между витками и проводниками линии [4]. Он позволяет уменьшить уровень перекрестных помех на ее концах, а также обеспечивает ослабление кондуктивных сверхширокополосных (СШП) электромагнитных помех (ЭМП). Однако эффективность данного способа зависит от параметров диэлектрического заполнения. Поэтому важным и актуальным является сравнительный анализ характеристик конфигураций связанной МПЛ с трассировкой в виде внутренней спирали на внутреннем и внешнем слое ПП. Цель работы – выполнить такое исследование.

На рис. 1, *а* и *б* представлены поперечные сечения исследуемых структур на внешнем и внутреннем слое ПП.

На рис. 1, *в* показана эквивалентная схема включения каждой из них в виде внутренней спирали. Воздействие подается с помощью генератора E с внутренним сопротивлением R_s на порт I , а выходной

сигнал снимается с портов 2 и 4. В качестве помехового воздействия принят Гауссов импульс с амплитудой 1 В и шириной частотного спектра 0–6 ГГц [5].

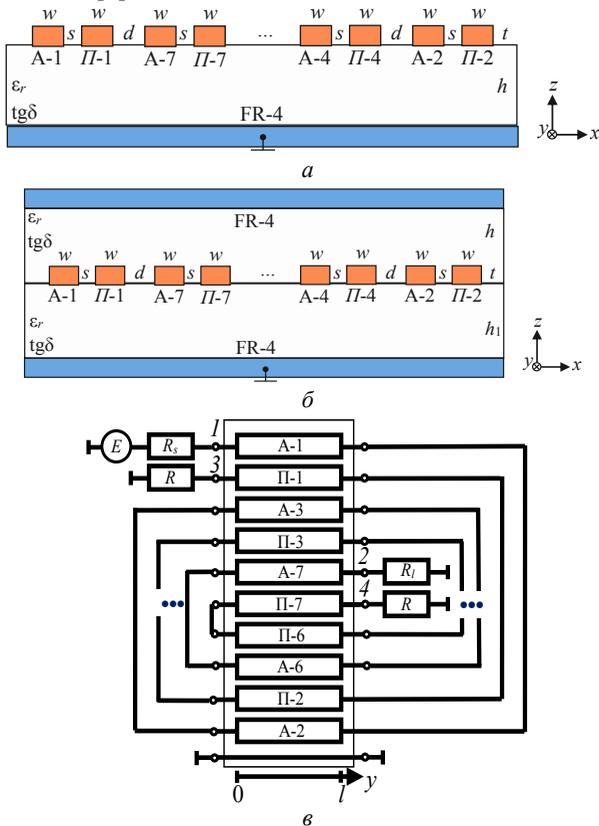


Рис. 1. Поперечное сечение структур на внешнем (а) и внутреннем (б) слоях ПП и их эквивалентная схема включения в виде внутренней спирали (в)

Параметры исследуемых структур: ширина проводника $w = 0,5$ мм, толщина проводника $t = 0,018$ мм, расстояние между проводниками $s = 0,15$ мм, расстояние между парами проводников $d = 0,15$ мм, высота слоёв диэлектрика $h = 0,206$ мм, $h_1 = 0,510$ мм. Общая длина каждой линии принята $l = 300$ мм. В качестве диэлектрика выбран материал марки FR-4 с относительной диэлектрической проницаемостью $\epsilon_r = 4,3$ и тангенсом угла диэлектрических потерь $\text{tg}\delta = 0,025$.

На рис. 2 приведены временные отклики на воздействие СШП ЭМП, полученные в порте 2. Видно, что формы отклика для МПЛ на

разных слоях существенно отличаются. Амплитуда напряжения для МПЛ, расположенной на внешнем слое ПП, составляет 175 мВ, а на внутреннем – 276 мВ. Это означает, что воздействие ослабляется в 5,71 и 3,57 раза соответственно. На рис. 3 представлены формы напряжения дальней перекрестной помехи (порт 4).

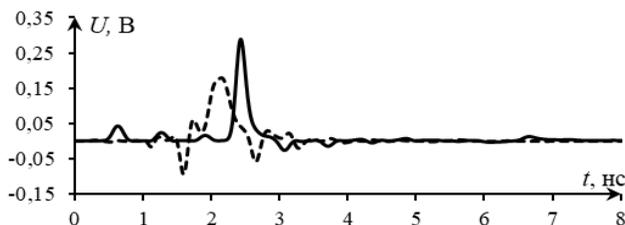


Рис. 2. Вычисленные формы напряжения в порте 2 для структур на внешнем (---) и внутреннем (—) слоях ПП

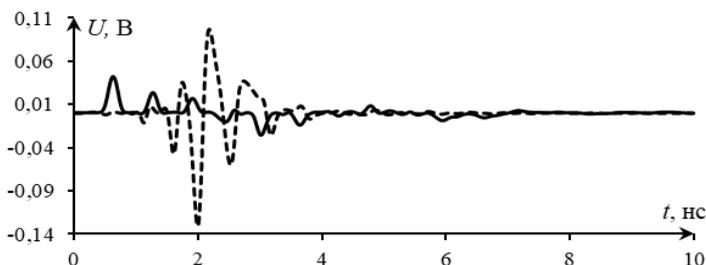


Рис. 3. Вычисленные формы напряжения дальней перекрестной помехи для структур на внешнем (---) и внутреннем (—) слоях ПП

Из рис. 3 видно, что амплитуда дальней перекрестной помехи для структуры на внешнем слое ПП составляет 130 мВ, а на внутреннем – 50 мВ. Таким образом, ослабление уровня дальней перекрестной помехи на внутреннем слое ПП в 2,6 раза выше, чем на внешнем.

В работе показано, что использование МПЛ с трассировкой в виде внутренней спирали, расположенной на внутреннем слое ПП, хуже ослабляет СШП ЭМП, но позволяет уменьшить амплитуду дальней перекрестной помехи в 2,6 раза относительно структуры на внешнем слое ПП.

Исследование выполнено в рамках проекта FEWM-2024-0005 Минобрнауки России.

ЛИТЕРАТУРА

1. Zhang Y. UWB Far-End Crosstalk Mitigation With «LL» Shaped Defected Tabled Routing Structures / Y. Zhang, G. Wang // IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility. – 2025. – Vol. 67, No. 1. – P. 247–253.

2. Мурманский М.С. Влияние шлейфов между проводниками двух связанных линий передачи на значения дальней перекрестной помехи // Сборник науч. тр. XXI междунар. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых «Перспективы развития фундаментальных наук». – Томск: ТУСУР, 2024. – С. 100–102.

3. Wu C.H. An Application of the Subwavelength Periodic Microstrip Guard Trace in High-Speed Circuits // IEEE Access. – 2022. – Vol. 10. – P. 42640–42655.

4. Murmanskyy M.S. Impact of Routing on EMI Resilience in High-Speed Digital PCBs: A Time-Domain Analysis / M.S. Murmanskyy, N.O. Kuzmin, A.M. Zabolotsky // 2024 International Ural Conference on Electrical Power Engineering (UralCon). – Sep. 27–29, 2024. Magnitogorsk, 2024. – P. 735–739.

5. Electromagnetic Compatibility (EMC). – Part 1–5: High Power Electromagnetic (HPEM) Effects on Civil Systems // IEC. 61000-1-5. – Ed: IEC. – 2004.

УДК 621.391.825

АНАЛИЗ ПАССИВНОГО ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО ФИЛЬТРА НИЖНИХ ЧАСТОТ НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИИ GaAs-pHEMT

С.В. Власов, аспирант каф. СВЧУКР

Научный руководитель Е.С. Жечев, доцент каф. СВЧУКР, к.т.н.

г. Томск, ТУСУР, sergei.v.vlasov@tusur.ru

Представлены результаты моделирования дифференциального фильтра нижних частот в интегральном виде на основе технологии GaAs pHEMT. Исследования показали, что технология подходит для разработки интегральных фильтров, работающих в дифференциальном режиме. Показано, что полоса пропускания фильтра составляет 6,7 ГГц, а коэффициент отражения от входа не превышает минус 20 дБ в полосе частот вплоть до 4 ГГц.

Ключевые слова: электромагнитная совместимость, дифференциальный режим, фильтр нижних частот, частотные характеристики.

Стремление к миниатюризации электронной компонентной базы приводят к росту чувствительности элементов к влиянию внешних электромагнитных полей (ЭМП). Влияние ЭМП особенно критично для интегральных схем (ИС) [1, 2]. Уменьшение габаритов ИС и повышение плотности их компоновки способствуют снижению порога устойчивости к внешним ЭМП.

Одновременно с этим растут скорости передачи данных, поэтому широко применяются дифференциальные интерфейсы. Высокоскоростные интерфейсы (PCIe 4, USB 4.0, DDR5), в том числе элементы системы 5G/6G, нейросетевые ускорители и многие другие устройства используют дифференциальную передачу сигналов, поскольку она

обладает повышенной устойчивостью к наведенным помехам. Несмотря на преимущество этого режима, он уязвим к кондуктивным импульсным помехам, распространяющимся по проводникам [3]. Их источниками могут быть как естественные явления, например электростатические разряды или вторичные проявления разрядов молнии, так и преднамеренные воздействия, например электромагнитное оружие.

ЭМП могут вызывать искажения сигналов, приводя к ошибкам в передаче данных или к повреждению компонентов. Существуют разные устройства защиты в интегральном виде, но наиболее простыми являются фильтры на сосредоточенных элементах. Исследований таких фильтров, выполненных по технологии GaAs-pHEMT, практически не проводилось (либо они сосредоточены на частотах выше 40 ГГц). Поэтому цель работы – сделать анализ фильтра нижних частот, выполненного по технологии GaAs-pHEMT, для защиты от дифференциальных и синфазных ЭМП.

Технология GaAs-pHEMT представляет собой процесс изготовления полупроводниковых приборов на основе арсенида галлия с использованием псевдоморфных линий с высокой подвижностью электронов. На рис. 1 представлен вид фильтра в интегральном виде, изготовленный по технологии GaAs-pHEMT.

Фильтр представляет собой индуктивные, емкостные и резистивные элементы, образующие фильтр нижних частот. Так как рассматривается дифференциальный режим передачи данных, то элементы должны быть одинаковыми на одной и второй цепи, т.е. элемент L_1 должен совпадать с L_2 , а $C_{\text{син}1}$ – с $C_{\text{син}2}$. Ёмкость $C_{\text{диф}}$ нужна для фильтрации в дифференциальном режиме, а $C_{\text{син}1}$ и $C_{\text{син}2}$ – в синфазном.

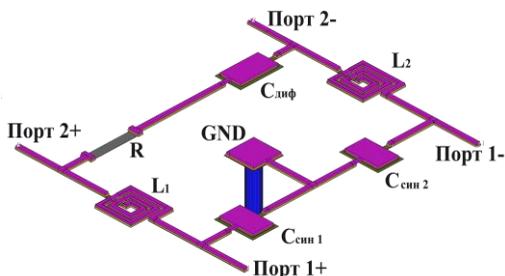


Рис. 1. Фильтр в интегральном виде

На рис. 2 представлены зависимости частотных характеристик фильтра в дифференциальном и синфазном режимах.

Из рис. 2 видно, что полоса пропускания фильтра в дифференциальном режиме составляет 6,7 ГГц, а коэффициент отражения от вхо-

да не превышает минус 20 дБ в полосе частот вплоть до 4 ГГц. Для обоих режимов наблюдаются выраженные резонансы на частоте 9,15 ГГц для синфазного режима и 12,6 ГГц – для дифференциального. Для увеличения ослабления фильтром в полосе заграждения можно увеличить количество звеньев фильтра.

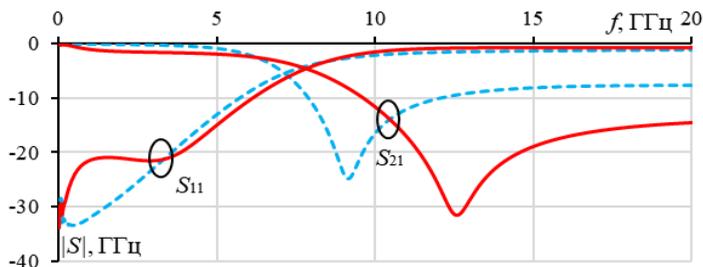


Рис. 2. Частотная зависимость фильтра в дифференциальном (—) и синфазном (---) режимах

На рис. 3 представлены вычисленные частотные зависимости $|S_{21}|$ фильтров из одного и двух звеньев.

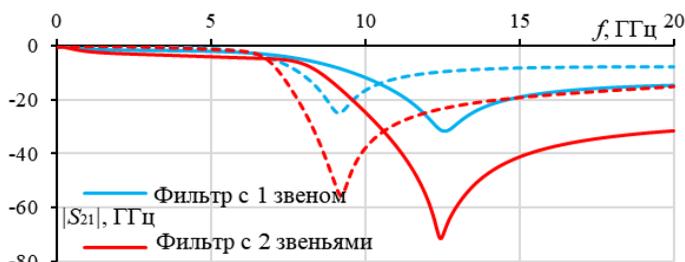


Рис. 3. Частотные зависимости $|S_{21}|$ фильтров разного порядка в дифференциальном (—) и синфазном (---) режимах

Из рис. 3 видно, что при увеличении порядка фильтра вдвое коэффициент передачи также уменьшается, а частота резонансов не меняется.

В работе проведен анализ фильтра в интегральном виде на основе технологии GaAs-pHEMT, работающего в дифференциальном режиме. Представлены результаты анализа частотных характеристик фильтра в дифференциальном и синфазном режимах.

Исследование выполнено в рамках проекта FEWM-2024-0005 Минобрнауки России.

ЛИТЕРАТУРА

1. Летавин Д.А. Миниатюризация микрополосковых СВЧ-устройств: магистерская дис. – Томск, ТУСУР, 2016.

2. Борейко Д. Унифицированные полосовые LC-фильтры, выполненные по интегральной технологии / Д. Борейко, Т. Хроленко, А. Яковлев // Современная электроника. – 2015. – № 7. – С. 38–40.

3. Чумаров С.Г. Исследование влияния электромагнитных помех на метрологические характеристики радиоэлектронной продукции / С.Г. Чумаров, Р.Н. Савинов // Фундаментально-прикладные проблемы безопасности. – 2020. – С. 409–412.

УДК 621.391.825

ОДНОКРАТНОЕ МОДАЛЬНОЕ РЕЗЕРВИРОВАНИЕ НА ОСНОВЕ ЗЕРКАЛЬНО-СИММЕТРИЧНОЙ СТРУКТУРЫ В ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОМ РЕЖИМЕ

С.Р. Морозов, аспирант каф. ТУ;

С.В. Власов, аспирант каф. СВЧиКР

*Научный руководитель Е.С. Жечев доцент каф. СВЧиКР, к.т.н.
г. Томск, ТУСУР, pred11072@yandex.ru*

Представлены результаты моделирования четырехслойной зеркально-симметричной структуры в дифференциальном режиме с однократным модальным резервированием. Результаты показали, что ослабление сверхширокополосной помехи составило 7,09 раза. Выявлено, что вид отказа в дифференциальном режиме не влияет на форму и ослабления помехи.

Ключевые слова: электромагнитная совместимость, дифференциальный режим, сверхширокополосная помеха, модальное резервирование.

С ростом числа и уменьшением размеров электронных устройств обеспечение их электромагнитной совместимости (ЭМС) становится всё более актуальной и сложной задачей. Это происходит из-за роста количества электромагнитных воздействий, которые могут привести к неисправностям, поэтому требуется разработка эффективных решений для обеспечения ЭМС. Наибольшую угрозу представляют кондуктивные сверхширокополосные (СШП) помехи из-за их высокой амплитуды, короткой длительности и широкого спектра. Они могут проникнуть в электронное устройство по цепям питания, вызывая перегрев и выгорание компонентов. Для борьбы с СШП-помехами возможно применение устройств на основе модальной фильтрации [1], а также модального резервирования (МР) [2]. Одним из эффективных устройств на основе модальной фильтрации является зеркально-симметричный модальный фильтр (З-С МФ) [3]. Его характеристики исследованы в синфазном и дифференциальном режимах [4]. Предложено использование дифференциальных пар при однократном МР [5]. Несмотря на ряд исследований З-С МФ в дифференциальном ре-

жиме работы, в них не проведен анализ при различных вариантах отказа. Между тем в рамках обеспечения ЭМС необходимо понимать, как будут изменяться характеристики проектируемых устройств при возникновении различных неисправностей и выходе из строя компонентов. Цель работы – представить результаты моделирования и анализа характеристик четырехслойного 3-С МФ в дифференциальном режиме при однократном МР.

Поперечное сечение и эквивалентная схема включения 3-С МФ показаны на рис. 1. Для проведения моделирования использовалась система TUSUR.EMC. Параметры структуры следующие: $w = 650$ мкм, $s = 2500$ мкм, $h_1 = 210$ мкм, $h_2 = 500$ мкм, $\epsilon_{r2} = 4,5$, $\epsilon_{r1} = 4,4$. В качестве воздействия использован Гауссов импульс, соответствующий определению СШП-помехи. Параметры воздействия: амплитуда ЭДС 1 В, спектр сигнала от 0,1 до 6 ГГц. Сопротивление резисторов до отказов составляют 100 Ом. Для моделирования отказов сопротивление на дальнем конце резервного проводника принималось равным 10^6 Ом для холостого хода (XX) и 10^{-6} Ом – для короткого замыкания (КЗ).

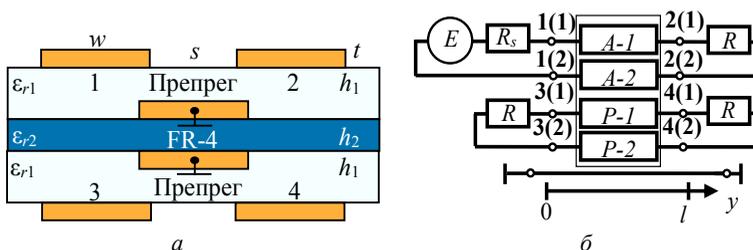


Рис. 1. Поперечное сечение (а) и эквивалентная схема включения (б) 3-С МФ

На рис. 2 представлена форма напряжения СШП-помехи в конце 3-С МФ до и после отказов (разность сигналов между узлами 2(1) и 2(2)).

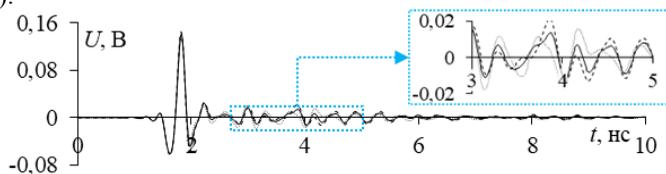


Рис. 2. Формы напряжения в конце 3-С МФ до отказов (—), после КЗ (---) и XX (□□□)

Анализируя рис. 2, можно сделать выводы, что 3-С МФ ослабляет СШП-помеху более чем в 7 раз (или 16,9 дБ). Также видно, что изменение амплитуды после отказов составило 1,05% для КЗ и 2,91% – для

XX (относительно случая до отказов). Для оценки эффективности подавления СШП-помех вычислены N -нормы, которые позволяют определить, как повлияет такая помеха на компоненты и какие виды отказа компонента при этом могут возникать. Значения N -норм, вычисленные на входе и выходе 3-С МФ, сведены в таблицу.

Анализируя таблицу, можно сказать, что наблюдается уменьшение каждой нормы. Так, N_1 уменьшилась в 3,9 раза, N_2 – в 4,88, N_3 – в 1,08, N_4 – в 2,47, N_5 – в 3,8. Максимальная разница между результатами при разных видах отказа составляет 9,3% (для N_4).

Вычисленные значения N -норм

На входе														
N_1			N_2*10^{10}			N_3*10^{-12}			N_4*10^{-10}			N_5*10^{-6}		
100	КЗ	XX	100	КЗ	XX	100	КЗ	XX	100	КЗ	XX	100	КЗ	XX
0,55	0,55	0,55	1,04	1,04	1,04	7,68	7,82	7,6	1,48	1,6	1,62	6,23	6,24	6,25
На выходе														
50	КЗ	XX	50	КЗ	XX	50	КЗ	XX	50	КЗ	XX	50	КЗ	XX
0,14	0,14	0,13	0,2	0,2	0,18	7,1	7,14	7,11	0,6	0,65	0,6	1,64	1,71	1,55

Таким образом, приведены результаты измерения характеристик четырехслойного 3-С МФ в дифференциальном режиме при однократном МР. Показано, что изменение значений амплитуд из-за различия видов отказов у 3-С МФ с однократным МР в дифференциальном режиме не превышает 2,9%.

Анализ N -норм показал, что изменение их значения у 3-С МФ при разных отказах не превышает 9,3%. Исследуемая структура потенциально может быть использована в задачах, требующих устойчивости характеристик при длительном периоде работы. В будущих работах видится необходимым выполнить анализ возможности улучшения размеров исследуемой структуры за счет использования радиопоглощающего материала.

Исследование выполнено в рамках проекта FEWM-2024-0005 Минобрнауки России.

ЛИТЕРАТУРА

1. Белоусов А.О. Многопроводная микрополосковая линия как модальный фильтр для защиты от сверхкоротких импульсов / А.О. Белоусов, Т.Р. Газизов, А.М. Заболоцкий // Доклады ТУСУР. – 2015. – № 3(37). – С. 124–128.
2. Шарафутдинов В.Р. Анализ способов резервирования на основе модальной фильтрации / В.Р. Шарафутдинов, Т.Р. Газизов // Системы управления, связи и безопасности. – 2019. – № 3. – С. 117–144.
3. Синельников А.А. Квазистатическое моделирование четырехслойного зеркально-симметричного модального фильтра при изменении граничных

условий на концах пассивных проводников / А.А. Синельников, А.В. Чуб, Е.С. Жечев // Сборник избранных статей научной сессии ТУСУР: в 3 ч. – Томск: В-Спектр, 2020. – Ч. 1. – С. 266–269.

4. Власов С.В. Анализ четырехслойного зеркально-симметричного модального фильтра в синфазном и дифференциальном режимах // Сборник избранных статей научной сессии ТУСУР: в 3 ч. – Томск: В-Спектр, 2022. – Ч. 1. – С. 256–258.

5. Морозов С.Р. Анализ характеристик дифференциальных пар с модальным резервированием / С.Р. Морозов, С.В. Власов // Сборник избранных статей научной сессии ТУСУР: в 3 ч. – Томск: В-Спектр (ИП В.М. Бочкарева), 2024. – Ч. 2. – С. 85–88.

УДК 621.391.825

ВЛИЯНИЕ ЗИПСИЛ 601 РПМ-01 НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ЛИНИИ ПЕРЕДАЧИ В ИНТЕГРАЛЬНОМ ИСПОЛНЕНИИ

***В.А. Трубоченинов, инженер НИЛ «ФИЭМС»;
С.В. Власов, аспирант каф. СВЧиКР***

*Научный руководитель Е.С. Жечев, доцент каф. СВЧиКР, к.т.н.
г. Томск, ТУСУР, slava.trubcheninov@mail.ru*

Представлены результаты моделирования и анализа N -норм линии передачи (ЛП) в интегральном исполнении с электромагнитным поглотителем (ЭП) марки ЗИПСИЛ 601 РПМ-01. Показано, что применение ЭП является эффективным решением для улучшения помехоподавляющих свойств ЛП.

Ключевые слова: электромагнитная совместимость, линия передачи, электромагнитный поглотитель, сверхширокополосная помеха.

Современные тенденции в электронике направлены на миниатюризацию устройств, что открывает возможности для создания компактных и высокопроизводительных систем. Уменьшение размеров компонентов сопровождается ростом их функциональности, делая интегральные решения основой технологий следующего поколения [1, 2]. Однако из-за уменьшения размеров ухудшается электромагнитная совместимость (ЭМС) технических средств. Одним из способов повышения ЭМС является применение электромагнитных поглотителей (ЭП), что значительно повышает помехоподавляющие характеристики устройств [3, 4]. Ранее не проводилось исследование влияния ЭП на характеристики ЛП в интегральном исполнении. Цель работы – выполнить такое исследование.

На рис. 1 представлены поперечное сечение и эквивалентная схема включения исследуемой структуры (пара связанных линий).

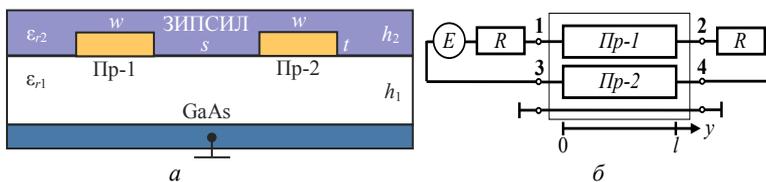


Рис. 1. Поперечное сечение (а) и эквивалентная схема включения (б) исследуемой структуры

В качестве подложки структуры принят материал GaAs (арсенид галлия), а в качестве проводящего слоя – золото. Параметры структуры (мкм): ширина проводников $w = 5$, толщина проводников $t = 2$, расстояние между проводниками $s = 20$, расстояние от края подложки до проводников $d = 10$, толщина подложки $h_1 = 125$, толщина ЭП h_2 изменяется от 0 до 20 мкм с шагом 4 мкм, длина линии $l = 22 \cdot 10^3$, относительная диэлектрическая проницаемость подложки $\epsilon_{r1} = 12,94$, тангенс угла диэлектрических потерь $\text{tg}\delta_{\epsilon1} = 0,006$, относительная магнитная проницаемость $\mu_{r1} = 1$. В качестве ЭП использован листовой поглотитель марки ЗИПСИЛ 601 РПМ-01 с $\epsilon_{r2} = 20$, $\mu_{r2} = 3$ и $\text{tg}\delta_{\epsilon2} = 0,1$. Структура согласована с трактом 50 Ом.

На рис. 2 представлен временной отклик на выходе исследуемой структуры (в узле 2) при разной h_2 . В качестве входного воздействия использовали Гауссов импульс с шириной спектра от 0,1 до 6 ГГц с амплитудой ЭДС 1 В, соответствующий определению сверхширокополосной (СШП) помехи.

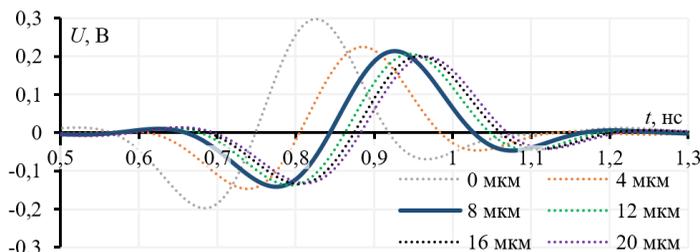


Рис. 2. Временной отклик в узле 2 схемы на рис. 1, б при разной h_2

Из рис. 2 следует, что время прихода помехи при $h_2=8$ мкм увеличилось в 1,15 раза и составило 0,68 нс, в то время как при $h_2 = 0 - 0,59$ нс. Уменьшение максимального напряжения помехи на выходе структуры при изменении значения h_2 от 0 до 4 мкм составило 72 мВ, от 4 до 8 мкм – 12 мВ, от 8 до 12 мкм – 6 мВ, от 12 до 16 мкм – 5 мВ и от 16 до 20 мкм – 4 мВ. После $h_2 = 8$ мкм дальнейшее увеличение h_2 приведет к незначительному уменьшению амплитуды (не более 2%),

что говорит о том, что толщина $h_2 = 8$ мкм является оптимальной с точки зрения подавления СШП-помех.

Для оценки эффективности подавления СШП-помех выполнен анализ N -норм, которые позволяют оценить характер воздействия СШП помех на компоненты и определить возможные виды отказов. Значения N -норм на выходе структуры (в узле 2) при разной h_2 представлены в таблице.

Видно, что с увеличением h_2 значения всех N -норм значительно уменьшаются. Это может свидетельствовать о том, что поглощение электромагнитных волн улучшилось с увеличением толщины ЭП, что снижает воздействие на структуру. Видно, что при $h_2=8$ мкм значение N_1 уменьшилось в 1,15 раза; N_2 – в 1,5 раза; N_3 – в 1,03 раза; N_4 – в 1,3 раза; N_5 – в 1,4 раза по сравнению с их значениями без ЭП (0 мкм). Анализ N -норм показал, что в структуре с ЭП вероятность дугового пробоя, искрения компонента или сбоя схемы уменьшилась по сравнению со структурой без ЭП.

Значения N -норм на выходе исследуемой структуры

h_2 (мкм)	$N_1 \cdot 10^{-3}$	$N_2 \cdot 10^9$	$N_3 \cdot 10^{-12}$	$N_4 \cdot 10^{-11}$	$N_5 \cdot 10^{-6}$
0	296	5,661	7,25	6,155	3,217
4	224	4,099	7,033	4,673	2,452
8	212	3,796	7,019	4,643	2,369
12	206	3,635	6,828	4,571	2,312
16	201	3,541	6,825	4,503	2,264
20	197	3,458	6,825	4,437	2,225

Проведенный анализ подтвердил эффективность применения ЭП для улучшения помехоподавляющих свойств ЛП в интегральном исполнении. Выявлено, что оптимальная толщина ЭП для исследуемой структуры составляет 8 мкм.

Исследование выполнено в рамках проекта FEWM-2024-0005 Минобрнауки России.

ЛИТЕРАТУРА

- Летавин Д.А. Миниатюризация микрополосковых СВЧ-устройств: магистерская дис. – Томск: ТУСУР, 2016.
- Борейко Д. Унифицированные полосовые LC-фильтры, выполненные по интегральной технологии / Д. Борейко, Т. Хроленко, А. Яковлев // Современная электроника. – 2015. – № 7. – С. 38–40.
- Методы компоновки электромагнитных поглотителей в структурах малогабаритных модальных фильтров / В.А. Трубченинов, С.В. Власов, Е.С. Жечев, А.М. Заболоцкий // Журнал радиоэлектроники. – 2024. – № 10. – С. 1–17.
- Трубченинов В.А. Исследование влияния электромагнитного поглотителя на временные и частотные характеристики дифференциальной линии передачи / В.А. Трубченинов, С.В. Власов, Е.С. Жечев // Журнал радиоэлектроники. – 2025. – № 1. – С. 1–11.

ПЕРЕКРЕСТНЫЕ НАВОДКИ В МОДАЛЬНОМ ФИЛЬТРЕ СО СВЯЗЫВАЮЩИМ ПРОВОДНИКОМ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ СВЕРХКОРОТКОГО ИМПУЛЬСА ПО СХЕМНОЙ ЗЕМЛЕ

М.Д. Юсаф, аспирант каф. ТУ

*Научный руководитель Т.Р. Газизов, зав. каф. ТУ, д.т.н., проф.
г. Томск, ТУСУР, junaidyousaf761@gmail.com*

Исследовано влияние преднамеренных электромагнитных воздействий по цепям заземления на амплитуду перекрестных помех в модальном фильтре (МФ), отличающемся наличием двух сигнальных сильно связанных проводников и двух опорных. Впервые моделировался отклик на кондуктивное воздействие сверхкоротким импульсом на схемную землю этого МФ квазистатическим анализом в системе TUSUR.EMC. Приведены формы напряжения в активном и пассивном проводниках МФ. Показано, что уровень перекрестных наводок достигает 22,6% на ближнем конце МФ и 32,6% – на дальнем относительно половины электродвижущей силы воздействия

Ключевые слова: квазистатический анализ, схемная земля, модальный фильтр, преднамеренное электромагнитное воздействие, перекрестная наводка.

Проектирование новых устройств нужно для решения актуальных задач. Расширение сфер применения радиоэлектронных средств, рост плотности их монтажа, а также увеличение верхней граничной частоты спектра полезных сигналов и помех усложняют решение задач электромагнитной совместимости (ЭМС), в частности, защиты от преднамеренных силовых электромагнитных воздействий (ПДЭМВ). Они могут создаваться электромагнитным полем, по проводным линиям связи, сети электропитания и металлоконструкциям. Последние два пути затрагивают ПДЭМВ по цепям заземления, что мало исследовано, но актуально для оценки опасности возможных угроз. Недавно представлен один из подходов к решению проблемы защиты от ПДЭМВ [1].

В работе рассматривается новый модальный фильтр (МФ), отличающийся наличием сильно связанных проводников. Такая структура обладает редкой особенностью, которая заключается в сильных электромагнитных связях между большим количеством сигнальных и доступных (наружных) проводников (соединены с обоих концов со схемной землёй). Это делает актуальным исследование перекрестных наводок в сигнальных проводниках при кондуктивном воздействии ПДЭМВ на опорные проводники схемной земли. Так, рассмотрен сверхкороткий импульс (СКИ) в качестве кондуктивного воздействия

на три соединенных проводника (как худший случай) схемной земли этого МФ относительно четвертого. Моделирование дало перекрестную помеху высокого уровня и сложной, трудно объяснимой формы на дальнем конце. Для выявления причин этого целесообразно сначала рассмотреть более простой МФ.

Цель работы – выполнить такое исследование.

Для моделирования взят МФ из [1] (рис. 1, а) с параметрами: относительная диэлектрическая проницаемость и толщина подложки $\epsilon_r = 4,5$ и $h_1 = 1,262$ мм соответственно, толщина проводников $t = 50$ мкм, разнос проводников $s = 7,5$ мм, высота проводника, соединенного со схемной землей (проводник 3), $h_2 = 1$ мм, ширина сигнальных проводников (проводники 1 и 2) $w_1 = 1$ мм, проводника 3 – $w_2 = 9,5$ мм, а 4 (схемная земля) – $w = 11,5$ мм.

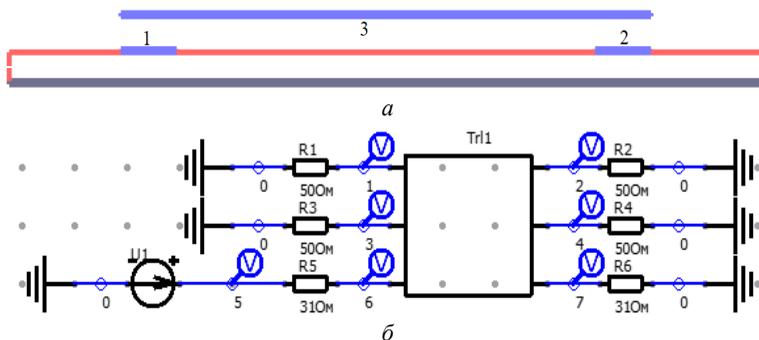


Рис. 1. Поперечное сечение (а) и схема соединения (б) МФ

Потери в проводниках и диэлектриках в пробном моделировании не учитывались. Поэтому матрицы погонных сопротивлений (**R**) и проводимостей (**G**) полагаются нулевыми. В системе TUSUR.EMC вычислены матрицы погонных коэффициентов электромагнитной (**L**) и электростатической (**C**) индукции для этой структуры. Теоретически они должны быть симметричны, но из-за погрешностей вычислений при моделировании может возникать асимметрия матриц. Она легко устранима, и поэтому здесь это не рассматривается. Вычисленные матрицы **L** (нГн/м) и **C** (пФ/м) МФ следующие:

$$\mathbf{L} = \begin{bmatrix} 341,30 & 72,66 & 110,29 \\ 72,66 & 341,30 & 110,29 \\ 110,29 & 110,29 & 167,59 \end{bmatrix}, \quad \mathbf{C} = \begin{bmatrix} 92,47 & -0,005 & -28,56 \\ -0,005 & 92,47 & -28,56 \\ -28,56 & -28,56 & 144,52 \end{bmatrix}.$$

Электрическая схема соединений для моделирования приведена на рис. 1, б. Проводники 1 и 2 (номера соответствуют индексам элементов матриц) на подложке являются сигнальными (активный и пас-

сивный при работе структуры в качестве МФ или резервируемый и резервный при модальном резервировании) и соединены со схемной землей (проводник без номера) сопротивлениями, принятыми для пробного моделирования по 50 Ом. Проводник 3 соединен на концах с землей. Предполагается, что их стык стал доступен для ПДЭМВ, так что в разрыв его соединения со схемной землей оказался включен источник СКИ с амплитудой электродвижущей силы (ЭДС) 1 кВ, длительностью фронта и спада по 1 нс, а вершины – 2 нс. Длина отрезка МФ ($l = 1$ м) обеспечивает модальное разложение. Внутреннее сопротивление источника может быть разным, а нагрузка на конце этого проводника низкоомной, но для пробного моделирования оба сопротивления на концах проводника 3 для лучшего согласования приняты по 31 Ом, поскольку в дальнейшем легко рассмотреть более реальные варианты окончаний.

Временные отклики на воздействие вычислены в системе TUSUR.EMC за счёт квазистатического анализа модифицированным узловым методом. На рис. 2, а показаны формы воздействующей ЭДС (узел V5) и напряжения в узлах V6 (начало активного проводника) и V7 (конец активного проводника). Как видно, на проводник 3 поступает СКИ с амплитудой 500 В (близка к половине ЭДС), а значит, с довольно хорошим согласованием. СКИ испытывает модальное разложение, проявляющееся в том, что каждая из его мод распространяется со своей задержкой (3,9; 5,0; 5,9 нс) и своим волновым сопротивлением. Однако при выбранных параметрах МФ и его окончаний импульсов разложения два. Амплитуда первого лишь чуть меньше, чем в начале линии, а второго – мала. Поэтому разложение выражено слабо.

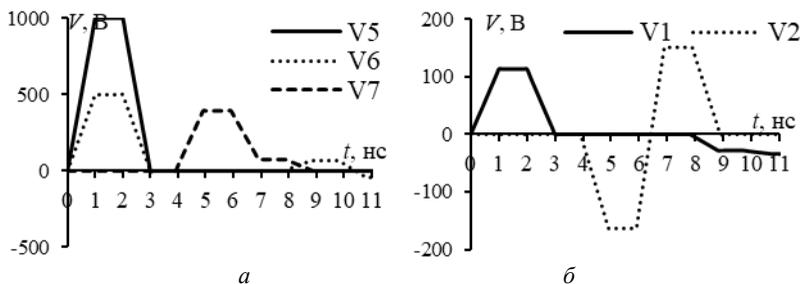


Рис. 2. Формы ЭДС (V5) и напряжения в узлах V6 и V7 (а) и формы напряжения в узлах V1 и V2 (б)

Между тем в данной работе нас интересуют перекрестные наводки на проводниках 1 и 2. Симметрия проводников относительно центра, являющейся также осью симметрии проводника схемной земли, приводит к одинаковым наводкам на проводниках 1 и 2. Формы

напряжения на концах любого из них приведены на рис. 2, б. Из-за довольно сильных связей между проводниками амплитуда перекрестных наводок на ближнем конце проводника I (узел $V1$) достигает 113 В (22,6% относительно половины ЭДС).

Форма напряжения перекрестной наводки на дальнем конце сложнее. В общем случае её амплитуда определяется не суммой (как на ближнем конце), а разностью коэффициентов ёмкостной и индуктивной связей между связанными проводниками. Кроме того, она может расти с ростом длины линии и сокращением фронта и спада СКИ. Здесь она начинается с импульса отрицательной полярности амплитудой 163 В (32,6%) и продолжается импульсом положительной полярности амплитудой 150 В (30%).

В работе рассмотрено влияние ПДЭМВ по цепям заземления МФ, отличающегося наличием одного заземлённого проводника, сильно связанного с двумя сигнальными. Моделирование отклика МФ на воздействие СКИ показало высокий уровень перекрестных наводок (32,6% от половины амплитуды ЭДС воздействия). Поэтому в будущем целесообразно оценивать угрозу таких воздействий для подобных структур и более детально это исследовать: учесть реальные нагрузки на концах проводников и потери в проводниках и диэлектрике, в том числе при изменении параметров структуры и воздействия. Полезно также оценить уровень перекрестных помех по коэффициентам ёмкостной и индуктивной связи, вычисленных через элементы матриц L и C .

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-29-00579, <https://rscf.ru/project/24-29-00579/> в ТУСУРе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Иванцов И.А. Модальное разложение помехи в связанной микрополосковой линии при удалении сигнальных проводников друг от друга // Системы управления, связи и безопасности. – 2023. – № 3. – С. 124–133.

УДК 621.396.6

ПРИМЕНЕНИЕ СТРУКТУР СО СТУПЕНЧАТЫМ ИМПЕДАНСОМ И МОДАЛЬНЫМИ ИСКАЖЕНИЯМИ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ОТ ПОМЕХОВЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ

П.В. Микола, аспирант каф. ТУ

*Научный руководитель Р.С. Суровцев, доцент каф. ТУ, д.т.н.
г. Томск, ТУСУР, mikolapavell@gmail.com*

Представлены первые результаты моделирования и анализа витка МЛ из трёх отрезков со ступенчатым импедансом. Показана возможность совместного использования модальных искажений и от-

ражений в витке МЛ для ослабления импульсных помеховых воздействий. Во временной области выявлена возможность ослабления рассмотренного воздействия в 7,2 раза.

Ключевые слова: электромагнитная совместимость, электромагнитная помеха, ступенчатый импеданс, модальные искажения.

Защита радиоэлектронных средств (РЭС) от электромагнитных помех (ЭМП) наносекундной длительности является актуальной задачей электромагнитной совместимости (ЭМС) [1]. Кроме того, к настоящему времени значительно возросла опасность применения генераторов мощных сверхширокополосных (СШП) воздействий для преднамеренной дестабилизации работы РЭС [2]. Широкий спектр таких СШП-воздействий позволяет части их частотных компонент преодолевать средства защиты и проникать внутрь РЭС. Это может привести к нарушению цифрового обмена, а при высокой мощности воздействия даже к выходу РЭС из строя из-за электрического пробоя полупроводников и диэлектриков. Для защиты от СШП-воздействий предложено множество методов и устройств [3, 4]. Несмотря на это, поиск и исследование новых путей защиты не теряет актуальности.

Важным компонентом печатных плат являются микрополосковые линии, которые широко применяют для передачи информационных сигналов и питания между функциональными узлами электрических схем [5]. Они также могут применяться для защиты от ЭМП благодаря модальным искажениям [6, 7]. Одним из новых направлений является проектирование и анализ устройств на основе модального разложения со ступенчатым импедансом [8]. В рамках исследований сделан лишь первый шаг: выполнен анализ витка меандровой линии (МЛ) из двух отрезков с разным импедансом. Поэтому цель работы – выполнить анализ в частотной и временной области характеристик витка МЛ из трёх отрезков со ступенчатым импедансом.

Ступенчатый импеданс отрезков витка МЛ обеспечивается за счёт выбора параметров поперечного сечения отрезков. Так, эвристическим поиском получены оптимальные значения среднего геометрического волновых сопротивлений синфазной и дифференциальной мод. Они следующие (цифра в нижнем индексе означает номер отрезка витка): $\sqrt{Z_{c1}Z_{d1}} = 50$ Ом, $\sqrt{Z_{c2}Z_{d2}} = 30,37$ Ом и $\sqrt{Z_{c3}Z_{d3}} = 10,09$ Ом. Сопротивление первого отрезка принято из соображений согласования витка с трактом.

Поперечные сечения отрезков для моделирования показаны на рис. 1. Поскольку в дальнейшем планируется прототипирование витка и измерение его характеристик, то параметры основы печатной платы (относительная диэлектрическая проницаемость и толщина основы, а

также толщина фольги) для всех отрезков приняты равными: $\epsilon_r = 4,59$, $h_1 = 210$ мкм, $h_2 = 510$ мкм и $t = 50$ мкм. Варьируемыми параметрами являлись ширина печатного проводника (w) и расстояние между ними (s): $w_1 = 1150$ мкм, $w_2 = 575$ мкм, $w_3 = 1800$ мкм, $s_1 = 300$ мкм, $s_{2,3} = 200$ мкм.

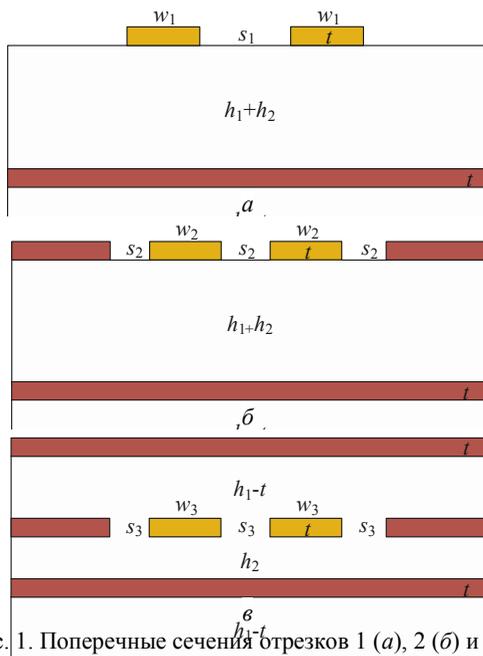


Рис. 1. Поперечные сечения отрезков 1 (а), 2 (б) и 3 (г)

Схема соединения витка показана на рис. 2. Она состоит из трех отрезков разной длины ($l_1 = 0,1$ м, $l_2 = 0,0125$ м и $l_3 = 0,0111$ м), которая также определена эвристическим поиском.

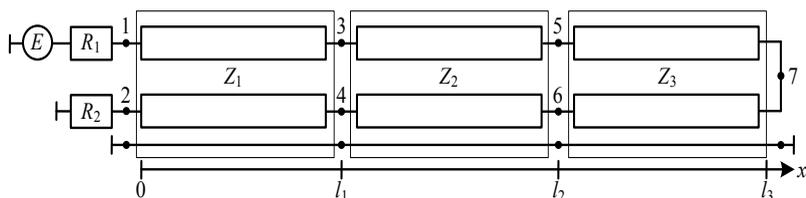


Рис. 2. Схема соединения МЛ

Частотные зависимости S -параметров витка показаны на рис. 3. Видно, что $|S_{21}|$ имеет сложный характер со множеством минимумов (из-за отражений на стыках отрезков). Частота среза витка МЛ составила 184 МГц. Уровень $|S_{11}|$ до частоты 100 МГц не превышает -10 дБ.

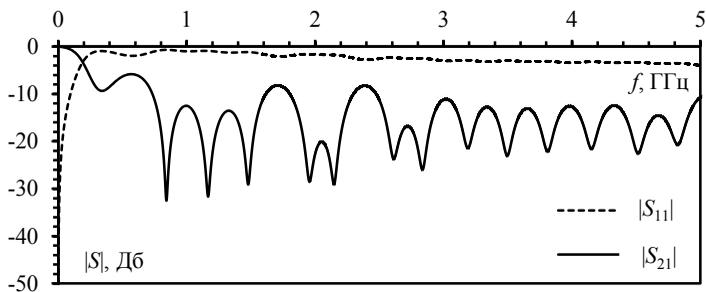


Рис. 3. Частотная зависимость S -параметров витка МЛ

Результаты моделирования витка во временной области показаны на рис. 4. В качестве СШП-воздействия использован импульс в виде трапеции с ЭДС 2 В и общей длительностью 150 пс.

Сопротивления R_1 и R_2 приняты по 50 Ом.

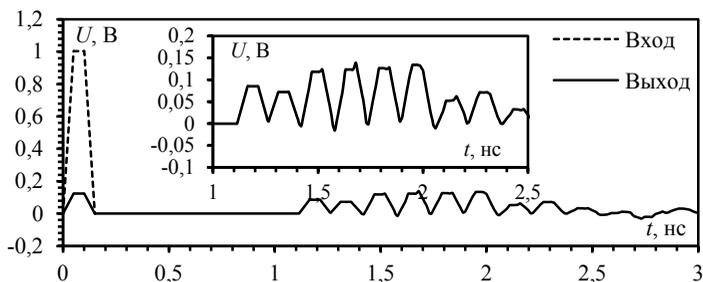


Рис. 4. Формы напряжения на входе и выходе витка МЛ

Из рис. 4 видно, что амплитуда сигнала на входе витка составляет половину от ЭДС воздействия, что говорит о хорошем согласовании витка с трактом. Из формы выходного напряжения видно, что на выход приходят 9 основных составляющих. Разложение на составляющие обусловлено модальным разложением и отражений дополнительными отражениями от стыков отрезков. Амплитуда напряжения на выходе витка не выше 139 мВ, что даёт ослабление 7,2 раза от половины ЭДС. Отметим, что отраженные составляющие отрицательной полярности компенсирует основные составляющие положительной полярности, но это требует отдельного исследования, поэтому здесь не рассмотрено.

Таким образом, в работе выполнено моделирование витка МЛ из трёх отрезков со ступенчатым импедансом. Основным результатом работы является показанная возможность совместного использования модальных искажений и отражений в витке МЛ для ослабления СШП-

воздействий. Это позволило ослабить рассмотренное воздействие в 7,2 раза. Следующим этапом является более детальное моделирование и анализ для определения закономерностей возникновения отражений и принципов их использования для ослабления СШП-помех.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-79-00159, <https://rscf.ru/project/24-79-00159/> в ТУСУРе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пирогов Ю.А. Повреждения интегральных микросхем в полях радиолучения / Ю.А. Пирогов, А.В. Солодов // Журнал радиоэлектроники. – 2013. – № 6. – С. 1–3.

2. Giri D.V. Implications of high-power electromagnetic (HPREM) environments on electronics / D.V. Giri, R. Hoad, F. Sabath // IEEE Electromagnetic Compatibility Magazine. – 2020. – Vol. 9, No. 2. – P. 37–44.

3. Скворцов В. Заземление и экранирование как способы обеспечения электромагнитной совместимости электронных устройств // Силовая электроника. – 2020. – Т. 83, № 2. – С. 52–59.

4. Исследование полосно-пропускающих фильтров на многомодовых микрополосковых резонаторах с проводником в форме шпильки / Б.А. Беляев, С.А. Ходенков, А.М. Сержантов, И.В. Говорун // Известия вузов. Физика. – 2023. – Т. 66, № 12(793). – С. 29–39.

5. Синтез связанных полосковых линий с гетерогенным диэлектрическим заполнением / А.Г. Лошилов, Т.Т. Чинь, Н.Д. Малютин, Г.А. Малютин // Доклады ТУСУР. – 2022. – Т. 25, № 1. – С. 7–16.

6. Gazizov A.T. UWB pulse decomposition in simple printed structures / A.T. Gazizov, A.M. Zabolotsky, T.R. Gazizov // IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility. – 2016. – Vol. 58, No. 4. – P. 1136–1142.

7. Modal filter based on a microstrip line with two side conductors grounded at both ends / I.Y. Sagiyeva, Ye.S. Zhechev, Z.M. Kenzhegulova, R.S. Surovtsev, T.R. Gazizov // IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility. – 2023. – Vol. 65, No. 5. – P. 1371–1378.

8. Using Reflections in a Meander Line Turn of Two Segments for Suppressing UWB Excitations / R.S. Surovtsev, P.V. Mikola, S. Karri, I.A. Ivantsov // IEEE Electromagnetic Compatibility Magazine. – 2024. – Vol. 13, No. 1. – P. 51–60.

УДК 004.85

МОДЕЛИРОВАНИЕ S-ПАРАМЕТРОВ КОНДЕНСАТОРА НА ОСНОВЕ ИСКУССТВЕННОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ

Н.С. Павлов, аспирант каф. СВЧуКР

Научный руководитель Е.С. Жечев, доцент каф. ТУ, к.т.н.

г. Томск, ТУСУР, nikita.s.pavlov@tusur.ru

Представлен подход к моделированию S-параметров плоского конденсатора на основе 0,25-дюймовой GaN-HEMT на SiC с помощью

искусственной нейронной сети (ИНС). Результаты показали, что модель конденсатора на основе ИНС способна предсказывать S -параметры с погрешностью, не превышающей $1,4 \cdot 10^{-3}$ по средней абсолютной ошибке в пределах обучающей выборки. В качестве примера продемонстрировано моделирование конденсатора на основе SiC с заданными геометрическими размерами (шириной и длиной) и рабочей температурой. Рассчитаны S -параметры, средне-квадратическая ошибка и номинальная емкость одного из образцов конденсатора.

Ключевые слова: машинное обучение, искусственная нейронная сеть, S -параметры, конденсатор, температурная зависимость.

Разработка электронной компонентной базы (ЭКБ) для СВЧ-устройств на основе технологии АЗВ5 является ключевой задачей современной микроэлектроники. Материалы АЗВ5 обладают уникальными свойствами: высокой подвижностью носителей заряда, широкой запрещенной зоной, возможностью создания гетероструктур и т.д. [1]. Конденсаторы играют важную роль в СВЧ-устройствах, их проектирование связано с учетом температурных зависимостей, геометрических параметров, паразитных и электромагнитных эффектов. Традиционные методы проектирования требуют значительных ресурсов, что делает процесс трудоемким. Однако машинное обучение (МО) даёт новые возможности для автоматизации проектирования и повышения точности моделей [2]. Поэтому цель работы – разработка методологии проектирования СВЧ-устройств на основе АЗВ5 с использованием МО для повышения точности моделирования и оптимизации характеристик.

В качестве модели МО использована искусственная нейронная сеть (ИНС), которая состоит из входного, четырех скрытых и выходного слоев. Входной слой принимает сигнал, состоящий из ширины w , длины l и температуры t (в °C), затем следуют четыре полносвязных слоя и выходной преобразующий слой. На выходе ИНС синтезируются четыре параметра амплитуды ($|S|$) и фазы ($\angle S$). Архитектура разработанной ИНС приведена на рис. 1.

Для формирования базы данных для обучения ИНС ширина и длина конденсатора изменялись в диапазоне от 10 до 100 мкм с шагом 10 мкм, а температура – от -50 до 100 °C с шагом 10 °C. Итоговая база данных составила 1 600 примеров, которые были разделены на три выборки: обучающая, валидационная и тестовая. Для учета температурного эффекта использованы зависимости относительной диэлектрической проницаемости ϵ_r , тангенса угла диэлектрических потерь $\text{tg} \delta$, толщины слоя металлизации t_{met} и диэлектрика h от температуры, полученные с помощью эмпирических формул.

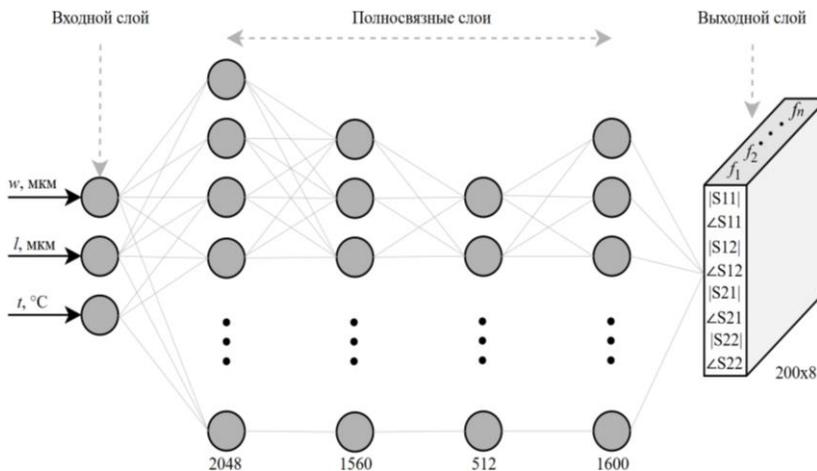


Рис. 1. Архитектура разработанной ИНС для синтеза конденсатора

Обучение и построение модели ИНС проводилось с помощью библиотеки TensorFlow [3]. В качестве функции потерь использована среднеквадратичная ошибка (СКО). Так, средняя абсолютная ошибка для тестовой выборки составляет около $1,4 \cdot 10^{-3}$. В качестве примера приведен анализ одного из образцов тестовой выборки, который был принят за истину. Для анализа выбран конденсатор с шириной 10 мкм, длиной 30 мкм при температуре 50 °С. Рассчитано номинальное значение и СКО с использованием следующих выражений:

$$C = -1 / \omega \cdot \text{Im}(Z_{\text{in}}), \quad (1)$$

$$\text{СКО} = \frac{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \left(|S_{ijA} - S_{ijB}| / 0,5 \cdot (|S_{ijA}| + |S_{ijB}|) \right)}{N^2} \cdot 100\%, \quad (2)$$

где Z_{in} – входной импеданс, ω – угловая частота, N – количество строк матрицы S -параметров.

На рис. 2 приведено сравнение частотных зависимостей каждого из S -параметров, полученных с помощью ИНС, с истинным значением, а на рис. 3 представлено их номинальное значение и СКО.

Из представленных результатов видно, что модель ИНС предсказывает значения S -параметров с высокой точностью в сравнении с истинными значениями S -параметров во всем исследуемом частотном диапазоне. Так, значения СКО не превышают 1,5%, а номинальная емкость составила около 0,083 пФ на частоте $f = 0,1$ ГГц.

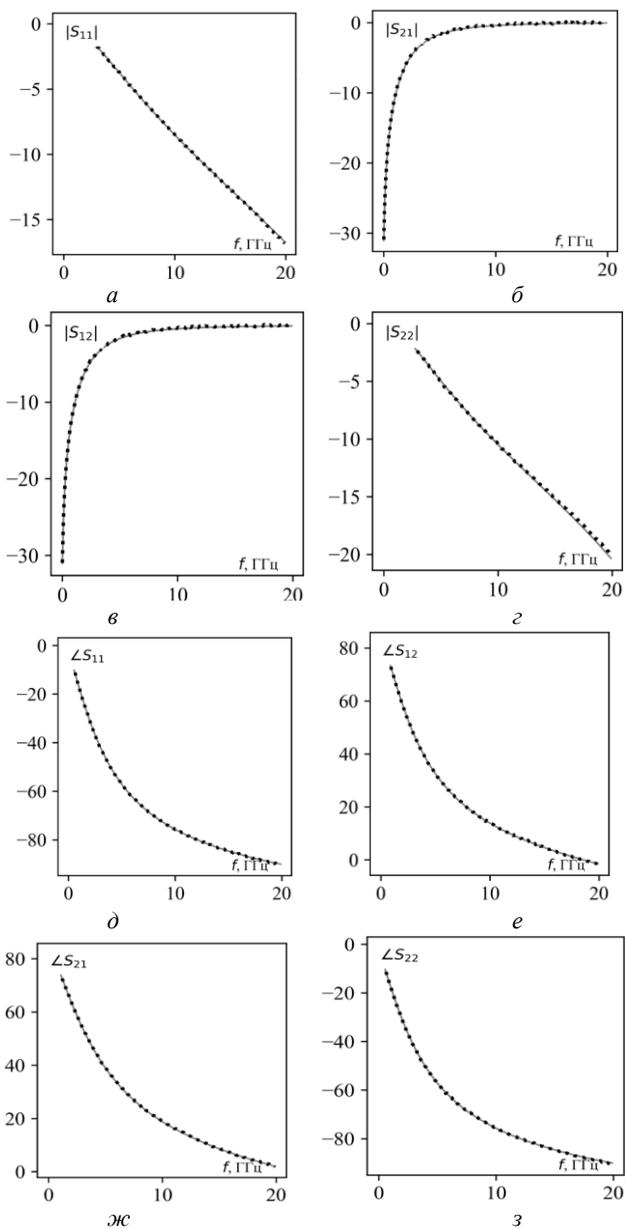


Рис. 2. Сравнение S -параметров ИНС (—) с истиной (⋯): $|S_{11}|$ (а); $\angle S_{11}$ (б); $|S_{12}|$ (в); $\angle S_{12}$ (г); $|S_{21}|$ (д); $\angle S_{21}$ (е); $|S_{22}|$ (ж) и $\angle S_{22}$ (з)

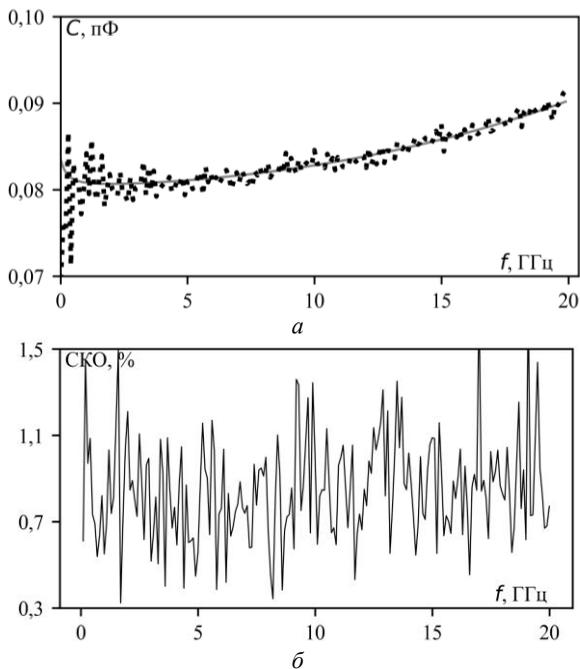


Рис. 3. Номинальное значение ИНС (—) и истины (⋯) (а) и их СКО (б)

ЛИТЕРАТУРА

1. Современные научные и практические решения в технологии изготовления подложек полупроводниковых соединений A^3B^5 : обзор / Е.Н. Абрамова, Р.Ю. Козлов, А. Хохлов, Ю.В. Сыров // Конденсированные среды и межфазные границы. – 2024. – Т. 26, № 1. – С. 3–24.
2. Черкасов Д.Ю. Машинное обучение / Д.Ю. Черкасов, В.В. Иванов // Наука, техника и образование. – 2018. – № 5 (46). – С. 85–87.
3. TensorFlow [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.tensorflow.org/?hl=ru>, свободный (дата обращения: 22.03.2025).

ПОДСЕКЦИЯ 2.7

СВЕТОДИОДЫ И СВЕТОТЕХНИЧЕСКИЕ УСТРОЙСТВА

Председатель – Туев В.И., зав. каф. РЭТЭМ, д.т.н., проф.;
зам. председателя – Солдаткин В.С., доцент каф. РЭТЭМ, к.т.н.

УДК 621.382.2.3

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ НА РАБОТУ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРОВ ПРИ ПОМОЩИ ARDUINO

Р.М. Абсалямов, Ю.М. Зубарь, студенты каф. РТС
Научный руководитель Ф.Н. Захаров, доцент каф. РТС, к.т.н.
г. Томск, ТУСУР, zubarjm2004@gmail.com

Рассматривается метод исследования влияния температуры на полупроводниковые приборы при помощи ARDUINO на примере диода и светодиода. Приведены результаты работы.

Ключевые слова: диод, светодиод, температура, $p-n$ -переход, ARDUINO.

Полупроводниковые диоды очень часто используются при проектировке электрических схем. Существует огромное множество разных видов диодов с различными свойствами. В данной статье будет рассмотрен способ исследования влияния температуры на работу выпрямительного диода и светодиода.

Как известно, выпрямительный диод используется для преобразования переменного тока в постоянный, поэтому при проектировке схем с его использованием необходимо учитывать воздействие температуры на него. При помощи датчика температуры, который был запрограммирован на базе микроконтроллера на отладочной плате ARDUINO, контролировалась температура подогрева подогревающего элемента. На подогревающий элемент подавалось напряжение 10 В и сила тока 2 А. Далее на макетной плате была собрана электрическая схема, изображённая на рис. 1.

Реализация этой электрической схемы на макете изображена на рис. 2.

При помощи двух мультиметров, которые выполняли функции вольтметра и амперметра, были сняты вольт-амперные характеристики (ВАХ) рассматриваемого диода при комнатной температуре, кото-

рая составляла 25 °С, а также при температурах 55 и 90 °С. С полученными ВАХ можно ознакомиться на рис. 3.

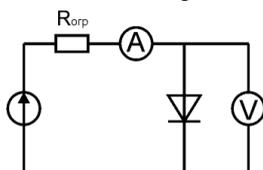


Рис. 1. Электрическая схема для исследования диода



Рис. 2. Реализация исследуемой схемы на макетной плате

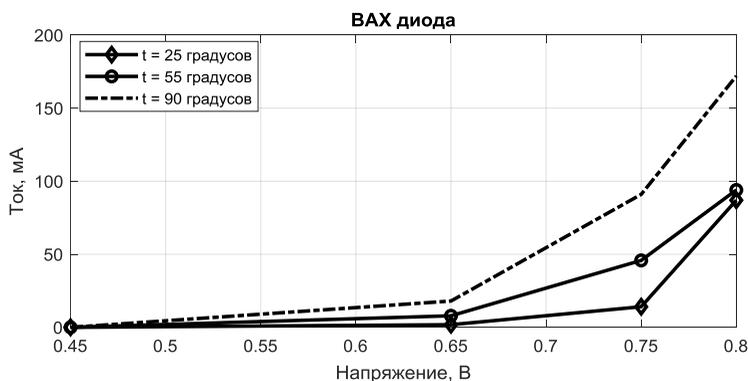


Рис. 3. Полученные ВАХ при температурах 25, 55 и 90 °С

Как видно из рис. 3, диод начинает открываться при напряжении около 0,7 В при всех температурах, подобранных в эксперименте. Но также можно заметить, что для достижения напряжения, при котором диод открывается, значение силы тока для всех температур различается. Это связано с тем, что при возрастании температуры наблюдается смещение барьера на *p-n*-переходе. Аналогичным образом можно

пронаблюдать на данном рисунке зависимость температурного коэффициента напряжения ε от роста температуры, который рассчитывается по формуле (1):

$$\varepsilon = \Delta U / \Delta T, \quad (1)$$

где ΔU – падение напряжения p - n -перехода; ΔT – изменение температуры.

Аналогичным образом в целях сравнения был исследован светодиод. В эксперименте был использован зелёный светодиод, который загорается при напряжении в диапазоне от 2 до 3,5 В. С ВАХ, которые были получены для светодиода при тех же температурах, можно ознакомиться на рис. 4.

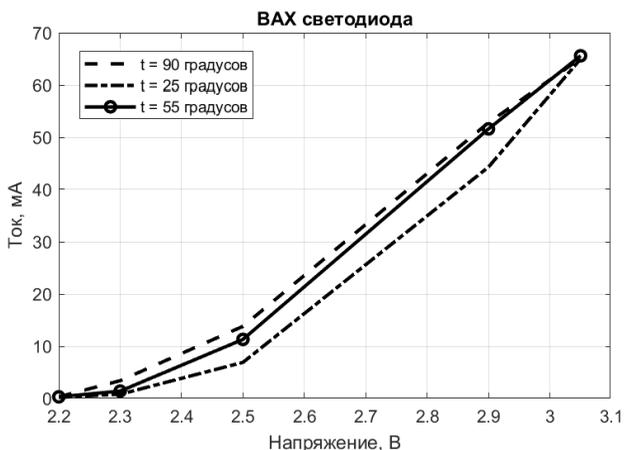


Рис. 4. Полученные ВАХ светодиода при температурах 25, 55 и 90 °C

Как видно из рис. 4, при повышении температуры светодиод теряет яркость излучаемого света при той же силе тока. Также можно заметить, что при повышении температуры напряжение, которое необходимо для горения светодиода, снижается. Это происходит из-за того, что с повышением температуры p - n -перехода яркость светодиода падает, потому что уменьшается внутренний квантовый выход из-за влияния колебаний кристаллической решетки [1].

Исходя из проведённого эксперимента, можно сделать следующие выводы: при помощи способа, который был применён для изучения влияния температуры на диод и светодиод, можно исследовать множество различных полупроводниковых приборов, контролируя нагрев при помощи представленного микроконтроллера и подогревающего элемента.

ЛИТЕРАТУРА

1. Влияние температуры на светодиод [Электронный ресурс]: справочная информация о светодиодах. – URL: <https://duray.ru/database/stati/svetodiiod-ustroystvo-printsip-raboty-preimushchestva/> (дата обращения: 04.02.2025).

УДК 628.9.03

АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ ЛЮМИНОФОРНЫХ КОМПОЗИЦИЙ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В СВЕТОДИОДНЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ

М.А. Афанасьев, Р.Г. Герасимов,

М.В. Славкин, аспиранты каф. РЭТЭМ

*Научный руководитель В.С. Солдаткин, доцент каф. РЭТЭМ, к.т.н.
г. Томск, ТУСУР, roman.gerasimov.1999@list.ru*

Люминофоры – это вещества, люминесцирующие под действием различного рода возбуждений, они способны преобразовывать поглощаемую энергию, например электрическую, ультрафиолетовую или рентгеновскую, в световое излучение. Они находят широкое применение в различных отраслях, включая производство светодиодов (LED), экранов, медицинского оборудования, систем безопасности и даже в аэрокосмической промышленности. Качество и характеристики люминофоров напрямую влияют на эффективность и долговечность устройств, в которых они используются. Проводится сравнительный анализ люминофорных композиций от отечественных производителей, таких как ООО «СПЕЦМАТЕРИАЛ», «ЛидерЛайт», ЗАО «НПФ «Люминофор», АО «Монокристалл». Основное внимание уделяется таким параметрам, как спектр излучения, эффективность преобразования света, температурный диапазон.

Ключевые слова: светодиоды, люминофор, освещение, люминесценция.

Определение люминофора основывается на понятии люминесценции. Люминесценция – это излучение, которое превышает тепловое излучение тела и сохраняется дольше, чем период световых колебаний. Первая часть этого определения подчеркивает, что люминесценция отличается от свечения нагретых объектов, так как люминофоры излучают свет без нагрева, что называется «холодным светом». Вторая часть определения помогает отличить люминесценцию от других видов свечения, таких как отражение и рассеяние света, тормозное излучение заряженных частиц и излучение Вавилова–Черенкова. Все эти виды свечения прекращаются сразу после отключения источника возбуждения, в то время как люминесценция продолжается некоторое время после этого [1].

Люминофоры представляют собой сложные химические соединения, которые могут быть как органическими, так и неорганическими. Их ключевые характеристики включают:

- спектр излучения: диапазон длин волн, который люминофор способен излучать. Это может быть видимый свет (синий, зеленый, красный) или невидимые диапазоны (ультрафиолетовый, инфракрасный);
- эффективность преобразования энергии: отношение количества излучаемой энергии к поглощаемой. Высокая эффективность означает меньшее количество тепловых потерь;
- температурный диапазон: пределы температуры, при которых люминофор сохраняет свои свойства. Это особенно важно для устройств, работающих в экстремальных условиях;
- срок службы: время, в течение которого люминофор сохраняет свои свойства без значительной деградации.

Эти параметры варьируются в зависимости от химического состава люминофора и технологии его производства. Далее рассмотрим особенности люминофоров от различных производителей. После рассмотрения особенностей будет приведена таблица с детальным сравнением люминофоров от всех рассмотренных производителей по ключевым параметрам: эффективность преобразования света, цветовая температура, температурный диапазон, срок службы, спектр излучения и стоимость.

Цель работы – выявить наиболее подходящие образцы люминофоров для дальнейшего исследования.

Для достижения поставленной цели составлена таблица, в которой сравнивается ряд производителей люминофоров по интересующим показателям.

Сравнение люминофоров от всех рассмотренных производителей по ключевым параметрам

Производитель	Длина волны, нм	Цветовая температура, К	Эффективность преобразования света, %	Срок службы, ч	Температурная стабильность, °С
ЗАО НПФ «Люминофор»	560–580	2 700–4 500	До 93	До 50 000	До 150
АО «Монокристалл»	550–570	3 000–5 000	До 95	До 60 000	До 200
ООО «СПЕЦМАТЕРИАЛ»	565–585	2 500–4 000	До 90	До 70 000	До 300
«ЛидерЛайт»	560-580	3 000–5 000	До 88%	До 50 000	До 150

Проводя дальнейшее сравнение производителей, можно выделить некоторые отличительные особенности:

- ЗАО НПФ «Люминофор» [2] и АО «Монокристалл» [3] наиболее успешны в показателях по эффективности преобразования света;
- ООО «СПЕЦМАТЕРИАЛ» нацелены на эксплуатацию своей продукции в экстремальных условиях, так как их заявленная температурная стабильность по показателям сильно превосходит остальных производителей;
- «ЛидерЛайт» [4] более универсальный производитель и предлагает широкий и доступный выбор своей продукции, которая не во многом уступает по показателям остальным фирмам.

Заключение. В ходе анализа установлено, что российские производители люминофоров, а именно компании АО «Монокристалл» и ЗАО «НПФ «Люминофор», наиболее подходят для проведения дальнейших исследований, так как они в сравнении с остальными совмещают в себе лучшие показатели, имеют стабильное развивающееся производство, а также привлекают своей ценой и удобством в приобретении.

ЛИТЕРАТУРА

1. Неорганические люминофоры / О.Н. Казанкин, Л.Я. Марковский, И.А. Миронов, Ф.М. Пекерман, Л.Н. Петошина. – Л.: Химия, 1975. – 192 с.
2. ЗАО НПФ «Люминофор». – Ставрополь [Электронный ресурс]. – URL: <https://luminophor.ru/about/> (дата обращения: 01.03.2025).
3. Дочерняя компания промышленного концерна «Энергомера». Монокристалл [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.monocrystal.ru/> (дата обращения: 01.03.2025).
4. Компания по производству светодиодных светильников (LED) – leadlight [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.leadlight.ru/?ysclid=m8vchr6kcx849374575> (дата обращения: 01.03.2025).

УДК 621.3.032.35+628.9

МАКЕТИРОВАНИЕ СВЕТОДИОДА С ПОЛНОСПЕКТРАЛЬНЫМ ЛЮМИНОФОРМ *Н.В. Амбарникова, аспирант ОМ ИШНПТ НИ ТПУ, сопр. АО «НИИПП»*

*Научный руководитель Е.Ф. Полисадова, проф. ОМ ИШНПТ
НИ ТПУ, д.ф.-м.н.*

По разработанной методике проведены исследования компонентов люминофорной композиции. Отобранные по спектру излучения образцы использовались при создании светодиода с полноспектраль-

ным люминофором. Измерены качественные характеристики макета светодиода.

Ключевые слова: спектр излучения, люминофор, светодиод.

Рынок отечественных светодиодов многообразен по световой отдаче, индексу цветопередачи и КЦТ. Производители открыто представляют характеристики светодиодов на официальном сайте компании и в сопроводительной документации, где приводят типичные спектры излучения своей продукции. При анализе спектра наблюдаются провалы в зелёной и циановой области.

Задачи, поставленные в данной работе, – создать макет светодиода с полноспектральным люминофором, охватив все значимые области в спектре излучения; выбрать по разработанной методике исследований компоненты отечественного производства; интегрировать люминесцентную YAG:Ce керамику [1, 2] в композицию.

По разработанной методике исследований анализировался 21 образец люминофора разных цветов свечения. На ри. 1 представлена блок-схема измерений. В кювету, диаметр и высота которой составляли 5 мм, трамбовался порошок, после чего образец помещали напротив спектрорадиометра CS-2000A на расстоянии около 6,5 см на одной оптической оси. Под углом 45° на удалении 6 см размещался светодиод с длиной волны 451 нм. На основе проведённых исследований были отобраны 4 образца люминофора.

Образец YAG:Ce керамики «332» выделяется из группы спечённой керамики по яркости свечения [2], спектр излучения имеет широкую форму с максимумом 535 нм. Светодиод, в котором данный люминофор преобразовывал синий свет в белый, показал хорошие результаты на ресурсных испытаниях; деградации и изменений спектра люминофора не наблюдалось [3].

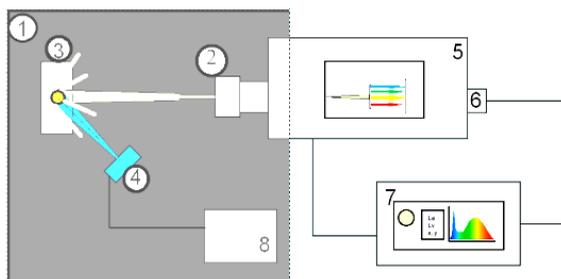


Рис. 1. Блок-схема измерений: 1 – светонепроницаемый короб; 2 – линза-насадка; 3 – образец; 4 – светодиод с узкой линзой; 5 – спектрорадиометр CS-2000A; 6 – CCD-камера; 7 – ПК; 8 – источник питания СД

В качестве зелёного преобразующего звена выбран образец «FLZ8» со среднеширокой формой спектра и пиком в 520 нм. Красный компонент представлен образцом «L625S» с максимумом длины волны 620 нм. При промежуточном анализе будущих компонентов полноспектрального люминофора определено, что есть нехватка в жёлтой области спектра; дополнительным источником жёлтого света выбран люминофор «FLS540» с максимумом длины волны 555 нм. На рис. 2 представлены спектры отражённой энергетической яркости, полученные по разработанной методике для отобранных образцов при одинаковых условиях эксперимента.

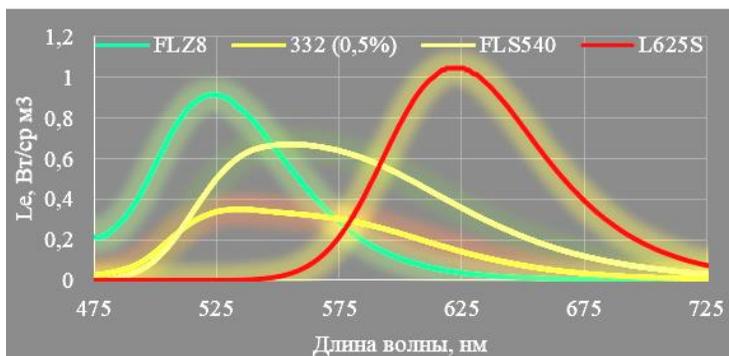


Рис. 2. Спектр люминесценции образцов по данным отражённой яркости

При макетировании светодиода произведён подбор компонентов люминофорной композиции в разных пропорциях, результат представлен в табл. 1. Основой заливочной смеси послужил оптически прозрачный компаунд OE-6636. Корпус светодиода выбран стандартный, SMD5050. «Синий» чип – экспериментальный образец производства АО «НИИПП» с пиковой длиной волны 447 нм.

Таблица 1

Концентрация компонентов люминофора				
OE-6636	332	FLS540	FLZ8	L625S
85%	6%	4%	4%	1%

Спектр излучения макета светодиода представлен на рис. 3. Очевидно, что провал в циановой области данными компонентами нивелировать не удалось.

Проведены ресурсные испытания макета для оценки влияния времени и температуры на цветовые параметры и световую отдачу.

Результаты испытаний, полученные при постоянном прямом токе 125 мА и температуре 40 °С, представлены в табл. 2.

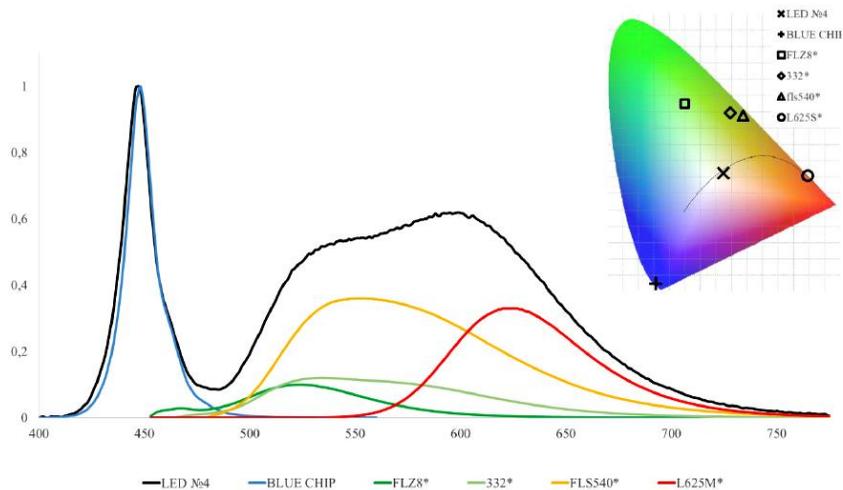


Рис. 3. Спектр излучения макета светодиода

Таблица 2

Результаты испытаний макета

Время, ч	Световая отдача, лм/Вт	ССх	ССу	КЦТ, К	CRI
0	68,2	0,3703	0,3596	4 169	81,1
250	67,2	0,3723	0,3627	4 130	81,2
415	65,8	0,3723	0,3628	4 130	81,2

В результате проделанной работы определено, что полученный макет светодиода с полноспектральным люминофором требует доработки в циановой области. В процессе наработки световая отдача снизилась на 3%, координаты цветности и КЦТ без весомых изменений.

Исследование выполнено за счёт гранта Российского научного фонда № 23-73-00108, <https://rscf.ru/project/23-73-00108/>

ЛИТЕРАТУРА

1. Electron Beam-Assisted Synthesis of YAG:Ce Ceramics / Z.T. Karipbayev, V.M. Lisitsyn, M.G. Golkovski et al. // Materials. – 2023. – Vol. 16, No. 11. – P. 4102. DOI: 10.3390/ma16114102.
2. Амбарникова Н.В. Исследование спектра люминесценции YAG:Ce керамики // Proceedings of 9th International Congress on Energy Fluxes and Radiation Effects (EFRE-2024) – Tomsk : Academizdat Publishing, 2024. – P. 1286–1290. DOI:10.56761/EFRE2024.R4-O-020301.

3. Амбарникова Н.В. Создание светодиода с использованием люминофора YAG:Ce, полученного методом радиационного синтеза // Электронные средства и системы управления: матер. докладов Междунар. науч.-практ. конф.: в 2 т. – Томск: В-Спектр (ИП В.М. Бочкарева), ТУСУР, 2024. – Т. 1. – С. 225–227.

УДК 621.382.2

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РАЗЛИЧНЫХ МОНТАЖНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ТЕПЛОВОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ СВЕТОИЗЛУЧАЮЩИХ ДИОДОВ

В.Д. Бархатова, О.П. Мелентьева, магистранты каф. ФЭ
Научный руководитель С.В. Смирнов, проф. каф. ФЭ, д.т.н.
г. Томск, ТУСУР, e-mail: serafim.smirnov@mail.ru

Приводится сборка светоизлучающих диодов с применением различных монтажных материалов и разработанного кристалла красного цвета свечения, сравнение методов монтажа, а также влияние монтажных материалов на тепловые характеристики светодиодов.

Ключевые слова: SMD, светоизлучающий диод, кристалл красного цвета свечения, монтажный материал, тепловое сопротивление.

Применение SMD-технологий широко используется в данный период времени. Их преимущество с точки зрения монтажа на печатные платы заключается в миниатюрности и компактности изделия, что позволяет обеспечить высокую плотность монтажа и производительность [1–3]. В связи с этим для увеличения надежности SMD светодиодов необходим эффективный отвод тепла от $p-n$ -перехода кристалла за счет уменьшения теплового сопротивления $p-n$ -перехода – корпус.

Целью данной работы является сравнение методов монтажа светоизлучающих кристаллов в корпус и исследование влияния монтажных материалов на тепловые характеристики светоизлучающих диодов.

Для сборки светодиодов использовались корпуса типоразмера 3,5×2,8 мм завода АО «Завод «МАРС» (г. Торжок), а также разработанные и изготовленные светоизлучающие кристаллы на основе гетероструктуры ПДИ*М*660*10*р*7,0*130 фирмы «Мега Эпитех» (г. Калуга). Внешний вид кристаллов красного цвета свечения представлен на рис. 1.

Сборка проводилась двумя разными методами: посадкой кристаллов в корпус на паяльную пасту МЭФ «ОНИКС» 7140 (Россия), на токопроводящий клей DIEMAT DM6032Hk-SD/J182 (Япония). Вы-

бор монтажных материалов обусловлен теплопроводностью, которая для обоих материалов составляет 60 В/м·К (табл. 1).

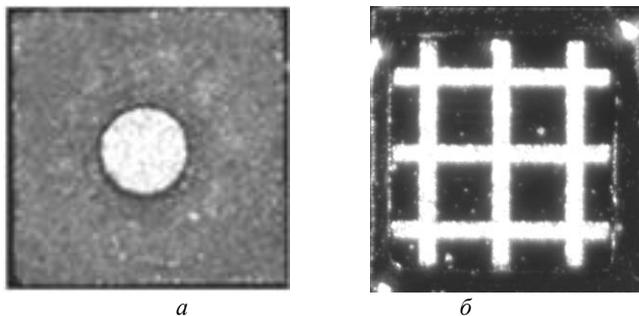


Рис. 1. Внешний вид кристалла: *a* – *n*-контакт; *б* – *p*-контакт

Таблица 1

Основные характеристики приведенных монтажных материалов

Название	Состав	Время открытой выдержки, мин	Температура оплавления / Полимеризации, °С / время
Паяльная паста МЭФ «ОНИКС» 7140	62% олово; 36% свинец; 2% серебро	30	210–235 / 5 мин
Токопроводящий клей DIEMAT DM6032Hk-SD/J182	86–95% серебро; 5–10% C12 H24 O3; 2–8% C14H20O6	180	175 / 45 мин 200 / 30 мин 225 / 15 мин

Алгоритм сборки светоизлучающего диода представлен на рис. 2.

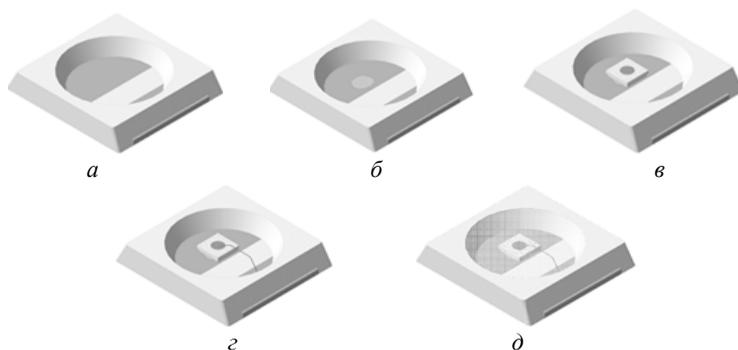


Рис. 2. Алгоритм сборки светоизлучающего диода:

a – очистка от загрязнений; *б* – нанесение монтажного материала; *в* – посадка кристалла; *г* – разварка вывода; *д* – заливка компаундом

Сравнивая два метода сборки светодиодов поверхностного монтажа, можно сказать следующее: процесс оплавления паяльной пасты занимает меньше времени, чем полимеризация токопроводящего клея. Но при этом в результате оплавления кристалл, посаженный на паяльную пасту, может сместиться под расплавленной каплей монтажного материала. При посадке кристалла на токопроводящий клей смещения не происходит из-за особенности состава и способа монтажа, что является преимуществом данного метода.

Было проведено исследование влияния монтажных материалов на тепловое сопротивление светодиодов.

Средние значения тепловых параметров собранных светодиодов представлены в табл. 2.

Таблица 2

Средние значения тепловых параметров собранных светодиодов

Монтажный материал	U , В	P , мВт	$P_{из}$, мВт	$T_{к3}$, °С	T_{p-n} , °С	R_T , °С/Вт
Паяльная паста	2,63	263	11,11	29,56	39,41	39,05
Токопроводящий клей	2,51	251	10,01	29,95	35,73	23,98

По рассчитанным данным можно заметить, что тепловое сопротивление на 38,6% меньше у светодиодов, кристаллы которых посажены на токопроводящий клей. Такой результат связан с особенностью материала, при котором p -контакт кристалла, посаженного на токопроводящий клей, полностью покрыт им после полимеризации в отличие от паяльной пасты, которая после оплавления контактирует только с металлизацией p -контакта.

Рекомендуемым материалом для посадки кристаллов в корпус является токопроводящий клей, так как он способствует лучшему отводу тепла от кристалла и имеет более простой способ монтажа.

ЛИТЕРАТУРА

1. Туркин А. Полупроводниковые светодиоды: история, факты, перспективы // Полупроводниковая светотехника. – 2011. – № 5. – С. 28–32.
2. Волков В. Светодиоды красного цвета свечения // Светодиоды, светодиодные кластеры и сборки. – 2014. – № 4. – С. 20–24.
3. Преимущества поверхностного монтажа светодиодов [Электронный ресурс]: сайт САИТ. – URL: <https://sant-smt.ru> (дата обращения: 24.03.2024).

ЦВЕТОВАЯ ТЕМПЕРАТУРА КАК ФАКТОР ВЛИЯНИЯ НА ВОСПРИЯТИЕ ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ

А.А. Черкашина, студентка

Научный руководитель Т.Г. Коржнева, доцент Ом ИШНПТ, к.т.н.

г. Томск, НИ ТПУ, shanshina229@mail.ru

Исследовано биодинамическое освещение и его влияние на восприятие пищи и эмоциональное состояние посетителей в местах общественного питания, таких как рестораны и кафе. Особое внимание уделяется влиянию цветовой температуры света на самочувствие и визуальную привлекательность пищи. Представлены результаты эксперимента, проведенного в Томском политехническом университете, где изучалось воздействие различных цветовых температур (от 2 700 до 6 000 К) на восприятие продуктов питания. Исследование показало, что теплый свет (до 4 000 К) делает еду более аппетитной, тогда как холодный свет (выше 4 000 К) снижает её визуальную привлекательность. На основе полученных данных сделан вывод о важности правильного освещения для создания комфортной атмосферы в ресторанах и улучшения обеденного опыта посетителей.

Ключевые слова: цветовой температура, освещенность, общественные пространства, восприятие пищи, эмоциональное состояние, ресторанное освещение, светодиодное освещение, визуальная привлекательность, психоэмоциональное воздействие света.

Посещение ресторана в наше время уже не сводится лишь к процессу поглощения пищи. Это стало целым комплексом впечатлений, который стремится создать уютную атмосферу, поднять настроение и удовлетворить ожидания гостей. Более того, это формирование незабываемых моментов, которые остаются в памяти надолго. Среди множества факторов, влияющих на восприятие еды, таких как совместный прием пищи, ароматы, цветовые решения и физическое окружение, особое внимание исследователей привлекает освещение.

Два ключевых аспекта внутреннего освещения, которые чаще всего подвергаются анализу, – это уровень освещенности и коррелируемая цветовая температура (КЦТ). Освещенность, измеряемая в люксах (лк), демонстрирует количество света, которое попадает на поверхность. В то время как КЦТ, выражаемая в шкале Кельвина (К), помогает определить цвет освещения: высокие значения указывают на синий, «холодный» свет, который способствует повышению бодрствования и концентрации, что делает его идеальным для утренних и дневных часов, а низкие – на желтый, «теплый» свет, способствующий

щий расслаблению и подготовке ко сну, что делает его предпочтительным для вечернего времени [1].

Исследования показывают, что освещение не просто создает атмосферу – оно может оказывать значительное влияние на продолжительность и объём приёма пищи. Сравнение яркого и приглушённого света демонстрирует, что мягкое освещение способствует созданию более комфортной обстановки. В таких условиях люди склонны проводить больше времени за столом и, следовательно, потреблять больше еды [2].

Для комфортного пребывания в помещениях, таких как рестораны, рекомендуется использовать освещение с цветовой температурой в диапазоне 3 000–4 000 К. Это помогает замедлить утомление и поддерживать уровень активности на среднем уровне. Цветовая температура также влияет на восприятие блюд. Например, для продуктов питания рекомендованы определенные диапазоны ЦТ, такие как 2 800–3 500 К для мяса и молочной продукции, что способствует более привлекательному представлению этих блюд [3].

Цветовая температура может оказывать влияние и на восприятие вкусовых предпочтений. Например, теплый свет подходит для мясных ресторанов, создавая уютную атмосферу, холодный белый свет рекомендуется для рыбных ресторанов, подчеркивая свежесть продуктов, а нейтральный дневной свет используется в вегетарианских ресторанах, чтобы выделить сочность и насыщенность овощей [4].

Освещение становится не просто фоном, а важным фактором, влияющим на наше восприятие пищи и общее впечатление от приёма пищи. Поиск комфортных и приятных условий освещения, используя цветовую температуру и освещенность, представляет собой одну из основных задач в области исследований освещения.

Для экспериментального исследования влияния цветовой температуры и освещенности в Томском политехническом университете была собрана осветительная установка, которая позволяет изменять цветовую температуру освещения от 2 700 до 6 000 К и освещенность от 0 до 550 лк. Источником света служит светодиодная лента RT-A120-8mm 12V White-MIX (9.6 W/m, IP20, 2835, 5m), включающая в себя сочетание светодиодов теплого и холодного свечения. Управление освещением осуществлялось с помощью контроллера SMART-K22-MIX. На рис. 1 представлена блок-схема разработанного светового прибора.

Осветительная установка использовалась для экспериментального исследования влияния цветовой температуры на восприятие пищи, в котором различные продукты – фрукты, хлебобулочные изделия и

готовое блюдо (картофельное пюре с котлетой) – освещались при цветых температурах 2 700, 3 000, 4 000, 5 000 и 6 000 К. Продукты фиксировались камерой, а затем участникам был предложен онлайн-опрос для оценки их визуальной привлекательности. В исследовании приняло участие 44 человека (52,3% женщин и 47,7% мужчин) в возрасте от 18 до 55 лет.



Рис. 1. Блок-схема светового прибора [5]

Как вы думаете, насколько цветовая температура освещения влияет на то, как вы воспринимаете еду?

42 ответа

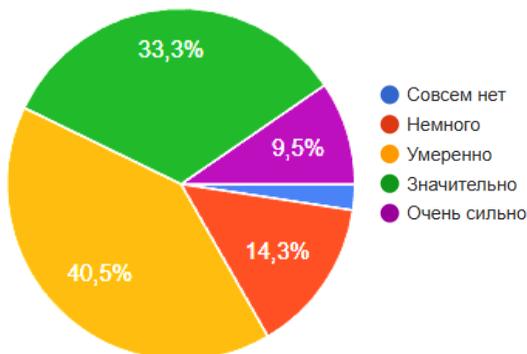


Рис. 2. Результаты опроса участников эксперимента

Результаты исследования на рис. 2 показали, что 40,5% опрошенных считают цветовую температуру умеренно влияющей на восприятие пищи, а 57,1% отметили, что теплое освещение делает еду более аппетитной. Вопрос о привлекательности продуктов выявил, что 47,7% участников не сочли фрукты при 6 000 К привлекательными, в то время как 70,5% отметили, что хлеб при 3 000 К выглядит «достаточно привлекательно». Что касается готового блюда, то 50% респондентов не заинтересовались картофельным пюре с котлетой при 6 000 К, в то время как 65,9% нашли его привлекательным при 2 700 К.

Эксперимент показал, что цветовая температура до 4 000 К способствует восприятию пищи как «достаточно» или «очень привлека-

тельной». Однако повышение температуры выше 4 000 К негативно сказывается на визуальной привлекательности продуктов, что может повлиять на обеденный опыт в ресторанах. На основе проведенных исследований можно сделать вывод, что освещение и его характеристики, включая цветовую температуру, играют ключевую роль в создании атмосферы ресторана, эмоционального состояния посетителей и восприятия вкуса и качества еды. Это подчеркивает важность освещения как инструмента для владельцев ресторанов, стремящихся создать уникальный и запоминающийся обеденный опыт для своих клиентов.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 25-28-20162, <https://rscf.ru/project/25-28-20162/>.

ЛИТЕРАТУРА

1. Густова А.Ю. Влияние освещения на психоэмоциональное и физическое состояние человека / А.Ю. Густова, Д.С. Строганова, Д.А. Ивашевич // Особенности развития региональной архитектуры: сб. статей междунар. науч.-практ. конф. – Брест, 2021. – С. 160–166.

2. Wansink В. Environmental factors that increase the food intake and consumption volume of unknowing consumers // Annual review of nutrition 24. – 2004. – P. 455–479.

3. Ендиярова Н.В. Разработка рекомендаций по системам освещения мест общественного питания / Н.В. Ендиярова, Н.В. Толстоба // Светотехника. – 2021. – № 5. – С. 22–28.

4. Слугина Н.А. Особенности освещения в создании светового образа интерьера ресторана // Наука, образование и экспериментальное проектирование: тезисы докл. междунар. науч.-практ. конф. профессорско-преподавательского состава, молодых ученых и студентов, Москва, 03–07 апреля 2023 г. – М.: Моск. архитектурный ин-т, 2023. – 381 с.

5. Шачнева П.В. Осветительная установка для улучшения условий труда работников офиса / П.В. Шачнева, В.А. Колесникова // Наука. Технологии. Инновации: сб. науч. трудов: в 8 ч. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2025. – Ч. 3. – С. 111.

УДК 628.9.037

ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЙ ИСТОЧНИК БЕЛОГО СВЕТА С ВЫСОКИМ ИНДЕКСОМ ЦВЕТОПЕРЕДАЧИ

*И.Ф. Гарипов, н.с. лаб. ИОР каф. ФЭ,
инж.-технолог АО «НИИПП»*

г. Томск, ТУСУР, АО «НИИПП», ivan.f.garipov@tusur.ru

Показаны результаты разработки образца полупроводникового светодиода белого цвета свечения с индексом цветопередачи (далее –

CRI) более 90. Показано, что применение в конструкции двух кристаллов и смеси красного и желтого люминофоров позволяет получить светодиоды с CRI > 90 в широком диапазоне цветовых температур.

Ключевые слова: светодиод, CRI.

В современной светотехнике при уже существующем множестве конструктивных и технологических решений в производстве светодиодов белого цвета свечения не теряет актуальности задача по достижению высоких характеристик цветности [1]. В разрезе решения данной задачи одной из важнейших проблем является достижение высокого значения CRI. Целью данной работы является разработка варианта конструкции и технологии изготовления полупроводникового светодиода, который обеспечивает высокий CRI при достаточно высоком заполнении спектра излучения.

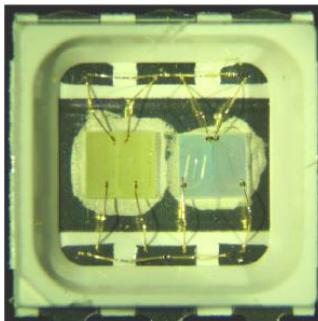


Рис. 1. Используемые светодиодные кристаллы, установленные в общий корпус

При изготовлении полупроводникового светодиода с высоким CRI были реализованы следующие технические решения:

- источником излучения являлась светодиодная сборка из кристаллов синего и зеленого цветов свечения, установленных в пластиковый корпус 5050 (рис. 1) [2];

- ток потребления используемых светодиодных сборок был стабилизирован на уровне 700 мА для получения максимальных световых показателей;

- в качестве преобразователя цвета была применена люминофорная композиция из смеси красного (LP650N1-R) и желтого (L4500 S) люминофоров в соотношении 1 к 9;

- в качестве связующего использовался оптический компаунд OE 6636.

С использованием указанной люминофорной смеси и оптического компаунда была подобрана линейка люминофорных составов в широком диапазоне цветовых температур (таблица)

**Цветовые характеристики светодиодов
с использованием примененной люминофорной смеси**

Концентрация смеси люминофоров в компаунде, %	Световой поток, Лм	Световая эффективность, Лм/Вт	x	y	Цветовая температура, К	CRI
7	177,29	70,55	0,32	0,32	6409,5	88,2
8	164,41	65,79	0,32	0,34	5846,9	90,1
9	132,43	54,52	0,33	0,35	5637,3	94,6
10	147,01	61,05	0,38	0,37	4469,3	94,4
11	149,67	59,72	0,39	0,40	3906,1	93,7

Результаты проведенных измерений показали, что наибольший индекс CRI был достигнут при содержании в компаунде 9% люминофорной композиции из смеси люминофоров L4500 S и LP650N1-R, взятых в соотношении 9 к 1. На рис. 2 приведен спектр излучения данного полупроводникового светодиода с наибольшим CRI.

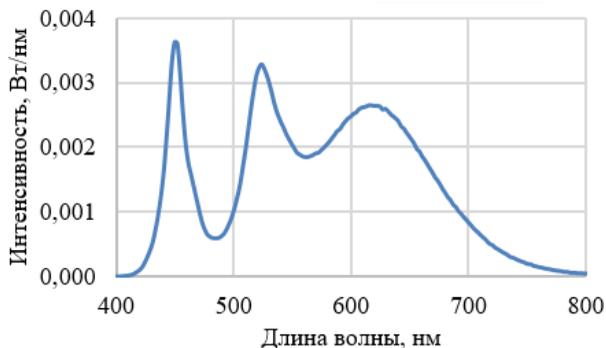


Рис. 2. Спектр излучения полупроводникового светодиода с наибольшим CRI

Таким образом, была подобрана линейка рецептов, позволяющих получать светодиоды с высоким CRI в широком диапазоне температур цветности.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках проекта FEWM 2024-0004.

ЛИТЕРАТУРА

1. Nair G.B. A review on the advancements in phosphor-converted light emitting diodes (pc-LEDs): Phosphor synthesis, device fabrication and

characterization / G.B. Nair, H.C. Swart, S.J. Dhoble // Progress in Materials Science. – 2020. – Vol. 109. – P. 100622.

2. Разработка полупроводникового источника белого света с высоким индексом цветопередачи / Ю.С. Жидик, И.Ф. Гарипов, С.Р. Карпов, М.А. Романова, П.Е. Троян // Прикладная физика. – 2024. – № 6. – С. 81–88.

УДК 628.9

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ОСВЕЩЕНИЯ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА УЧЕБНЫЙ ПРОЦЕСС СТУДЕНТОВ

В.А. Колесникова, студентка

*Научный руководитель С.Б. Туранов, доцент каф. ОМ, к.т.н.
г. Томск, УВ ТПУ, vak134@tpu.ru*

Рассмотрено влияние спектров освещения на когнитивные функции студентов и их физиологическую реакцию. На основе экспериментов выявлено, что свет оказывает неоднозначное действие, зависящее от индивидуальных особенностей. Полученные результаты подтверждают значимость применения интеллектуального освещения в образовательной среде.

Ключевые слова: когнитивные функции, адаптивное освещение, образовательная среда, цветовые спектры.

Современные исследования в области светотехники, когнитивной нейробиологии и эргономики образовательной среды подтверждают, что параметры искусственного освещения оказывают влияние на физиологические и когнитивные процессы человека [1]. Спектральные характеристики света, его интенсивность и цветовая температура играют ключевую роль в регуляции циркадных ритмов, когнитивной активности и эмоционального состояния учащихся [2, 3]. Однако, несмотря на это, в большинстве образовательных учреждений применяются стандартные системы освещения на основе газоразрядных источников света, управлять которыми практически невозможно. Значит и реализовать учет индивидуальных биоритмов и физиологических потребностей студентов тоже нельзя. В связи с этим целью данной работы является анализ влияния различных спектров света на когнитивные функции студентов, а также разработка адаптивной интеллектуальной системы освещения, способной динамически подстраиваться под потребности учащихся в течение дня.

Первым шагом для разработки интеллектуальной системы освещения является определение ее базовых параметров. Для этого необходимо проведение комплексных исследований по выявлению особенностей воздействия светоцветовой среды на человека. В качестве

основы исследования, в данной работе были выбраны три квазимонохроматических режима освещения: красный (625 нм), зелёный (525 нм) и синий (470 нм).

Для проведения эксперимента было разработано интеллектуальное осветительное устройство, включающее светодиодные источники с регулируемыми спектральными характеристиками. Испытуемые проходили серию специализированных тестов на оценку когнитивных процессов. В ходе эксперимента с помощью нагрудного датчика фиксировалась частота сердечных сокращений для анализа физиологической реакции. Анализ проводился по времени прохождения тестов и обратной связи от участников эксперимента (на основе заполнения анкет).

В процессе эксперимента было проведено 16 тестов с различными участниками. Часть результатов представлена в таблице и на рис. 1.

Сводные данные по прохождению тестов

№ уч-ка	Возраст	Пол	Мин. пульс, уд. / мин	Макс. пульс, уд. / мин	Ср. пульс, уд. / мин	Время тестов, с
Зелёный свет						
1	19	Ж	77	98	86	210
2	20	М	86	109	96	217
3	19	Ж	72	96	82	220
Красный свет						
1	19	Ж	77	97	86	246
3	20	М	77	105	91	219
4	19	Ж	67	102	80	242
Синий свет						
1	19	Ж	81	111	93	255
2	20	М	79	102	88	214
3	19	Ж	70	107	83	252

Анализ данных показал, что зелёный свет оказал наименее выраженное влияние на пульс. Красный свет вызывал умеренное увеличение среднего пульса участников, что может быть связано с его стимулирующим действием. При синем свете получены неоднозначные результаты: у одних участников пульс увеличивался, у других – снижался, что указывает на индивидуальные различия в восприятии этого цвета.

Если оценивать время прохождения тестов, то видно, что при зелёном освещении участники выполняли тесты быстрее всего, что может свидетельствовать о комфортных условиях. Красный и синий свет, в основном, приводили к увеличению времени на прохождение

тестов. При этом стоит отметить, что девушки показали более выраженные изменения пульса и времени теста по сравнению с мужчинами, что может указывать на гендерные особенности реакции на цветное воздействие и требует дополнительных исследований.

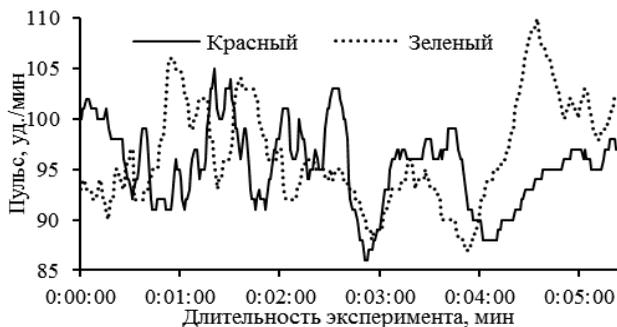


Рис. 1. Пульс участников во время эксперимента при разном освещении

Полученные результаты подчёркивают необходимость разработки и внедрения интеллектуальных систем освещения, адаптирующихся под биологические ритмы учащихся. Оптимальная комбинация спектральных характеристик света в учебных аудиториях может существенно повысить когнитивную продуктивность студентов, снизить уровень усталости и улучшить общие условия обучения. В дальнейшем планируется расширение исследования для определения долгосрочного воздействия адаптивного освещения на когнитивное здоровье учащихся и оптимизации алгоритмов динамической настройки спектра света в образовательных учреждениях.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 25-28-20162, <https://rscf.ru/project/25-28-20162>.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шаракшанэ А. Влияние освещения на циркадный ритм человека, «опасность синего света» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://led-e.ru/wp-content/uploads/1852.pdf>, свободный (дата обращения: 17.03.2025).
2. Effects of colored lights on an individual's affective impressions in the observation process / X. Xie, J. Cai, H. Fang, X. Tang, T. Yamanaka [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.frontiersin.org/journals/psychology/articles/10.3389/fpsyg.2022.938636/full>, свободный (дата обращения: 17.03.2025).
3. Effect of warm/cool white lights on visual perception and mood in warm/cool color environments / R. Shahidi, R. Golmohammadi, M. Babamiri, J. Faradmal, M. Aliabadi [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.frontiersin.org/journals/psychology/articles/10.3389/fpsyg.2022.938636/full>, свободный (дата обращения: 17.03.2025).

РАЗРАБОТКА СВЕТОДИОДНОГО КРИСТАЛЛА КРАСНОГО ЦВЕТА СВЕЧЕНИЯ

*В.Д. Бархатова, О.П. Мелентьева, магистранты каф. ФЭ
Научный руководитель С.В. Смирнов, проф. каф. ФЭ, д.т.н.
г. Томск, ТУСУР, serafim.smirnov@mail.ru*

Представлены технологический маршрут изготовления светодиодных кристаллов на основе AlGaAs красного цвета свечения с длиной волны 660 нм и измерение основных параметров.

Ключевые слова: светодиодный кристалл, красный цвет свечения кристалла, AlGaAs, технологический маршрут изготовления светодиодного кристалла, текстурирование поверхности светодиодного кристалла.

Одним из наиболее востребованных цветов при изготовлении различного рода оборудования, подсветок, рекламных баннеров и т.д. является красный. Спрос на красные светодиоды достаточно высок. В связи с этим создание светодиода красного цвета свечения на основе отечественного материала AlGaAs с использованием SMD-технологии является актуальной темой для дальнейшего применения в качестве индикаторов в радиоэлектронной аппаратуре гражданского и военного назначения. Такие светодиоды также будут иметь ряд технологических преимуществ с точки зрения монтажа на печатные платы (возможность монтажа по обе стороны платы), обеспечение высокой плотности монтажа и производительности [1].

Для разработки и изготовления вертикальной конструкции кристалла красного светодиода использовалась готовая гетероструктура ПДИ*М*660*10*р*7,0*130 фирмы «Мега Эпитек» (г. Калуга), изготовленная на основе AlGaAs. Данная компания является единственным отечественным производителем красных полупроводниковых структур, изготавливаемых методом жидкофазной эпитаксии.

Этапы технологического маршрута изготовления вертикального светодиодного кристалла на упрощенной 3D-модели структуры: 1) очистка поверхности подложки (рис. 1, а); 2) осаждение диэлектрической пленки с двух сторон (рис. 1, б); 3) фотолитография (ФЛ) № 1: формирование окон в маскирующем слое для последующего создания контакта к *n*-слою (рис. 1, в); 4) травление диэлектрического покрытия под контактные площадки к *n*-области (рис. 1, г); 5) формирование контакта к *n*-области (рис. 1, д); 6) ФЛ № 2: формирование окон в маскирующем слое для последующего создания контакта к *p*-области (контакты изготавливаются по всей площади кристалла для лучшей

электропроводности); 7) травление диэлектрической пленки (рис. 1, *е*); 8) электрохимическое осаждение металла для контактов к *p*-области (рис. 1, *жс*); 9) ФЛ № 3: формирование маскирующего слоя для создания мезы (рис. 1, *з*); 10) травление пластины до слоя *p*-типа с целью формирования дорожек для резки на кристаллы (рис. 1, *и*); 11) термическое окисление поверхности (рис. 1, *к*) для создания защитного покрытия в области *p-n*-перехода; 12) травление SiO₂: формирование защитного кольца при текстурировании поверхности (рис. 1, *л*); 13) алмазно-отрезная резка пластины на кристаллы; 14) химическое текстурирование поверхности кристалла (рис. 1, *м*) для повышения коэффициента оптического вывода светодиодов [2].

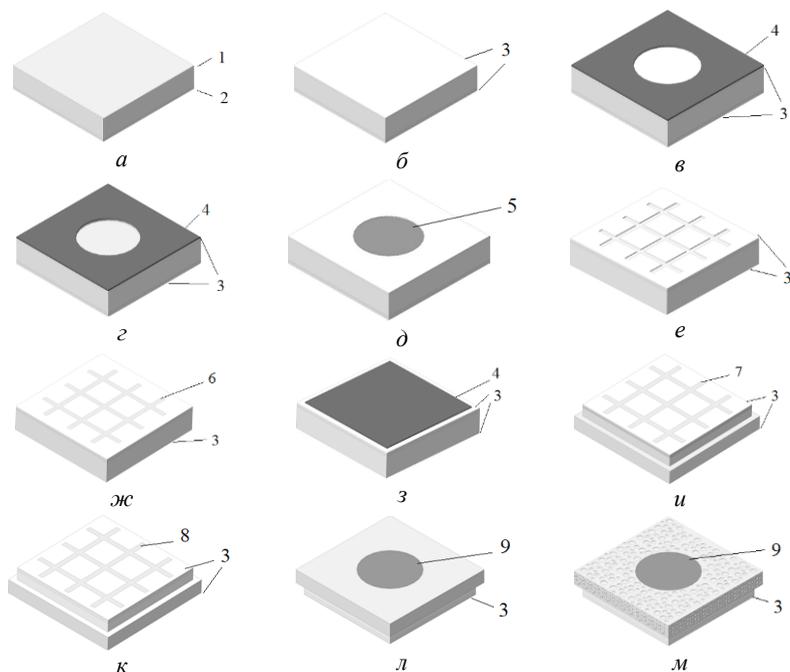


Рис. 1. Технологический маршрут изготовления отечественного светодиода красного цвета свечения: 1 – *n*-AlGaAs; 2 – *n*-AlGaAs; 3 – SiO₂; 4 – ФР-маска; 5 – Au/Ge-Ni/Au; 6 – Au/Au-Zn; 7 – Au/Au-Zn+Au/Ni/Au; 8 – Au/Ni/Au+Zn-Au/Au; 9 – Au/Ge-Ni/Au

Было отобрано 10 кристаллов с текстурированной и нетекстурированной поверхностью и проведена отбраковка по вольт-амперной характеристике. Ниже представлена таблица с измеренными параметрами.

Измеренные оптические и электрические параметры кристаллов

Номер кристалла	Кристаллы с нетекстурированной поверхностью			Кристаллы с текстурированной поверхностью		
	$I = 20$ мА	$I = 100$ мА		$I = 20$ мА	$I = 100$ мА	
	$U, В$	$U, В$	$P_{из}, мВт$	$U, В$	$U, В$	$P_{из}, мВт$
1	1,85	2,25	7,52	2,04	2,52	8,81
2	2,05	2,43	7,72	2,05	2,47	8,22
3	2,02	2,60	7,52	1,97	2,49	9,21
4	1,79	2,16	7,22	2,11	2,61	9,22
5	1,98	2,37	6,22	2,01	2,46	9,10
Среднее значение	1,94	2,36	7,24	2,04	2,51	8,91

По измеренным данным было обнаружено, что напряжение при 20 и 100 мА выше у кристаллов с текстурированной поверхностью, их мощность излучения при 100 мА больше, чем у кристаллов с нетекстурированной поверхностью, на 18,7%. Это связано с тем, что текстурированная поверхность способствует большему количеству оптического вывода излучения наружу, так как лучи света при многократном отражении от границ полупроводника имеют большую вероятность достичь определенного критического угла, при котором не будет полного внутреннего отражения испускаемого излучения и поглощения света вглубь кристалла.

Основные характеристики светодиодных кристаллов красного цвета свечения: $U_{пр} \leq 2,2 В$, $I_{раб} = 20 мА$, $\lambda = 659 нм$, $R_T = 23,983 °С/Вт$, $P_{из} \geq 8,22 мВт$.

ЛИТЕРАТУРА

1. Волков В. Светодиоды красного цвета свечения // Светодиоды, светодиодные кластеры и сборки. – 2014. – № 4. – С. 20–24.
2. Исследование методов текстурирования светодиодов на основе гетероструктур AlGaAs/GaAs / Малевская А.В. и др. // Физика и техника полупроводников. – 2021. – № 55 (11). – С. 1086–1090.

УДК 628.8

МОДЕЛИРОВАНИЕ ИНСЕКТИЦИДНОГО ОБЛУЧАТЕЛЯ

*Т.С. Михальченко, аспирант каф. РЭТЭМ;
В.С. Солдаткин, доцент каф. РЭТЭМ, к.т.н.
г. Томск, ТУСУР*

Описана актуальность борьбы с летающими насекомыми. Изложены результаты оптического моделирования инсектицидного облучателя на основе УФ-диодов. По результатам оптического модели-

рования установлено, что площадь действия предлагаемого инсектицидного облучателя на основе УФ-диодов составляет 15 м².

Ключевые слова: инсектицидный облучатель, летающие насекомые, УФ-диоды, оптическое моделирование, принцип работы инсектицидного облучателя на основе УФ-диодов.

В Томской области, как и в других регионах России, можно встретить несколько видов летающих насекомых, которые могут нанести вред людям, животным, растениям или функционированию экосистем. Ниже представлены рейтинг вредных летающих насекомых, обитающих в этом регионе, их описание и методы борьбы с ними.

Рейтинг вредных летающих насекомых в Томской области:

– Комар обыкновенный (*Culex pipiens*). Комары не только доставляют дискомфорт своим укусом, но и являются переносчиками различных заболеваний, таких как вирус Западного Нила и другие инфекционные болезни. Методы борьбы: использование репеллентов, установка сеток на окна и двери, использование аэрозолей и ловушек, а также устранение мест размножения (стоячая вода).

– Мухи (например, комнатная муха – *Musca domestica*). Мухи могут переносить патогенные микроорганизмы, которые вызывают болезни пищевого происхождения. Они могут заражать пищу и другие поверхности, на которые садятся. Методы борьбы: поддержание чистоты в помещениях, использование липких лент, инсектицидов, закрытие мусорных контейнеров, установка мухозащитных сеток.

– Сорные мухи (например, плодовая мушка – *Drosophila melanogaster*). Эти насекомые могут повреждать плоды и овощи, способствуя их гниению и снижению урожая. Методы борьбы: удаление загнивших плодов и овощей, использование ловушек с ферментами и химическими препаратами [1].

При использовании инсектицидов важно соблюдать меры предосторожности, чтобы избежать ущерба для здоровья людей и домашних животных. Эффективным методом борьбы с мухами является применение специализированных ловушек или ультрафиолетовых ламп [2]. Технология, основанная на использовании специальных устройств с УФ-излучателями для приманки и уничтожения насекомых, может стать одним из действенных способов борьбы с переносчиками заболеваний [3].

Разработан инсектицидный облучатель. Устройство имеет корпус круглой формы и включает как минимум один полупроводниковый излучающий модуль, который служит световой приманкой для насекомых и расположен в центре корпуса на опорах, закрепленных к нему. Корпус прикреплен к прямоугольной конструкции, внутри ко-

торой находится крыльчатка, соединенная с электромотором. Перед крыльчаткой установлена сетка, а под ней размещен контейнер для насекомых. Внутренний контур корпуса оснащен УФ-диодами с длиной волны 275 нм (Р 3.5.1904-04). В нижней части корпуса, в прямоугольной конструкции, расположен источник питания для ультрафиолетовых диодов и светодиодного модуля, а на поверхности прямоугольной конструкции находится кнопка для включения и выключения инсектицидного антибактериального полупроводникового облучателя [4].

На рис. 1 показана 3D-модель в программе КОМПАС 3D.



Рис. 1. 3D-модель в программе КОМПАС 3D

Программа «DIALux» предоставляет возможность разрабатывать разнообразные сценарии освещения с учетом геометрии помещения, типов светильников, их расположения и световых характеристик. С ее помощью можно оптимизировать освещение в помещениях, обеспечивая комфорт и безопасность для людей, а также учитывая энергоэффективность и экономичность использования осветительных приборов.

На рис. 2 представлены 3D-модели инсектицидного облучателя в программе «DIALux».



Рис. 2. 3D-модели инсектицидного облучателя в программе «DIALux»

Исследования в области компьютерного моделирования демонстрируют, что разрабатываемое устройство эффективно работает в пределах площади 15 м². Это открывает возможность его применения без необходимости использования химических реагентов, что является значительным преимуществом с точки зрения безопасности для здоровья людей и домашних животных [5].

Кроме того, отсутствие необходимости в дополнительных липких лентах и сетях под напряжением, а также в газоразрядных лампах упрощает эксплуатацию устройства и снижает затраты на его использование.

Таким образом, можно сделать вывод, что данное устройство представляет собой экологически безопасное и эффективное решение для борьбы с насекомыми в заданной зоне покрытия, что может способствовать более широкому применению подобных технологий в будущем.

ЛИТЕРАТУРА

1. Характеристики и сферы использования ультрафиолетовых светодиодов [Электронный ресурс]. – URL: <https://ratingservices.ru/lighting/ultrafiolotovye-svetodiody-princip-raboty-sfery-primeneniya.html> (дата обращения: 03.03.2025).

2. Патент 2671096 С2. Севастьянов В.Г., Павелко Р.Г., Антипов А.В., Ермаков В.А., Симоненко Е.П., Кузнецов Н.Т., Каблов Е.Н.; Осветительная система для борьбы с насекомыми: опуб. 29.10.2018 г. [Электронный ресурс]. – URL: https://yandex.ru/patents/doc/RU195408U1_20200127?ysclid=lxexils76ci478321467 (дата обращения: 12.02.2025).

3. Инсектицидные лампы – санитарно-гигиеническое оборудование, без которого не обойтись [Электронный ресурс]. – URL: <https://apachlab.ru/articles/insektitsidnye-lampy-sanitarno-gigienicheskoe-oborudovanie-bez-kotorogo-ne-oboitis/> (дата обращения: 01.03.2025).

4. Влияние ультрафиолетового излучения на микроорганизмы в водной среде / Т.С. Михальченко, А.О. Шардина, Л.Ш. Юлдашова, В.С. Солдаткин // Электронные средства и системы управления: матер. докл. междунар. науч.-практ. конф.: матер. докл.: в 2 т. – Томск: В-Спектр, 2019. – № 2. – С. 24–26.

5. Техническое решение и анализ современных инсектицидных полупроводниковых устройств / Т.С. Михальченко, А.О. Лазарева, Л.Ш. Юлдашова, Е.В. Шнайдер // Электронные средства и системы управления: матер. докл. междунар. науч.-практ. конф.: в 2 т. – Томск: В-Спектр, 2022. – Т. 2. – С. 24–26.

ВЛИЯНИЕ ЦВЕТОВОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ОСВЕЩЕНИЯ НА КОГНИТИВНЫЕ ФУНКЦИИ

П.В. Шачнева, студентка

Научный руководитель С.Б. Туранов, доцент ОМ, к.т.н.

г. Томск, НИ ТПУ, pvs22@tpu.ru

Проведены эксперименты, подтверждающие, что изменение цветовой температуры освещения оказывает воздействие на когнитивные функции. Зависимость реакции человека устанавливалась при оценке количества ошибок, производительности, времени выполнения заданий.

Ключевые слова: циркадные ритмы, биодинамическое освещение, цветовая температура, когнитивные функции.

Урбанизация населения Российской Федерации сопровождается увеличением времени, проводимого людьми в условиях искусственного освещения. В таких условиях осуществляется выполнение широкого спектра задач, включая профессиональную деятельность, бытовые обязанности и образовательные процессы. Уже в начале XXI в. научное сообщество начало активно изучать влияние освещения на различные аспекты жизнедеятельности человека. Исследования демонстрируют, что посредством невизуальных реакций освещение способно модулировать выработку ключевых гормонов, а также влиять на функционирование нервной и иммунной систем [1, 2]. В данной области накоплены обширные данные, однако единые закономерности не выявлены. Это связано с индивидуальными различиями в восприятии света и необходимостью комплексного подхода к изучению его воздействия.

Чтобы установить единые режимы освещения, были проведены эксперименты на исследовательской установке с возможностью регулирования цветовой температуры излучения от 2 700 до 6 000 К [3]. На данном этапе удалось получить промежуточные результаты исследований. Для оценки когнитивных способностей использовались тесты. Время прохождения этих тестов испытуемым в зависимости от цветовой температуры источника света показано на рис. 1. Таким образом, следует отметить, что самое короткое время решения заданий присуще холодному спектру свечения 6000 К, в то время как при 4 000 К время эксперимента достигает наибольшего значения. Скорость решения при холодном освещении может говорить о том, что при таком свете человеку проще собраться, сконцентрироваться и работать в максимальном темпе.

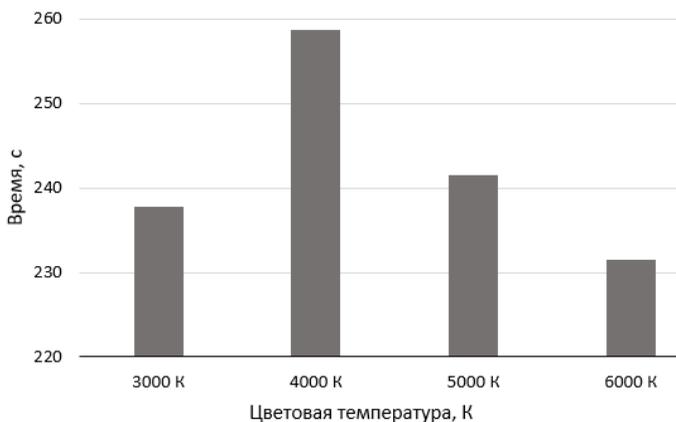


Рис. 1. Продолжительность эксперимента

В ходе каждого эксперимента испытуемые оценивали предполагаемую длительность тестирования без использования секундомера. Как показано на рис. 2, в большинстве случаев участники переоценивали затраченное время при всех значениях цветовой температуры. Значения на графике получены путем вычитания среднего времени личного восприятия и среднего времени реального решения теста. Заметим, что при 3 000 К наблюдается наибольшее расхождение. Субъективное ощущение увеличенного времени может способствовать повышенной утомляемости, так как человек воспринимает процесс как более длительный, чем он есть на самом деле. Кроме того, часть испытуемых отмечала сонливость при данной цветовой температуре.

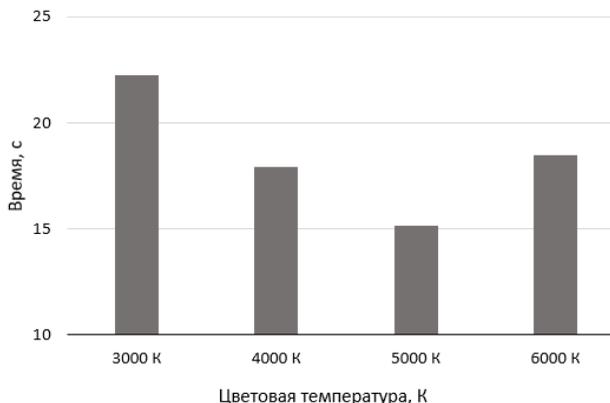


Рис. 2. Разница между ощущениями испытуемого и реальным временем продолжительности эксперимента

Помимо прохождения тестов, касающихся когнитивных способностей, испытуемым предлагалось проходить субъективные опросы состояния. Из наиболее ярких результатов этих тестов следует отметить:

- ухудшение общего самочувствия и повышенную умственную нагрузку отмечали чаще при 6 000 К;
- желание закрыть глаза было наиболее высоким при 3 000 К;
- наименьшую эффективность испытывали чаще при 5 000 К.

Анализируя предварительные результаты, можно сделать вывод, что при холодном освещении испытуемые демонстрировали наибольшую продуктивность, однако испытывали повышенное напряжение. В то время как при теплом освещении они испытывали увеличенное течение времени и повышение сонливости.

Также стоит отметить, что была замечена индивидуальная реакция людей на освещение в зависимости от типа, выполняемого теста. Это может говорить о необходимости создания интеллектуальной системы освещения, которая могла бы подстраивать свои параметры под конкретного человека. Для выдвигания рекомендаций на основе результатов экспериментов необходимо увеличить количество статистических данных для более точного выявления закономерностей. Кроме того, оптимальные режимы освещения необходимо формулировать исходя из больших комплексных исследований, анализирующих не только изменение цветовой температуры, но и других параметров освещения.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 25-28-20162, <https://rscf.ru/project/25-28-20162>.

ЛИТЕРАТУРА

1. Schlangen L.J.M. The Lighting Environment, Its Metrology, and Non-visual Responses / L.J.M. Schlangen, L.L.A. Price [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.frontiersin.org/journals/neurology/articles/10.3389/fneur.2021.624861/full>, свободный (дата обращения: 28.02.2025). DOI: 10.3389/fneur.2021.624861.

2. Different human physical responses of visual performance within daylighting and artificial lighting / J. Shi, Q. Liang, L. Jin, T. Luo, B. Yang, Q. Pan, S. Zhang, P. Xue [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352710225001226>, свободный (дата обращения: 15.02.2025). DOI: 10.1016/j.job.2025.111886.

3. Шачнева П.В. Осветительная установка для улучшения условий труда работников офиса / П.В. Шачнева, В.А. Колесникова // Наука. Технологии. Инновации: сб. науч. трудов: в 8 ч. / под ред. Е.В. Захаровой. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2025. – Ч. 3. – С. 111.

**ОБЛУЧАТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ
НА ОСНОВЕ СВЕТОИЗЛУЧАЮЩИХ ДИОДОВ
ДЛЯ ВЫРАЩИВАНИЯ РАСТЕНИЙ**

Е.А. Чемоданова, В.С. Якунина, студентки;

А.О. Лазарева, аспирант каф. РЭТЭМ;

В.С. Солдаткин, доцент каф. РЭТЭМ, к.т.н.

*Проект ГПО КАФ-РЭТЭМ-2501. Облучательные приборы на основе
светоизлучающих диодов для выращивания растений
г. Томск, ТУСУР, alena.o.lazareva@tusur.ru*

Были разработаны облучательные устройства на основе УФ-диодов с длиной волны 365 нм для дополнительного освещения растений. Ожидается, что экспериментальная проверка предложенных решений позволит улучшить показатели продуктивности и качества выращиваемых культур в тепличных условиях.

Ключевые слова: фотосинтез, растения, защищенный грунт, светодиодное освещение, ультрафиолетовое излучение, флавоноиды, опыление, энергоэффективность, плотность фотосинтетического потока фотонов (PPF), теплицы.

Фотосинтез растений представляет собой ключевой биологический процесс, обеспечивающий образование органических веществ из углекислого газа и воды под воздействием света. Климатические особенности значительной части территории России ограничивают возможность круглогодичного выращивания свежих овощей и зелени в открытом грунте, что делает необходимым использование сооружений защищенного грунта. В последние годы традиционные газоразрядные натриевые лампы, применяемые в теплицах, уступают место облучательным приборам на основе светодиодов (LED), которые обладают повышенной эффективностью и долговечностью. LED-системы способны обеспечить необходимую плотность фотосинтетического потока фотонов (PPF) в требуемом спектральном диапазоне, что критически важно для разных стадий вегетации растений.

Известно, что фотосинтез – это сложный химический процесс, способность растений и некоторых животных образовывать органические вещества, используя оптическое излучение с выделением кислорода (ГОСТ Р 58461–2019) [1]. В России из-за разнообразия климатических условий, невозможно обеспечить круглогодичное производство свежих овощей и зелени, что подчеркивает необходимость использования защищённых сооружений для их выращивания. Для успешного круглогодичного культивирования сельскохозяйственных

растений крайне важно внимательно следить за такими параметрами, как температура, влажность, уровень освещения, полив, удобрение и вентиляция. Создание оптимальных условий для круглогодичного роста растений, независимо от внешнего климата, требует обеспечения стабильных значений температуры, влажности, освещенности, своевременного полива и подкормки, а также качественной вентиляции. Современные научные и технологические достижения позволяют организовать все необходимые условия для автономного выращивания сельскохозяйственных культур, независимо от климатических факторов.

В настоящее время в теплицах, работающих круглый год, активно используются газоразрядные натриевые лампы типа ДНаТ (ДНаЗ), которые обладают фотосинтетической эффективностью около 2,0 мкмоль/Дж и сроком службы до 25 000 ч. Однако на смену натриевым лампам в промышленных теплицах приходят светильники на основе светодиодов, которые демонстрируют фотосинтетическую эффективность свыше 3,0 мкмоль/Дж и могут функционировать до 80 000 ч [2]. Эти инновации способствуют улучшению условий для роста растений и повышению урожайности. Переход на светодиоды может привести к более эффективному использованию электроэнергии и снижению затрат на освещение в теплицах, что является важным фактором для устойчивого сельского хозяйства.

Стандартная спектральная плотность энергетической освещенности солнечного излучения АМ 1.5 [3] показана на рис. 1.

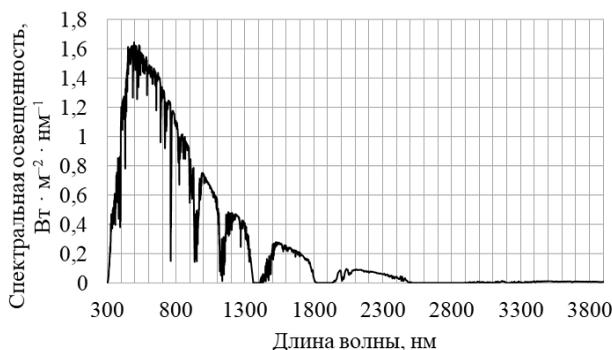


Рис. 1. Стандартная спектральная плотность энергетической освещенности солнечного излучения АМ 1.5

Для каждого периода вегетации растений присвоены величины поглощения излучения на различных длинах волн в зависимости от клеточной структуры. Параметром, характеризующим отношение фо-

тосинтетического потока фотонов, падающего на малый участок поверхности, к площади этого участка, является плотность фотосинтетического потока фотонов – PPF, (мкмоль /с). Именно значение PPF определяет требования к параметрам облучательного прибора для выращивания конкретного вида растений. Фотосинтетический поток считают в диапазоне длин волн от 400 до 700 нм, так как этот поток доходит до биоценозов солнечной радиации. Облучающие приборы на основе светоизлучающих диодов позволяют заменять газоразрядные лампы ДНаЗ и обеспечивают существенную экономию электроэнергии [2].

Из рис. 1 видно, что спектр солнечного излучения, помимо видимого диапазона длин волн, охватывает ультрафиолетовую (УФ) и инфракрасную (ИК) области оптического спектра. Ультрафиолетовое (УФ) излучение является естественным фактором, оказывающим влияние на различные объекты в природе, включая прорастание семян и рост растений.

Это излучение играет ключевую роль в биосинтезе вторичных метаболитов, таких как флавоноиды, которые не только улучшают вкус и питательную ценность растений, но и способствуют увеличению их урожайности.

Флавоноиды представляют собой группу растительных соединений, обладающих мощными антиоксидантными свойствами. Они широко распространены в растениях и играют важную роль в их защите от стресса, включая УФ-излучение.

Флавоноиды могут защищать растения от повреждений, вызванных УФ-излучением, благодаря своим свойствам поглощать свет и нейтрализовать свободные радикалы. В природе существует более 8 000 видов флавоноидов – фенольных соединений, объединённых общей структурной особенностью в виде фенольного (ароматического) кольца. Флавоноиды служат биологической защитой растений от воздействия ультрафиолетового излучения [4].

Известно, что опылению растений в тепличных хозяйствах способствуют шмели [5]. Для эффективного опыления растений шмелям требуется УФ-облучение в диапазоне 300–400 нм.

По результатам анализа научно-технической информации выбраны УФ-диоды (длина волны 365 нм, потребляемая мощность 3 Вт) и спроектированы облучательные приборы для УФ-досветки растений. Планируется повторить эксперименты с дополнительным использованием облучательных приборов на основе УФ-диодов и сопоставить полученные результаты [2].

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ Р 58461–2019. Освещение растений в сооружениях защищенно-го грунта. Термины и определения. – М.: Стандартинформ. 2019. – 19 с.
2. Сравнение влияния облучательных приборов на рост и урожайность на примере огурцов сорта Мева F1 / Д.В. Былков, Д.А. Полторацкий, В.С. Солдаткин, А.О. Лазарева, А.П. Шкарупо, Е.С. Щепеткин // Фотоника. – 2023. – Т. 17, № 5. – С. 408–419.
3. ГОСТ Р МЭК 60904-3–2013. Государственная система обеспечения единства измерений (ГСИ). Приборы фотозлектрические. – Ч. 3. Принципы измерения характеристик фотозлектрических приборов с учетом стандартной спектральной плотности энергетической освещенности наземного солнечного излучения. – М.: Стандартинформ, 2014. – 89 с.
4. Официальный сайт «LEDs Magazine» [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.ledsmagazine.com/blogs/article/14038790/balance-taste-nutrition-and-crop-yield-with-uv-light-exposure> (дата обращения: 22.03.2025).
5. ЭМСП тепличных овощных культур в странах Юго-Восточной Европы. Принципы устойчивой интенсификации производства в мелких фермерских хозяйствах // Продовольственная и сельскохозяйственная Организация Объединенных Наций. – 2017. – 483 с. [Электронный ресурс]. – URL: <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/e18200d2-8d47-44ea-8d5f-11368b3efb85/content>

ПОДСЕКЦИЯ 2.8

РОБОТОТЕХНИКА

*Председатель – Коцубинский В.П., доцент каф. КСУП, к.т.н.;
зам. председателя – Шандаров Е.С., ст. преп. каф. ЭП*

УДК 62-523.2

РАЗРАБОТКА ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА ПРОМЫШЛЕННОГО МАНИПУЛЯТОРА НА БАЗЕ MATLAB SIMULINK

П.А.В. Авад, студент ОИС ИШИНЭС

*Научный руководитель Т.Е. Мамонова, доцент, и.о. зав. каф. ОИС
ИШИНЭС, к.т.н.*

г. Томск, НИ ТПУ, Paa13@tpu.ru

Представлена разработка цифрового двойника промышленного манипулятора Dobot CR3 на базе MatLab Simulink. Описаны методы создания математической модели через URDF, обеспечивающей моделирование, анализ поведения робота и тестирование алгоритмов управления. Продемонстрирована возможность интеграции цифрового двойника в концепции Industry 4.0 и Industry 5.0.

Ключевые слова: цифровой двойник, Dobot CR3, MatLab Simulink, URDF, управление роботом.

Цифровые двойники являются важным элементом современных промышленных систем, обеспечивая точное моделирование, прогнозирование и оптимизацию управления. Особенно это актуально для роботизированных манипуляторов, где высокая точность и надежность критически важны. В рамках концепций Industry 4.0 и Industry 5.0 цифровые двойники способствуют автоматизации, адаптивности и взаимодействию человека с роботом [1, 2]. В данной работе представлен подход к разработке системы управления цифрового двойника Dobot CR3 [3] в MatLab Simulink, позволяющей тестировать алгоритмы управления и синхронизировать их с реальным устройством.

Цель: создать систему управления цифрового двойника Dobot CR3, включающую: моделирование движения робота в MatLab Simulink через URDF [4]: тестирование алгоритмов до их реализации на реальном устройстве; синхронизацию двойника с физическим манипулятором.

Описание робота Dobot CR3. Dobot CR3 – это компактный промышленный манипулятор с шестью степенями свободы, предназначенный для выполнения задач точного позиционирования и манипулирования. Основные характеристики:

- рабочая зона представлена на рис. 1;
- точность позиционирования определена документацией и равна $\pm 0,2$ мм;
- интерфейсы управления: USB, Ethernet (TCP-IP).

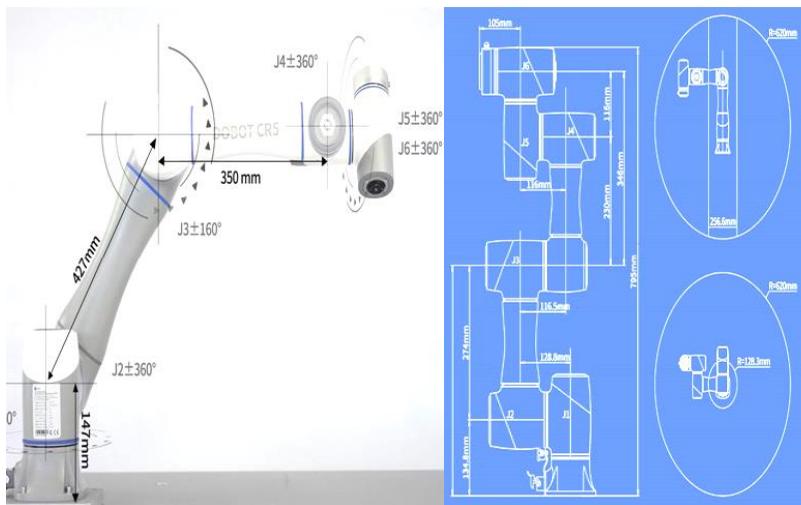


Рис. 1. Общий вид и схема робота Dobot CR3

Разработка модели цифрового двойника в MatLab Simulink

Создание кинематической модели. Для создания цифрового двойника необходимо разработать кинематическую модель манипулятора. В MatLab Simulink используются библиотека Robotics System Toolbox и URDF-файл с STL для робота (рис. 2), которые позволяют задать параметры звеньев и суставов робота [4].

Моделирование динамики. Для учета динамических свойств робота используется цифровой двойник робота Dobot CR3 в Simscape Multibody.

Разработка системы управления. Система управления цифрового двойника Dobot CR3 включает алгоритмы траекторного планирования, обратную связь по положению, графический интерфейс (GUI) в MatLab и интеграцию с реальным роботом через TCP/IP, обеспечивая точное и гибкое управление манипулятором (рис. 3).

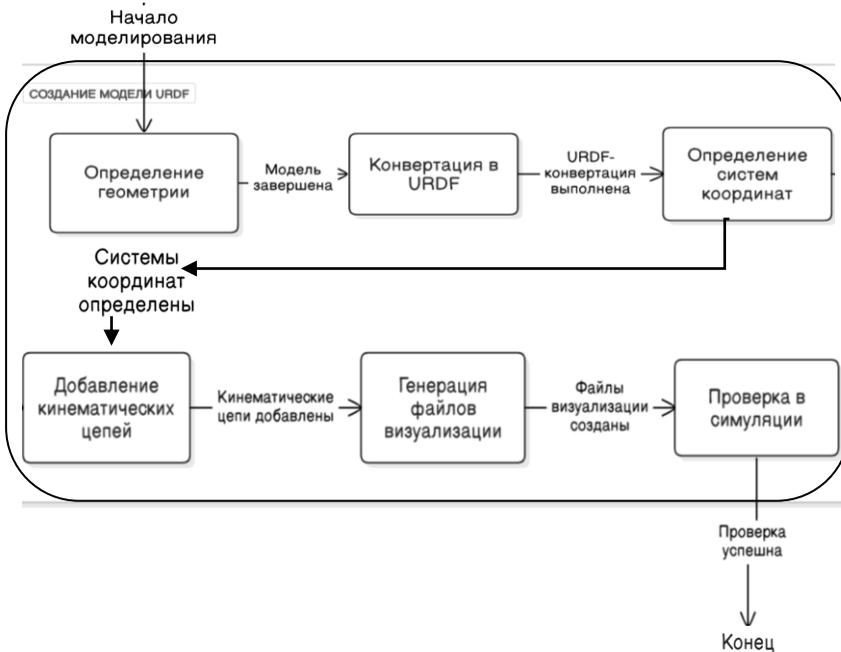


Рис. 2. Алгоритм инициализации модели робота в MatLab на основе URDF

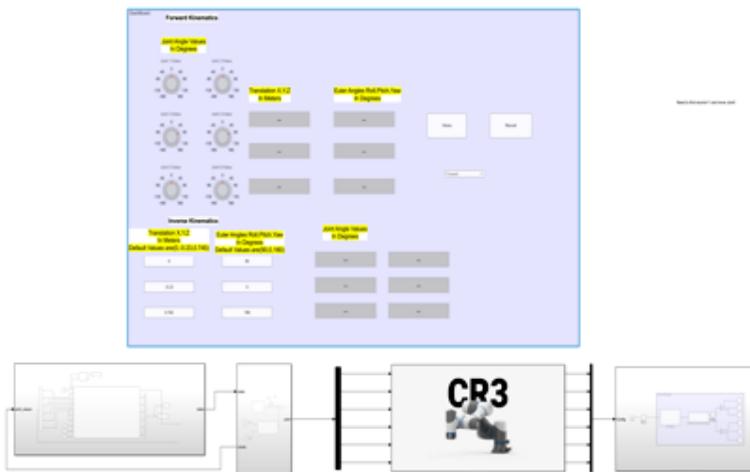


Рис. 3 (начало)

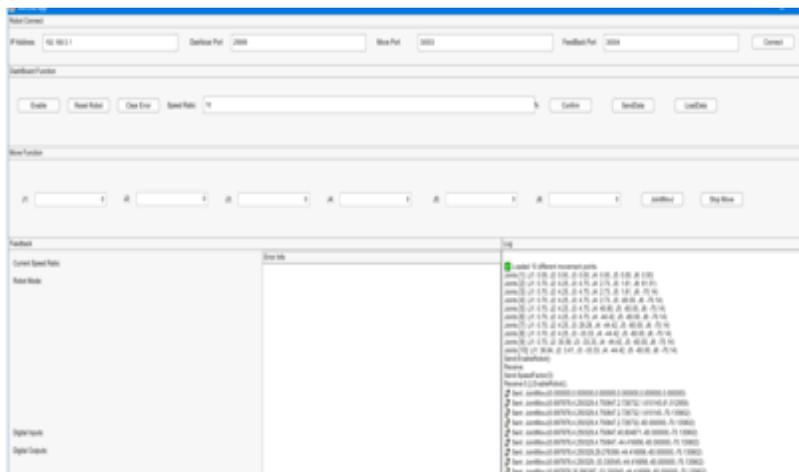


Рис. 3 (окончание). Система управления цифрового двойника промышленного манипулятора и окно графического интерфейса пользователя (GUI) для управления Dobot CR3 на базе MatLab

В ходе работы разработана кинематическая и динамическая модель Dobot CR3, реализована система управления для тестирования и оптимизации алгоритмов в виртуальной среде, обеспечена синхронизация цифрового двойника с реальным роботом для прогнозирования его поведения и корректировки параметров.

Заключение. Разработанная система управления для робота Dobot CR3 в MatLab Simulink эффективно решает задачи моделирования, тестирования и управления. Цифровой двойник повышает точность, надежность и удобство, соответствуя принципам Industry 4.0 и открывая перспективы для Industry 5.0.

Исследование поддержано проектом Национального исследовательского Томского политехнического университета (ПИШ-ОБР-2024-006).

ЛИТЕРАТУРА

1. Towards a sustainable, human-centric and resilient European industry. Industry 5.0 // European Commission. – 2021.
2. Industrial Development Report – Industry 5.0 // UNIDO. – 2023.
3. Automation and Control Systems, MEACS 2014: Conference on Mechanical Engineering. – 2014. – № 6986846.
4. Авад П.А.В. Управление пользовательским URDF-манипулятором в среде ROS / П.А.В. Авад, Т.Е. Мамонова // Proceedings of 2024 IEEE 3rd International Conference on Problems of Informatics «Electronics and Radio Engineering» (PIERE). – 2024.

СТАБИЛИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ БЕСКОЛЛЕКТОРНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПИД-РЕГУЛЯТОРА

К.Т. Ахметов, К.М. Байжуман, М.С. Толегенова

ЕНУ им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан

kairat.telektesovich@gmail.com

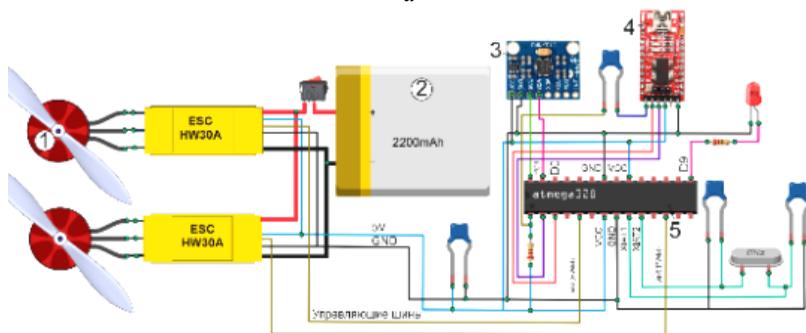
Представлены результаты практической реализации ПИД-регулятора на базе микроконтроллера Atmega328. Экспериментально установлены величины выхода ШИМ-сигнала, подаваемые на двигатели зависимости от угла наклона штанги стеновой установки. Реализована программа автоматической балансировки штанги за счет применения ПИД-регулятора.

Ключевые слова: ПИД-регулятор, микроконтроллер Atmega328, бесколлекторный двигатель, модуль MPU6050.

Для того чтобы исследовать процесс поведения работы ПИД-регулятора, необходимо в первую очередь сконструировать экспериментальную установку, представленную на рис. 1.



a



б

Рис. 1. Одноосевой стенд для настройки ПИД-регулятора (а);
схема подключения аппаратной части (б)

Данная установка состоит из двух основных частей. Первая – это конструкционная установка, на которой реализуется ПИД-регулятор, вторая – аппаратная часть. В аппаратной части основными компонентами являются программатор FTDI (4), служащий для загрузки программы в микроконтроллер Atmega328 (5), модуль MPU-6050 (3) для измерения угла наклона и исполняющие механизмы – два бесколлекторных двигателя модели A2213 (1) с пропеллерами диаметром 255 мм. Подробное подключение данного типа двигателя, а также их испытания на тягу, измерение количество оборотов и потребляемой мощности было опубликовано в работе [1].

Подключение модуля MPU-6050 с микроконтроллером и определение взаимосвязи модуля с бесколлекторным двигателем были исследованы в работе [2].

Для выявления процесса автоматического контроля и поддержки штанги на уровне нуля градусов применялся ПИД-регулятор. Главным его назначением является формирование управляющего сигнала, состоящее из трех составляющих: пропорциональной, интегральной и дифференциальной [3].

$$u(t) = P + I + D = K_p e(t) + K_i \int e(t) dt + K_d \frac{de}{dt},$$

где K_p , K_i , K_d – коэффициенты усиления пропорциональной, интегральной и дифференциальной составляющих; $e(t)$ – значение ошибки регулирования; de – изменение ошибки регулирования; dt – изменение времени.

Программный код ассоциируется с алгоритмом ПИД-регулятора, загружаемым в микроконтроллер и библиотеки подключения двигателей с модулем MPU-6050.

Измеренные данные были сняты с СОМ-порта (рис. 2). Они отображают кривые ШИМ-сигналы, передаваемые от микроконтроллера к правому (1) и левому (2) двигателям, управляющего сигнала (4), и желаемый угол, или угол установки (3). В связи с тем, что ПИД-регулятор в процессе работы все время выравнивает положение штанги к желаемому углу, равным нулю, при ручном отклонении штанги на угол -30° уменьшается управляющий сигнал (4), что способствует увеличению правого двигателя (2) на величину 1 500 мкс и выше. Это приводит к увеличению мощности двигателя, а следовательно, и числа оборотов двигателя, способствуя поднятию правой части штанги (см. рис. 2, б). Сквозность ШИМ-сигнала составляет $\sim 65\%$ при 1 500 мкс.

При отклонении левой части штанги на 30° вручную, где расположен второй двигатель, управляющий сигнал (4) увеличивается теперь, наоборот, в положительную сторону (рис. 2, в). В результате

чего возрастает ШИМ-сигнал правого двигателя (1) с уменьшением сигнала левого двигателя. В правом двигателе увеличивается его тяга, что приводит к поднятию штанги. Спустя некоторое продолжительное времени колебание штанги постепенно угасает и система приходит в состояние равновесия за счет выравнивания сигнала управления с желаемым углом (см. рис. 2, *a*). Данный диапазон, как показано на двух графиках, не конечен (см. рис. 2, *a* и *б*). Он с истечением времени может достигать конечного значения до 2300 мкс, если наклонить штангу на угол 90° . В связи с тем, что данный стенд является экспериментальным и имеет ограничение по наклону, измерить ШИМ-сигналы с обоих двигателей на заданные углы не удалось.

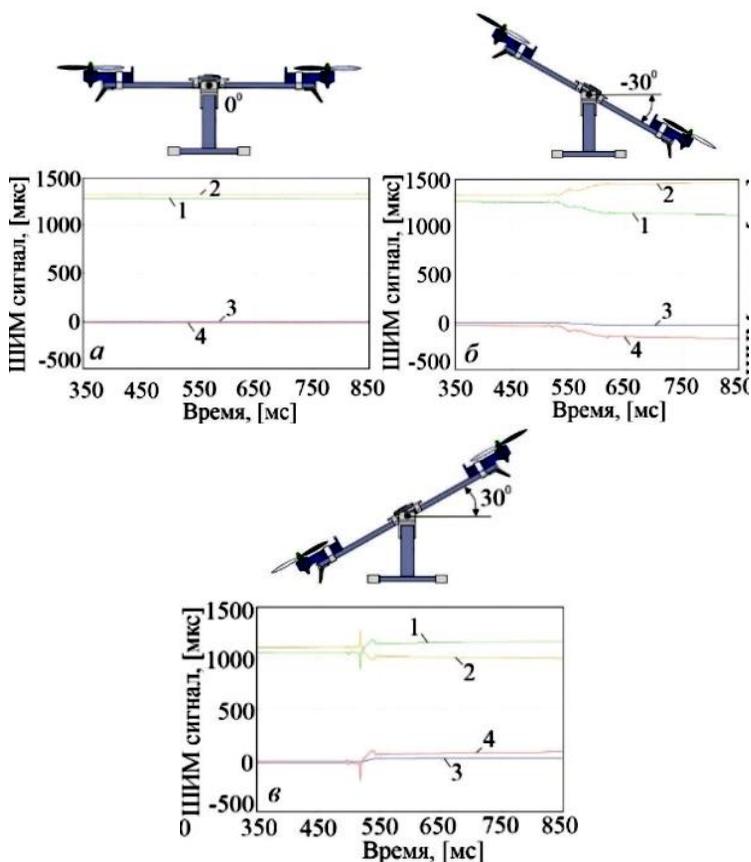


Рис. 2. Экспериментальные данные по измерению ШИМ-сигналов в зависимости от угла поворота штанги

Таким образом, полученные результаты дают основание для дальнейшего исследования с тремя степенями свободы вращения относительно собственного центра масс БПЛА. Для этого необходим иной подход к разработке алгоритма управления и применение ПИД-регулятора теперь уже на четырех бесколлекторных двигателях вместо двух. На наш взгляд, эта задача является достаточно сложной и будет исследована в дальнейших работах.

Работа выполняется при поддержке грантового финансирования Комитета науки Министерства и высшего образования Республики Казахстан (проект № AP195077/0225).

ЛИТЕРАТУРА

1. Проблемы машиностроения: современные технологии обработки, материалы, машины, агрегаты / К.Т. Ахметов, А.Б. Болатова, К.М. Байжуман, А.А. Саги // Сборник статей по матер. Всерос. науч.-практ. конф. 11–12 октября 2024 г. – Махачкала: ДГТУ, 2024. – 223 с.

2. Экспериментальное исследование управления бесколлекторным двигателем с помощью MPU6050 / К.Т. Ахметов, К.М. Байжуман, А.Б. Болатова, У.Т. Касымов // Вестник ЕНУ. – 2024. – № 4. – С. 244–255.

3. ПИД-регулятор [Электронный ресурс]. – URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/ПИД-регулятор> (дата обращения: 03.03.2024).

УДК 629.11

СИМУЛЯЦИЯ ДИНАМИКИ ПОДВЕСКИ В ПРОЕКТ CHRONO: ВАЛИДАЦИЯ МОДЕЛИ ЧЕРЕЗ СОПОСТАВЛЕНИЕ С ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫМИ ДАННЫМИ

О.А. Брылев, аспирант ОАР ИШИТР

*Научный руководитель В.И. Гончаров, проф.-консультант
ОАР ИШИТР, д.т.н.*

г. Томск, НИ ТПУ, oab12@tpu.ru

Исследование направлено на валидацию симуляционной модели подвески автомобиля в Project Chrono через сравнение с экспериментальными данными. Модель воспроизводила преодоление препятствия, а измерения проводились с помощью акселерометра на реальном автомобиле. Анализ выявил частичное соответствие данных, где расхождения обусловлены упрощениями модели и погрешностями измерений. Несмотря на ограниченную точность, симуляция применима для предварительной диагностики, но требует уточнения параметров подвески и условий контакта. Результаты показывают потенциал Project Chrono для генерации данных, сокращающих объем физических испытаний.

Ключевые слова: симуляция динамики подвески, Project Chrono, валидация модели.

Современные автомобили требуют высокой надёжности и эффективности, особенно в критически важных компонентах, таких как подвеска. Её исправность напрямую влияет на безопасность и комфорт пассажиров, устойчивость и управляемость транспортного средства. Однако разработка методов диагностики подвески требует большого объёма данных, отражающих её поведение в различных условиях. Проведение натурных испытаний хотя и обеспечивает высокую достоверность, связано с существенными временными и финансовыми затратами. В этой связи актуальной задачей становится создание цифровых симуляций, способных генерировать реалистичные данные для разработки и валидации методов диагностики подвески.

Целью данной работы является разработка и валидация симуляции подвески автомобиля, приближенной к реальным условиям, с последующим сопоставлением результатов с экспериментальными данными. В качестве среды для моделирования динамики подвески был выбран физический движок с открытым исходным кодом Project Chrono [1]. Натурные эксперименты проводились на автомобиле Acura MDX, оснащённом акселерометром на переднем амортизаторе, при преодолении препятствия ступенчатой формы. Аналогичные условия были воспроизведены в симуляции для сравнения характеристик ускорений неподрессоренной массы автомобиля.

Эксперименты проводились на автомобиле Acura MDX 2006 г. выпуска. На корпус переднего правого амортизатора был установлен инклинометр HWT906 [2], включающий трёхосевой акселерометр. Ось Z акселерометра направлена вертикально вверх, ось X – вперёд относительно автомобиля, а ось Y – влево. С помощью акселерометра измерялись ускорения неподрессоренной массы автомобиля по всем трём осям. Ускорения измеряются с частотой 600 Гц.

На пути движения колёс автомобиля было расположено препятствие в форме прямоугольного параллелепипеда высотой 5 см и шириной 14 см. Данное препятствие имитирует неровности дороги, которые возбуждают колебания в подвеске.

В начале каждого заезда автомобиль неподвижен, затем происходит его разгон и проезд неровности примерно на скорости 5–10 км/ч. Таким образом, было получено несколько наборов экспериментальных данных.

В ходе анализа полученных данных было выяснено, что ось Z акселерометра направлена вертикально с некоторой погрешностью. Об этом свидетельствуют значительные компоненты X и Y вектора свободного падения \vec{g} в статике. Для компенсации данного эффекта была задана новая система координат $X'Y'Z'$, ось Z' которой направлена в противоположную сторону от \vec{g} (рис. 1).

$$e_{Z'} = \begin{bmatrix} -g_X \\ -g_Y \\ -g_Z \end{bmatrix}, \quad e_{X'} = \frac{1}{\sqrt{g_X^2 + g_Z^2}} \begin{bmatrix} -g_Z \\ 0 \\ g_X \end{bmatrix},$$

$$e_{Y'} = e_{Z'} \times e_{X'} = \frac{1}{\sqrt{g_X^2 + g_Z^2}} \begin{bmatrix} -g_X g_Y \\ g_X^2 + g_Z^2 \\ -g_Y g_Z \end{bmatrix}.$$

Матрица преобразований из системы координат XYZ в систему координат $X'Y'Z'$ (см. рис. 1).

$$T = [e_{X'} \quad e_{Y'} \quad e_{Z'}]^T = \begin{bmatrix} \frac{-g_Z}{\sqrt{g_X^2 + g_Z^2}} & 0 & \frac{g_X}{\sqrt{g_X^2 + g_Z^2}} \\ \frac{-g_X g_Z}{\sqrt{g_X^2 + g_Z^2}} & \sqrt{g_X^2 + g_Z^2} & \frac{-g_Y g_Z}{\sqrt{g_X^2 + g_Z^2}} \\ -g_X & -g_Y & -g_Z \end{bmatrix}.$$

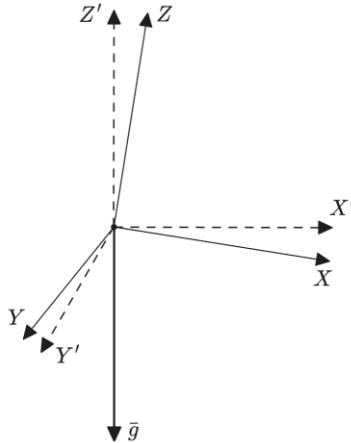


Рис. 1. Система координат акселерометра XYZ и компенсированная система координат $X'Y'Z'$

На рис. 2 приведено сравнение результатов моделирования подвески автомобиля с экспериментальными данными. Наилучшую точность удалось получить по ускорению вдоль оси X . Однако наиболее важными для диагностики подвески являются данные по оси Z .

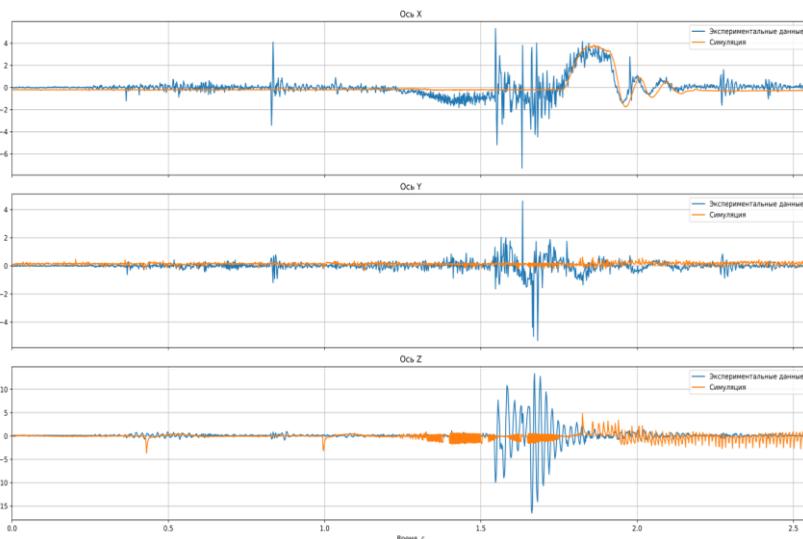


Рис. 2. Сравнение экспериментальных данных и данных симуляции (по вертикальной оси – ускорение, м/с^2 ; по горизонтальной – время, с)

ЛИТЕРАТУРА

1. Project Chrono – An Open-Source Physics Engine [Электронный ресурс]. – URL: <https://projectchrono.org/> (дата обращения: 19.03.2025).
2. High-Precision Inclinometer HWT906 1000 Hz Military-Grade Accelerometer [Электронный ресурс]. – URL: <https://witmotion-sensor.com/products/witmotion-hwt906-high-precision-10-axis-military-grade-inclinometer-sensor-3-axis-gyro-accelerometer-angle-magnetic-quaternion-built-in-sca3300-temperature-compensation-chip-ip67-waterproof> (дата обращения: 19.03.2025).

УДК 681.3

РАЗРАБОТКА МОБИЛЬНОГО ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ С ПОЗИЦИОНЕРОМ П4К *Д.Р. Ягуфаров, студент; А.А. Изюмов, ст. преп. каф. КСУП; А.Е. Карелин, доцент каф. КСУП, к.т.н.*

г. Томск, ТУСУР, anton.izyumov@gmail.com, aleksei.e.karelin@tusur.ru

Рассматривается разработка мобильного приложения для взаимодействия с позиционером П4К, применяемым в системах автоматизации технологических процессов. Основное внимание уделено проблеме сложного перепрограммирования устройства в полевых условиях и предложенному решению в виде мобильного интерфейса. Приложение позволяет контролировать состояние позиционера

и обновлять его прошивку посредством USB-соединения. Разработанное решение упрощает эксплуатацию оборудования и повышает его функциональную гибкость. Представлены ключевые этапы разработки, включая программную реализацию, выбор инструментов и тестирование работоспособности.

Ключевые слова: позиционер, мобильное приложение, автоматизация.

Современные системы автоматизации требуют гибких инструментов управления исполнительными механизмами. Одним из таких устройств является позиционер П4К, разработанный в ТЭМЗ, предназначенный для управления пневматическими приводами на запорно-регулирующей арматуре. Основная проблема эксплуатации позиционеров заключается в сложности их перепрограммирования в полевых условиях. Настоящее исследование направлено на разработку мобильного приложения, позволяющего взаимодействовать с позиционером П4К для мониторинга параметров и обновления прошивки.

Позиционер П4К – это устройство, управляющее ходом исполнительного механизма на основе входного аналогового сигнала 4–20 мА. Он применяется в системах магистральных газопроводов и компрессорных станций. Устройство оснащено ЖК-дисплеем для отображения параметров (рис. 1), а также средствами самодиагностики, позволяющими контролировать положение клапана, давление в каналах и входной ток управления.



Рис. 1. Графический индикатор

Конструктивно позиционер состоит из нескольких узлов:

- электронный блок с микропроцессорной системой управления;
- взрывозащищенная оболочка;
- клапанный блок с системой подачи воздуха;
- сенсорная панель управления.

Использование мобильного приложения позволит пользователям дистанционно получать информацию о состоянии позиционера и при необходимости обновлять его программное обеспечение.

Мобильное приложение разрабатывалось в среде Android Studio [1] на языке Java. Для обмена данными между смартфоном и позиционером использовалась библиотека `usb-serial-for-android`, обеспечивающая поддержку последовательного интерфейса USB [2]. Подключение к устройству осуществлялось через USB-Типе С и OTG-кабель (рис. 2).



Рис. 2. Передача параметров с позиционера

Приложение включает три основные функции:

1. Мониторинг параметров позиционера – приложение получает и отображает данные о положении клапана, давлении в каналах и параметрах питания.

2. Перепрограммирование устройства – реализована возможность загрузки прошивки в позиционер. Важно отметить, что обновление возможно только в первые три секунды после подачи питания.

3. Настройки подключения – интерфейс приложения предусматривает возможность регулировки скорости обмена данными и других параметров связи.

Разработанное приложение имеет интуитивно понятный графический интерфейс, который включает основное меню, окно мониторинга параметров и окно загрузки прошивки. При подключении к позиционеру пользователь получает доступ к информации в режиме реального времени, а также может инициировать процесс обновления программного обеспечения.

Заключение. В ходе исследования была разработана и протестирована мобильная система взаимодействия с позиционером П4К.

Приложение решает проблему оперативного мониторинга и перепрограммирования устройства в полевых условиях. В дальнейшем планируется доработка интерфейса для поддержки беспроводного подключения через Bluetooth и Wi-Fi, а также расширение функциональности, включая настройку регуляторов позиционера.

Разработанный инструмент представляет интерес для специалистов в области промышленной автоматизации, обеспечивая удобство эксплуатации и повышение эффективности управления технологическими процессами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Многопоточность в Java. Работа с потоками [Электронный ресурс]. – URL: <https://habr.com/ru/sandbox/167189/> (дата обращения: 28.02.2025).
2. Usb-serial-for-android [Электронный ресурс]. – URL: <https://github.com/mik3y/usb-serial-for-android> (дата обращения: 17.02.2025).

УДК 004.896

РАЗРАБОТКА ДАТЧИКОВ ЦВЕТА ДЛЯ РОБОТОТЕХНИЧЕСКОЙ ПЛАТФОРМЫ РОБОТА-СПАСАТЕЛЯ

Р.А. Корчагин, студент

Научный руководитель Е.С. Шандаров, ст. преп.

Проект ГПО ЭП-0703. Видео по запросу

г. Томск, ТУСУР, ro.ma2005stalker@gmail.com

Рассматривается вопрос разработки и программирования датчиков цвета для решения задач международного чемпионата по робототехнике RoboCup. Приведена принципиальная схема, описан принцип работы, приведены результаты испытаний.

Ключевые слова: робототехника, сенсоры, датчики, RoboCup, RoboCup.

Регламенты Международного чемпионата по робототехнике RoboCup включают в себя соревнования роботов-спасателей RCJ Rescue Line. Задачей робота является успешное прохождение полосы препятствий, обнаружение и «спасение» пострадавших. Для навигации на поле используется контрастная линия черного цвета, цветовые метки определяют маршрут робота. Таким образом, робот должен уметь определять местоположение линии и находить цветовые метки на поле. Поскольку, как правило, для построения робота-спасателя используется маломощная платформа Arduino, существует потребность в простых датчиках, определяющих цвет поверхности.

Для создания датчиков цвета мы использовали принцип цветовой модели RGB, когда исследуемый участок последовательно освещается красным, зеленым и синим источником, а интенсивность отраженного света фиксируется фотодатчиком. Затем полученные значения обрабатываются программным способом и в соответствии с выбранной цветовой моделью определяется цвет объекта.

Датчики собраны из фоторезисторов, резисторов и светодиодов красного, синего и зелёного цвета. Предусмотрено два режима работы датчиков: градации серого и RGB. Светодиоды включаются программным способом поочередно. Продолжительность засветки 10 мс. Все компоненты объединены в один модуль, интегрирующий четыре датчика цвета. Это необходимо для более точного отслеживания линии и цветовых меток.

Датчик цвета имеет 3 входа для управления светодиодами, которые подключаются к цифровым выходам микроконтроллера Arduino, и 4 выхода, которые подключаются к аналоговым портам микроконтроллера Arduino (рис. 1).

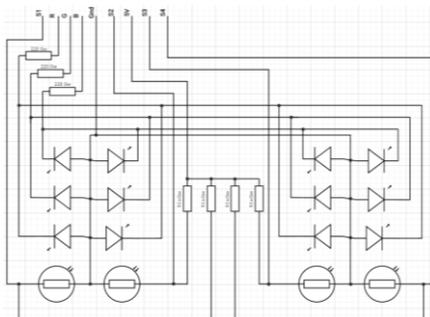


Рис. 1. Принципиальная схема датчика цвета

Обработка значений, полученных с датчика, производится с помощью микроконтроллера Arduino Uno. Для калибровки датчиков мы используем объекты белого и чёрного. Таким образом, мы получаем значения максимальной и минимальной интенсивности отраженного света.

Фоторезистор управляет током, протекающим через резисторы. Падения напряжения на резисторах обрабатываются 10-битным АЦП и после преобразования могут принимать значения от 0 до 1023. Мы нормализуем значения в диапазон 0–255 для того чтобы получить цвет в RGB-модели. Строим график зависимости полученных значений с датчика от интенсивности света в модели RGB. Зная максимальную интенсивность света, полученную с датчиков, и максимальную интенсивность света в модели RGB, находим угловой коэффици-

ент прямой. Повторяем описанные выше действия для значения красного, зелёного и синего цвета.

Цветовая модель RGB позволяет достаточно точно определить цвет, но в этой модели не получается точно установить границы определённого цвета. Для решения задач соревнования RoboCup в лиге Rescue Line гораздо важнее знать цвет объекта, чем его насыщенность, поэтому можно преобразовать модель RGB в HSV, поскольку в ней более выражены границы цветов.

Алгоритм действий для перевода RGB в HSV:

1. Значения R , G , B делятся на 255 для того, чтобы получить значения от 0 до 1.

$$R_1 = R/255, \quad G_1 = G/255, \quad B_1 = B/255.$$

2. Находим максимальное, минимальное значения R_1 , G_1 , B_1 и разницу между минимумом и максимумом.

$$C_{\max} = \max(R_1, G_1, B_1); \quad C_{\min} = \min(R_1, G_1, B_1); \quad \Delta C_{\max} = C_{\max} - C_{\min}.$$

3. Вычисляем оттенок цвета H

$$60 \cdot \left(\frac{G_1 - B_1}{\Delta C} \bmod 6 \right), \quad C_{\max} = R_1;$$

$$H = 60 \cdot \left(\frac{B_1 - R_1}{\Delta C} + 2 \right), \quad C_{\max} = G_1;$$

$$60 \cdot \left(\frac{R_1 - G_1}{\Delta C} + 4 \right), \quad C_{\max} = B_1.$$

4. Вычисляем насыщенность цвета S

$$0, \quad C_{\max} = 0;$$

$$S = \frac{\Delta C}{C_{\max}}, \quad C_{\max} \neq 0.$$

5. Вычисляем глубину цвета V

$$V = C_{\max}.$$

После преобразования цвета в HSV значения красного, жёлтого, зелёного, голубого, синего, фиолетовый цвета определяются по величине H .

Разработанные датчики цвета способны определять 6 цветов (красный, жёлтый, зелёный, голубой, синий, фиолетовый). Разработанное программное обеспечение, оформлено в виде библиотеки функций для Arduino.

Заключение. Разработанные датчики использовались в работе Photon команды с одноименным названием на чемпионате «РобоКап Россия 2024», Томск; «RoboCup Asia-Pacific 2024», Циндао, Китай. На RoboCup Asia-Pacific команда Photon заняла II место.

Секция 3

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И СИСТЕМЫ

ПОДСЕКЦИЯ 3.2

РАСПРЕДЕЛЁННЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И СИСТЕМЫ

*Председатель секции – Сенченко П.В., проректор по УРиМД,
доцент каф. АОИ, к.т.н.;*
зам. председателя – Сидоров А.А., зав. каф. АОИ, к.э.н., доцент

УДК 004.5

АКТУАЛЬНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ИНТЕГРАЛЬНОЙ ОЦЕНКИ В РАСПРЕДЕЛЕННЫХ СИСТЕМАХ СО СЛАБОЙ МОДЕЛЬЮ СОГЛАСОВАННОСТИ

В.О. Репин, аспирант каф. АОИ

*Научный руководитель А.А. Сидоров, зав. каф. АОИ, к.э.н.
г. Томск, ТУСУР, каф. АОИ, hiddenstmail@gmail.com*

Рассматривается вопрос актуальности применения интегральной оценки посредством агрегации характеристик узла распределенной системы. Поднимается вопрос применения композитной метрики для систем со слабой моделью согласованности.

Ключевые слова: мониторинг, распределенные системы, интегральная оценка.

Мониторинг широко применяется в различных сферах. Это связано с тем фактом, что он является действенным механизмом, ориентированным на непрерывное наблюдение над целевым объектом. В

отдельных случаях посредством мониторинга возможно осуществлять предиктивную аналитику на базе накопленных данных. Спектр сфер применения мониторинга достаточно широк.

В области информационных систем широкое распространение мониторинг приобрел в распределенных системах. При этом можно выделить следующие актуальные направления потенциальных исследований на базе ключевых аспектов этапов жизненного цикла его реализации:

- сбор данных;
- обработка данных;
- агрегирование данных;
- отображение или представление данных.

Основной акцент в современных работах [1–7] сделан на сборе, обработке и агрегации метрик в условиях большого количества мониторируемых параметров. В последние несколько лет постепенно приобретает актуальность вопрос комплексной оценки показателей мониторинга в условиях гетерогенности. В частности, в различных центрах обработки данных отличаются типы и модели устройств хранения и обработки данных. Различные распределенные системы (системы управления базами данных и сервера обработки данных) зачастую функционируют на нескольких узлах, каждый из которых может исполняться на разных устройствах, в частности, один узел может работать на сервере со стандартным жестким диском, а другой – на устройстве с твердотельным накопителем. Кроме того, оборудование может быть заменено в процессе эксплуатации распределенной системы. В таких условиях стандартные показатели мониторинга являются неэффективными, так как они не отражают совокупность состояния распределенной системы. На основе результатов мониторинга проектируют алгоритмы балансировки и распределения нагрузки между узлами кластера. По этой причине важно иметь достаточно точный и простой показатель оценки различных характеристик распределенной системы:

- скорость обработки запроса;
- скорость записи на диск;
- скорость чтения с диска.

В современных распределенных системах ключевым фактором производительности не является скорость чтения и записи. Иногда необходимо иметь достаточно свободной внешней памяти, чтобы завершить операцию. Это обусловлено тем фактом, что успешная запись занимает меньшее количество времени, чем перенаправление запроса на другой узел в случае недостатка памяти. В связи с обозна-

ченным поднимается вопрос актуальности применения интегральной оценки в области мониторинга распределенных информационных систем.

Интегральная оценка показателей может быть применима в высокодоступных распределенных системах хранения информации. Как известно, практически невозможно построить систему со строгой согласованностью данных и высокой доступностью, т.к. эти свойства являются взаимоисключающими [8]. В качестве альтернативы можно спроектировать систему со слабой моделью согласованности [9], при этом минимизируя несогласованность узлов репликации. Для минимизации несогласованности между репликами можно использовать данные мониторинга при распределении запросов. И здесь ключевую роль играет способность алгоритма определить набор наиболее подходящих реплик. При этом у узла репликации есть несколько характеристик, на основе которых можно получить интегральную оценку пригодности узла для эффективной обработки запроса.

ЛИТЕРАТУРА

1. Anup Agarwal. HeteroSketch: Coordinating Network-wide Monitoring in Heterogeneous and Dynamic Networks [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.usenix.org/system/files/nsdi22-paper-agarwal.pdf>, свободный (дата обращения: 24.02.2025).
2. Baber Khalid. MicroMon: A Monitoring Framework for Tackling Distributed Heterogeneity [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.usenix.org/system/files/hotstorage20_paper_khalid.pdf, свободный (дата обращения: 25.02.2025).
3. Yinda Zhang. OctoSketch: Enabling Real-Time, Continuous Network Monitoring over Multiple Cores [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.usenix.org/system/files/nsdi24-zhang-yinda.pdf>, свободный (дата обращения: 24.02.2025).
4. Pouya Agheli. Semantic Filtering and Source Coding in Distributed Wireless Monitoring Systems [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://arxiv.org/pdf/2305.11549>, свободный (дата обращения: 22.02.2025).
5. Jonghoon Kwon. Did the Shark Eat the Watchdog in the NTP Pool? Deceiving the NTP Pool's Monitoring System [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.usenix.org/system/files/usenixsecurity23-kwon.pdf>, свободный (дата обращения: 27.02.2025).
6. Swen Boehm. Aggregation of Real-Time System Monitoring Data for Analyzing Large-Scale Parallel and Distributed Computing Environments [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.researchgate.net/publication/224176228_Aggregation_of_Real-Time_System_Monitoring_Data_for_Analyzing_Large-Scale_Parallel_and_Distributed_Computing_Environments, свободный (дата обращения: 24.02.2025).

7. Zaoxing Liu. Nitrosketch: robust and general sketch-based monitoring in software switches [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://dl.acm.org/doi/10.1145/3341302.3342076>, свободный (дата обращения: 26.02.2025).

8. Michael J. Fischer. Impossibility of Distributed Consensus with One Faulty Process [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://groups.csail.mit.edu/tds/papers/Lynch/jacm85.pdf>, свободный (дата обращения: 22.02.2025).

9. Duong Nguyen. Using weaker consistency models with monitoring and recovery for improving performance of key-value stores [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.researchgate.net/publication/336906548_Using_weaker_consistency_models_with_monitoring_and_recovery_for_improving_performance_of_key-value_stores, свободный (дата обращения: 24.02.2025).

УДК 004.021

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ СКЛАДСКИМИ ДРОНАМИ

*Д.А. Сасс, студент; Р.С. Кульшин, ассистент каф. АОИ
г. Томск, ТУСУР, sass.danil145@gmail.com*

Рассмотрена реализация централизованной системы управления складскими дронами, основанной на алгоритме Elastic Bands и вспомогательных алгоритмах построения трёхмерных полей с информацией о статических препятствиях.

Ключевые слова: управление беспилотными аппаратами, поиск пути, избегание столкновений.

В рамках работы над системой были разработаны алгоритмы для управления дронами типа «квадрокоптер» в трёхмерном пространстве, однако, теоретически, разработанные алгоритмы при внесении минимальных изменений можно адаптировать и для управления другими беспилотными аппаратами, например, наземными, подводными и т.д.

Задача управления дронами была разбита на две подзадачи: построение изначального маршрута с учётом статических препятствий и управление дронами при следовании по маршруту с учётом избегания и статических, и динамических препятствий.

Алгоритмы работают в трёхмерном поле, разбитом на кубические ячейки равного размера. Каждая ячейка содержит информацию о расстоянии до ближайшего препятствия и нормализованный вектор, показывающий направление скорейшего удаления от препятствий в данной точке пространства. За основу был взят принцип построения маршрута с использованием векторного поля, однако он был модифицирован для работы с препятствиями произвольной формы [1, 2].

Перед построением поля выполняется вокселизация всех статических препятствий, т.е. во все ячейки поля, лежащие внутри препятствий, заносится нулевое значение расстояния до препятствия, вследствие чего форма препятствий аппроксимируется набором кубов (вокселей).

После этого заполняется информация о расстояниях до препятствий. Каждая незаполненная клетка, соседняя клетка которой имеет значение расстояния, получает это же значение, увеличенное на единицу. Данная операция повторяется, пока не будут заполнены все клетки.

После этого заполняется информация о векторах избегания препятствий: от каждой ячейки проводится вектор до соседней ячейки, длина которого прямо пропорциональна разнице значений в ячейках. После этого данные векторы суммируются и результирующий вектор нормализуется.

При помощи информации, полученной при заполнении полей, строятся маршруты для дронов. В текущей реализации используется алгоритм, последовательно проходящий клетки, расстояние до препятствий в которых превышает размер дрона, однако в рамках системы алгоритмов он может быть заменён на любой другой алгоритм поиска пути, поскольку построенный маршрут не является конечным и используется только для задания базового направления движения дронов.

После построения маршрута дроны начинают следовать по нему, используя алгоритм Elastic Bands [3]. Данный алгоритм строит цепочки предполагаемых позиций дронов через некоторый промежуток времени и на каждом шаге алгоритма изменяет эти позиции под воздействием различных факторов, выраженных векторными значениями. В текущей реализации факторы воздействия включают в себя избегание препятствий и стремление следовать первоначальному маршруту. Избегание препятствий подразделяется на два отдельных воздействия: избегание статических препятствий с использованием полей расстояний и векторов и избегание других дронов, для реализации чего каждая точка эластичной ленты отталкивает точки других лент обратно пропорционально расстоянию между точками. При необходимости данный алгоритм можно модифицировать, добавив новые факторы, например, приоритет различных дронов, чтобы дроны с более высоким приоритетом меньше отклонялись от кратчайшего маршрута из-за избегания других дронов. Также возможно добавить силу инерции и другие силы.

После выполнения шага алгоритма Elastic Bands точки маршрутов из-за влияния сил могут представлять собой ломанную линию и быть расположены на разных расстояниях друг от друга, что приводит

к появлению рынков при движении дрона по маршруту. Для того чтобы решить эту проблему, был использован алгоритм FABRIK [4], применяемый в компьютерной анимации, чтобы сгладить получившийся маршрут и привести расстояние между соседними точками к заданным значениям.

Результат работы системы представлен на рис. 1. На рисунке изображены маршруты двух дронов и фрагмент препятствия. F_o – воздействие, заставляющее избегать препятствие, F_p – воздействие следования по изначальному маршруту, F_D – воздействие маршрута другого дрона. Линии, соединяющие квадраты, изображают изначальный построенный маршрут, а линии, соединяющие круги, – маршрут после шага алгоритмов Elastic Bands и FABRIK.

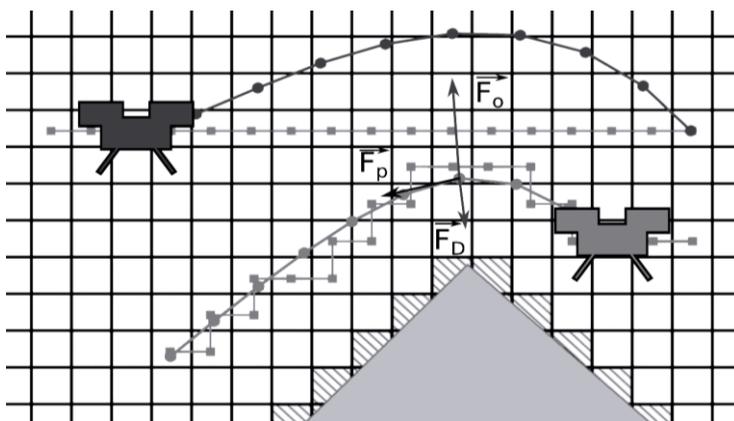


Рис. 1. Иллюстрация сил, действующих на точки маршрутов

Работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки России; проект FEWM-2023-0013.

ЛИТЕРАТУРА

1. Braquet M. Vector Field-based Collision Avoidance for Moving Obstacles with Time-Varying Elliptical Shape / M. Braquet, E. Bakolas // IFAC-Papers OnLine. – 2022. – Vol. 55, Is. 37. – P. 587–592.
2. Panagou D. Motion planning and collision avoidance using navigation vector fields // 2014 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA). – Hong Kong, China, 2014. – P. 2513–2518.
3. Quinlan S. Elastic bands: connecting path planning and control / S. Quinlan, O. Khatib // Proceedings IEEE International Conference on Robotics and Automation. – Atlanta, GA, USA, 1993. – Vol. 2. – P. 802–807.
4. Aristidou A. FABRIK: A fast, iterative solver for the Inverse Kinematics problem / A. Aristidou, J. Lasenby. – Department of Engineering, University of Cambridge: Cambridge CB2 1PZ, UK, 2011. – P. 243–260.

ОБЗОР МЕТОДОВ НОРМАЛИЗАЦИИ ДАННЫХ*Р.С. Кульшин, ассистент каф. АОИ;**А.А. Сидоров, зав. каф. АОИ, к.э.н.**г. Томск, ТУСУР, roman.s.kulshin@tusur.ru*

Проведено сравнение различных методов нормализации данных, рассмотрены их особенности, преимущества и ограничения. Анализ включает влияние каждого метода на масштаб, выбросы и распределение данных, что позволяет выбрать оптимальный подход для конкретных задач анализа и моделирования.

Ключевые слова: нормализация, данные.

Нормализация данных играет ключевую роль в различных областях науки и технологий, обеспечивая приведение числовых данных к удобному для анализа и обработки формату. Она широко применяется в статистике, машинном обучении, обработке изображений, финансовом анализе, медицине и других сферах, где необходимо работать с разнородными и разномасштабными показателями. В машинном обучении нормализация помогает адаптировать данные для алгоритмов, чувствительных к масштабу признаков, таких как нейронные сети, метод опорных векторов и градиентные методы оптимизации. В компьютерном зрении методы нормализации используются для обработки изображений, коррекции яркости и контрастности. В финансовом анализе они позволяют сравнивать показатели компаний и рынков, устраняя различия в масштабах данных.

Существует множество методов нормализации, каждый из которых предназначен для решения определённых задач [1, 2]. Линейные методы позволяют привести данные к заданному диапазону, статистические обеспечивают приведение к нормальному распределению, а нелинейные помогают работать с асимметричными и экспоненциальными данными. Разнообразие подходов позволяет выбрать оптимальный метод для конкретного случая, обеспечивая корректную интерпретацию и анализ данных.

Ниже приведено описание различных методов нормализации.

Мин-макс – преобразует данные в диапазон $[0, 1]$, сохраняя относительные пропорции между значениями. Подходит для данных без выбросов.

Мин-макс с изменением масштаба – масштабирует значения в произвольный диапазон $[a, b]$, что полезно, если модель ожидает данные в определённом интервале.

Масштабирование относительно максимального абсолютного значения делит все значения на максимальное абсолютное значение,

сохраняя направление и относительные масштабы данных. Используется при наличии положительных и отрицательных значений.

Стандартизация преобразует данные так, чтобы их среднее стало 0, а стандартное отклонение 1. Подходит для алгоритмов, чувствительных к разбросу данных.

Нормализация относительно среднего масштабирует значения относительно их среднего и диапазона, что уменьшает влияние различий в масштабах данных.

Робастная нормализация использует медиану и межквартильный размах, что делает метод устойчивым к выбросам и асимметрии распределения.

Логарифмическая нормализация преобразует данные с помощью логарифма, сглаживая разрывы между малыми и большими значениями. Часто применяется для данных с экспоненциальным ростом.

Преобразование Бокса–Кокса преобразует данные в почти нормальное распределение, применяя степенное преобразование. Работает только с положительными значениями.

Преобразование Йео–Джонсона подобно преобразованию Бокса–Кокса, но поддерживает как положительные, так и отрицательные значения.

Ниже представлена сравнительная таблица методов нормализации данных.

Сравнение методов нормализации

Метод	Диапазон значений	Чувствительность к выбросам	Сохранение пропорций	Приведение к стандартному распределению	Работа с отрицательными значениями
Мин-макс	[0; 1]	+	+	–	+
Мин-макс с изменением масштаба	[a; b]	+	+	–	+
Масштабирование относительно максимального	[-1; 1]	+	+	–	+
Стандартизация	$\sim (-3; 3)$	+	+	+	+
Нормализация относительного среднего	[-1; 1]	+	+	–	+
Робастная нормализация	[-1,5; 1,5]	–	–	+	+
Логарифмическая нормализация	$(-\infty; +\infty)$	–	–	+	–
Преобразование Бокса–Кокса	Зависит от λ	–	–	+	–
Преобразование Йео–Джонсона	Зависит от λ	–	–	+	+

Для корректной обработки данных важно учитывать специфику каждого метода и выбирать оптимальный подход в зависимости от задачи. Таким образом, понимание особенностей и принципов работы различных методов нормализации является важным аспектом эффективной работы с данными и построения качественных аналитических моделей.

Работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки России; проект FEWM-2023-0013.

ЛИТЕРАТУРА

1. The Impact of Data Normalization on the Accuracy of Machine Learning Algorithms: A Comparative Analysis / K. Cabello-Solorzano, I. Ortigosa de Araujo, M. Peña, L. Correia, J. Tallón-Ballesteros // *Lecture Notes in Networks and Systems*. – Springer, Cham, 2023. – Vol. 750.

2. Shantal M. A Novel Approach for Data Feature Weighting Using Correlation Coefficients and Min-Max Normalization / M. Shanta, Z. Othman, A.A. Bakar // *Symmetry*. – 2023. – Vol. 15. – P. 2185.

ПОДСЕКЦИЯ 3.3

АВТОМАТИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ В ТЕХНИКЕ И ОБРАЗОВАНИИ

*Председатель секции – Дмитриев В.М., проф.
каф. КСУП, д.т.н.;*
*зам. председателя – Ганджа Т.В., проф.
каф. КСУП, д.т.н., доцент*

УДК 629.7.052

АВТОМАТИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ МУЛЬТИРОТОРНОГО БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА С ЭЛЕКТРОПИТАНИЕМ ПО КАБЕЛЮ ОТ НАЗЕМНОЙ СТАНЦИИ

А.М. Андреев, магистрант ПИИШ

*Научный руководитель А.А. Бомбизов, нач. СКБ «Смена», к.т.н.
г. Томск, ТУСУР, andreevam2024@yandex.ru*

Создана структурная автоматизация управления мультироторным БПЛА с питанием по кабелю от наземной станции, которая включает в себя все необходимые датчики и системы для выполнения безопасной летной работы проводного БПЛА.

Ключевые слова: БПЛА, летательный аппарат, проводное питание, автоматизация управления, летная работа.

В последнее время беспилотные летательные аппараты (БПЛА) бурно развиваются и начинают решать все большее количество задач из различных сфер нашей жизни. Одним из направлений развития стало создание мультироторных БПЛА с увеличенным временем нахождения в воздухе за счет использования электропитания через кабель от наземной станции управления и электроснабжения. Данная система электропитания позволяет удерживать летательный аппарат (ЛА) в воздухе большее время, чем классические аккумуляторные варианты и ограничивает летное время только запасом топлива в наземном электроагрегате, регламентом технического обслуживания и погодными условиями.

Данная связка проводного мультироторного БПЛА и наземной станции позволяет быстро и многократно поднимать на заданную вы-

соту различные полезные нагрузки, например, видеокамеры и ретрансляторы радиосвязи, по сути, создавая безмачтовую точку подвеса полезной нагрузки и заменяя собой различные вышки и мачты [1]. В результате практического опыта разработки БПЛА данного типа было установлено, что покупные решения не обладают поддержкой необходимых датчиков и алгоритмов для выполнения безопасной летной работы, а также на рынке нет готовой подключаемой периферии, способной решить данную проблему. Целью данной работы является проработка схемы структурной автоматизации управления мультироторного БПЛА с проводным питанием, которая должна включить в себя необходимый минимум оборудования для выполнения летной работы.

Покупные полетные микроконтроллеры (ПМК) содержат на борту только базовый набор из магнитометра, барометра, акселерометра и гироскопа, а для выполнения автоматических полетов к ним необходимо подключать различные высокоточные системы навигации с GPS, такие как H-RTK mosaic-H (Dual Antenna Heading), H-RTK F9P Helical, H-RTK F9P / Base Station Antenna. Также из-за достаточно плохого встроенного магнитометра необходимо подключать дополнительный выносной компас RM3100, особенно на БПЛА с рабочим током выше 100 А.

В рамках разработки мультироторного БПЛА с питанием от наземной станции было установлено, что покупные решения не позволяют устанавливать и интегрировать в алгоритмы работы различные датчики температур и показателей электрических сетей, дополнительные блоки управления бортовым оборудованием, а также камеры, лидары и радиооборудование для навигации для выполнения безопасной летной работы [2–4]. На основе полученных практических знаний была разработана схема структурной автоматизации управления мультироторного БПЛА с питанием по кабелю от наземной станции управления и электропитания, которая представлена на рис. 1.

Схема структурная автоматизации управления включает в себя блок управления ПМК и шесть блоков, обеспечивающих работу всего ЛА.

Блок авионики необходим для выполнения самой возможности полета, обеспечивая ПМК информацией о пространственном положении ЛА. Данный блок представлен в различных исполнениях в каждом покупном ПМК и позволяет выполнять полеты исключительно в ручных режимах. Блок навигации позволяет ПМК получать точные данные о положении в воздушном пространстве и выполнять автоматизированные полеты. В схеме, представленной на рис. 1, данный блок обладает значительно большим набором инструментов для нави-

гации в отличие от покупных решений и соответствует концепции резервирования. Блок управления ЛА необходим для работы ряда бортовых систем, в том числе и двигателей, а блок БСЭП обеспечивает электропитанием весь ЛА и дает информацию о своей работе ПМК, что крайне важно для работы алгоритмов безопасности. Блоки полезной нагрузки и дополнительных систем, в отличие от реализации в покупных решениях, должны обеспечивать возможность подключения широкого спектра различной полезной нагрузки и дополнительных модулей, иметь развитую сеть электропитания и управления, а также собственный радиопередатчик.

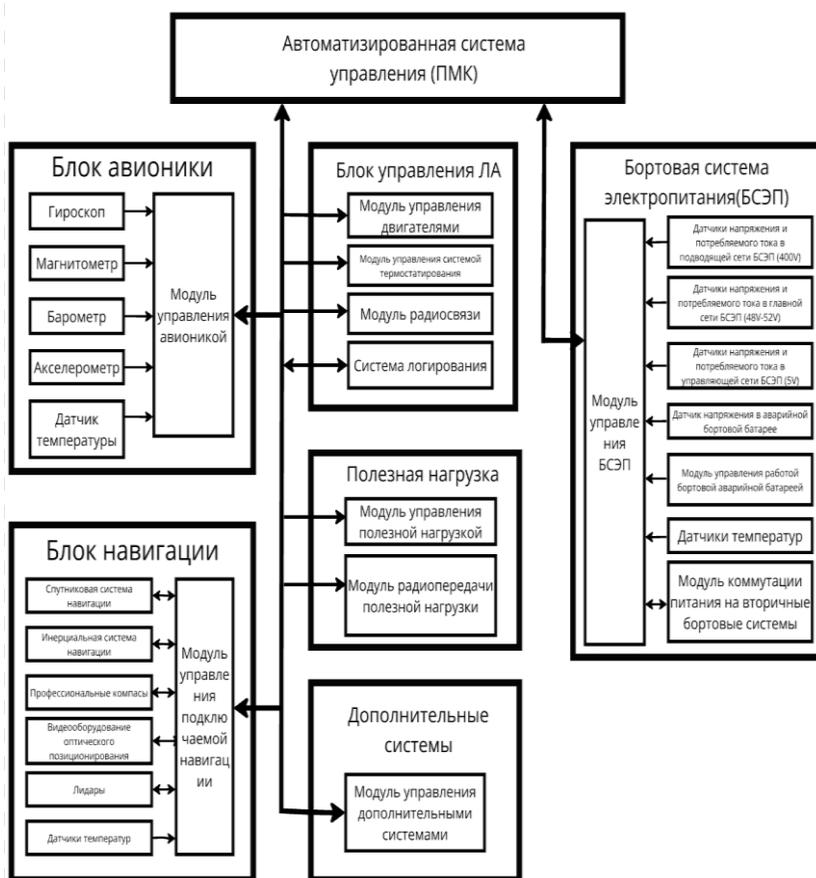


Рис. 1. Схема структурная автоматизации управления мультиторного БПЛА с питанием по кабелю

Был проведен анализ готовых решений и сформировано понимание недостающих им инструментов, на основе которого была разработана схема структурная автоматизации управления мультироторным БПЛА с питанием по кабелю от наземной станции. В дальнейшем планируется проработка возможных вариантов доработки ПО покупных решений с целью реализации недостающего функционала или разработки собственной системы автоматизированного управления БПЛА с питанием по кабелю от наземной станции.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пат. 221 579 РФ МПК В64U 10/60. Привязной беспилотный летательный аппарат с электрическим приводом / А.А. Новикова (РФ), С.П. Караульных (РФ) (РФ). – № 2 023 121 837; опубл. 13.11.2023. Бюл. № 32.
2. Руководство пользователя автопилота PX4 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.px4.io/main/en/> (дата обращения: 28.06.2024).
3. Полетный микроконтроллер Pixhawk 6X [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://holystone.com/collections/autopilot-flight-controllers/products/pixhawk-6x> (дата обращения: 21.04.2024).
4. Документация ArduPilot [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ardupilot.org/ardupilot/index.html> (дата обращения: 15.05.2024).

УДК 550.34.013.4

ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС СИМУЛЯТОРА ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ КУРСА МЕТРОЛОГИИ

А.С. Божевалов, студент каф. ДИТ

*Научный руководитель С.И. Герасимов, ст. преп. каф. ДИТ
г. Москва, ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ», universe@mpei.ac.ru*

Рассматривается разработка программного комплекса симулятора для выполнения лабораторной работы курса метрологии, посвящённой измерению электрических величин. При разработке симулятора использовались язык Python и библиотеки PySpice и SciPy, что обеспечивает моделирование электрических схем с учётом основных технических характеристик виртуальных приборов. Результаты работы отображаются в среде Jupyter Notebook, что упрощает вычисления и визуализацию данных. Программный комплекс способствует повышению уровня понимания материала, гибкости выполнения заданий и предварительной подготовке к физическим экспериментам.

Ключевые слова: моделирование измерительных приборов, метрология, измерение электрических величин.

Технологии дистанционного обучения и симуляции широко применяются в современных технических вузах. Так, использование симуляторов в лабораторных работах (ЛР) позволяет, прежде всего, выполнить работу без необходимости физического доступа к специальному оборудованию (лабораторный стенд) и без сопровождения процесса выполнения преподавателем в режиме реального времени. Кроме того, это даёт более высокий уровень понимания материала по теме ЛР (в дополнение к материалам в текстовой форме и видеозаписям), позволяет гибким образом варьировать условие задания, добавлять различное виртуальное оборудование. Симуляторы могут быть использованы в контексте ЛР для предварительного выполнения и ознакомления с особенностями процесса ЛР перед проведением физических экспериментов непосредственно на стенде.

Цель предполагаемой разработки – имплементация лабораторной работы № 1 общего курса метрологии [1] по измерению электрических величин с применением программных инструментов на языке Python.

В рамках исследования все измерительные приборы (вольтметры и мультиметры), генераторы (источники) сигналов представлены в виде виртуальных устройств и реализованы в упрощённой форме с учётом их основных технических характеристик: амплитуды сигнала, внутреннего сопротивления, частотные свойства (воспроизводились при помощи цифровых фильтров из библиотеки SciPy (рис. 1)). Все электрические элементы и компоненты используемого виртуального оборудования описываются эквивалентными функциональными схемами в специализированном программном симуляторе электрических цепей в виде специальной библиотеки PySpice (рис. 2) как расширения языка Python.

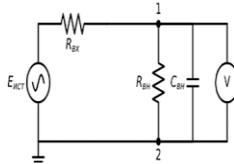
```

sos_vector205 = butter(6, 3000, 'lowpass', analog=False, fs=2000000, output='sos')
coef_b = [
    [0.0265, 0.1327, 0.2654, 0.2654, 0.1327, 0.0265],
    [0.4454, 0.8907, 0.4454],
    [0.4622, 0.9244, 0.4622],
    [0.0024, 0.0095, 0.0142, 0.0095, 0.0024],
    [0.0094, 0.0564, 0.1410, 0.1879, 0.1410, 0.0564, 0.0094]
]
coef_x = [1e-3, 1, 1e-6, 1, 1e-12]
coef_a = [
    [1.0000, -4.3712, 7.7731, -7.0191, 3.2154, -0.5974],
    [1.0000, 0.5455, 0.2727],
    [1.0000, -1.9981, 0.9981],
    [1.0000, -2.9355, 3.5643, -2.0724, 0.4841],
    [1.0000, -5.9644, 14.8226, -19.6465, 14.6477, -5.8245, 0.9650]
]

```

Рис. 1. Моделирование частотных свойств с помощью цифровых фильтров

Графическая форма схемы:



Задание схемы на программном языке PySpice:

```
circuit = Circuit('Voltmeter Circuit')

circuit.SinusoidalVoltageSource(1, 'inp', circuit.gnd, amplitude=15@u_V, frequency=50@u_Hz)
circuit.R('s', 'inp', 'out', 600@u_Ω)
circuit.R('v', 'out', circuit.gnd, schem_params[i][0])
circuit.C('v', 'out', circuit.gnd, schem_params[i][1])
```

Рис. 2. Схема, оформленная в формате NetList

В соответствии с пунктами задания ЛР проводится моделирование электрических схем. По окончании работы симулятора ЛР выводится документ в среде Jupyter Notebook, позволяющий упростить процедуру вычислений за счёт встроенных библиотек Math и NumPy, с отображением на экране полученных численных результатов и информации в графической форме.

В результате моделирования и расчёта погрешностей было установлено, что измерявшиеся в процессе работы величины определены с требуемой в работе точностью, а амплитудно-частотные характеристики (рис. 3) моделируемых приборов соотносятся с паспортными данными, и симулятор удовлетворяет поставленным целям.

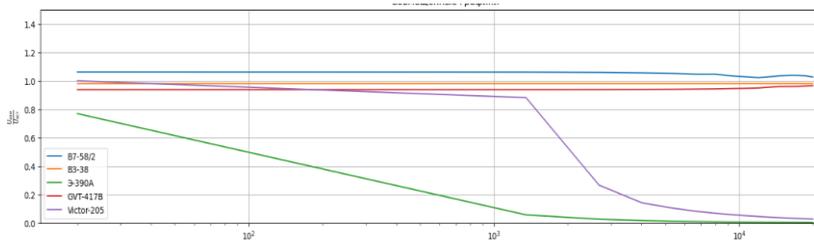


Рис. 3. Совмещённые АЧХ использованных приборов

ЛИТЕРАТУРА

1. Авдеев Б.Я., Антонюк Е.М. Основы метрологии и электрические измерения: учеб. для вузов. – СПб.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд., 1987.

СИСТЕМА СБОРА И АНАЛИЗА ДАННЫХ В АСУ ТП МОБИЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ

В.И. Гаренских, А.А. Шутов, С.С. Свахин, студенты каф. КСУП

Научный руководитель А.Е. Карелин, доцент каф. КСУП, к.т.н.

Проект ГПО КСУП-2401. Разработка элементов и подсистем

АСУ ТП мобильных установок подготовки нефти и газа

г. Томск, ТУСУР, vladgarenskih@gmail.com

Рассматривается система сбора, обработки и визуализации данных с датчиков давления в мобильных установках подготовки нефти и газа. Проанализированы методы преобразования аналогового сигнала в цифровой и их отображение в SCADA-системе ОВЕН. Описаны технические решения на базе отечественного оборудования, приведены результаты тестирования и оценка точности измерений. Рассмотрены перспективы модернизации, включая предиктивную аналитику, адаптацию к трубопроводному транспорту и интеграцию с облачными платформами.

Ключевые слова: АСУ ТП, сбор данных, RS-485, Modbus RTU, SCADA ОВЕН, преобразование сигнала, машинное обучение, трубопроводный транспорт.

Современные автоматизированные системы управления технологическими процессами (АСУ ТП) предъявляют высокие требования к точности измерений и эффективности обработки данных. В условиях мобильных установок важно обеспечить стабильную передачу информации, оперативный контроль параметров и предотвращение аварийных ситуаций. В рамках проекта ГПО КСУП-2401 разработана система мониторинга давления, основанная на отечественном оборудовании, включая SCADA-систему ОВЕН.

Техническое описание системы. Система включает в себя:

- 4 1) датчики давления АГАВА ДД100-ДИ-М с выходным сигналом –20 мА;
- 2) модуль аналогового ввода ОВЕН МВ110-24.8АС для преобразования сигнала;
- 3) преобразователь интерфейсов ОВЕН АС4-М (RS-485/USB);
- 4) промышленный компьютер с установленной SCADA-системой ОВЕН.

Аналоговый сигнал от датчиков преобразуется модулем ввода в цифровой и передается по интерфейсу RS-485 на промышленный ПК. Функциональная схема подключения представлена на рис. 1.

SCADA-система обрабатывает полученные данные и обеспечивает их отображение в реальном времени, что позволяет оперативно анализировать параметры работы мобильных установок.

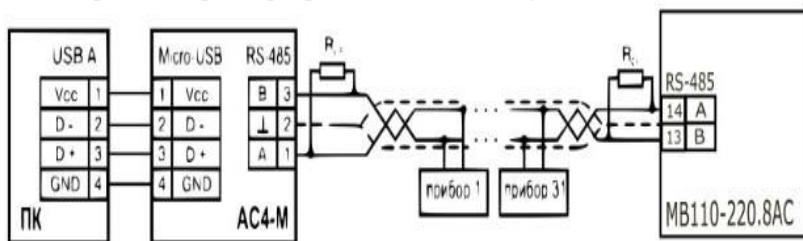


Рис. 1. Функциональная схема подключения модуля к ПК

Алгоритмы обработки данных. Обработка данных с аналоговых датчиков включает несколько этапов. Первоначально аналоговый сигнал, полученный с датчика давления, фильтруется с использованием цифровых фильтров нижних частот для устранения шумов и скачков значений. Для этого применяется экспоненциальное сглаживание, выражаемое формулой

$$S_t = \alpha X_t + (1 - \alpha) S_{t-1},$$

где S_t – сглаженное значение, X_t – текущее измерение, α – коэффициент сглаживания ($0 < \alpha < 1$).

Далее производится масштабирование и нормализация данных по формуле

$$X_{\text{norm}} = (X - X_{\text{min}}) / (X_{\text{max}} - X_{\text{min}}),$$

где X_{norm} – нормализованное значение, X – текущее значение сигнала, X_{min} и X_{max} – минимальные и максимальные границы измерений.

Затем сигнал преобразуется в цифровую форму с использованием 12-битного аналого-цифрового преобразователя (АЦП) модуля ОВЕН MB110-24.8AC по формуле

$$X_{\text{digital}} = (X_{\text{analog}} \cdot 2^n) / V_{\text{ref}},$$

где X_{digital} – цифровое значение, X_{analog} – входное напряжение, V_{ref} – опорное напряжение, n – разрядность АЦП.

Для выявления аномалий и предиктивного анализа применяются алгоритмы статистической обработки, включая скользящее среднее.

$$S_t = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} X_{t-i},$$

где S_t – среднее значение, N – число учитываемых измерений. Этот метод позволяет обнаруживать резкие отклонения давления, что может свидетельствовать о возможных неисправностях трубопроводов. В перспективе планируется внедрение алгоритмов машинного обуче-

ния, которые смогут анализировать исторические данные и предсказывать аварийные ситуации с высокой точностью.

Программная часть. Передача данных организована по протоколу Modbus RTU, используемому для взаимодействия контроллера и SCADA-системы ОВЕН. SCADA выполняет сбор, хранение и визуализацию параметров, предоставляя данные операторам для анализа. Развитие системы возможно за счет интеграции с облачными платформами, что позволит централизованно хранить и обрабатывать данные. Внедрение машинного обучения обеспечит предиктивную диагностику, снижая риски отказов и затраты на обслуживание. Для адаптации к условиям трубопроводного транспорта система может быть дополнена модулями контроля расхода, утечек и температуры транспортируемых жидкостей. Также рассматривается возможность внедрения беспроводных сенсорных сетей, что обеспечит гибкость при развертывании системы в удаленных районах.

Анализ результатов. Результаты тестирования системы показали, что среднее время отклика составляет 85 мс. Погрешность измерений не превышает 0,5%, что соответствует требованиям ГОСТ 8.586. Испытания подтвердили стабильность работы системы в различных режимах, включая моделирование эксплуатационных условий трубопроводного транспорта, что делает ее эффективным инструментом для мобильных установок подготовки нефти и газа.

Заключение. Разработанная система сбора и анализа данных для АСУ ТП мобильных установок подготовки нефти и газа обеспечивает точный контроль технологических параметров и возможность дальнейшего расширения. Перспективы модернизации включают внедрение облачных решений, предиктивной аналитики, контроль утечек и расхода транспортируемых сред, а также расширение набора контролируемых параметров. Использование оборудования ОВЕН и датчиков АГАВА позволило реализовать решение, соответствующее требованиям импортозамещения и промышленной стандартизации. Дополнительная интеграция с системами трубопроводного мониторинга повысит безопасность и эффективность эксплуатации мобильных установок.

ЛИТЕРАТУРА

1. ОВЕН. Руководство по эксплуатации SCADA-системы ОВЕН. – 2023. – С. 45–78.
2. ОВЕН. Руководство по эксплуатации модуля аналогового ввода MB110-24.8АС. – 2023. – С. 22–56.
3. ГОСТ 8.586–2019. Государственная система обеспечения единства измерений. – Росстандарт, 2019.
4. АГАВА. Техническое описание датчиков давления ДД100-ДИ-М. – 2023. – С. 12–34.

СИСТЕМА КОРРЕКТИРОВКИ КООРДИНАТ БПЛА ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ПОСАДКИ В АВТОМАТИЧЕСКОМ РЕЖИМЕ

А.А. Горелов, Е.К. Гончарова, студенты каф. 410 МАИ;

А.В. Картуков, ст. преп. каф. 410 МАИ

Научный руководитель В.В. Егоров, ст. преп. каф. 408 МАИ

г. Москва, МАИ, sasha.gorelov.2000@mail.ru

Рассматриваются автоматическая оптическая система корректировки движения БПЛА для посадки на основе триангуляции, ошибки вычисления координат БПЛА и их устранение для получения точности до 2,5 см.

Ключевые слова: БПЛА, смещённая оценка, несмещённая оценка, оптическая система посадки (ОСП).

На базе СКБ-4 «Сигнал» была разработана оптическая система корректировки посадки БПЛА на основе метода триангуляции, использующая 2–4 оптических приемника и один передатчик на борту БПЛА. Она приведена на рис. 1.

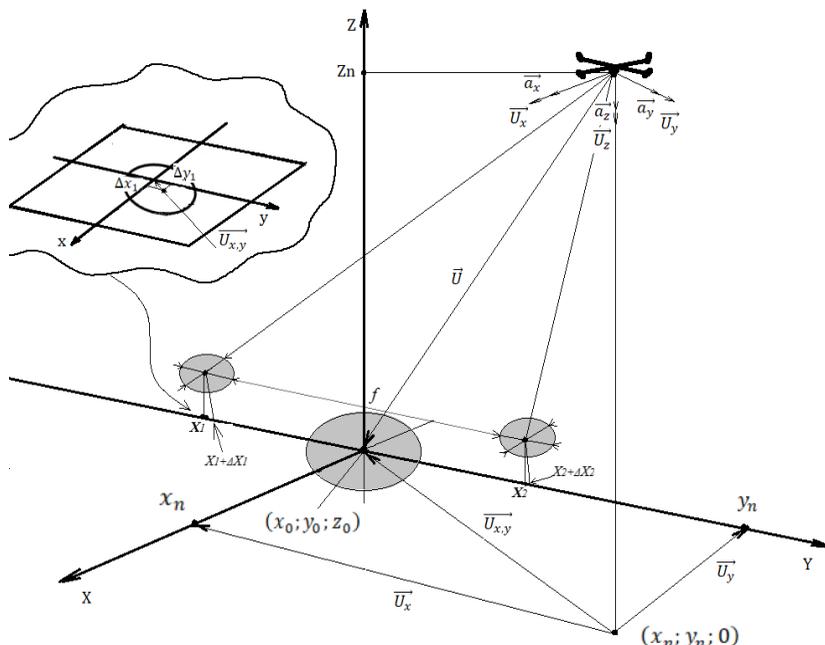


Рис. 1. Система посадки из 2 приемников и 1 передатчика

Оптические приёмники находятся на равном расстоянии от центра посадочной площадки и состоят из фокусирующей линзы и матрицы фотоприемников. Отношение падений напряжений на матрице позволяет сформировать пятно напряжений, смещение центра которого совпадает со смещением передатчика в пространстве, тем самым позволяя оценить не только нынешнее положение передатчика, но и вектора его скоростей и ускорений.

В ходе работы над данной системой появилась задача нахождения точности данного устройства в обнаружении координат подвижной цели, их изменений и методов устранения ошибок приёма и вычислений всех параметров. В данной работе приведены некоторые расчёты ошибок в определении движения БПЛА нашей системой и методы их устранения для дальнейшего использования в корректировке местоположения для дальнейшей посадки.

Метод позволяет получить координаты БПЛА, но с ошибкой, вызванные множеством факторов, таких как тепловой шум приёмника, грязь на линзе и в воздухе, пыль, туман, конденсат и т.д. Эти ошибки можно разделить на два типа: смещенную и несмещенную. От ошибок, вызванных несмещенной оценкой, можно избавиться усреднением полученных координат. Смещенная же оценка является результатом искажений пятна на фотоприемнике, что является нежелательным и корректируется за счёт большого количества приёмников, каждый из которых будет принимать свою ошибку, что позволяет скомпенсировать смещенную ошибку смещением и получить математическое ожидание этой ошибки, равной нулю. В дальнейшем мы будем рассматривать только несмещенную ошибку.

Запишем систему уравнений для оценки координат БПЛА с учётом ошибок:

$$\begin{cases} \hat{Z}_{\text{набл}}(t) = f\left(\frac{L}{\Delta\hat{X}_1(t) + \Delta\hat{X}_2(t)} \pm 1\right), \\ \hat{X}_{\text{набл}}(t) = \frac{\Delta\hat{X}_1(t) - \Delta\hat{X}_2(t)}{2(\Delta\hat{X}_1(t) + \Delta\hat{X}_2(t))} L, \\ \hat{Y}_{\text{набл } 1,2}(t) = \Delta\hat{Y}_{1,2}(t) \left(\frac{L}{\Delta\hat{X}_1(t) + \Delta\hat{X}_2(t)} \pm 1\right). \end{cases}$$

Ошибки корректируются увеличением количества приёмников и накоплением данных о местоположении. Скорость и ускорение БПЛА находятся также из данной системы путем накопления данных об измерении координат, но с дальнейшим выводом полинома, описывающего движение передатчика.

Найдем из данной системы ошибки из примера для простого случая движения БПЛА на одной высоте (рис. 2).

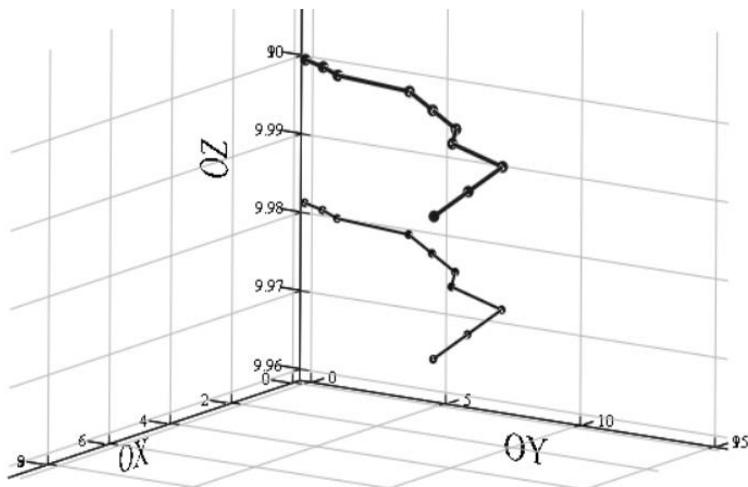


Рис. 2. Траектории движения БПЛА реальные и с ошибкой относительно площадки

Из графика (см. рис. 2) видно, что ошибка по высоте не превышает 0,02 м. Для ошибок по координатам x , y и более точные ошибки по z графиках ниже.

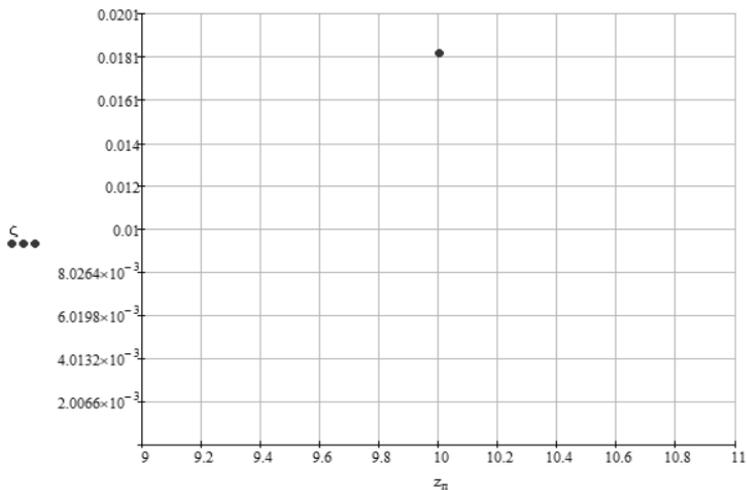


Рис. 3 (начало)

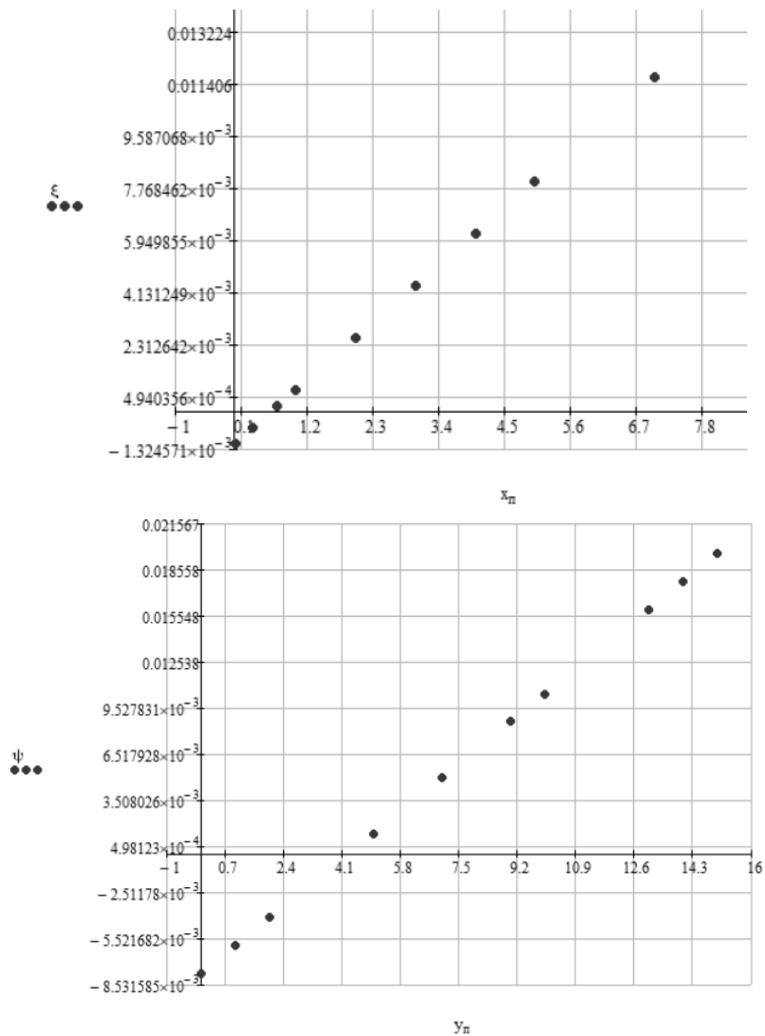


Рис. 3 (окончание). Ошибки по координатам z , x и y

Из данных графиков и системы выводятся следующие закономерности: чем больше расстояние между приёмниками, тем больше конус возможностей приёма сигнала (для высокой точности определения координат расстояние между приёмниками должно быть больше максимальной определяемой высоты БПЛА); характер ошибки повторяет характер движения приёмника; увеличить точность данной

модели поможет увеличение количества приемников (точность определения высоты повысится в 3 раза при 3 приемниках и, соответственно, в 6 раз при 4); вычислив скорость и ускорение БПЛА, система может рассчитать её координаты в слепых зонах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гончарова Е.К. Разработка конструкции и облика оптической системы автоматической посадки БПЛА на площадку малого размера / Е.К. Гончарова, В.В. Егоров // Сб. науч. тр. XVI Междунар. молодежной науч.-техн. конф. «Молодежь. Техника. Космос». – СПб.: Изд-во Балтийского гос. техн. ун-та «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова, 2024. – Т. 2. – С. 214–218.

2. Гончарова Е.К. Метод повышения избирательности малоканального оптического приемника / Е.К. Гончарова, В.В. Егоров // Сб. науч. тр. междунар. молодежной науч.-техн. конф. «Современные проблемы радиоэлектроники и телекоммуникаций». – Москва; Севастополь: Изд-во РНТОРЭС им. А.С. Попова, СевГУ, 2024. – С. 129.

УДК 004.428

ВЫБОР ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ И ХРАНЕНИЯ МОДЕЛЕЙ АППАРАТОВ ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Ю.Н. Кобзарь, студент каф. КСУП

*Научный руководитель Т.В. Ганджа, проф. каф. КСУП, д.т.н.
г. Томск, ТУСУР, urakobzar2001@yandex.ru*

Рассматривается выбор средств для формирования и хранения характеристик потоков для параметризации моделей химико-технологических систем в среде моделирования MAPS.

Ключевые слова: хранилище данных, среда моделирования MAPS, список компонент потока.

Целью данной работы является выбор инструментальных средств для формирования и хранения списка и характеристик компонент потока для параметризации моделей химико-технологических систем в среде моделирования MAPS [1].

Для достижения цели необходимо рассмотреть существующие технологии для формирования и хранения данных и средства без применения подобных технологий для формирования и хранения данных.

Требования, выдвигаемые к хранилищу данных, включают в себя лицензию, позволяющую использовать технологию в коммерческих целях, кроссплатформенность технологии, актуальную поддержку целевых языков программирования C/C++ и Python, на которых

ведется разработка, отсутствие возможности редактирования пользователем файлов напрямую из файловой системы, минуя специальный интерфейс взаимодействия, и отсутствие дополнительных зависимостей при установке технологии (установка хранилища данных отдельно в систему).

Среди существующих технологий формирования и хранения данных без наличия дополнительных зависимостей можно привести встраиваемые системы управления базами данных (СУБД) [2]. Наиболее популярными представителями встраиваемых СУБД являются SQLite [3] и RocksDB [4]. Детальное сравнение технологий SQLite и RocksDB представлено в табл. 1.

Таблица 1

Сравнение технологий SQLite и RocksDB

Критерий	SQLite	RocksDB
Кроссплатформенность технологии	+	+
Актуальная поддержка языка C/C++	+	+
Актуальная поддержка языка Python	+	–
Отсутствие возможности редактирования пользователем файлов напрямую из файловой системы	+	+
Отсутствие дополнительных зависимостей при установке технологии	+	+

SQLite является более предпочтительной встроенной СУБД по причине наличия актуальной поддержки целевого языка разработки Python.

Разработка без применения существующих технологий на основе работы с форматом JSON [5] может заключаться в следующих вариантах:

- хранить всю информацию в едином JSON-файле;
- хранить информацию в системе файлов: в первом JSON-файле перечислен список имеющихся компонент, для каждой компоненты будет отдельный JSON-файл.

Детальное сравнение описанных вариантов представлено в табл. 2.

Единый файл JSON является более предпочтительным по причине значительно более быстрого доступа к элементу, примерно в 100 раз. Отличия по размеру файлов у вариантов незначительны – 13%.

Для итогового сравнения были выбраны технологии SQLite и способ хранения данных в виде единого файла JSON. Детальное сравнение способов хранения данных представлено в табл. 3.

Таблица 2

Сравнение способов хранения данных в виде JSON

Критерий	Единый файл	Система файлов
Кроссплатформенность технологии	+	+
Актуальная поддержка языка C/C++	+	+
Актуальная поддержка языка Python	+	+
Отсутствие возможности редактирования пользователем файлов напрямую из файловой системы	–	–
Отсутствие дополнительных зависимостей при установке технологии	–	–
Меньший размер файлов	–	+
Более быстрый доступ к необходимому элементу	+	–

Таблица 3

Итоговое сравнение способов хранения данных

Критерий	SQLite	Единый файл
Кроссплатформенность технологии	+	+
Актуальная поддержка языка C/C++	+	+
Актуальная поддержка языка Python	+	+
Отсутствие возможности редактирования пользователем файлов напрямую из файловой системы	+	–
Отсутствие дополнительных зависимостей при установке технологии	+	–
Меньший размер файлов	+	–
Более быстрый доступ к необходимому элементу	–	+

На основании того, что меньший размер файла с данными имеется у SQLite, а также на основании того, что использование SQLite позволит избежать прямого редактирования файла из файловой системы, что улучшает безопасность программного продукта, итоговым способом хранения и формирования данных выбрана именно эта СУБД.

Заключение. В результате произведенного сравнения в качестве лучшей технологии для хранения и формирования списка компонент потока выбрана встраиваемая СУБД SQLite. Выбор технологии произведен по лицензионным, функциональным и нефункциональным критериям.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дмитриев В.М. Среда многоуровневого компьютерного моделирования химико-технологических систем / В.М. Дмитриев, Т.В. Ганджа. – Томск: НИ ТГУ, 2017. – 332 с.

2. Система управления базами данных: что это такое и зачем она нужна [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://sql-academy.org/ru/guide/basic-database-concepts> (дата обращения: 27.10.2024).

3. What Is SQLite? [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://sqlite.org> (дата обращения: 27.10.2024).

4. RocksDB [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://rocksdb.org> (дата обращения: 27.10.2024).

5. Introducing JSON [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.json.org/json-en.html> (дата обращения: 27.10.2024).

УДК 004.94

ПРОЕКТИРОВАНИЕ БИБЛИОТЕКИ БАЗОВЫХ МОДЕЛЕЙ УПРАВЛЕНИЯ АППАРАТАМИ

***К.Д. Зинич, С.А. Пустовалов, К.В. Лазебный, Д.А. Самойленко,**
студенты каф. КСУП*

*Научный руководитель М.И. Кочергин, доцент каф. КСУП, к.т.н.
Проект ГПО КСУП-2201. Модели и алгоритмы машинного обучения
г. Томск, ТУСУР, university@zinich.su*

Предложена концепция библиотеки базовых моделей управления для аппаратов газотранспортной системы (ГТС). Определены типы оборудования, управляющие и управляемые переменные. Разработана типовая модель управления на основе нечеткой логики. Описана структура библиотеки, обеспечивающая масштабируемость и удобство использования.

Ключевые слова: моделирование, газотранспортные системы, СМ МАРС, интеллектуальное управление.

Библиотека базовых моделей управления аппаратами позволит существенно ускорить разработку и повысить качество систем автоматизации в газотранспортной отрасли. Создание такой библиотеки, включающей модели основных типов оборудования, таких как насосы, нагреватели и резервуары, позволит стандартизировать и унифицировать процессы управления. Это, в свою очередь, обеспечит возможность быстрого и эффективного проектирования новых систем, а также упростит задачи моделирования и верификации.

В условиях геополитической и экономической нестабильности разработка отечественного программного обеспечения для критически важной газотранспортной отрасли Российской Федерации приобретает особую актуальность. Эффективное управление технологическими процессами является ключевым фактором надежности и безопасности газотранспортной системы. Целью данной работы явля-

ется разработка концептуального подхода к созданию библиотеки базовых управляемых моделей аппаратов (БУМА) для типового оборудования в среде моделирования MARC [1], что позволит ускорить разработку и повысить качество систем автоматизации.

Для достижения цели необходимо решить следующие задачи:

- Идентифицировать основные типы оборудования газотранспортных систем [2], требующие моделей управления (насосы, нагреватели, резервуары).
- Определить управляющие и управляемые переменные для каждого типа оборудования, а также допустимые диапазоны их значений с учетом физических и технологических ограничений.
- Разработать примеры базовых моделей управления для выбранных типов оборудования, включая модель на основе нечеткой логики.
- Сформировать структуру и принципы организации библиотеки моделей, обеспечивающие удобство использования и масштабируемость.
- Обосновать необходимость математического моделирования и имитации для разработки и верификации систем управления.

Применение моделирования и имитации на этапе проектирования критически важно для обеспечения надежности и безопасности. БУМА позволит существенно повысить эффективность создания новых систем автоматизации, предоставляя готовые к использованию компоненты.

Структура библиотеки базовых моделей аппаратов

1. *Модель ёмкости.* Управляющая переменная – состояние клапана (дискретное или непрерывное). Управляемая переменная – уровень жидкости (непрерывное значение). Допустимые множества определены для каждой переменной, учитывая геометрические параметры и ограничения.

2. *Модель нагревателя.* Управляющая переменная – мощность нагревателя (непрерывное значение). Управляемая переменная – температура жидкости (непрерывное значение). Допустимые множества определены, учитывая свойства жидкости и ограничения ёмкости, а также тепловую инерцию.

3. *Модель насоса.* Управляющая переменная – скорость вращения двигателя (непрерывное значение). Управляемая переменная – давление на выходе (непрерывное значение). Допустимые множества определены, учитывая технические характеристики насоса и зависимость расхода от давления.

Обобщённое описание базовой системы управления аппаратами. Алгоритм управления будет основан на системе нечёткого вывода Такаги–Сугено [3], которая определяет командное воздействие исходя из двух входных сигналов: 1) отклонение действительного значения управляемой переменной системы от её желаемого значения (лингвистическая переменная (ЛП) с тремя термами: *negative*, *zero*, *positive*); 2) скорость изменения отклонения (для повышения точности управляющего воздействия) с двумя термами: *small*, *large*. Оптимальные функции принадлежности и параметры для них будут подбираться в ходе проведения вычислительного эксперимента.

Выходной сигнал нечёткой модели управления – управляющее воздействие – ЛП «команда» с тремя термами: *negative*, *zero*, *positive*.

Типовая база правил может иметь следующий вид:

1. ЕСЛИ отклонение = *negative* И изменение_отклонения = *small*, ТО команда = *positive*.

2. ЕСЛИ отклонение = *negative* И изменение_отклонения = *large*, ТО команда = *zero*.

3. ЕСЛИ отклонение = *zero*, ТО команда = *zero*.

4. ЕСЛИ отклонение = *positive* И изменение_отклонения = *small*, ТО команда = *negative*.

5. ЕСЛИ отклонение = *positive* И изменение_отклонения = *large*, ТО команда = *zero*.

Заключение. Предложена БУМА для ключевых аппаратов газотранспортной системы (ёмкость, нагреватель, насос). Разработка БУМА направлена на ускорение создания систем автоматизации и повышение их качества, что особенно важно в условиях импортозамещения. Дальнейшее развитие включает расширение библиотеки моделями компрессоров, трубопроводов и газораспределительных станций. Необходимо разработать программную реализацию на отечественной платформе, инструменты моделирования и верификации, а также провести тестирование и внедрение на реальных объектах. В перспективе планируется добавление адаптивных методов управления.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дмитриев В.М. Матрично-топологический анализ компонентных цепей / В.М. Дмитриев, Т.В. Ганджа, М.И. Кочергин // Вестник Томского гос. ун-та. Управление, вычислительная техника и информатика. – 2023. – № 62. – С. 25–35. DOI: 10.17223/19988605/62/3.

2. Акиншин Н.С. Модели автоматизации газотранспортной системы и алгоритмы оценки её надёжности / Н.С. Акиншин, А.В. Кулешов, А.А. Столяров // Изв. Тульского гос. ун-та. Технические науки. – 2019. – № 2. – С. 242–254.

3. Кочергин М.И. Модель нечеткого управления уровнем воды в емкости в среде моделирования MARPS / М.И. Кочергин, Д.В. Подушкин // Шарыгинские чтения. 9–11 октября 2024 г., г. Томск: матер. конф. – Томск: ТУСУР, 2024. – Ч. 1. – С. 335–340.

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПОДСТАНЦИИ ГЭС С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ «ЦИФРОВАЯ ПОДСТАНЦИЯ»

А.А. Петров, студент каф. КСУП

Научный руководитель Н.Ю. Хабибулина, доцент каф. КСУП, к.т.н.

г. Томск, ТУСУР, andre_2002petrov@mail.ru

Представлен проект модернизации системы управления подстанции гидроэлектростанции (ГЭС) на основе технологии «Цифровая подстанция» (ЦПС). На примере существующей системы проведены анализ, выбор оборудования в соответствии с ЦПС, замена протоколов передачи данных согласно стандарту в пользу протоколов МЭК 61850. Для повышения надежности системы использованы протоколы резервирования сети. В результате работы предложена модифицированная структурная схема системы автоматизации подстанции ГЭС.

Ключевые слова: цифровая подстанция, МЭК 61850, подстанция, технологическая сеть передачи данных, протокол резервирования, PRP, автоматизированная система управления (АСУ).

В соответствии с ГОСТ Р МЭК 61850-5–2011 [1], цифровой подстанцией является подстанция, в которой управление передачей данных осуществляется в цифровом виде. Данная технология относится к концепции «Цифровая трансформация 2030», которая заключается в полном преобразовании энергетической электросетевой инфраструктуры до 2030 г. посредством внедрения цифровых технологий.

В рамках этой концепции поставлена цель разработать проект системы автоматизации подстанции ГЭС на основе существующей.

Целью автоматизированной системы управления (АСУ) подстанции является контролирование множества процессов, протекающих на подстанции: получение, распределение, передача электроэнергии. При проектировании системы учтено оборудование, которое уже можно отнести к ЦПС.

Упрощенная структурная схема системы автоматизации подстанции до модернизации представлена на рис. 1.

В ходе анализа существующей АСУ подстанции выявлены следующие недостатки: ненадежные технологические решения при резервировании сети передачи данных, отсутствие стандартизации оборудования, частичное отсутствие дистанционного управления. В ходе разработки проекта пересмотрено существующее оборудование АСУ подстанции, предложена замена не относящегося к технологии ЦПС на аналоги, соответствующие требованиям.

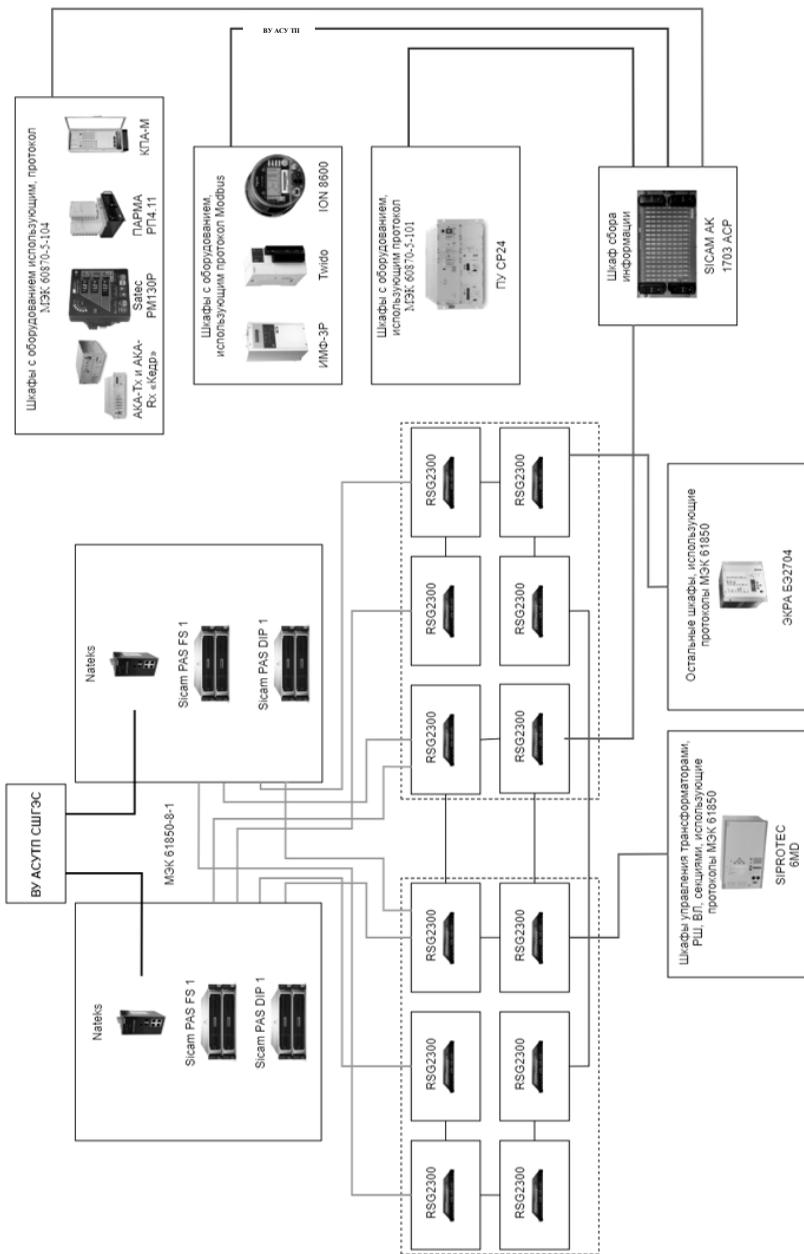


Рис. 1. Схема АСУ подстанции

При подборе оборудования учитывались используемые протоколы передачи данных. Приоритетно подбирались оборудование, поддерживающее протоколы стандарта МЭК 61850 для соответствия технологии ЦПС [2, 3]. Помимо этого, учитывалась поддержка оборудованием выбранного протокола параллельного резервирования PRP, который заменяет RSTP в существующей АСУ. Принцип действия данного протокола состоит в дублировании пакетов данных, отправляемых каждым из устройств в две параллельные локальные сети коммутаторов, что гарантирует моментальное время восстановления сети. В случае сбоя в одной из сетей передача данных во вторую сеть продолжится, следовательно, потери пакетов данных не будет. Визуально принцип действия PRP продемонстрирован на рис. 2.

Сравнение характеристик PRP с RSTP приведены в таблице, отражающей преимущество использования PRP.

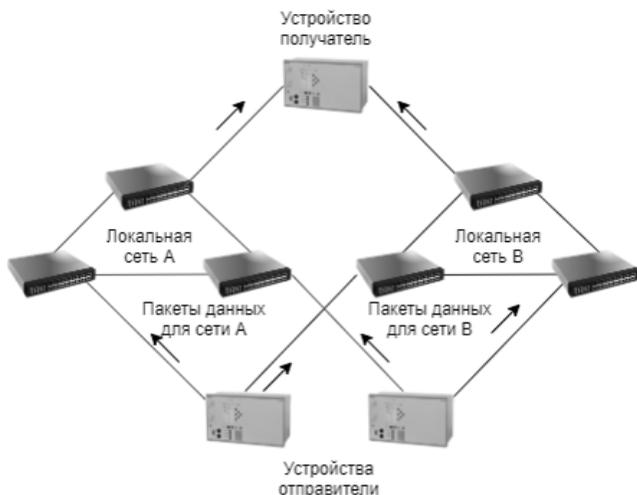


Рис. 2. Принцип действия протокола параллельного резервирования PRP

Сравнение протоколов PRP и RSTP

Протокол	Топология сети	Количество устройств	Максимальное время восстановления сети
RSTP	Кольцо	40	≤ 1 с
RSTP	Любая	Любое	≥ 1 с
PRP	Любая двоянная	Любое	0 мс

Пересмотрено оборудование нижнего уровня – трансформаторы тока и напряжения. Опираясь на [4], принято решение использовать цифровые трансформаторы, использующие электронно-оптические

блоки управления трансформатором. Для данного оборудования разработан алгоритм управления, приведенный на рис. 3.

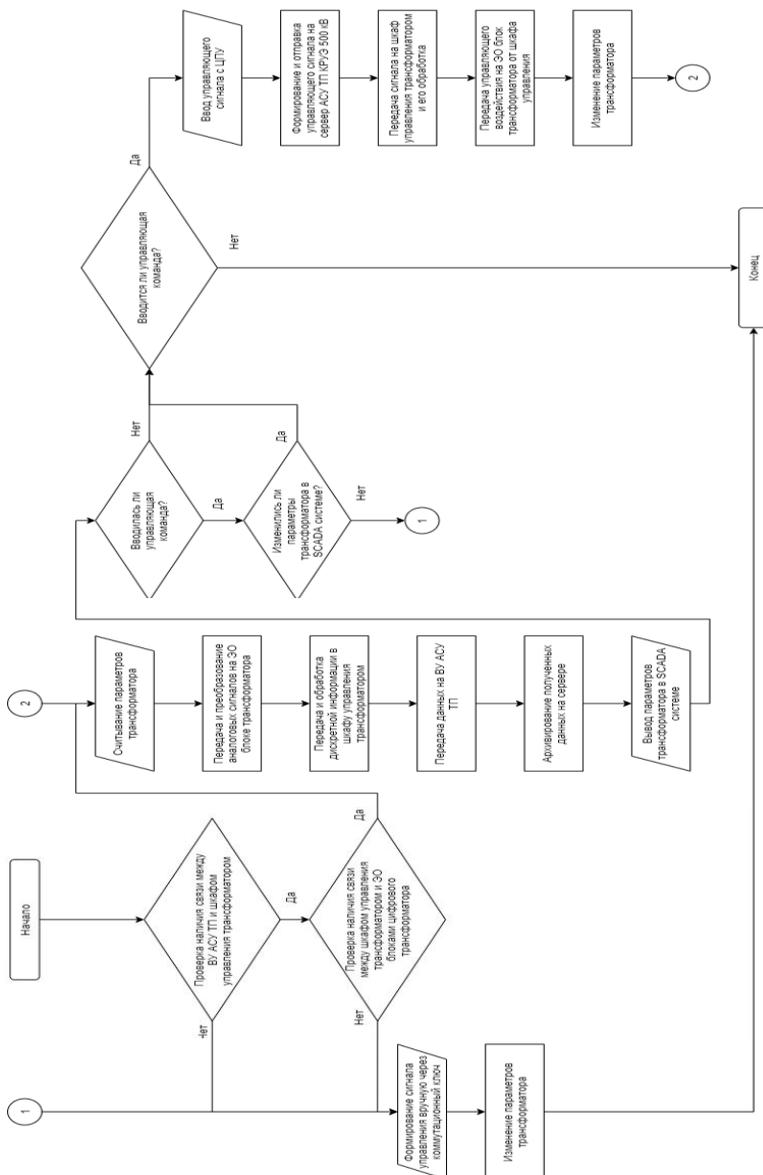


Рис. 3. Алгоритм управления цифровым трансформатором

В результате выполнения работы построена упрощенная структурная схема модернизированной системы автоматизации подстанции ГЭС с применением технологии «Цифровая подстанция» (рис. 4).

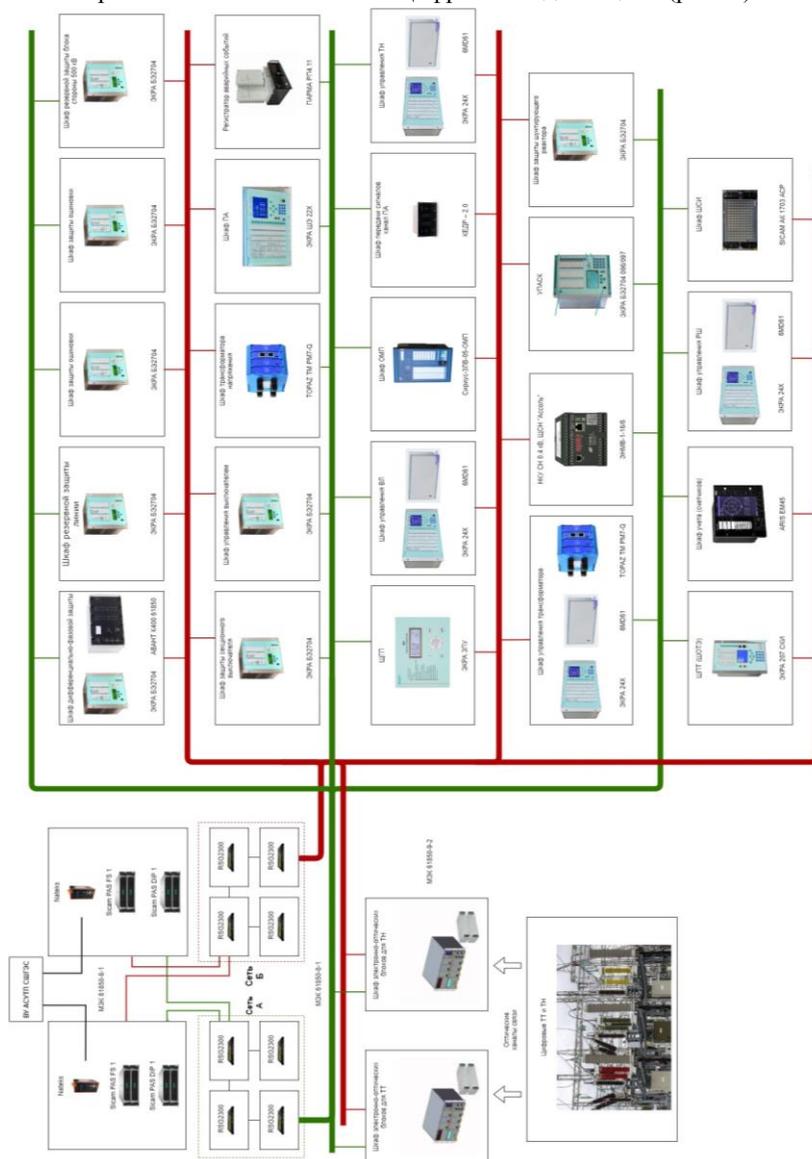


Рис. 4. Схема проекта модернизации системы управления

В спроектированной АСУ были учтены условия соответствия ЦПС. Внедрение предложенной модификации АСУ подстанции позволит провести стандартизацию процессов, улучшить дистанционное управление АСУ, повысить надежность и безопасность системы управления.

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ Р МЭК 61850-5–2011. Требования к связи для функций и моделей устройств. – М.: Стандартиформ, 2013. – 123 с.
2. Никитин В. Проектирования ЦПС. – СПб.: КЭТ Академия [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://qetacademy.ru/gallery/Академия%20QET%20проектирование%20ЦПС.pdf> (дата обращения: 05.04.2024).
3. Чичёв С.И. Методология проектирования цифровой подстанции в формате новых технологий / С.И. Чичёв, В.Ф. Калинин, Е.И. Глинкин. – М.: Спектр, 2014. – 228 с.
4. Попова Н.А. Тяговые и трансформаторные подстанции: учеб.-метод. пособие / Н.А. Попова, О.В. Кубкина, П.А. Бодров. – Ростов н/Д.: РГУПС, 2023. – 28 с.

УДК 004.94

ПРОЕКТИРОВАНИЕ БАЗОВЫХ БЛОКОВ ТРЕНАЖЕРА НАСОСНОЙ СТАНЦИИ ДЛЯ ОПЕРАТОРА-ТЕХНОЛОГА

Н.А. Ключников, Д.А. Рындин, студенты

*Научный руководитель М.И. Кочергин, доцент каф. КСУП, к.т.н.
г. Томск, ТУСУР, elenaspetr@gmail.com*

Проводится анализ тренажеров операторов-технологов для определения основных элементов управления с последующим их выполнением в фреймворке Avalonia UI.

Ключевые слова: АРМ, тренажер, Avalonia UI.

Эффективное управление насосными станциями требует высокой квалификации операторов-технологов. Для их обучения актуально использование тренажеров, позволяющих отрабатывать навыки в безопасных условиях [1].

Цель работы – формирование портрета базовых блоков, направленное на моделирование реальных процессов, обучение управлению оборудованием и отработку действий в аварийных ситуациях. Это способствует повышению профессионализма персонала и снижению рисков на производстве.

Обзор тренажеров. Для выполнения поставленных целей были проанализированы тренажеры от различных компаний. Результаты анализа занесены в табл. 1. Виды тренажеров описаны ниже.

– Виртуальный стенд – трехмерная модель, в которой пользователь может перемещаться и взаимодействовать с виртуальной средой [1].

– АРМ оператора – симулятор интерфейса и функций реальных рабочих мест [1].

– Комбинированные тренажеры – объединяют виртуальный стенд и АРМ в комплексное решение [1].

Таблица 1

Аналоги тренажера насосной станции

Компания	Объект	Вид тренажера	Преимущества	Недостатки
ИнжПром	Дожимная насосная станция	Комбинированный	Частично 3D-модель	Высокая цена за тренажер
SIM Lab	Дожимная насосная станция	Комбинированный	Частично 3D-модель	Высокая цена за тренажер
RTSim	На заказ	АРМ оператора	Лицензия на неограниченное количество компьютеров	Высокая цена за тренажер
НПП «АТП»	Газотранспортная система	АРМ оператора	Частично 3D-модель	Устаревший программный продукт
Тренажеры электрических сетей	Газотурбинная установка 16	АРМ оператора	Большое количество сценариев тренировок	Устаревший программный продукт
LContent	Компрессорная станция	Виртуальный стенд	Кроссплатформенность	Высокие системные требования

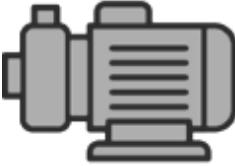
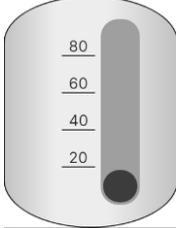
Список элементов управления. В результате анализа тренажеров было определено, что основными блоками на мнемосхемах насосной станции являются: аналоговые и дискретные датчики, емкости, насосы и запорные арматуры (табл. 2). После чего они были выполнены в фреймворке Avalonia UI.

Таблица 2

Элементы управления

Элемент управления	Обозначение
Аналоговый датчик	
Дискретный датчик	

Окончание табл. 2

Элемент управления	Обозначение
Пиктограмма насоса	
Емкость	
Горизонтальная и вертикальная запорная арматура	

Заключение. Были найдены и проанализированы шесть тренажеров операторов-технологов. В результате были определены и реализованы основные элементы управления.

ЛИТЕРАТУРА

1. Файзрахманов Р.А. Автоматизированное управление формированием сенсомоторных навыков у операторов технологических установок с применением компьютерных тренажеров / Р.А. Файзрахманов, И.С. Полевщиков. – Пермь: ПНИПУ, 2022. – 154 с.
2. Дожимная насосная станция (ДНС) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://enin-automation.ru/product/simulyator-trenazhyor-dns/> (дата обращения: 18.03.2025).
3. Тренажер «Автоматизированное рабочее место системы управления дожимной насосной станцией с установкой предварительного сброса воды (АРМ СУ ДНС с УПСВ)» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://sim-lab.ru/ru/product/DNS_simulator (дата обращения: 18.03.2025).
4. Тренажер для операторов газотурбинной электростанции ГТЭС-16ПА ст. №ГТУ-1 Зауральской ТЭЦ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.krug2000.ru/decisions/solutions_energy/2445.html (дата обращения: 18.03.2025).

5. Тренажер RTsim [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://rtsim.ru/trainers> (дата обращения: 18.03.2025).

6. Тренажер ГТУ-16 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <https://testenergo.ru/tren-gtu16/> (дата обращения: 18.03.2025).

7. Компрессорная станция [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://lcontent.ru/product/kompressornaya-stancziya/> (дата обращения: 18.03.2025).

УДК 004.94

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРЕКРЕСТКА В СРЕДЕ ANYLOGIC

Д.В. Саткин, студент

*Научный руководитель Т.Е. Григорьева, доцент каф. КСУП, к.т.н.
г. Томск, ТУСУР, satkindm@gmail.com*

Рассмотрено моделирование транспортных потоков на перекрестке улицы Елизаровых и улицы Шевченко в среде AnyLogic, проведен анализ загруженности дороги и предложены меры по оптимизации движения.

Ключевые слова: имитационное моделирование, транспортные потоки, AnyLogic, перекресток, оптимизация движения.

Современные города сталкиваются с проблемой перегруженности транспортных сетей, что приводит к снижению пропускной способности дорог, увеличению времени в пути и росту уровня загрязнения окружающей среды.

Имитационное моделирование в среде AnyLogic представляет собой один из наиболее точных инструментов анализа транспортных потоков, позволяющий исследовать возможные сценарии, выявлять узкие места дорожной сети и предлагать оптимальные решения для минимизации пробок. Данный подход позволяет не только прогнозировать последствия различных организационных изменений в дорожном движении, но и оценивать эффективность потенциальных мер по оптимизации транспортных потоков.

Анализ дорожной обстановки на перекрестке. Перекресток улицы Елизаровых и улицы Шевченко является одним из значимых транспортных узлов г. Томска. Улица Елизаровых представляет собой четырехполосную дорогу с приоритетом движения, а ул. Шевченко – трехполосную дорогу, на которой транспортные средства уступают дорогу основному потоку.

Полевые исследования показали, что в часы пик интенсивность движения достигает 4 285 транспортных единиц в час, что превышает расчетную пропускную способность перекрестка. Это приводит к

формированию заторов, увеличению времени ожидания на светофоре и росту вероятности дорожно-транспортных происшествий.

Разработка имитационной модели в AnyLogic. Для анализа текущей транспортной ситуации и поиска возможных решений была построена имитационная модель перекрестка в среде AnyLogic (рис. 1).



Рис. 1. Работа модели в промежуток времени 07.00–08.00 ч

В модели были учтены следующие параметры:

- реальные данные о транспортных потоках в разное время суток;
- фазы работы светофоров;
- особенности дорожной разметки и приоритетов движения;
- средняя скорость движения транспортных средств.

Модель позволила визуализировать движение автомобилей, оценить образование заторов и определить коэффициент загрузки дороги в разные периоды дня.

Расчет пропускной способности и коэффициента загрузки.

Пропускная способность дороги была рассчитана по формуле

$$P_{МП} = 1000 \times V_A \div L_D \times K_{МП} \times \alpha,$$

где $P_{МП}$ – пропускная способность (ед./ч), V_A – средняя скорость движения транспортных средств (11,1 м/с), L_D – средняя длина транспортного средства в потоке (16,9 м), $K_{МП}$ – коэффициент многополосности (1,9), α – коэффициент, учитывающий влияние регулируемого перекрестка (0,5).

Рассчитанная пропускная способность составила 2248,5 ед./ч, а коэффициент загрузки в часы пик превысил критическое значение $Z > 1$, что указывает на перегруженность дороги и необходимость принятия мер по оптимизации движения.

Результаты расчета совпали с результатами моделирования.

Рекомендации по улучшению дорожной ситуации. На основании результатов моделирования предложены следующие меры по оптимизации движения:

- адаптивное управление светофорами – использование интеллектуальных систем для автоматической регулировки фаз светофора в зависимости от интенсивности движения;
- оптимизация схемы движения – перераспределение потоков путем изменения приоритетов движения на перекрестке, а также организация дополнительных полос для поворота;
- создание альтернативных маршрутов – расширение дорожной сети и организация объездных путей;
- популяризация европротокола при ДТП – сокращение времени ликвидации последствий мелких аварий, что позволит минимизировать образование вторичных заторов.

Заключение. В ходе исследования была разработана и протестирована имитационная модель перекрестка улицы Елизаровых и улицы Шевченко в среде AnyLogic. Проведенные расчеты и анализ данных позволили выявить узкие места транспортного узла, определить коэффициенты загрузки дороги и предложить меры по снижению заторов.

Результаты моделирования показали, что в утренние (07:00–08:00) и вечерние (17:00–18:00) часы пик коэффициент загрузки превышает 1, что свидетельствует о перегруженности дороги. В другие временные периоды движение остается в допустимых пределах, и загрузка не превышает 0,8.

Таким образом, имитационное моделирование продемонстрировало свою эффективность как инструмент анализа и оптимизации транспортных потоков. Разработанная модель может быть использована для исследования других перегруженных участков городской дорожной сети, что делает данный метод перспективным для дальнейших исследований в области управления транспортными системами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Рахманов А.Б. Четыре колеса апокалипсиса: причины автомобильных пробок в крупных городах мира // Вестн. Том. гос. ун-та. Философия. Социология. Политология. – 2020. – № 58.

2. Кадыров А.С. Анализ и предложения по проблеме устранения автомобильных пробок (дорожных заторов) / А.С. Кадыров, Н.С. Токашева // МНИЖ. – 2014. – № 3-2 (22).

3. Вебинар: Моделирование дорожного движения в AnyLogic [Электронный ресурс]: официальный сайт AnyLogic. – URL: <https://www.anylogic.ru> (дата обращения: 06.03.2024)

4. Отраслевой дорожный методический документ. Методические рекомендации по оценке пропускной способности автомобильных дорог: электронный фонд правовых и нормативно-технических документов [Электронный ресурс]. – URL: <https://docs.cntd.ru> (дата обращения: 01.04.2024).

УДК 681.5.01

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА РЕКТИФИКАЦИИ ЗА СЧЕТ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ В СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ

О.Н. Щетинская, аспирант

*Научный руководитель С.М. Андреев, зав. каф. АСУ, проф. д.т.н.
г. Магнитогорск, МГТУ им. Г.И. Носова, schetinskajaon@tyuiu.ru*

Рассматриваются проблемы повышения эффективности процесса ректификации изобутан-изобутиленовой фракции, и определяется направление для решения этих проблем алгоритмами машинного обучения.

Ключевые слова: ректификация изобутан-изобутиленовой фракции, эффективность технологического процесса, алгоритмы машинного обучения.

Использование полимеров сегодня вошло во все сферы жизни человека. И качество полимерной продукции определяется повышенными требованиями к составу сырья, используемого для ее изготовления. Ректификация изобутан-изобутиленовой фракции (ИИФ) – это сложный и динамический технологический процесс газопереработки, что делает его идеальным объектом автоматизации.

Одной из основных проблем, стоящих перед современными предприятиями, занимающимися процессом ректификации изобутан-изобутиленовой фракции, является повышение эффективности и безопасности технологического процесса при минимальных затратах. В частности, проектная мощность цеха БК-3 по сырью изобутан-изобутиленовой фракции составляет 23 359 кг/ч., однако качество сырья на выходе из ректификационной колонны изменяется в пределах

90–95%, что указывает на наличие резервов для увеличения качества выхода целевого продукта.

Так как ИИФ является основным сырьем для получения изобутилена, из которого производят большое количество пластмасс и эластомеров с высокими эксплуатационными характеристиками, то повышение ее качества является приоритетным направлением. Но качество сырья колеблется, что влияет на процесс ректификации. А также это отражается на дальнейшем выделении изобутилена из изобутан-изобутиленовой фракции и определяет энергозатраты процесса получения 100%-го изобутилена. Автоматизированные системы адаптируются к этим изменениям и оптимизируют сложный технологический процесс в режиме реального времени.

С помощью системы автоматического управления можно оптимизировать следующие параметры технологического процесса ректификации:

- концентрацию компонентов (расход питающей смеси, уровень дистиллята и кубового остатка должны быть под постоянным контролем);

- скорость подачи сырья, что влияет на общую эффективность процесса;

- скорость отбора дистиллята, которая влияет на концентрацию компонентов в продукте и отходах.

Часто для повышения эффективности процесса ректификации ИИФ, который является массообменным процессом, используют решения, основанные на техническом перевооружении ректификационной колонны. Для этого заменяют тарельчатые контактные устройства новейшими насадочными элементами, что для производства не всегда возможно сделать без реконструкции ректификационной колонны.

Традиционные методы модернизации часто оказываются либо чрезмерно дорогими, либо недостаточно эффективными для достижения поставленных целей.

Внедрение технологий машинного обучения открывает новые перспективы для оптимизации процесса ректификации, позволяя предсказывать оптимальные условия работы колонны, своевременно обнаруживать отклонения в качестве сырья и минимизировать риски аварий. Поэтому для повышения эффективности процесса ректификации ИИФ требуется разработать модель процесса ректификации, позволяющую повысить эффективность процесса ректификации без технического перевооружения всей установки.

Поэтому важно использовать систему автоматического управления для непрерывного мониторинга и оптимизации параметров технологического процесса. Для реализации такой системы управления

наиболее эффективными являются алгоритмы машинного обучения, так как они предназначены для обработки больших объемов данных и способны адаптироваться к изменяющимся условиям нестационарного технологического процесса в режиме реального времени.

Также процесс ректификации ИИФ включает в себя работу с высокотемпературными и высокодавленческими системами, что повышает технологическую опасность, поэтому внедрение систем искусственного интеллекта, повышающих скорость регулирования процесса, позволит снижать опасные технологические факторы.

Использование интеллектуальной системы управления процессом ректификации ИИФ на основе машинного обучения способно существенно сократить затраты на производство, повысить экологичность и безопасность процесса и гарантировать стабильное качество выходящего сырья на уровне не ниже 99%.

ЛИТЕРАТУРА

1. Щетинская О.Н. Повышение эффективности системы автоматического управления нестационарным технологическим процессом // Инновации. Интеллект. Культура: матер. VI Междунар. науч.-практ. конф., посвященной году М.С. Знаменского в г. Тобольске, Тобольск, 21 апреля 2023 г. – Тюмень: Тюм. индустр. ун-т, 2023. – С. 85–88.

2. Ясавеев Х.Н. Модернизация установок переработки углеводородных смесей / Х.Н. Ясавеев, А.Г. Лаптев, М.И. Фарахов. – Казань: Казан. гос. энергет. ун-т, 2004. – 305 с. [Электронный ресурс]. – URL: <https://elibrary.ru/owgbvi> (дата обращения: 12.09.2024).

3. Шарвина С.О. Адаптивное управление температурным профилем ректификационной колонны тарельчатого типа: дис. ... канд. техн. наук. – М., 2014. – 167 с. [Электронный ресурс]. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=22347000> (дата обращения: 23.01.2023).

УДК 681.518.5

ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ПРИ АВТОМАТИЗАЦИИ ВОЗДУШНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ ГАЗОПРОВОДА

Д.С. Шифман, студент каф. КСУП

*Научный руководитель М.И. Кочергин, доцент каф. КСУП, к.т.н.
г. Томск, ТУСУР, demid_postup@mail.ru*

Дан обзор методов применения нейронных сетей для улучшения качества автоматизации процессов контроля температуры газопроводов. Описаны основные способы применения и архитектуры нейросетей, способных повысить качество процессов.

Ключевые слова: нейронная сеть, оптимизация процессов, автоматизация.

Методы транспортировки и хранения природного газа сложны и требовательны к точности процессов управления. Одной из ключевых задач отрасли является поддержание оптимальной температуры газа в трубопроводах, особенно в условиях холодного климата. Переохлаждение газа может привести к образованию гидратов, которые способны вызвать закупорку трубопроводов и нарушить процесс транспортировки. В то же время избыточное нагревание может привести к неэффективному использованию энергии и увеличению эксплуатационных затрат.

Традиционные методы управления температурным режимом часто оказываются недостаточно эффективными из-за сложности и нелинейности процессов теплообмена. Использование искусственных нейронных сетей (ИНС) для автоматизации воздушного охлаждения газопроводов даст возможность повысить точность управления и снизить энергопотребление.

Способность ИНС моделировать сложные нелинейные зависимости позволяет использовать их в качестве инструмента для анализа и прогнозирования тепловых процессов в газопроводах. Так, они позволяют улучшить процессы:

- прогнозирования температуры газа на различных участках трубопровода;
- оптимизации работы системы охлаждения путем подбора оптимальных режимов работы устройств;
- обнаружения неожиданных изменений температуры.

ИНС также могут быть интегрированы в системы автоматического управления, выступая в роли интеллектуального регулятора, который на основе текущих данных и прогнозов принимает решения об изменении регулирующего воздействия.

Использование ИНС дает следующие преимущества:

- Адаптивность: ИНС способны обучаться, изменяя свои параметры, что позволяет эффективно функционировать при изменяющихся условиях эксплуатации.
- Точность: благодаря способности учитывать многомерное воздействие ИНС могут обеспечивать оптимальное управление по сравнению с традиционными методами.
- Энергоэффективность: оптимизация работы системы охлаждения позволяет снизить энергопотребление и как следствие эксплуатационные затраты.
- Многомерность управляющего воздействия: ИНС могут обладать несколькими нейронами на выходном слое, что позволяет формировать многомерные управляющие воздействия.

Существуют различные архитектуры ИНС, выбор которых обусловлен решаемыми задачами.

Радиально-базисные сети (RBF), представляя собой классическую архитектуру, хорошо подходят для задач регрессии, классификации и аппроксимации функций.

Рекуррентные нейронные сети (RNN) особенно эффективны для работы с временными рядами, что позволяет учитывать временные зависимости в данных.

Сети долгой краткосрочной памяти (LSTM) являются разновидностью рекуррентных сетей и обладают способностью запоминать долгосрочные зависимости в данных. Это делает их особенно полезными для задач, где важно учитывать длительные изменения.

Хотя сверточные нейронные сети (CNN) чаще используются для обработки изображений, они также могут быть применены для анализа данных, в частности, для обнаружения в них аномалий.

В таблице представлен результат сравнения способностей ИНС различных архитектур выполнять задачи при автоматизации.

Сравнение нейронных сетей различных архитектур

Архитектура	Моделирование сложных процессов	Управление процессами	Точность прогнозирования	Оценка адаптивности
RBF	Средняя	Очень высокая	Высокая	Средняя
RNN	Очень высокая	Высокая	Очень высокая	Высокая
LSTM	Очень высокая	Очень высокая	Очень высокая	Очень высокая
CNN	Средняя	Низкая	Высокая	Низкая
Гибрид CNN + LSTM	Очень высокая	Очень высокая	Очень высокая	Очень высокая

Наиболее подходящими архитектурами для моделирования и анализа системы охлаждения газопроводов являются LSTM и гибридные архитектуры (например, CNN + LSTM). Однако их реализация требует значительных вычислительных ресурсов. RNN также демонстрируют высокую эффективность, но уступают LSTM в задачах с длительными временными зависимостями. RBF и CNN могут быть полезны в отдельных случаях благодаря относительной простоте их реализации, например, в качестве регуляторов, формирующих управляющее воздействие, но их применение ограничено из-за меньшей гибкости и адаптивности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Васильев В.И. Интеллектуальные системы управления. Теория и практика: учеб. пособие / В.И. Васильев, Б.Г. Ильясов. – М.: Радиотехника, 2009. – 392 с.

2. Бураков М.В. Нейронные сети и нейроконтроллеры: учеб. пособие. – СПб.: ГУАП, 2013. – 284 с.

3. Бабанова И.С. Структурно-параметрический синтез системы автоматического управления аппаратами воздушного охлаждения газа // Научное обозрение. Технические науки. – 2016. – № 5. – С. 28–36.

УДК 681.5

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ НА ОСНОВЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ ДЕФЕКТОВ

А.М. Тернов, аспирант каф. КСУП

*Научный руководитель А.Е. Карелин, доцент каф. КСУП, к.т.н.
г. Томск, ТУСУР, am.ternov@gmail.com*

Рассмотрены основные особенности методов реализации технического зрения, применимых для обнаружения дефектов.

Ключевые слова: техническое зрение, машинное обучение, искусственный интеллект, обнаружение дефектов.

Дефекты – неотъемлемая часть любого производственного процесса в любой отрасли. Своевременное обнаружение и минимизация возникновения дефектов являются ключевыми аспектами контроля качества. На возникновение дефектов могут повлиять неудачные конструкторские решения, несовершенства технологий, механические проблемы с оборудованием, ошибки работников или иные проблемы. Обнаружение дефектов на ранних этапах позволяет более эффективно выявлять первопричины и устранять проблемы до того, как они станут серьёзными проблемами для бизнеса [1].

Для успешного прохождения технического контроля качества характеристики производимой продукции должны соответствовать стандартам, предъявляемым производителем или регулируемыми органами. В зависимости от свойств и особенностей исследуемых объектов и требований оценка свойств может производиться различными методами как при участии наблюдателя-исследователя, так и при помощи средств автоматизации.

К преимуществам автоматизированного контроля можно отнести: минимизацию «человеческого фактора», более высокую скорость и точность исследований и измерений, возможность непрерывного контроля, например, во время перемещения продукции по производственной линии, также такие системы более удобны в эксплуатации.

Визуальный контроль сильно изменился за последние годы благодаря достижениям в области автоматизации, захвата и обработки изображений и искусственного интеллекта [2].

Хотя для решения разных задач могут использоваться разные модели машинного обучения – например, поиск неисправных деталей при сборке полупроводниковых пластин отличается от поиска на автомобильном производстве, – принципы работы схожи. Используя алгоритмы глубокого обучения и нейронные сети, машины могут приблизиться к имитации осмотра человеком, различая детали и выявляя аномалии по сравнению с тем, что система «ожидает» увидеть в полученных данных. Эти модели могут быть достаточно гибкими, чтобы различия в расположении, ориентации, освещении и других случайных факторах не влияли на точность результата обнаружения.

Для создания автоматизированных систем обнаружения дефектов с использованием машинного зрения чаще остальных применяются следующие методы и модели: техническое зрение, построенное на правилах, машинное обучение с учителем и без. Рассмотрим основные особенности этих подходов и сравним их по ключевым параметрам.

Традиционное машинное зрение, основанное на правилах, использует определенные правила «если – то» для принятия решений об исследуемом изображении. Данные системы хорошо показывают себя в проверках по фиксированному набору условий, однако при таком подходе виды распознаваемых аномалий ограничены исходным набором правил, и для каждого вида исследуемых объектов нужен свой индивидуальный набор правил. Также такие системы чувствительны к отклонениям от эталонных условий, например, ориентации исследуемого объекта, освещённости и т.д. [3].

Один из наиболее широко используемых способов машинного обучения – обучение с учителем. Система обучается с помощью примеров типа «вопрос–ответ». Модель во время обучения получает специальный подготовленный набор данных и на его основе учится самостоятельно давать ответы и делать предположения. Обучение можно считать завершённым после того, как точность предсказаний модели достигнет желаемого уровня. По завершении обучения и оценки точности модель готова к самостоятельной работе без участия человека. К преимуществам данного метода можно отнести гибкость в обнаружении ранее известных объектов или закономерностей на новых изображениях или данных. Однако для достижения более высокой точности обнаружения нужно провести трудоёмкую работу по предварительной разметке обучающего набора данных, также сам процесс обучения занимает много времени и требует значительных вычислительных ресурсов.

При обучении без учителя алгоритм может выявлять закономерности в необработанных данных. Это избавляет от необходимости создавать каталог «хороших и плохих» изображений – вместо этого системе нужны только примеры приемлемых (без дефектов) продуктов, которые, очевидно, получить проще, и она может научиться выявлять аномальные области, которые отличаются от эталона. Применение данного метода способно выявить новые объекты или события без каких-либо предварительных знаний о них, что может быть полезно в случаях, когда различия между объектами минимальны или существует слишком большое количество вариаций, которые невозможно полностью описать [4, 5].

На основе особенностей рассмотренных методов можно составить дополненную сравнительную таблицу ключевых особенностей.

Ключевые особенности методов технического зрения

Параметры	Машинное зрение, основанное на правилах	Глубокое обучение с учителем	Глубокое обучение без учителя
Исходные данные	Эталонное изображение и набор правил	Размеченный обучающий набор данных	Неразмеченный набор данных
Вычислительная сложность	Средне-низкая	Средняя	Высокая
Затраты времени	Средние	Большие	Средне-большие
Используемые алгоритмы	Набор правил и конкретных шагов для обработки и проверки изображений	Регрессия: линейная и логистическая; метод опорных векторов; метод k-ближайших соседей; дерево решений; многоклассовая классификация и т.д.	Априорный алгоритм; кластеризация; иерархическая, метод k-средних и т.д.

Опираясь на представленную информацию, можно сделать вывод о том, что системы технического зрения, в основе которых лежат машинное обучение и искусственный интеллект, могут успешно применяться для обнаружения и классификации разных видов дефектов. Также стоит отметить возможность применения подобных систем при изменяющихся положениях исследуемых объектов, освещённости и иных параметрах, изменение которых снижает точность работы или

делает невозможным применение традиционных систем технического зрения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Автоматизация визуального контроля качества изделий [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://panor.ru/articles/avtomatizatsiya-vizualnogo-kontrolya-kachestva-izdeliy/16091.html#>, свободный (дата обращения: 10.02.2025).

2. Обнаружение дефектов при помощи технологий компьютерного зрения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://neuro-core.ru/blogs/automated-defect-detection>, свободный (дата обращения: 10.02.2025).

3. Системы автоматизированного визуального контроля LYNX [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://nevatec.ru/equipment/sistemyi-avtomatizirovannogo-vizualnogo-kontrolya-lynx.html>, свободный (дата обращения: 10.02.2025).

4. Supervised and Unsupervised learning [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.geeksforgeeks.org/supervised-unsupervised-learning/?ref=ml_lbp1, свободный (дата обращения: 16.02.2025).

5. Supervised and Unsupervised Learning [Differences & Examples] [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.v7labs.com/blog/supervised-vs-unsupervised-learning>, свободный (дата обращения: 10.02.2025).

УДК 004.942.41 + 66.021.3

РАЗРАБОТКА ВИРТУАЛЬНОЙ ЛАБОРАТОРИИ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

А.О. Ушаков, м.н.с.

г. Томск, ТУСУР, alexander6@mail.ru

Разработка виртуальной лаборатории отвечает современным требованиям к обучению студентов кафедр химико-технологических специальностей и представляет собой мощный инструмент, который объединяет в себе образовательные и практические аспекты изучения химии и химической технологии. Она будет включать в себя не только модули моделирования процессов, но и библиотеки аппаратов химико-технологических систем, что позволит осуществлять разносторонние практические и научно-исследовательские работы. В качестве основных моделей на начальном этапе разработки выступают модели массообменных и сепарационных устройств в совокупности с кейсами решения практических задач на основе использования соответствующих моделей.

Ключевые слова: моделирование, химия, технология, образование, лаборатория.

Разработка виртуальной лаборатории для моделирования химико-технологических процессов является важным шагом в повышении качества образовательного процесса в области химической технологии и ядерной энергетики. Виртуальная лаборатория представляет собой динамичное, инновационное и интерактивное образовательное пространство, предназначенное для будущих специалистов в химической промышленности. Лаборатория позволит не только облегчить доступ к современным образовательным инструментам, но и обеспечит глубокое понимание теоретических аспектов и практических навыков, необходимых для работы в высокотехнологичных отраслях [1, 2].

Одним из весомых достоинств разработки виртуальной лаборатории можно считать то, что работа с виртуальными моделями аппаратов позволит существенно сократить ограничения, связанные с проведением экспериментов в традиционных условиях, в том числе работой с повышенными факторами риска для здоровья и проведением исследований на труднодоступном оборудовании. Посредством виртуальной лаборатории студенты получают возможность проводить моделирование широкого спектра гидродинамических, сепарационных и массообменных процессов, включая методы и технологии, используемые в ядерной отрасли, что в реальных условиях требовало бы точного соблюдения условий повышенной безопасности [3–6]. Виртуальная лаборатория предоставляет безопасную альтернативу, позволяя обучающимся экспериментировать и учиться на своих ошибках без риска для здоровья и окружающей среды.

Предполагается, что виртуальная лаборатория будет доступна для студентов в любое время и в любом месте по специальной ссылке. Лаборатория представляет собой цифровую платформу с интуитивным и понятным интерфейсом, модульной библиотекой моделей химико-технологических аппаратов и систем, в том числе насосов, химических реакторов, колонных аппаратов и соответствующих датчиков контроля за параметрами процесса. Лаборатория даст возможность конструировать различные технологические схемы с учетом имеющихся моделей химико-технологических систем, что в перспективе позволит оптимизировать и повысить эффективность реальных технологических процессов на основе накопленного опыта работы с модельными данными, полученными в процессе эксплуатации виртуальной лаборатории.

На рис. 1 приведен пример работы визуального интерфейса виртуальной лаборатории.

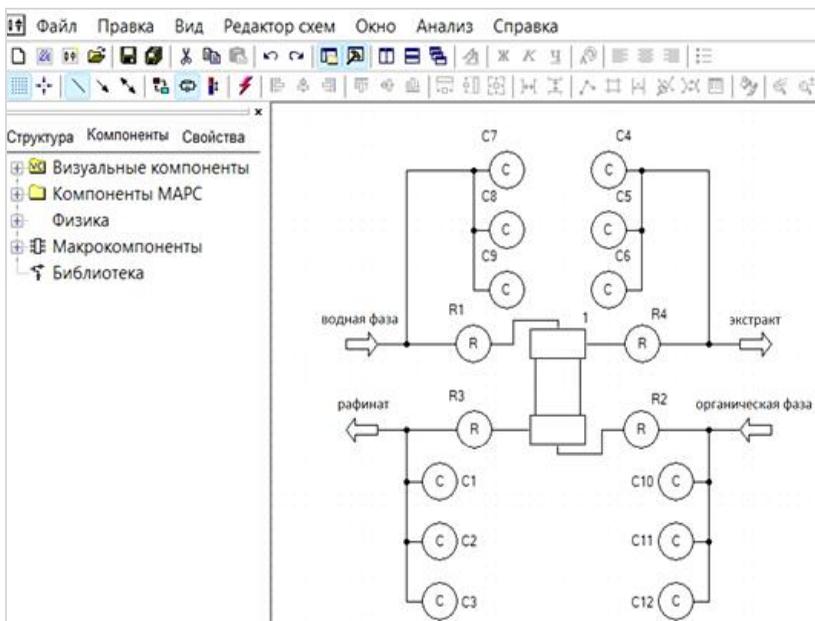


Рис. 1. Изображение визуального интерфейса виртуальной лаборатории с моделью экстракционной колонны

Перед началом моделирования оператору необходимо по ссылке получить доступ к виртуальной лаборатории, в соответствии с методикой выбрать необходимый раздел из библиотеки моделей и рабочие параметры моделируемого процесса. После выполнения всех условий подготовки к проведению моделирования производится запуск выбранной модели с последующей выдачей результатов в текстовой или графической форме.

Реализация и использование разрабатываемой виртуальной лаборатории в учебном процессе позволят подготовить студентов к современным требованиям промышленности и науки, делая их более конкурентоспособными на рынке труда. В результате потенциальные выпускники будут обладать не только глубокими теоретическими знаниями, но и практическим опытом работы с современными технологиями.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алексеева О.В. Образовательные возможности виртуальных образовательных лабораторий: анализ текущей практики / О.В. Алексеева, Н.В. Александрова, Т.П. Скворцова // Научно-педагогическое обозрение. – 2023. – Вып. 6 (52). – С. 134–142 [Электронный ресурс]. – URL:

http://npo.tspu.edu.ru/archive.html?year=2023&issue=6&article_id=8963 (дата обращения: 11.03.2025). DOI: 10.23951/2307-6127-2023-6-134-142.

2. Тазов П.Ю. Проблемы цифрового обучения и методы повышения эффективности обучения цифрового поколения в цифровой среде // Современные наукоемкие технологии. – 2020 [Электронный ресурс]. – URL: <https://top-technologies.ru/article/view?id=38121> (дата обращения: 10.03.2025). DOI: 10.17513/snt.38121.

3. Дмитриев В.М. Среда многоуровневого компьютерного моделирования химико-технологических систем / В.М. Дмитриев, Т.В. Ганджа. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 2017. – 332 с.

4. Дмитриев В.М. Принципы построения моделей сложных технологических объектов с неоднородными векторными связями / В.М. Дмитриев, Т.В. Ганджа, С.К. Важенин // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2014. – № 1 (41). – С. 104–111.

5. Основные процессы и аппараты химической технологии: пособие по проектированию / Г. Борисов, В.П. Брыков, Ю.И. Дытнерский и др. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Химия, 1991. – 496 с.

6. Математическое моделирование процесса диффузии и кинетики массопереноса веществ в различных средах / А.А. Ганюков, И.А. Кадырова, А.С. Кадыров, Д.Д. Маратов // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2021. – № 4. – С. 86–91.

ПОДСЕКЦИЯ 3.4

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ

*Председатель секции – Ходашинский И.А., проф. каф. КСУП, д.т.н.
зам. председателя – Сарин К.С., доцент каф. КСУП, к.т.н.*

УДК 004.021

КЛАССИФИКАЦИЯ ЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА КРОВИ ЧЕЛОВЕКА ПО ТЕРРИТОРИИ ПРОЖИВАНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ НЕЧЕТКИХ СИСТЕМ

М.Б. Бардамова, доцент каф. КСУП ТУСУР, к.т.н.;
Н.В. Барановская, проф. ИШПР НИ ТПУ, д.б.н., доцент
г. Томск, marina.b.bardamova@tusur.ru

Описаны процесс и итог построения нечеткого классификатора для определения по элементному составу крови человека территории его проживания. Для выполнения исследования собран оригинальный набор данных, включающий 477 образцов, 39 признаков и шесть анализируемых территорий. Полученный нечеткий классификатор на тестовых выборках продемонстрировал точность, равную 96%, и способность алгоритмов машинного обучения решать биогеохимические задачи.

Ключевые слова: машинное обучение, нечеткий классификатор, анализ данных, химические элементы, элементный состав, бионеорганическая химия.

Вариативность элементного состава организмов определяется различными факторами, в том числе экологическими, а потому во многом зависит от территории проживания [1]. В пределах даже одной области экологическая обстановка районов может настолько сильно отличаться, что распределения химических элементов у представителей этих территорий также будут иметь значительные различия. Знания о биогеохимической спецификации организмов важны для понимания экологической картины территории и состояния здоровья населения [2]. Но проблема получения таких знаний кроется в необходимости обработки большого количества данных. Цель данной работы заключается в поиске ответа на вопрос, способны ли инструменты машинного обучения на примере нечеткого классификатора решать задачу определения территории проживания человека, зная

элементный состав его крови. Для решения поставленной цели проведены эксперименты по построению моделей классификатора на наборе данных, собранном усилиями ученых Национального исследовательского Томского политехнического университета.

Описание набора данных. Набор данных состоит из 39 признаков, среди которых насчитывается 30 аналитических переменных и 9 расчетных. Каждый аналитический признак представляет собой количественное содержание микроэлемента в организме, рассчитанное путем проведения инструментального нейтронного активационного анализа. Образцы крови собраны у жителей шести территорий: Томской области (298 образцов), Челябинской области (32 образца), Иркутской области (38 образцов), Республики Крым (44 образца), Забайкальского края (35 образцов) и Семипалатинского полигона Республики Казахстан (30 образцов). Суммарно набор данных включает 477 уникальных экземпляров данных, разделенных по шести классам. Класс соответствует территории проживания.

Предоставленные данные прошли через предобработку, заключающуюся в заполнении пропусков. Всё множество данных было разделено на подмножества с одинаковым классом. Далее внутри каждого подмножества проводилось восстановление пропущенных значений признаков. Если это было возможно, пропуски заполнялись минимальным значением среди имеющихся в признаке. В противном случае значения заполнялись константой, равной половине от минимальной границы определения прибором.

Методы и алгоритмы. Для построения нечеткого классификатора был выбран трехэтапный метод, включающий этапы генерации структуры алгоритмом экстремумов классов, отбора признаков в режиме «обертки» бинарными метаэвристическими алгоритмами и настройки параметров термов непрерывными метаэвристиками. Генерация структуры – обязательная операция, необходимая для создания базы правил и термов классификатора. Применение отбора признаков обусловлено высокой размерностью данных и наличием предположения о различающейся информативности признаков в поставленной задаче. Настройка параметров термов показана при использовании алгоритма экстремумов классов, поскольку главным приоритетом этого инструмента генерации структуры является наименьшая сложность и, как следствие, наилучшая интерпретируемость. Уточнение термов метаэвристиками, в свою очередь, позволяет повысить точность классификации [3].

Для отбора признаков использованы бинарные версии алгоритма прыгающих лягушек, гравитационного алгоритма и алгоритма серого

волка. С каждым алгоритмом выполнено 10 прогонов по 1 000 итераций, далее по результатам эксперимента были рассчитаны частоты появления признаков в итоговых подмножествах и определены потенциально информативные подмножества признаков для дальнейшего построения нечеткого классификатора. Непрерывные версии алгоритма прыгающих лягушек, гравитационного алгоритма, алгоритма серого волка и алгоритма стаи птиц применялись для выполнения настройки параметров термов на уже сокращенных базах правил, т.е. на подмножествах отобранных признаков.

Результаты экспериментов. По результатам экспериментов лучшей оказалась модель, определяющая территорию проживания по пяти признакам – содержанию в элементном составе селена (Se), бария (Ba), стронция (Sr), ртути (Hg) и неодима (Nd). При тестировании по схеме пятикратной кроссвалидации модель показала сбалансированную точность, равную 100% на обучении и 96,42% на тестировании.

Построенный на основе лучшей модели классификатор был заново проверен на всей имеющейся базе. Он сумел правильно определить 475 из 477 образцов. База правил классификатора включает следующие утверждения:

1) если содержание Se очень высокое, Ba – высокое, Sr – высокое, Hg – низкое, Nd – очень низкое, то Томская область;

2) если содержание Se низкое, Ba – очень низкое, Sr – очень высокое, Hg – ниже границы определения прибором, Nd – ниже границы, то Челябинская область;

3) если содержание Se среднее, Ba – очень низкое, Sr – высокое, Hg – очень высокое, Nd – очень низкое, то Иркутская область;

4) если содержание Se ниже границы, Ba – низкое, Sr – среднее, Hg – ниже границы, Nd – очень низкое, то Республика Крым;

5) если содержание Se ниже границы, Ba – очень высокое, Sr – очень низкое, Hg – ниже границы, Nd – очень низкое, то Забайкальский край;

6) если содержание Se ниже границы, Ba – низкое, Sr – ниже границы, Hg – ниже границы, Nd – очень большое, то Семипалатинский полигон.

Термы приведенной выше базы правил приведены на рис. 1.

Заключение. Высокая точность полученного классификатора позволяет сделать вывод, что методы машинного обучения могут применяться в задаче определения территории проживания человека по результатам анализа элементного состава крови. Используемые алгоритмы способствовали получению точной и компактной модели, которую достаточно легко интерпретировать специалистам.

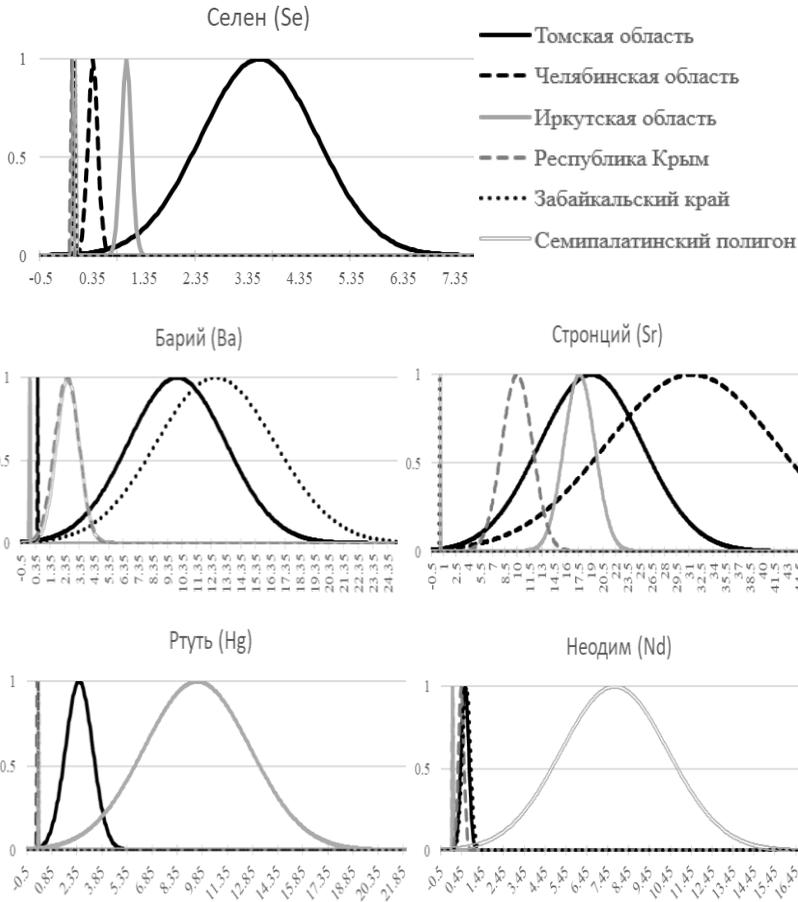


Рис. 1. Термы полученной базы правил

ЛИТЕРАТУРА

1. Барановская Н.В. Химические элементы в организмах жителей регионов России // Эволюция биосферы и техногенез: матер. Всерос. конф. с междунар. участием, Чита, 30 августа 2022 г. – Чита: ИПРЭК СО РАН, 2022. – С. 180–182.
2. Барашков Г.К. Медицинская биогеографика. Основы, аналитика, клиника / Г.К. Барашков. – М.: Изд-во БИНОМ, 2011. – 512 с.
3. A Three-Stage Fuzzy Classifier Method for Parkinson's Disease Diagnosis Using Dynamic Handwriting Analysis / K. Sarin, M. Bardamova, M. Svetlakov, N. Koryshev, R. Ostapenko, A. Hodashinskaya, I. Hodashinsky // Decision Analytics Journal. – 2023. – Vol. 8. – P. 100274.

РАЗРАБОТКА И ОПТИМИЗАЦИЯ МОДИФИЦИРОВАННОГО МУРАВЬИНОГО АЛГОРИТМА

А.Ю. Емельянов, студент

Научный руководитель М.К. Семенов, ст. преп. каф. ИВТ

г. Красноярск, СибГУ им. М.Ф. Решетнева,

artem.emelianov.2004@gmail.com

Рассматривается оптимизация муравьиного алгоритма для решения TSP-задачи. Основное внимание уделено снижению вычислительных затрат с помощью локализации поиска, распараллеливанию алгоритма и автоматическому подбору параметров с использованием генетического алгоритма.

Ключевые слова: муравьиный алгоритм, эвристические алгоритмы, локализация, оптимизация, генетический алгоритм.

Муравьиный алгоритм – метаэвристический алгоритм для нахождения приближенного решения, когда классические алгоритмы неэффективны [1]. В статье рассматривается муравьиный алгоритм для решения TSP-задачи.

В основе муравьиного алгоритма лежит феромонный граф, где вершины соответствуют городам задачи, а ребра – возможным путям между ними. Каждый муравей строит маршрут, последовательно переходя из одной вершины в другую. Муравей выбирает следующую вершину, опираясь на количество феромона на ребре и его длину. Чем больше феромона и чем короче путь, тем выше вероятность перехода [2].

При этом необязательно учитывать все возможные пути, можно сузить, локализовать область поиска муравья до k ближайших соседей. Такой подход снижает вычислительные затраты и ускоряет работу алгоритма. Но после локализации часть решений отсекается, и граф задачи становится ориентированным. Тестирование показывает, что оптимальная область локализации для графа с равномерным распределением вершин равна трети от всего графа (рис. 1), при таком значении скорость работы улучшается в 2 раза. Также оптимальные параметры локализации зависят от особенностей графа задачи. Кластеры или удаленные вершины повышают оптимальное значение локализации. С повышением размерности пространства задачи оптимальное значение локализации также возрастает.

Муравьиный алгоритм хорошо поддается параллелизации, так как муравей строит маршрут независимо [3]. На рис. 2 показаны ре-

нения одной задачи с различными модификациями и настройка значения локализации генетическим алгоритмом.

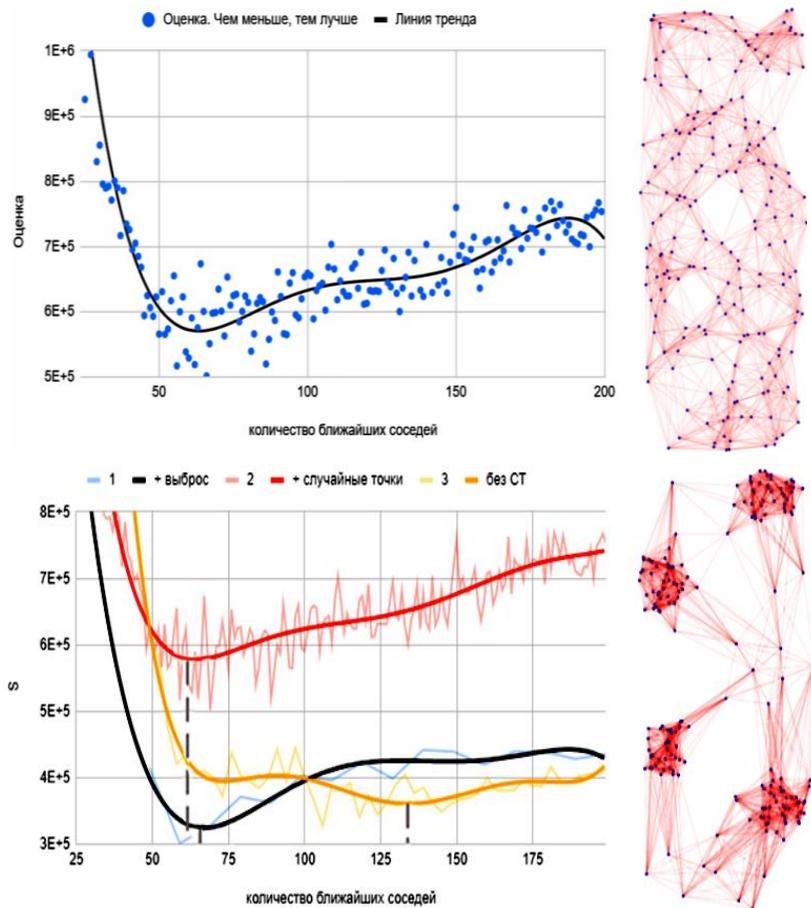


Рис. 1. Оптимальные значения локализации на тестируемых графах

Эффективность работы муравьиного алгоритма оценивается по двум параметрам: времени решения и длине найденного маршрута. Для корректного сравнения они нормализуются с использованием аффинного преобразования. Чтобы перейти от многокритериальной оценки к однокритериальной, нормализованные параметры объединяются с учетом их значимости. Для этого используется взвешенная сумма.

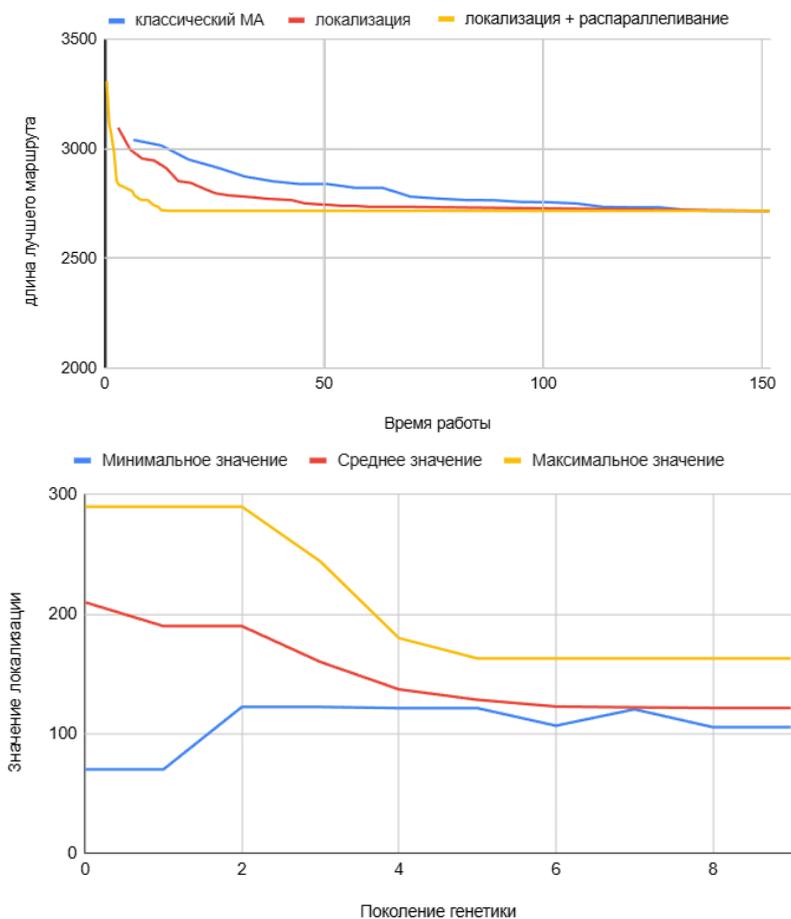


Рис. 2. Оптимизация муравьиного алгоритма

Для работы муравьиного алгоритма необходимо задать его параметры: коэффициенты влияния феромона и видимости, скорость испарения феромона, количество муравьев, параметры локализации и др. Оптимальная настройка этих параметров позволяет ускорить работу муравьиного алгоритма и повысить качество решений.

Для автоматического подбора параметров используется генетический алгоритм. В данном подходе каждый запуск муравьиного алгоритма с определенным набором параметров рассматривается как особь в популяции. Функция селекции отбирает только n лучших особей, обеспечивая эволюцию параметров. В процессе скрещивания

применяется вещественное скрещивание, а мутация выполняется с использованием распределения Гаусса. В первом поколении генетического алгоритма определяются параметры нормализации для времени и длины решений муравьиного алгоритма.

Хотя подбор параметров муравьиного алгоритма возможен без применения генетического алгоритма, его использование позволяет значительно сократить время вычислений. Например, для графа, содержащего 100 вершин, применение генетического алгоритма уменьшает время работы муравьиного алгоритма в 1,5 раза, а оптимальное решение достигается в среднем за три поколения. В отсутствие генетического алгоритма в 30% запусков муравьиный алгоритм находил решения худшего качества.

В результате проведенной работы был разработан и исследован метод для автоматической оптимальной настройки параметров муравьиного алгоритма. Распараллеливание, локализация и оптимизация генетическим алгоритмом позволили эффективно решать более сложные задачи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Материалы курса МГУ кафедры автоматизации систем вычислительных комплексов, 2015 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://asvk.cs.msu.ru/sites/all/themes/professional_theme/files/L9_Мурав_алгоритмы.pdf, свободный (дата обращения: 14.02.2024).
2. Бегляров В.В. Гибридный многопопуляционный муравьиный генетический алгоритм / В.В. Бегляров, А.Н. Береза, А.С. Стороженко // Известия ЮФУ. – 2010. – № 7. – С. 39–45.
3. Емельянов А.Ю. Исследование и оптимизация муравьиного алгоритма / А.Ю. Емельянов, М.К. Семенов // Решетневские чтения. – 2023. – Т. 2. – С. 62–64.

УДК 004.8

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МОДЕЛЕЙ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ПРЕДСКАЗАНИЯ ВОЗНИКНОВЕНИЯ АВАРИЙ

Е.Т. Гарипов, аспирант каф. ЭМИС

*Научный руководитель И.Г. Боровской, проф., зав. каф. ЭМИС, д.ф.-м.н.
г. Томск, ТУСУР, egor-garipov@mail.ru*

Возникновение аварийных ситуаций на предприятиях приводит к прекращению или ослаблению рабочего потока, следовательно, возможность заранее предупредить их возникновение будет крайне актуальна. В данной работе представлено сравнение эффективности некоторых моделей машинного обучения для предсказания временных рядов, что может быть затем использовано для предсказания

вероятности возникновения аварий на технологических предприятиях.

Ключевые слова: вероятность, авария, предсказание, машинное обучение, технологический процесс, временные ряды.

В существующих программных пакетах для управления технологическими предприятиями, такими как SCADA-системы и автоматизированные рабочие места (АРМ), существуют журналы событий и графические отчёты о динамике изменения величин во времени. Однако аварии могут происходить без предупреждения, поскольку уведомления о предупреждениях приходят только если датчик обнаружил, что значение определённого параметра превысило допустимое. Предусмотреть проверку изменений значений всех параметров вместе, равно как и самостоятельно отслеживать изменение параметров в реальном времени, представляется маловероятным; требуется иное решение.

Для решения задач, где невозможно математически обобщить решение ввиду того, что неясны зависимости между величинами либо количество проверяемых условий велико, подходит машинное обучение (МО) [1].

В качестве исходных данных взяты значения температур жидкости и теплоносителя на входе и выходе теплообменника в модуле подготовки газа на одном из месторождений Томской области. Из данных, записанных с 9 по 27 сентября 2022 г., взяты средние значения за каждую минуту, а в качестве предсказываемой величины выбрана температура жидкости на выходе.

С помощью библиотеки Keras языка Python построены следующие модели: управляемый рекуррентный блок (GRU) [2], многослойный перцептрон (MLP) [3], одномерная свёрточная сеть (CNN) [4], временная свёрточная сеть (TCN) [5], модель с долгой краткосрочной памятью (LSTM) [6] и машина опорных векторов (SVM) [7].

Также с помощью библиотеки scikit-learn выполнено несколько видов нормализации для приведения данных к одному диапазону [8]. Исходные данные не подвергались предварительной обработке, хотя в центре временного промежутка данных замечен протяжённый выброс значений, который наблюдается на графиках всех величин. Поскольку природа данного явления неизвестна и может быть обусловлена физическим процессом, принято решение не исключать эти данные.

Из всех данных первые 90% отведены на обучение, а оставшиеся 10% разбиты поровну для валидации и тестовой выборки. Для формирования выборок данных применён алгоритм на основе скользящего окна с размером окна 30 (половина часа) [9].

Для всех моделей выбран оптимизатор Adam, обучение длится 100 эпох, после чего сохраняется эпоха с наилучшими метриками. В таблице приведены характеристики моделей, показавших себя наилучшим образом.

Характеристики лучших моделей

	GRU	MLP	CNN	TCN	LSTM	SVM
Норм.	Min-Max	Robust	Нет	L2	Нет	Нет
Актив.	tanh	relu	Лин.	Лин.	tanh	Лин.
Время обуч., с	287	143	214	608	286	143
Потеря ср. кв.	0,45058	0,36703	0,07721	0,14932	0,19915	0,38329
Ошибка ср. абс.	0,34808	0,32205	0,15615	0,21661	0,17713	0,32434
Ошибка ср. кв.	0,44787	0,36484	0,07687	0,14849	0,19805	0,38099

Примечание: relu – выпрямляющий линейный узел; лин. – линейная функция; Min-Max и Robust – масштабирование данных без и с учётом всплесков значений соотв.; Актив. – функция активации; Норм. – нормализация и масштабирование данных.

В некоторых случаях лучше всего показали себя модели, обученные на данных без нормализации. Это можно объяснить алгоритмом скользящего окна, где выборки строились из данных одной величины, таким образом, не было других независимых величин разного масштаба, влияющих на зависимую величину. При прочих равных разное время обучения, вероятно, связано со сложностью модели (типы, число и параметры слоёв), а также разные размерности выходного пространства и функции активации. С точки зрения ошибок и потери на тестовых значениях наилучшим образом показала себя свёрточная сеть. Наилучшую сходимость показала машина опорных векторов при ошибке валидации 0,2 в конце обучения.

Полученные результаты позволяют говорить о возможности применения рассмотренных моделей для предсказания временных рядов и, следовательно, вероятности аварий на технологических предприятиях. На следующем этапе исследования планируется добавить в сравнение дополнительные модели машинного обучения, рассмотреть разные значения параметров в рамках каждой модели, а также провести предварительную обработку исходных данных на предмет всплесков значений, не имеющих корреляций с другими величинами, и обучить на большем числе эпох.

ЛИТЕРАТУРА

1. Нейросеть сможет оценить риски аварий на предприятиях нефтяной отрасли в Арктике [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://minobrnauki.gov.ru/press-center/news/novosti-podvedomstvennykh-uchrezhduchrezhdeniy/40904/>, свободный (дата обращения: 20.02.2025).

2. GRU layer [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://keras.io/api/layers/recurrent_layers/gru/, свободный (дата обращения: 21.02.2025).
3. Scikit-Learn API wrappers [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://keras.io/api/utills/sklearn_wrappers/, свободный (дата обращения: 21.02.2025).
4. Conv1D layer [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://keras.io/api/layers/convolution_layers/convolution1d/, свободный (дата обращения: 21.02.2025).
5. GitHub – philipperemy/keras-tcn: Keras Temporal Convolutional Network [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://github.com/philipperemy/keras-tcn>, свободный (дата обращения: 22.02.2025).
6. LSTM layer [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://keras.io/api/layers/recurrent_layers/lstm/, свободный (дата обращения: 22.02.2025).
7. SVR – scikit-learn 1.6.1 documentation [Электронный курс]. – Режим доступа: <https://scikit-learn.org/stable/modules/generated/sklearn.svm.SVR.html>, свободный (дата обращения: 24.02.2025).
8. Preprocessing data – scikit-learn 1.6.1 documentation [Электронный курс]. – Режим доступа: <https://scikit-learn.org/stable/modules/preprocessing.html>, свободный (дата обращения: 25.06.2025).
9. Метод скользящего окна (Windowing method) Loginom Wiki [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://wiki.loginom.ru/articles/windowing-method.html>, свободный (дата обращения: 27.02.2025).

УДК 004.85

ДИАГНОСТИКА БОЛЕЗНИ ПАРКИНСОНА ПО АНАЛИЗУ РЕЧИ ПАЦИЕНТА С ПОМОЩЬЮ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

Н.С. Голубев, студент каф. КСУП

*Научный руководитель К.С. Сарин, доцент каф. КСУП, к.т.н.
г. Томск, ТУСУР*

Представлено исследование, посвященное разработке автоматизированной системы диагностики болезни Паркинсона (БП) на основе анализа речевых характеристик пациента. В связи с тем, что раннее выявление БП имеет решающее значение для замедления прогрессирования заболевания, предложен эффективный и неинвазивный метод диагностики, основанный на методах машинного обучения. Исследование включает в себя извлечение акустических признаков из набора данных, а также обучение и оценку моделей машинного обучения для выявления БП. Проведен сравнительный анализ эффективности метода опорных векторов и деревьев решений на общедоступном наборе речевых сигналов Italian Parkinson's Voice and Speech. Полученные результаты демонстрируют потенциал использования анализа речи в качестве вспомогательного инструмента для

ранней диагностики БП, что может способствовать своевременному началу лечения и улучшению качества жизни пациентов.

Ключевые слова: болезнь Паркинсона, диагностика, анализ речи, машинное обучение, классификация.

Болезнь Паркинсона (БП) – прогрессирующее нейродегенеративное заболевание, поражающее миллионы людей во всем мире. Своевременная диагностика играет ключевую роль в замедлении прогрессирования заболевания и улучшении качества жизни пациентов, однако зачастую ранняя диагностика БП является сложной, дорогостоящей процедурой [1, 2]. В последние годы благодаря развитию технологий машинного обучения и искусственного интеллекта появились новые перспективы для усовершенствования диагностики БП. Данная работа посвящена исследованию возможности автоматической диагностики БП на основе анализа речи пациента с использованием алгоритмов машинного обучения.

Источником информации для исследования послужила специализированная база речевых сигналов «Italian Parkinson's Voice and Speech» [3], включающая записи фонации гласных, а именно, звуков «а», «е», «i», «о», «и», собранные у контрольной группы здоровых лиц и группы пациентов, страдающих БП. База содержит записи испытуемых разных возрастов и полов. Из 495 аудиофайлов 220 относятся к лицам из контрольной группы.

Из аудиозаписей базы речевых сигналов были извлечены признаки, характеризующие акустические особенности пациента [4]. В качестве признаков применялись следующие характеристики: статистические характеристики частоты основного тона, такие как среднее значение, стандартное отклонение, максимальное и минимальное значения, а также диапазон ее изменения; пятиточечный коэффициент возмущения периода; средняя абсолютная разница между периодом и средним значением его четырех ближайших соседей, деленное на средний период; относительное отклонение периодов основного тона; относительное отклонение амплитуды; отношение гармоник к шуму; средняя интенсивность (громкость); стандартное отклонение интенсивности; диапазон интенсивности; форманты; длительность.

Для формирования обучающих данных была разработана программа «Audio Parser» [5], позволяющая извлечь из исходного набора данных вышеперечисленные характеристики с последующей записью необходимой информации в файл. Программа разработана на языке программирования Python с использованием библиотеки parselmouth [6], являющейся API к программе Praat, позволяющей извлечь необходимую информацию из аудиофайла. В результате работы програм-

мы была сформирована таблица наблюдений [7], содержащая, помимо характеристик, названия аудиофайлов, имя человека, к которому относятся файлы, а также информацию о том, к какой группе принадлежит человек.

Возможность диагностики БП на основе анализа речевых характеристик пациента оценивалась с использованием двух моделей машинного обучения: метод опорных векторов и дерево решений. Оценка велась методом десятикратной кроссвалидации с группировкой по пациентам. Это необходимо, чтобы избежать попадания записей голоса одного и того же пациента как в обучающие, так и в тестовые данные. Для построения моделей, а также для оценки эффективности использовалась библиотека scikit-learn [6]. Средняя точность модели «Дерево решений» составила 84%, средняя точность модели «Метод опорных векторов» оказалась немного выше и составила 88%.

Заключение. Исследование показало потенциал использования анализа речи совместно с обучением классификационных моделей в качестве вспомогательного инструмента для ранней диагностики БП. В дальнейшем планируется увеличить точность моделей при помощи отбора признаков и подбора гиперпараметров, а также исследовать возможность использования более сложных моделей машинного обучения. Результаты данного исследования могут быть применены при разработке мобильных приложений и других портативных устройств, позволяющих проводить диагностику БП во внелабораторных условиях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Биометрические данные и методы машинного обучения в диагностике и мониторинге нейродегенеративных заболеваний: обзор / И.А. Ходашинский, К.С. Сарин, М.Б. Бардамова и др. // Компьютерная оптика. – 2022. – Т. 46, № 6. – С. 988–1020.
2. Нечёткие классификаторы для диагностики болезни Паркинсона на основе статических рукописных данных / И.А. Ходашинский, Ю.А. Шурыгин, К.С. Сарин и др. // Автометрия. – 2023. – Т. 59, № 3. – С. 72–85.
3. Assessment of Speech Intelligibility in Parkinsons Disease Using a Speech-To-Text System / G. Dimauro, V. Di Nicola, V. Bevilacqua et al. // IEEE Access. – 2017. – Vol. 5. – P. 22199–22208.
4. Ruzs J. Qacoustic measurements for characterization of speech and voice disorders in early untreated Parkinson’s disease / J. Ruzs, R. Cmejla // Journal of the Acoustical Society of America. – Vol. 129, No. 1. – P. 350–367.
5. Исходный код программы «Audio Parser» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://github.com/Nickronus/Audio_Parser, свободный (дата обращения: 01.03.2025).
6. Библиотека parselmouth [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://parselmouth.readthedocs.io/en/stable/>, свободный (дата обращения: 01.03.2025).

7. Обучающие данные [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://github.com/Nickronus/Audio_Parser/blob/main/results/result.xlsx, свободный (дата обращения: 01.03.2025).

8. Библиотека scikit-learn [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://scikit-learn.org/stable/index.html>, свободный (дата обращения: 01.03.2025).

УДК 004.85

НЕЙРО-НЕЧЕТКАЯ АДАПТИВНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ РЕШЕНИЯ ОБРАТНОЙ ЗАДАЧИ КИНЕМАТИКИ РОБОТА-МАНИПУЛЯТОРА

А. Каладжи, студент каф. КСУП

*Научный руководитель К.С. Сарин, доцент каф. КСУП, к.т.н.
г. Томск, ТУСУР, abdo.kalaji89@gmail.com*

Представлен метод решения задачи обратной кинематики для шестизвенного робота-манипулятора. Метод основан на нахождении значений углов звеньев манипулятора с помощью адаптивной нейро-нечеткой системы (ANFIS). Результаты показали простоту реализации и высокую точность прогнозирования.

Ключевые слова: адаптивная нейро-нечеткая система, робот-манипулятор, обратная задача кинематики, моделирование.

Для управления движением робота-манипулятора необходимо решать прямую и обратную задачу кинематики. Решение прямой задачи найдено аналитически и не вызывают сложности в отличие от обратной задачи. В настоящее время представлено множество методов для решения обратной задачи, но получение аналитических решений данными методами весьма затруднительно или не представляется возможным [1]. Одним из простых и быстрых подходов для решения задачи является применение моделей машинного обучения [2]. Для построения таких моделей достаточны данные, полученные с помощью решения прямой задачи [3, 4]. В настоящей работе предлагается модель на основе адаптивной нейро-нечеткой системы (ANFIS) [5].

Цель настоящей работы заключается в решении обратной задачи кинематики для шестизвенного робота-манипулятора с помощью адаптивной нейро-нечеткой системы.

В работе используется шестизвенный робот-манипулятор ELITE ROBOTS CS63, схема которого представлена на рис. 1.

Параметры Денавита–Хартенберга представлены в табл. 1.

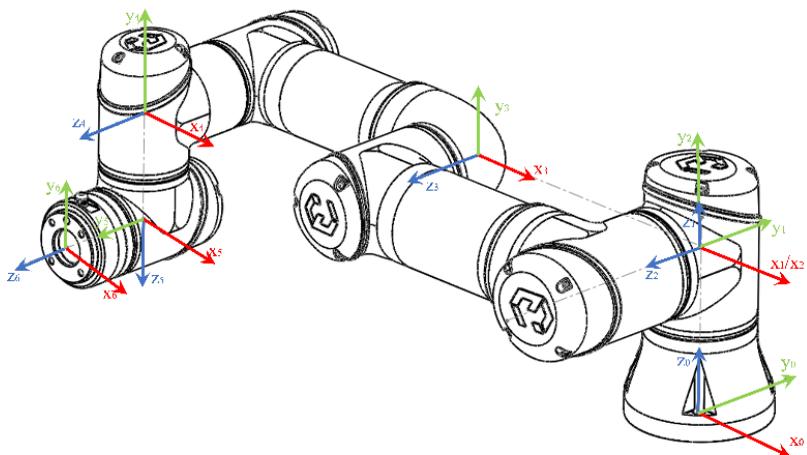


Рис. 1. Робот-манипулятор ELITE ROBOTS CS63

Таблица 1

Параметры Денавита–Хартенберга

Звено, i	θ_i , рад	a_i , м	d_i , м	α_i , рад
1	0	0	0,153	$\pi/2$
2	0	-0,270	0	0
3	0	-0,2575	0	0
4	0	0	0,1445	$\pi/2$
5	0	0	0,965	$\pi/2$
6	0	0	0,92	0

Создание набора данных. Создание набора данных связано с решением прямой задачи кинематики, а именно определения положения и ориентации хвата робота по значениям углов на его звеньях. Для этого вычисляется матрица вращения A_i для каждого звена, а затем все матрицы перемножаются между собой [6]:

$$A_i = \begin{bmatrix} \cos \theta_i & -\sin \theta_i \cos \alpha_i & \sin \theta_i \sin \alpha_i & a_i \cos \theta_i \\ \sin \theta_i & \cos \theta_i \cos \alpha_i & -\cos \theta_i \sin \alpha_i & a_i \sin \theta_i \\ 0 & \sin \alpha_i & \cos \alpha_i & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix},$$

$$T_0^6 = A_1 A_2 A_3 A_4 A_5 A_6 = \begin{bmatrix} n_x & o_x & a_x & p_x \\ n_y & o_y & a_y & p_y \\ n_z & o_z & a_z & p_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix},$$

где (p_x, p_y, p_z) – положение, а $\{(n_x, n_y, n_z), (o_x, o_y, o_z), (a_x, a_y, a_z)\}$ – ориентация хвата. Чтобы сократить количество входных данных ANFIS с 12 до 7, ориентация хвата преобразуется в кватернионы [6] и будет задаваться четверкой чисел (q_0, q_1, q_2, q_3) .

Для формирования набора данных генерировались случайным образом углы на звеньях θ_i в диапазоне $[0, \pi/2]$ и с помощью прямой задачи находились положения и ориентация хвата в виде кватернионов. Фрагмент данных со значением угла θ_1 представлен в табл. 2. Данные были разбиты на обучение и тест. Количество образцов в обучающей выборке – 7 000, тестовой – 1 500.

Таблица 2

Фрагмент набора данных

p_x	p_y	p_z	q_0	q_1	q_2	q_3	θ_1
-276,1	-321,7	-35,37	0,0661	0,4280	-0,647	0,6270	0,2803
-120,0	-385,7	-256,8	0,1733	0,9234	-0,339	0,0408	0,8549
-278,9	-412,7	-143,2	0,3119	0,6951	-0,640	0,0954	0,6248
134,46	-319,1	-38,76	0,6056	-0,169	0,7167	-0,301	1,221
-247,4	-245,5	-143,8	0,252	-0,432	0,8378	-0,216	0,2653

Построение прогностической модели. С помощью обучающих данных построены шесть систем ANFIS в среде MATLAB с библиотекой Fuzzy Logic Toolbox. Каждая система связана с определенным углом θ_i ($i = 1, \dots, 6$) и находит его значение по семи входным переменным – $p_x, p_y, p_z, q_0, q_1, q_2, q_3$. Для обучения использовался метод формирования структуры на основе субтрактивной кластеризации, число эпох обучения было принято равным 100. В табл. 3 показаны ошибки прогнозирования (RMSE) полученных моделей для каждого угла звена на обучающих и тестовых выборках.

Таблица 3

Ошибки прогнозирования углов (RMSE)

Звено	Обучающая выборка	Тестовая выборка
1	0,0956	0,1109
2	0,0826	0,0920
3	0,1140	0,1370
4	0,1144	0,1320
5	0,1054	0,1243
6	0,1265	0,1512

В табл. 4 показан пример прогнозируемых и фактических значений углов манипулятора.

Т а б л и ц а 4

Прогнозируемые и фактические значения θ_i , рад

Звено, i	ANFIS	Факт
1	0,1790	0,2007
2	0,5691	0,7466
3	0,2143	0,2723
4	0,0949	0,1185
5	1,5128	1,5351
6	0,6965	0,7113

Заключение. В работе представлен метод решения задачи кинематики для шестизвенового робота-манипулятора с использованием адаптивной нейро-нечеткой системы (ANFIS). Создан набор данных с помощью прямой задачи кинематики и преобразованием положения хвата в кватернионы. Для каждого звена робота на основе обучающих данных построена ANFIS, прогнозирующая значения угла. Результаты показали простоту реализации и высокую точность прогнозирования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Carlos L.F. A soft computing approach for inverse kinematics of robot manipulators / L.F. Carlos, H.B. Jesus, Y.A. Alma, A.D. Nancy // Journal of Engineering Applications of Artificial Intelligence. – 2018. – Vol. 74. – P. 104–120.
2. Al-Mashhadany Y.I. ANFIS-inverse-controlled puma 560 workspace robot with spherical wrist // Journal of Procedia Engineering. – 2012. – Vol. 41. – P. 700–709.
3. Wei L.X. A new solution for inverse kinematics of manipulator based on neural network / L.X. Wei, H.R. Wang, Y. Li // Proceedings of the Second International Conference on Machine Learning and Cybernetics. – Xi'an, China, 2003. – P. 1201–1203.
4. Duka A.V. ANFIS based solution to the inverse kinematics of 3DoF planar manipulator // Journal of Procedia Technology. – 2015. – Vol. 19. – P. 526–533.
5. Jang J.-S.R. ANFIS: Adaptive-Network-Based Fuzzy Inference System // IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics. – 1993. – Vol. 23, № 3. – P. 665–685.
6. Jha P. Inverse Kinematic Solution of 5R Manipulator Using ANN and ANFIS / P. Jha, B.B. Biswal // International Journal of Robotics and Automation (IJRA). – 2015. – Vol. 4, № 2. – P. 109–123.

АНАЛИЗ НОТНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ МУЗЫКАЛЬНОГО ПРОИЗВЕДЕНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ФУРЬЕ- И ВЕЙВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАНИЙ

А.В. Каминский, магистрант; О. С. Киселевский, к.т.н.

Республика Беларусь, г. Минск, БГУИР, sasha.pinsk2003@gmail.com

Задачу идентификации отдельных нот во фрагменте музыкального произведения предлагается решать при помощи гибридного численного алгоритма, использующего вейвлет-преобразование, а затем преобразование Фурье. Приведены результаты предварительного эксперимента.

Ключевые слова: вейвлет, Фурье, распознавание образов, распознавание мелодии, энциклопедия музыкальных фраз.

Анализ звуковых сигналов представляет собой частный случай задачи распознавания образов. Наибольшее распространение он получил в системах защиты музыкальной продукции от несанкционированного использования. Он также используется сервисами распознавания музыкальных программ. Такие ресурсы, как Shazam, Beatfind, Musixmatch, SongFinder, в той или иной мере помогают меломанам определять названия и исполнителей понравившихся музыкальных треков. В таких системах фрагмент идентифицируемого звукового сигнала сравнивается с обширным банком музыкальных программ [1]. Если мелодия или её фрагмент звучат не в оригинальном исполнении, а в аранжировке, то алгоритмы сравнения звуковых волн и спектрограмм с задачей идентификации не справляются.

Мы рассматриваем возможность идентификации в звуковом сигнале последовательностей нот с их высотой и длительностью для создания своеобразной «энциклопедии музыкальных фраз». Такая онлайн-энциклопедия должна помочь пользователю по напетому или наигранному на любом музыкальном инструменте фрагменту мелодии узнать её первоисточник, контексты цитирования и приобретённое ею семантическое значение. Как, например, последовательность из четырёх нот длительностью $1/4$, $3/16$, $1/16$ и $1/4$ равной высоты является узнаваемым первым тактом марша Ф. Шопена [2], имеющим печальный ритуальный оттенок.

Перспективной технологией распознавания отдельных нот мелодии может служить комбинация алгоритмов вейвлет-преобразования с преобразованием Фурье.

Вейвлет-преобразование (Wavelet – англ. маленькая волна) является математическим инструментом локализованного спектрального

анализа. Оно обеспечивает двумерную развертку сигнала, где частота (высота ноты) и время (длительность ноты) рассматриваются как независимые переменные. В результате появляется возможность анализировать свойства сигнала одновременно во временном и в частотном пространствах.

Преобразование Фурье анализирует частотный состав сигнала не в окрестностях конкретного момента времени, а на протяжении длительного временного промежутка. Оно позволяет разложить продолжительный сигнал на его частотные составляющие. Наибольшее распространение Фурье-преобразование получило в построении амплитудно-частотных характеристик, спектрального анализа. Если любой сложный сигнал представить как интегральную сумму простейших гармонических функций (синусоид) различной частоты, амплитуды и фазы, то преобразование Фурье позволит определить, гармоники каких частот и каких амплитуд составляют спектр звукового сигнала.

Формализованно преобразование Фурье описывается формулой

$$f(\omega) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{+\infty} \hat{f}(x) e^{ix\omega} dx .$$

Вейвлет также может представлять собой гармоническую функцию (косинусоиду), но не бесконечную, а локализованную в нескольких своих периодах, будучи промодулированной гауссианой. В ходе вейвлет-анализа оценивается уместность применения вейвлета той или иной частоты к исходному сигналу в каждый момент времени. Результатом такого преобразования является множество «мгновенных спектров» сигнала в окрестностях каждой точки на временной оси.

Формализованно вейвлет-преобразование описывается формулой

$$\Psi_{ab} = \frac{1}{\sqrt{a}} \Psi\left(\frac{t-b}{a}\right).$$

Причём материнский вейвлет (промодулированная гауссианой косинусоида) обязательно должен удовлетворять условиям небесконечности энергии и нулевого среднего

$$\int_{-\infty}^{+\infty} |\Psi(t)|^2 dt < \infty, \quad \int_{-\infty}^{+\infty} \Psi(t) dt = 0.$$

При разработке численной модели алгоритма распознавания нот за основу взят ряд предпосылок:

- преобразования Фурье недостаточно для идентификации нот, поскольку оно не позволяет локализовать протяжённость звучания отдельных гармоник (рис. 1, а);

– вейвлет-преобразования недостаточно для точной идентификации нот из-за неопределённости Гейзенберга [3];

– вместе с тем вейвлет-преобразование способно определить предполагаемые места локализации нот во времени (начало и окончание звучания) для последующего более тщательного спектрального анализа этого фрагмента сигнала уже более точными методами Фурье.

Из предпосылок следует обоснование гибридного алгоритма, использующего оба типа преобразований. На первом этапе вейвлет-преобразование с использованием порогового фильтра шума позволяет локализовать предполагаемые ноты (см. рис. 1, а, з).

На втором этапе в каждом из выявленных фрагментов при помощи Фурье-преобразования идентифицируются соответствующие нотам частоты (см. рис. 1, б).

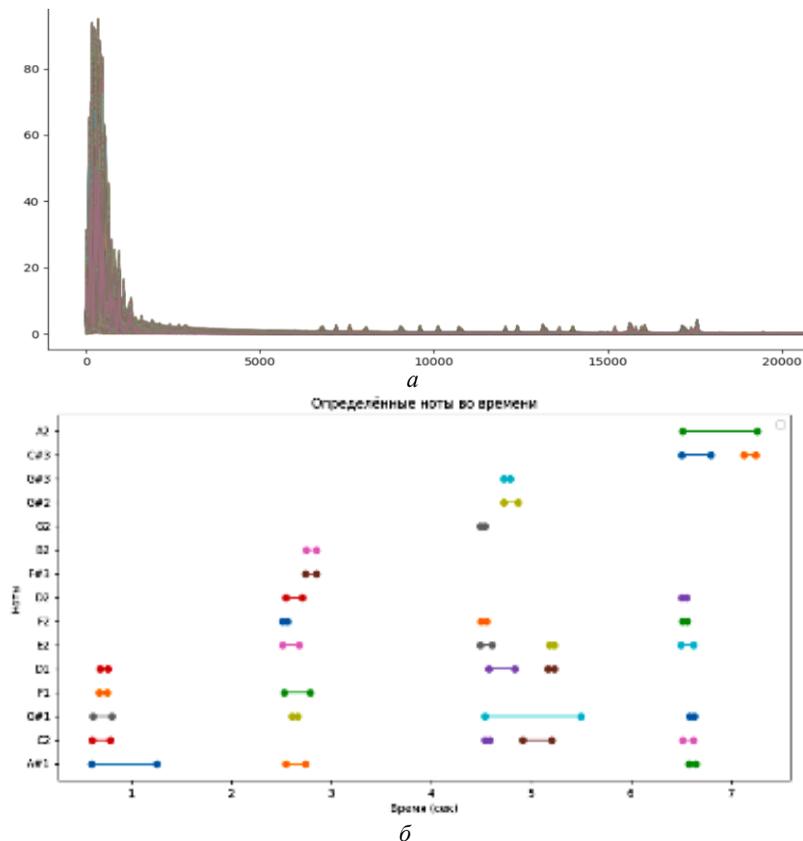


Рис. 1 (начало)

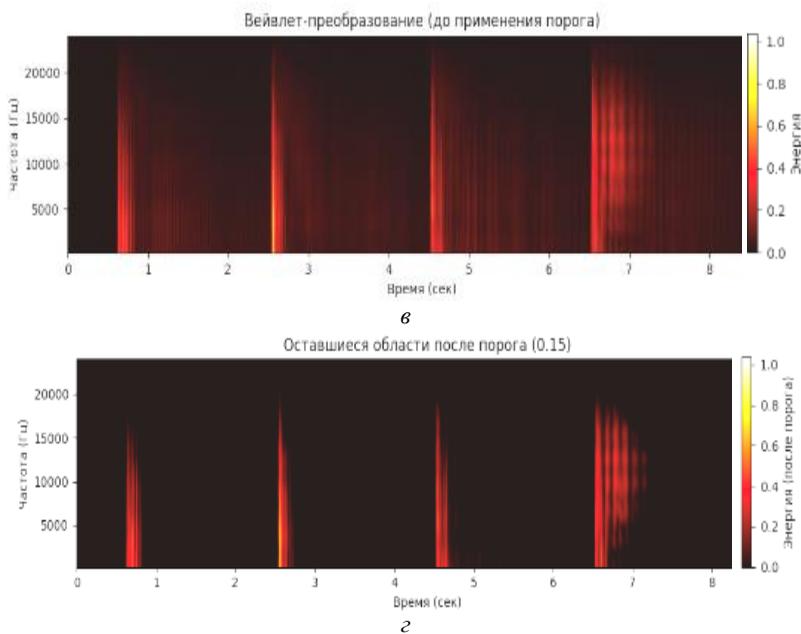


Рис. 1 (окончание). Результаты Фурье- (а, б) и вейвлет-преобразования (в, з) звукового сигнала

Предварительный эксперимент показал, что гибридный алгоритм вейвлет-преобразования и быстрого преобразования Фурье можно использовать для извлечения нотных составляющих мелодии. Вейвлет-преобразование обеспечивает хорошую временную локализацию, позволяя определить моменты появления и затухания нот, в то время как быстрое преобразование Фурье позволяет точно установить их частотные характеристики.

ЛИТЕРАТУРА

1. Астафьева Н.М. Вейвлет-анализ: основы теории и примеры применения // Успехи физических наук. – 1996. – Т. 166, № 11. – С. 1145–1170.
2. Шопен Ф. Соната для фортепиано № 2 си-бемоль минор, ор. 35 [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.piano.ru/scores/chopin/chopin-son-02.pdf>
3. Тимофеев В.С., Исаева Е.В. Особенности оценивания функции плотности распределения с помощью неортонормированных вейвлетов // Южно-Сибирский научный вестник. – 2022. – № 2 (42). – С. 87. DOI: 10.25699/SSSB.2022.42.2.008.

МОДЕЛИ СВЕРТОЧНЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ YOLOv5s ДЛЯ ДЕТЕКТИРОВАНИЯ МАЛОРАЗМЕРНЫХ ЛЕТАЮЩИХ ОБЪЕКТОВ

В.А. Клековкин, аспирант ОИТ ИШИТР

*Научный руководитель Н.Г.Марков, проф. ОИТ ИШИТР, д.т.н.
г. Томск, НИ ТПУ, vak37@tpu.ru*

Предложены три модификации модели сверточной нейронной сети YOLOv5s для решения задачи объектного детектирования малоразмерных летающих объектов на изображениях. Исследования показали, что модификация модели YOLOv5s с четырьмя якорными полями демонстрирует лучшую точность детектирования объектов двух классов из трех, а по метрике mAP_{0.5} имеет точность выше для всех классов. При этом скорость вычисления всех модификаций высока.

Ключевые слова: малоразмерный летающий объект, датасет, модель сверточной нейронной сети YOLOv5s, модификация модели YOLOv5s.

В настоящее время практически важными являются задачи мониторинга воздушного пространства с целью объектного детектирования (обнаружения, позиционирования и классификации) летающих объектов (ЛО). Исследования в этой области актуальны и сегодня, поскольку обнаружение и классификация с высокой точностью объектов малого размера продолжают оставаться сложной задачей [1]. В данной работе для повышения точности детектирования малоразмерных ЛО предлагаются и исследуются три модификации модели YOLOv5s, входящей в перспективный класс сверточных нейронных сетей (СНС) YOLO [2].

Будем детектировать на изображениях ЛО трех классов: беспилотные летательные аппараты (БПЛА) самолетного типа, БПЛА вертолетного типа и «Птица». Особенностью этих ЛО является малый размер (площадь до 32×32 пикселя). На одном изображении может находиться один и более объект, причем, возможно разных классов. В результате проведенного авторами [2] анализа моделей класса YOLO для детектирования ЛО выявлено, что модели семейства YOLOv5 несколько уступают по точности детектирования ЛО некоторым классам моделей СНС YOLOv7 и YOLOv8, однако значительно превосходят их по производительности. Эти результаты способствовали выбору модели YOLOv5s из семейства YOLOv5 в качестве базовой для получения трех ее модификаций для детектирования малоразмерных ЛО.

Необходимо путем модификации архитектуры повысить точность детектирования исходной модели YOLOv5s.

Авторы [3, 4] для повышения точности обнаружения подвижных объектов на изображениях предлагают заменить в модели класса YOLO исходную структуру слияния признаков на двунаправленную сеть пирамид признаков (BiFPN), а также применять различные вариации одной из сложных стратегий обучения AutoAnchor (якорные поля) для пользовательских наборов данных, повышая точность обнаружения объекта. BiFPN представляет собой тип сети пирамид признаков, которая помогает с простым и быстрым слиянием многомасштабных признаков. Это делает ее более эффективной вследствие двунаправленного слияния признаков, чем стандартная структура сети пирамид признаков FPN, используемая в моделях семейства YOLOv5.

Целью данной работы является разработка трех модификаций базовой модели YOLOv5s, имеющей 3 якорных поля, и проведение комплексных исследований их эффективности. В первой модификации базовой модели используются четыре якорных поля вместо трех, во второй – вместо FPN используется BiFPN, а в третьей модификации одновременно применяются четыре якорных поля и BiFPN.

Результаты исследования модификаций модели. Для обучения и исследования модификаций модели был разработан датасет. Размеченные в системе Roboflow его изображения имеют размер 416×416 пикселей и содержат 4 540 малоразмерных ЛО. Число изображений в тестовой выборке датасета – 279. Результаты исследования модификаций модели YOLOv5s по точности детектирования ЛО по метрикам AP0.5 и mAP0.5 представлены в табл. 1. Приводятся также результаты для базовой модели.

Таблица 1

**Результаты исследования модификаций модели YOLOv5s
по точности детектирования ЛО**

Класс	AP _{0.5} , mAP _{0.5}			
	YOLOv5s, 3 якоря	YOLOv5s, 4 якоря	YOLOv5s, 3 якоря + BiFPN	YOLOv5s, 4 якоря + BiFPN
БПЛА самолетного типа	0,935	0,944	0,937	0,934
Птица	0,93	0,926	0,93	0,93
БПЛА вертолетного типа	0,961	0,972	0,964	0,948
Все классы	0,942	0,947	0,944	0,937

Результаты оценки усредненной скорости вычислений каждой из модификаций модели представлены в табл. 2. При ее вычислении в

виде количества анализируемых изображений в секунду (англ. Frames Per Second, FPS) учитывались значения Inference и NMS.

Таблица 2

**Результаты исследования модификаций модели YOLOv5s
в части усредненной скорости вычисления**

Модификации модели YOLOv5s	Inference, мс	NMS, мс	FPS
YOLOv5s, 3 якоря	3,2	2,4	179
YOLOv5s, 4 якоря	2,9	2,8	175
YOLOv5s, 3 якоря + BiFPN	3,1	2,4	182
YOLOv5s, 4 якоря+ BiFPN	3,0	2,6	179

Анализ полученных результатов и выводы. Исследования показали, что модификация модели YOLOv5s с четырьмя якорными полями демонстрирует лучшую точность детектирования по метрике AP0.5 в случае БПЛА самолетного и вертолетного типов, а также по метрике mAP0.5 для всех классов. Однако по точности детектирования объектов класса «Птица» она уступает другим модификациям. По метрике FPS все три модификации модели демонстрируют близкие и очень высокие результаты. Модификацию модели YOLOv5s с четырьмя якорными полями можно рекомендовать для реализации в системе компьютерного зрения, если такая система не будет критична к точности детектирования объектов класса «Птица».

ЛИТЕРАТУРА

1. Nebaba S.G. Effectiveness of Moving Objects Detecting and Tracking in Airspace by Images in Nearinfrared / S.G. Nebaba, N.G. Markov // *Light & Engineering*. – 2022. – Vol. 30, No. 2. – P. 62–69.
2. Небаба С.Г. Сверточные нейронные сети семейства YOLO для мобильных систем компьютерного зрения / С.Г. Небаба, Н.Г. Марков // *Компьютерные исследования и моделирование*. – 2024. – Т. 16, № 3. – С. 615–631. DOI: 10.20537/2076-7633-2024-16-3-615-631.
3. TLI-YOLOv5: A Lightweight Object Detection Framework for Transmission Line Inspection by Unmanned / H. Huang, G. Lan, J. Wei, Z. Zhong, Z. Xu, D. Li, F. Zou // *Aerial Vehicle. Electronics*. – 2023. – Vol. 12, No. 15. – P. 3340. DOI: 10.3390/electronics12153340.
4. Effective Feature Fusion Network in BIFPN for Small Object Detection / J. Chen, H. Mai, L. Luo, X. Chen, K. Wu // *2021 IEEE International Conference on Image Processing (ICIP)*. – 2021. – P. 699–703. DOI: 10.1109/ICIP42928.2021.9506347.

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПАРАМЕТРА НЕЧЕТКОГО КЛАССИФИКАТОРА ТИПА MIN-MAX С ПОМОЩЬЮ РЕГРЕССИОННОЙ МОДЕЛИ

Р.Е. Коломников, аспирант каф. КСУП

Научный руководитель К.С. Сарин, доцент, к.т.н.

г. Томск, ТУСУР, kolomnikov0405@gmail.com

Рассматривается метод автоматического определения размера гипербокса для Min-Max классификатора с использованием метапризнаков наборов данных. Для прогнозирования значения параметра применяются регрессионные модели, среди которых наилучшие результаты показал CatBoost. Эксперименты на 47 наборах данных KEEL подтвердили устойчивую связь между характеристиками данных и размером гипербокса. Эффективность метода продемонстрирована на задаче выявления спама (spambase).

Ключевые слова: нечеткий классификатор, регрессионная модель, метапризнаки, инкрементное обучение, обнаружение спама.

Массовая неперсонифицированная рассылка (спам) продолжает оставаться значительной проблемой как для пользователей, так и для организаций. Традиционные методы выявления спама, основанные на статических правилах или сигнатурах, демонстрируют ограниченную эффективность из-за быстрой эволюции стратегий, применяемых спамерами. В качестве альтернативы методы машинного обучения позволяют формировать более адаптивные системы фильтрации. Однако большинство таких подходов требует регулярного переобучения на больших объемах данных, что делает их применение в реальных условиях затратным и труднореализуемым [1].

Перспективным направлением в данной области являются нечеткие классификаторы инкрементного обучения, в частности, модели типа Min-Max [2]. Способность к адаптации в реальном времени за счёт поэтапного обновления на новых примерах делает их особенно привлекательными для задач обнаружения спама. Кроме того, важным преимуществом этих моделей является их устойчивость к неопределённости в данных, что особенно актуально в условиях высокой вариативности и неоднозначности характеристик спам-сообщений [3].

Один из важнейших параметров нечеткого классификатора типа Min-Max – максимальный размер гипербокса (θ), который определяет баланс между количеством генерируемых правил и точностью классификации. Традиционно этот параметр подбирается эмпирически или методом полного перебора, что требует значительных вычисли-

тельных ресурсов и времени. Для преодоления этого ограничения необходим эффективный метод автоматического определения значения θ на основе характеристик набора данных.

Цель работы заключается в разработке и анализе регрессионной модели, предназначенной для прогнозирования значения параметра максимального размера гипербокса в нечетком классификаторе типа Min-Max. В качестве входных данных для модели используются метапризнаки набора данных. Предложенная модель применяется в задаче обнаружения массовой неперсонифицированной рассылки (спама).

В работе используется модифицированный вариант классификатора [9].

Регрессионная модель. Нечеткий классификатор типа Min-Max [6] реализует представление классов с помощью гипербокса в n -мерном пространстве признаков. Каждый гипербокс связан с одним из классов и задается вектором минимальных и максимальных координат. Степень принадлежности образца соответствующему нечеткому множеству определяется функцией принадлежности, отражающей, насколько данный образец соответствует характеристикам гипербокса.

Выбор параметра θ оказывает существенное влияние на характеристики классификатора. Меньшие значения θ приводят к созданию большего числа гипербокса небольшого размера, что может повысить точность классификации, но увеличивает вычислительную сложность и риск переобучения. Большие значения θ создают меньше гипербокса, что может снизить точность, но упрощает модель и улучшает обобщающую способность [7].

Для нахождения θ в работе предлагается создать регрессионную модель. Входными значениями модели являются 38 метапризнаков, которые характеризуют различные аспекты наборов данных, включая статистические, информационные и структурные свойства [8]. Метапризнаки вычисляются рекуррентно, т.е. обновляются с поступлением новых данных без необходимости повторного вычисления на всем наборе данных.

Для построения регрессионной модели сформирована таблица наблюдений. Для этого проведен эксперимент на 47 наборах данных из различных предметных областей, в ходе которого значение θ изменялось от 0,05 до 0,5 с шагом 0,05. Результаты с лучшей точностью фиксировались в таблице. Получено 4 700 записей, которые включают такие характеристики, как номер контрольной точки, значение θ , значение F1-меры и значения метапризнаков.

На основе сформированной таблицы наблюдений были построены и сравнены 9 регрессионных моделей для прогнозирования значе-

ния параметра θ на основе метапризнаков данных. Наименьшей ошибки аппроксимации достигла модель CatBoost со значением $MSE = 0,0151$.

Эксперимент на наборе данных Spambase. Для оценки эффективности предложенной регрессионной модели в задаче обнаружения неперсонифицированной рассылки был проведен эксперимент на наборе данных Spambase [10].

На рис. 1 приведены графики зависимости точности и количества гипербоксов от временной работы классификатора.

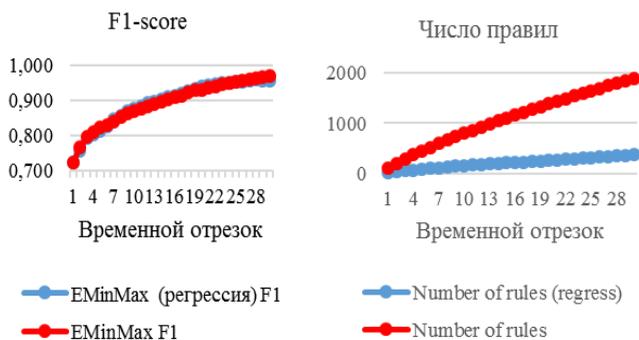


Рис. 1. Точность классификации и количество гипербоксов

Выводы. Результаты экспериментального исследования на наборе данных Spambase подтверждают эффективность предложенного метода автоматического определения параметра θ нечеткого классификатора. Как видно из рис. 1, классификатор с параметром, определенным с помощью регрессионной модели, генерирует значительно меньшее количество гипербоксов по сравнению с классическим подходом (379 против 1 892) при незначительном снижении точности классификации (F1-мера 0,955 против 0,968).

Предложенный метод обеспечивает компромисс между точностью классификации и структурной сложностью модели. Пятикратное сокращение количества гипербоксов снижает вычислительную сложность при обработке новых данных, что делает подход более применимым для обработки потоковых данных.

Заключение. В данной работе представлен метод автоматического определения значения параметра максимального размера гипербокса нечеткого классификатора типа Min-Max на основе регрессионной модели и метапризнаков данных. Метод позволяет упростить процесс настройки классификатора и повысить его эффективность в задаче обнаружения неперсонифицированной рассылки.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 24-21-00168).

ЛИТЕРАТУРА

1. Абдуллаев В.Г. Защита от спама в интернет-пространстве. // Радиоэлектроника и информатика. – 2014. – Ч. 2. – С. 35–38.
2. Коломников Р.Е. Нечеткий классификатор инкрементного обучения для обнаружения массовой неперсонифицированной рассылки / Р.Е. Коломников, К.С. Сарин // Матер. междунар. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых «Научная сессия ТУСУР–2023». – Томск: ТУСУР (заказчик); В-Спектр (ИП Бочкарева В.М., исполнитель), 2023. – Ч. 2. – С. 159–163.
3. Сарин К.С. Нечеткий классификатор типа Min-Max: обзор // Доклады ТУСУР. – 2016. – Т. 19, № 3. – С. 76–82.
4. Vanschoren J. Meta-learning: A survey // arXiv preprint arXiv:1810.03548. – 2018.
5. Metalearning: Applications to data mining / P. Brazdil, C.G. Carrier, C. Soares, R. Vilalta // Springer Science & Business Media. – 2008.
6. Simpson P.K. Fuzzy Min-Max Neural Networks. – Part 1: Classification // IEEE Transaction on neural networks. – 1992. – Vol. 3, No. 5. – P. 776–786.
7. Gabrys B. General fuzzy min-max neural network for clustering and classification / B. Gabrys, A. Bargiela // IEEE transactions on neural networks. – 2000. – Vol. 11, No. 3. – P. 769–783.
8. Mohammed M.F. An enhanced fuzzy min–max neural network for pattern classification / M.F. Mohammed, C.P. Lim // IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems. – 2015. – Vol. 26, No. 3. – P. 417–429.
9. Коломников Р.К. Модифицированный нечеткий классификатор типа Min-Max / Р.К. Коломников, К.С. Сарин // Матер. междунар. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых «Научная сессия ТУСУР–2023». – Томск: ТУСУР (заказчик); В-Спектр (ИП Бочкарева В.М., исполнитель), 2023. – С. 155–158.
10. Hopkins M. Spambase / M. Hopkins, E. Reeber, G. Forman, J. Suermond // UCI Machine Learning Repository. – 1999.

УДК 004.8

АЛГОРИТМ ПОСТРОЕНИЯ ЭВОЛЮЦИОНИРУЮЩЕГО НЕЧЁТКОГО КЛАССИФИКАТОРА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АЛГОРИТМА «КИТОВ»

Н.П. Корышев, аспирант каф. КСУП

Научный руководитель И.А. Ходашинский, проф. каф. КСУП, д.т.н.

2. Томск, ТУСУР, koryshev1997@gmail.com

Представлено описание алгоритма формирования эволюционирующей базы правил нечётких прототипов для нечёткого классификатора. В его основе лежат алгоритм построения автономной системы

нечеткого вывода на основе мягких прототипов и метаэвристический алгоритм «китов». Работоспособность разработанного алгоритма оценивается на нескольких наборах данных из репозитория KEEL.

Ключевые слова: алгоритм «китов», нечёткий классификатор, поток данных, мягкий прототип.

В области анализа данных возрастает актуальность задачи разработки интеллектуальных систем принятия решений, обучаемых в режиме реального времени, с поступлением новых данных [1]. Такой режим работы подразумевает непрерывные процессы дообучения системы за счёт обработки постоянно растущего объёма данных, характеризующихся, как правило, нестационарностью [2].

Для решения задачи классификации данных, поступающих частями с течением времени, используются различные инструменты, адаптированные для хранения и обработки сведений о поступавших данных. Одним из таких адаптированных методов являются нечёткие классификаторы типа Ангелова–Ягера [3, 4] (базирующиеся на основе нечёткой логики). Данные системы состоят из нечетких правил («облаков») с фокальными точками, которые постоянно создаются, обновляются или удаляются в процессе обучения на поступающих данных. Эти системы подразделяются на два вида в зависимости от содержания консеквентной части и механизма вывода: нулевого (консеквент – метка класса) и первого (консеквент – многочлен) порядков.

Цель работы – улучшение технологии построения эволюционирующих с течением времени классификаторов за счёт разработки нового алгоритма на основе метаэвристического алгоритма «китов» (WOA) и алгоритма построения автономной системы нечеткого вывода на основе мягких прототипов (SPAFIS), развивающего идеи системы Ангелова–Ягера нулевого порядка.

Описание SPAFIS. Алгоритм рассмотрен в работе [1]. В его основе – замена нечётких правил «мягкими прототипами» для лучшего обобщения базовой структуры и локальных шаблонов данных со сложными распределениями. SPAFIS использует инкрементный, итеративный подход к нахождению мягких прототипов из потоков данных по пакетам (кускам) данных фиксированного размера. Наиболее важным параметром является гранулярность, определяющая число прототипов в базе. Кроме того, алгоритм способен периодически удалять мягкие прототипы с высоким пространственным сходством для улучшения базы знаний и повышения эффективности вычислений.

Описание алгоритма «китов». Подробное описание алгоритма приводится в работе [5]. В данной работе оригинальный SPAFIS модифицируется добавлением выполнения WOA. Каждый раз после получения готовой базы прототипов классификатора с помощью SPAFIS запускается WOA для настройки параметров прототипов.

Поскольку во время выполнения WOA между пакетами данных прерывается выполнение инкрементного обучения с помощью SPAFIS, формируемый нечёткий классификатор обозначается более обобщённой характеристикой – эволюционирующей.

Эксперимент и полученные результаты. Для проверки работоспособности разработанного алгоритма были выбраны следующие значения его параметров. Параметры, относящиеся к SPAFIS, следующие: размер одного пакета данных равен 10% от общего числа экземпляров в наборе, коэффициент для определения сходства прототипов в базе во время операции их объединения – 0,001, гранулярность была выбрана равной 6 (как в оригинальной работе [1]). Параметры WOA на каждом запуске были одинаковыми: число решений – 20, количество итераций – 100. Схема кроссвалидации во время эксперимента – 5-кратная, количество запусков на каждой обучающей подвыборке – 3.

В таблице приводятся результаты проверки работоспособности оригинального алгоритма SPAFIS и предлагаемого алгоритма (SPAFIS+WOA): средние показатели точности на обучающих (tra) и тестовых (tst) выборках и количества правил (R) после окончания процесса построения эволюционирующего нечёткого классификатора (после исчерпания всей обучающей выборки). Классификаторы строились на пяти наборах данных из репозитория KEEL [6]. Их характеристики приводятся под названием набора в таблице. Через запятую перечислены число классов, число экземпляров и число признаков.

Усреднённые результаты работы алгоритмов

Наборы данных	Показатели	SPAFIS+WOA	SPAFIS
Iris (3, 150, 4)	tra, %	100,00	100,00
	tst, %	96,67	96,67
	R	80,2	
Heart (2, 270, 13)	tra, %	95,83	95,28
	tst, %	66,67	63,70
	R	154,4	
Balance (3, 625, 4)	tra, %	98,60	98,56
	tst, %	78,40	77,44
	R	244,6	
Banana (2, 5300, 2)	tra, %	90,19	90,19
	tst, %	88,89	88,89
	R	276,8	
Spambase (2, 4597, 57)	tra, %	75,86	77,43
	tst, %	67,83	70,96
	R	594,2	

Заключение. Полученные результаты отражают невысокую работоспособность алгоритма на тестовых выборках. Это может быть связано с большим количеством признаков в наборах данных, что указывает на потребность в проведении отбора информативных признаков, который может поспособствовать улучшению работоспособности, а также высокому числу генерируемых прототипов, которые усложняют пространство поиска для метаэвристики.

ЛИТЕРАТУРА

1. Gu X. A soft prototype-based autonomous fuzzy inference system for network intrusion detection / X. Gu, G. Howells, H. Yuan // Information Sciences. – 2024. – Vol. 677. – P. 120964.
2. Anomaly detection in streaming data: A comparison and evaluation study / I.F. Vázquez, A. Hartl, T. Zseby, A. Zimek // Expert Systems with Application. – 2023. – Vol. 233. – P. 120994.
3. Angelov P.P. Autonomous learning multi-model classifier of 0-Order (ALMMo-0) / P.P. Angelov, X. Gu // 2017 Evolving and Adaptive Intelligent Systems (EAIS). – 2017. – P. 1–7.
4. Angelov P.P. Autonomous Learning Multimodel Systems From Data Streams / P.P. Angelov, X. Gu, J.C. Principe // IEEE Transactions on Fuzzy Systems – 2018. – Vol. 26. No. 4. – P. 2213–2224.
5. Koryshev N. Building a Fuzzy Classifier Based on Whale Optimization Algorithm to Detect Network Intrusions / N. Koryshev, I. Hodashinsky, A. Shelupanov // Symmetry. – 2021. – Vol. 13, No. 7. – P. 1211.
6. KEEL. Standard Classification data sets [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://sci2s.ugr.es/keel/category.php?cat=clas>, свободный (дата обращения: 16.03.2025).

УДК 004.023

ВЫБОР МЕТОДА ОПТИМИЗАЦИИ ДЛЯ НАХОЖДЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ МОДЕЛИ ЭЛЕКТРОСТАЛЕПЛАВИЛЬНОЙ ПЕЧИ

А.А. Краев, аспирант каф. МПО ЭВМ

*Научный руководитель Е.В. Ершов, зав. каф. МПО ЭВМ, д.т.н.
г. Череповец, ЧГУ, evershov@chsu.ru*

Обосновывается выбор эволюционных алгоритмов для оптимизации коэффициентов математической модели дуговой электросталеплавильной печи. Проведён сравнительный анализ методов нелинейной оптимизации, учитывающий особенности металлургических процессов: высокую размерность, нелинейность и наличие шумов в данных. Показана эффективность эволюционных алгорит-

мов в задачах адаптации модели к изменяющимся технологическим условиям.

Ключевые слова: математическое моделирование, оптимизация, эволюционные алгоритмы, металлургия, прогнозирование.

Выплавка стали – это процесс сложных многофазных физических и химических реакций при высокой температуре. Основной задачей выплавки стали является получение требуемого целевого химического состава и температуры. Процесс выплавки подразумевает получение стали из сырья, чугуна или стального лома в сталеплавильных агрегатах металлургических заводов [1].

Прогнозирование процесса выплавки в дуговой электросталеплавильной печи (ДСП) осложнено нелинейностью физико-химических процессов. Точность прогнозирования параметров (температура, содержание углерода) критична для минимизации затрат при производстве и сокращения цикла обработки плавки. Существующие математические модели, описывающие технологический процесс выплавки стали в ДСП, требуют регулярной корректировки коэффициентов из-за изменений технологических параметров (состав шихты, износ оборудования и т.д.). Нелинейный характер процессов и высокая размерность задачи исключают применение классических методов оптимизации.

Целью работы является выбор метода оптимизации для нахождения параметров модели электросталеплавильной печи, обеспечивающего высокую точность прогнозирования и адаптацию к изменяющимся технологическим условиям.

Модель описывает процесс плавки через систему уравнений, включающих:

- Тепловой баланс – распределение энергии между нагревом металла и потерями через стенки печи.
- Кинетику окисления углерода – зависимость скорости реакции от температуры и концентрации кислорода.

Коэффициенты модели (теплопотери, температурные коэффициенты реакций) требуют периодической настройки, так как их значения меняются под воздействием внешних факторов (например, смена технологии, износ или замена оборудования и т.д.).

Применение эволюционных алгоритмов для оптимизации коэффициентов физической модели позволит улучшить конечный прогноз по углероду и температуре стали, адаптировать модель к изменяющимся технологическим условиям и процессам.

Для задач с нелинейностью и высокой размерностью (более 10 параметров) рассмотрены три подхода [2]:

1. Градиентные методы.

Преимущества:

- высокая скорость сходимости для гладких выпуклых функций.

Недостатки:

- чувствительность к локальным минимумам;
- неприменимость к многоэкстремальным задачам;
- требуют аналитического задания производных, что затруднительно для промышленных данных.

2. Методы роя частиц (PSO).

Преимущества:

- простота реализации;
- умеренная устойчивость к шумам.

Недостатки:

- риск преждевременной сходимости при малом размере роя;
- снижение точности при оптимизации более 10 параметров.

3. Эволюционные алгоритмы (ЭА).

Преимущества:

- глобальный поиск решений за счёт операторов мутации и кроссовера;
- устойчивость к шумам и пропускам в данных;
- эффективность в задачах с высокой размерностью.

Недостатки:

- высокие вычислительные затраты при тонкой настройке параметров.

Критерии выбора:

• *Устойчивость к локальным минимумам.* Эволюционные алгоритмы (ЭА) демонстрируют наивысшую устойчивость, методы роя частиц (PSO) – среднюю, градиентные методы – наименьшую.

• *Скорость сходимости.* Градиентные методы сходятся быстрее PSO, а PSO – быстрее эволюционных алгоритмов.

• *Работа с шумами.* ЭА наиболее устойчивы к шумам, PSO – умеренно устойчивы, градиентные методы – наименее устойчивы.

• *Применимость к высокоразмерным задачам.* Только эволюционные алгоритмы эффективны для задач с более чем 10 параметрами.

Для оптимизации коэффициентов модели ДСП эволюционные алгоритмы выбраны как наиболее сбалансированное решение по следующим причинам:

- Глобальный поиск – критичен для невыпуклой целевой функции, характерной для модели ДСП.

- Адаптивность – устойчивость к шумам позволяет работать с реальными производственными данными, содержащими погрешности измерений.
- Масштабируемость – метод сохраняет эффективность при увеличении числа параметров (до 15–20 коэффициентов).
- Альтернативные методы (PSO, градиентные) исключены из-за риска застревания в локальных минимумах и низкой точности в высококоразмерных задачах.

В ходе сравнительного анализа использование эволюционных алгоритмов целесообразно в рамках задачи оптимизации коэффициентов нелинейных моделей металлургических процессов. Их применение позволяет: повысить точность прогнозирования температуры и содержания углерода, адаптировать математическую модель ДСП к изменениям технологических условий без перепроектирования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Журавлев А.А. Расчеты материальных и энергетических балансов при выплавке стали в дуговых сталеплавильных печах: учеб.-метод. пособие / А.А. Журавлев, В.Ф. Мысик, А.В. Жданов. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2016. – 128 с.

2. Goldberg D.E. Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning. – Boston: Addison-Wesley, 1989. – 412 p.

УДК 004.8

УСТОЙЧИВОСТЬ МОДЕЛИ СВЕРТОЧНОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ MO-U-NET К ИМПУЛЬСНЫМ ПОМЕХАМ НА ИЗОБРАЖЕНИЯХ

А.Ю. Малкин, аспирант ИШИТР

г. Томск, НИ ТПУ, аyt27@tpu.ru

Исследуется устойчивость модели сверточной нейронной сети Mo-U-Net, обученной с применением робастной функции потерь Коши, к импульсным помехам на изображениях деревьев пихты, полученных с помощью беспилотного летательного аппарата. Проводятся эксперименты в случаях зашумления импульсными помехами фрагментов обучающих, валидационных и тестовых выборок. Показано, что зашумление фрагментов тестовой выборки значительно снижает устойчивость модели Mo-U-Net к помехам.

Ключевые слова: сверточная нейронная сеть, Mo-U-Net, семантическая сегментация, импульсные помехи, робастная функция потерь.

В настоящее время в лесной отрасли активно начинают применять сверточные нейронные сети (СНС) для решения задачи семантической сегментации изображений хвойных деревьев, пораженных вредителями. Для получения таких изображений используются беспилотные летательные аппараты (БПЛА) с фото- или кинокамерами. В результате работы таких устройств на изображениях могут возникать импульсные помехи, которые ухудшают качество сегментации изображений деревьев, выполняемой СНС. Одним из способов борьбы с такими помехами является применение робастных функций потерь (РФП), повышающих устойчивость СНС к помехам.

В работе исследуется влияние РФП Коши [1] на устойчивость модели СНС Mo-U-Net [2] к импульсным помехам, возникающим на изображениях с БПЛА деревьев пихты сибирской, поражённых уссурийским полиграфом.

Постановка задачи. Для обучения и исследования устойчивости модели Mo-U-Net в качестве исходного датасета используется датасет, представленный в [3]. Он сформирован на основе полученных с БПЛА изображений пораженных уссурийским полиграфом деревьев пихты сибирской. Разметка изображений деревьев пихты проведена по следующим классам здоровья деревьев: «живые», «отмирающие», «свежий сухостой», «старый сухостой». Пятым классом является «фон». Обучающая выборка датасета состоит из 2 004 фрагментов с разрешением 256×256 пикселей цветового пространства RGB, валидационная и тестовая выборки содержат, соответственно, 672 и 91 фрагмент. На основе исходного датасета создается новый датасет с фрагментами, содержащими искусственно внесенные нами импульсные помехи. Для получения координаты зашумляемого пикселя фрагмента применяется генератор случайных чисел, работающий по дискретному равномерному закону распределения. Для выбранных таким образом пикселей импульсные помехи моделируются путем увеличения значений амплитуды яркости в каждом из каналов RGB.

Ставится задача с помощью нового датасета обучить и исследовать устойчивость модели Mo-U-Net с РФП Коши к импульсным помехам при решении задачи мультиклассификации пораженных деревьев пихты. Для оценки качества семантической сегментации (точности попиксельной классификации) фрагментов применяется метрика mIoU как среднее значение всех метрик IoU_c для каждого класса с деревьев. Чем выше значение метрики mIoU или метрики IoU_c, тем выше устойчивость модели Mo-U-Net к помехам.

Результаты экспериментов и их обсуждение. Проводятся два эксперимента по выявлению устойчивости модели Mo-U-Net с РФП Коши к импульсным помехам. В первом определяется точность клас-

сификации деревьев пихты моделью в случае, когда зашумлены фрагменты отдельно обучающей, валидационной и тестовой выборки при площади зашумления, равной 25% от площади фрагмента выборки, и при амплитуде импульсных помех, равной 1,5. В первом эксперименте также получены результаты обучения и тестирования модели на исходном датасете, т.е. без помех. Во втором эксперименте исследуется влияние зашумления фрагментов выборки при различных их комбинациях на точность классификации. Параметры зашумления каждого фрагмента те же, что и в первом эксперименте. В экспериментах использовалось квазиоптимальное значение коэффициента РФП Коши из нашей работы [4], равное 3,1708.

Из результатов первого эксперимента на рис. 1, *a* следует, что точность классификации по метрике mIoU-фрагментов тестовой выборки моделью Mo-U-Net с РФП Коши практически не зависит от наличия помех на фрагментах обучающей или валидационной выборки, поскольку близка к точности в случае отсутствия помех. Однако зашумление фрагментов тестовой выборки значительно снижает точность классификации, что указывает на потерю устойчивости модели Mo-U-Net с РФП Коши к импульсным помехам.

Также представлены результаты второго эксперимента с моделью (рис. 1, *б*).

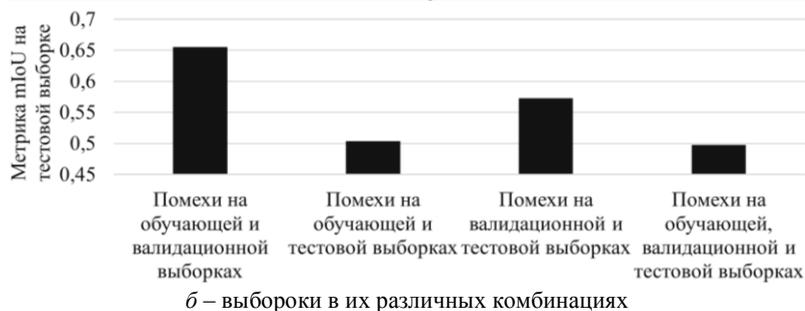
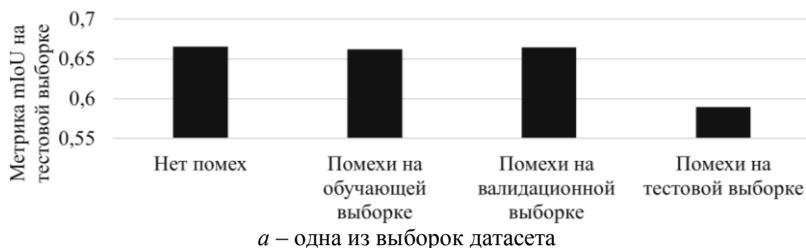


Рис. 2. Качество сегментации тестового изображения в случае зашумления фрагментов

Из них можно сделать вывод о существенном влиянии одновременного зашумления фрагментов обучающей и тестовой выборок и фрагментов всех трех выборок на метрику mIoU на тестовой выборке.

В итоге можно считать, что наличие импульсных помех на фрагментах тестовой выборки оказывает существенное влияние на устойчивость модели Mo-U-Net с РФП Коши. Зашумление фрагментов валидационной выборки практически не влияет на ее устойчивость.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сивак М.А. Робастное обучение нейронных сетей с простой архитектурой для решения задач классификации: дис. ... канд. техн. наук. – Новосибирск, 2022. – 111 с.

2. Марков Н.Г. Модели и методы глубокого обучения для решения задач дистанционного мониторинга лесных ресурсов / Н.Г. Марков, К. Мачука // Изв. Том. политехн. ун-та. Инжиниринг георесурсов. – 2024. – Т. 335, № 6. – С. 55–74. DOI: 10.18799/24131830/2024/6/4600.

3. Семантическая сегментация поврежденных деревьев пихты на снимках с беспилотных летательных аппаратов / И.А. Керчев, К.А. Маслов, Н.Г. Марков, О.С. Токарева // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2021. – Т. 18, № 1. – С. 116–126.

4. Малкин А.Ю. Помехоустойчивость модели полносверточной нейронной сети U Net при семантической сегментации деревьев пихты на зашумленных снимках с БПЛА / А.Ю. Малкин, Н.Г. Марков // Доклады ТУСУР. – 2024. – Т. 27, № 2. – С. 64–70. DOI: 10.21293/1818-0442-2024-27-2-64-70.

УДК 004.85

МОДИФИЦИРОВАННЫЙ АЛГОРИТМ ПОСТРОЕНИЯ НЕЧЕТКОГО КЛАССИФИКАТОРА ТИПА MIN-MAX

Т. Мамвота, студент каф. КСУП

Научный руководитель К.С. Сарин, доцент каф. КСУП, к.т.н.

г. Томск, ТУСУР, tooyoungmamvota@gmail.com

Нечеткий классификатор типа Min-Max – это алгоритм машинного обучения, который широко применяется для задач классификации. Одним из ключевых преимуществ этого классификатора является его способность к адаптации и объяснить результат своего решения. Хотя оригинальный алгоритм доказал свою эффективность, выявлен недостаток, который требует дальнейшего рассмотрения, такой как большое число правил. Представлена модифицированная версия алгоритма нечеткого классификатора, разработанная с целью уменьшения числа правил. Проведены эксперименты модифицированной версии Min-Max для решения проблем кибербезопасности.

Ключевые слова: нечеткий классификатор, алгоритм Min-Max, пошаговое обучение, кибербезопасность.

Нечеткий классификатор Min-Max – это алгоритм машинного обучения для задачи классификации, который в инкрементном режиме обрабатывает большие массивы данных [1]. Классификатор принимает решение на основе базы продукционных правил «ЕСЛИ – ТО» и способен объяснить результат принятого решения в лингвистической форме. Проблема оригинального алгоритма построения нечеткого классификатора заключается в большом количестве правил, что осложняет его интерпретируемость и увеличивает вычислительную сложность как для принятия решения, так и для построения. Целью настоящей работы является разработка модифицированного алгоритма построения нечеткого классификатора типа Min-Max для уменьшения числа правил. Проверка работоспособности модификации проводилась для решения двух проблем кибербезопасности – обнаружения массовой неперсонифицированной рассылки (спама) и сетевых атак.

Оригинальный алгоритм построения нечеткого классификатора типа Min-Max с приходом нового образца обучающих данных осуществляет три основных этапа построения: 1) расширение гипербокса для покрытия образца; 2) проверку на перекрытие расширенного гипербокса с гипербоксом другого класса; 3) сжатие гипербоксов в случае их перекрытия. Предлагаемая модификация связана с определением класса нового образца классификатором. В случае совпадения с реальным значением предлагается не проводить этапы построения и перейти к следующему образцу. Блок-схема модифицированного алгоритма представлена на рис. 1.

Эксперимент. Предложенный модифицированный нечеткий классификатор Min-Max был оценен с помощью десятикратной перекрестной проверки на наборах данных Spambase для обнаружения спама и UNSW для обнаружения атак на сетевые соединения. Производительность модифицированного алгоритма сравнивалась с традиционным классификатором Min-Max, оценивались показатель точности F1-мера и количество правил. Оценки проводились на 30 временных отрезках в процессе работы алгоритма. Результаты представлены на рис. 2.

Точность классификации при обнаружении спама оказалась хуже оригинального алгоритма на всем протяжении работы, а количество нечетких правил, наоборот, показало результаты лучше в модификации. Точность обнаружения атак на сетевые соединения в модифицированном варианте оказалась лучше на большем временном отрезке работы алгоритма, количество правил меньше на всем протяжении работы.

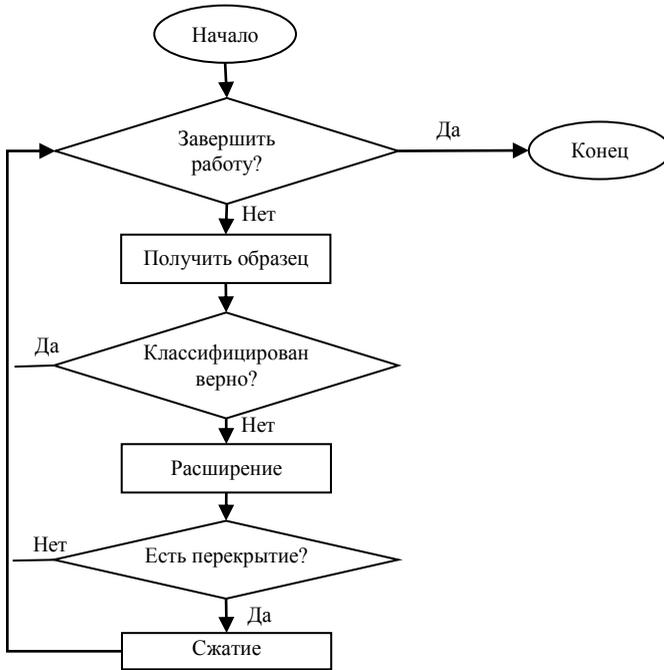


Рис. 1. Блок-схема модифицированного нечеткого классификатора типа Min-Max

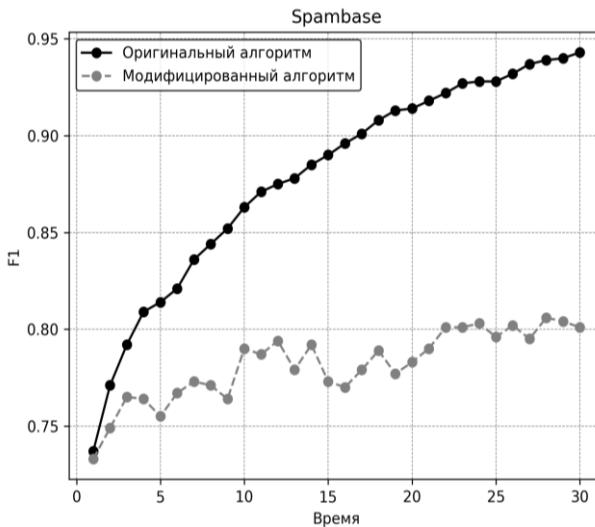


Рис. 2 (начало)

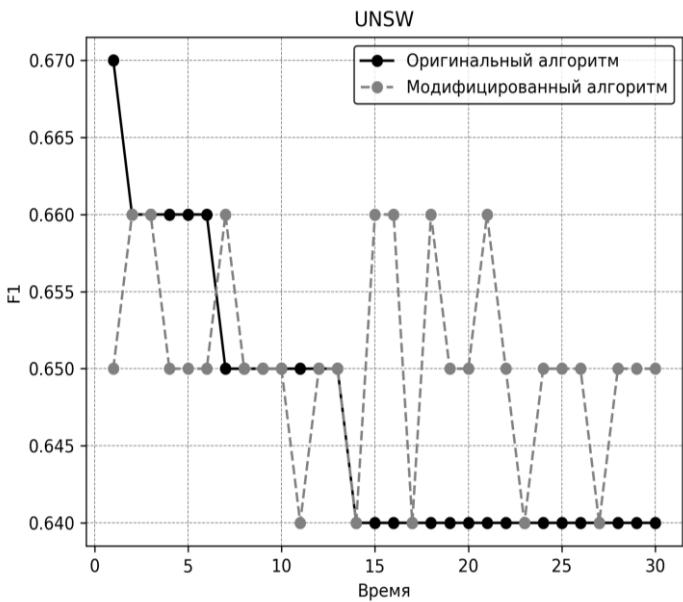
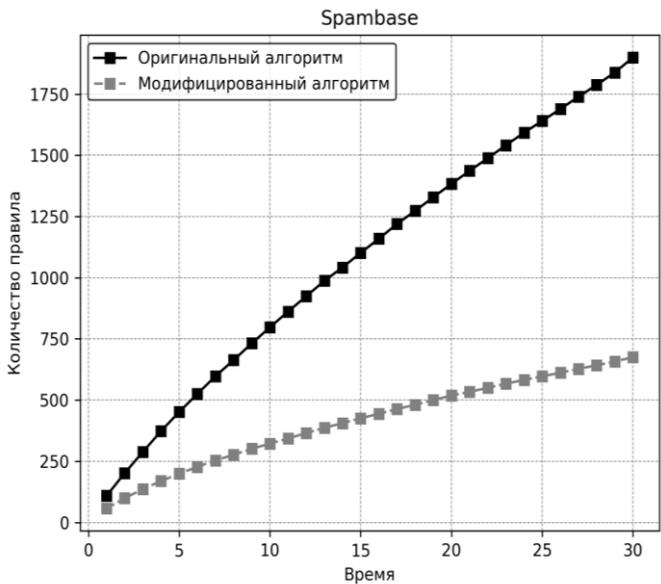


Рис. 2 (продолжение)

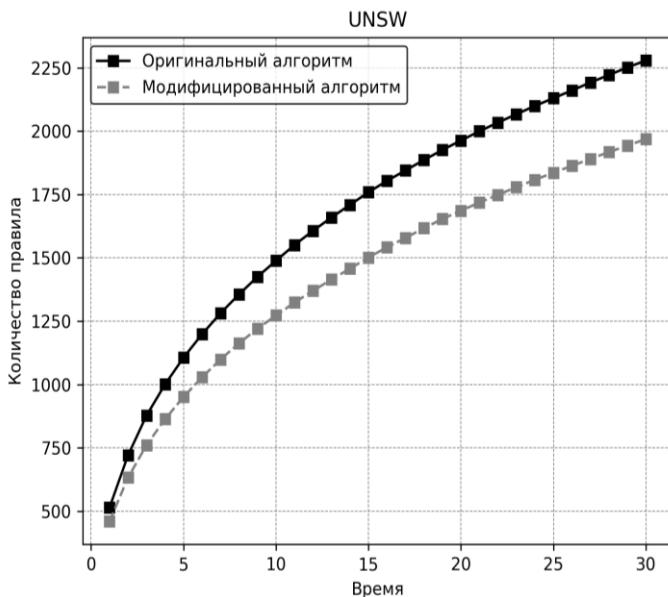


Рис. 2 (окончание). Результаты работы модифицированного алгоритма

Заключение. В работе предложен модифицированный алгоритм построения нечеткого классификатора типа Min-Max. Модификация заключается в определении класса нового образца данных и в случае совпадения с реальным – отказа от проведения построения с помощью данного образца. Эксперимент по построению классификатора для двух проблем кибербезопасности показал уменьшение количества правил на обоих наборах и увеличение точности на одном наборе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Нечеткий классификатор инкрементного обучения типа Min-Max для решения задач кибербезопасности / К.С. Сарин, Р.Е. Коломников, М.О. Светлаков, И.А. Ходашинский // Научно-техническая информация. – Сер. 2: Информационные процессы и системы. – 2024. – № 9. – С. 11–21.

**АЛГОРИТМ GPOO ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ СКОРОСТЬЮ
ВРАЩЕНИЯ БЕСЩЕТОЧНОГО ДВИГАТЕЛЯ
ПОСТОЯННОГО ТОКА**

С.З. Май, аспирант каф. КСУП

*Научный руководитель И.А. Ходашинский, проф. каф. КСУП, д.т.н.
г. Томск, ТУСУР*

Рассматривается оптимизация параметров ПИД-регулятора для управления скоростью бесщеточного двигателя постоянного тока с использованием алгоритма GPOO. Сравнение с методом Циглера–Николса и алгоритмом поиска с запретами подтвердило высокую эффективность GPOO в настройке ПИД-регулятора.

Ключевые слова: бесщеточный двигатель постоянного тока, алгоритм GPOO, алгоритм поиска с запретами, ПИД-регулятор, оптимизация.

Бесщеточный двигатель постоянного тока (БДПТ) благодаря высокой эффективности, долговечности и точности управления нашел широкое применение в различных областях [1]. В управлении скоростью БДПТ ПИД-регулятор является традиционным и широко используемым методом благодаря своей простоте и легкости внедрения [2]. Однако классический ПИД-регулятор имеет ограничения в поддержании высокой точности и адаптации к изменяющимся условиям системы. Поэтому были разработаны и исследованы гибридные ПИД-регуляторы, такие как ПИД-нечеткое управление [3] и ПИД-нейросеть [4], которые демонстрируют более высокую эффективность.

Для оптимизации параметров ПИД-регулятора применяются метаэвристические алгоритмы [5, 6], включая генетический алгоритм [7], алгоритм роящихся частиц [2] и адаптивный поиск с запретами (ATS – Adaptive Tabu Search) [8], что значительно повышает эффективность системы. Несмотря на положительные результаты этих методов, остается возможность дальнейшего улучшения качества управления.

Целью данной работы является повышение качества управления работой БДПТ путем оптимизации параметров ПИД-регулятора с использованием алгоритма GPOO (Giant Pacific Octopus Optimizer [9]).

Оптимизация ПИД-регулятора с использованием алгоритма GPOO. GPOO – это метаэвристический алгоритм, вдохновленный стратегией охоты гигантского тихоокеанского осьминога. GPOO эффективно сочетает этапы исследования и эксплуатации в поисковом пространстве.

При применении GPOO задача определения параметров ПИД-регулятора превращается в задачу оптимизации с ограничениями, целью которой является нахождение подходящих параметров, минимизирующих целевую функцию.

Процесс разработки модели управления и определения целевой функции иллюстрируется на рис. 1.

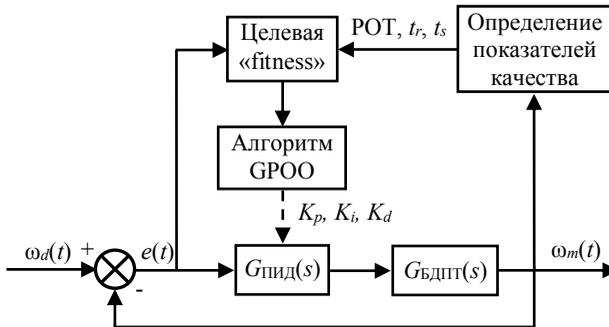


Рис. 1. Схема управления двигателем БДПТ

$\omega_d(t)$, $\omega_m(t)$ – желаемая и фактическая скорость двигателя соответственно; $e(t)$ – ошибка управления, определяемая следующим образом: $e(t) = \omega_d(t) - \omega_m(t)$; РОТ – перерегулирование; t_s – время переходного процесса; t_r – время нарастания.

Передаточные функции системы: $G_{\text{БДПТ}}(s)$ – передаточная функция двигателя БДПТ; $G_{\text{ПИД}}(s)$ – передаточная функция ПИД-регулятора, которая определяется следующим образом [6, 7]:

$$G_{\text{ПИД}}(s) = K_p + \frac{K_i}{s} + K_d s.$$

Здесь K_p , K_i , K_d – параметры ПИД-регулятора.

Задача оптимизации заключается в поиске оптимальных значений K_p , K_i , K_d обеспечивающих минимальное отклонение $\omega_m(t)$ от $\omega_d(t)$, а также соответствие системе заданным критериям качества. Для количественной оценки качества управления используется целевая функция «fitness», определяемая следующим образом:

$\text{fitness} = f_{\text{ош}} + f_{\text{ог}}$, где $f_{\text{ош}} = \int e^2(t) dt$ – функция ошибки; $f_{\text{ог}} = \alpha \text{РОТ} + \beta t_r + \gamma t_s$ – функция ограничений. Коэффициенты штрафов α , β , γ регулируют степень влияния ограничений на значение функции «fitness».

Моделирование применяется для двигателя с той же платой управления, передаточная функция которой указана в [8].

$$G_{\text{ПИД}}(s) = \frac{20590000}{0,0597s^3 + 31,2477s^2 + 364,4712s + 1069,9862}$$

Оптимизация ПИД-регулятора проводится с использованием алгоритма GPOO. Результатом является ПИД-регулятор GPOO с найденными параметрами: $K_p = 107,133$; $K_i = 107,133$; $K_d = 0,629$.

На рис. 2 и в таблице представлены сравнения между ПИД_GPOO и другими регуляторами, упомянутыми в [8]: ПИД_ZN ($K_p = 10,7769$; $K_i = 103,6240$; $K_d = 0,2802$), разработанный по методу Зиглера–Николса; ПИД_ATS ($K_p = 10,7166$; $K_i = 0,0011$; $K_d = 0,4351$) был оптимизирован с использованием алгоритма ATS.

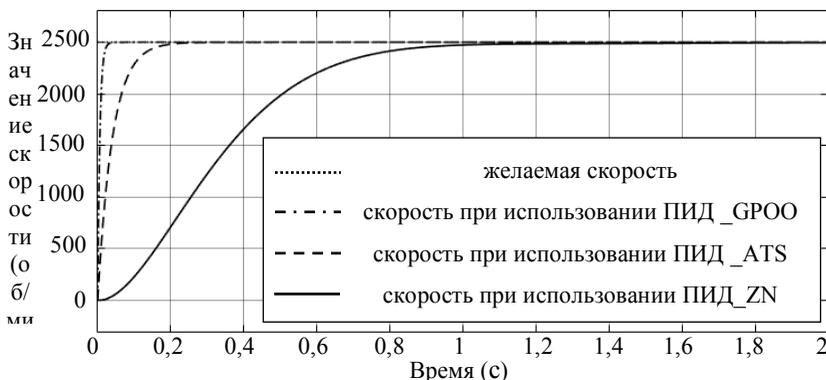


Рис. 2. Изменение скорости двигателя для трёх регуляторов

Сравнение показателей качества управления

Показатель	ПИД_GPOO	ПИД_ATS	ПИД_ZN
Перерегулирование	$8,2555 \times 10^{-9}$	0	0
Время нарастания	0,0128	0,0892	0,5228
Время установления	0,0229	0,1588	0,8737
Установившаяся ошибка	10^{-4}	17×10^{-4}	2,9

Результаты показывают, что регулятор ПИД_GPOO обеспечивает более высокую эффективность по сравнению с регуляторами ПИД_ATS и ПИД_ZN.

Заключение. Метод оптимизации параметров ПИД-регулятора с использованием алгоритма GPOO продемонстрировал высокую эф-

фективность в управлении бесщеточным двигателем постоянного тока. Полученные результаты показывают значительное сокращение времени установления, снижение ошибки и уровня колебаний системы, что способствует повышению её стабильности и общей производительности.

В дальнейшем исследование может быть продолжено в направлении интеграции GPOO с гибридными методами управления, такими как ПИД-нечеткое или ПИД-нейросеть, для повышения адаптивности и оптимизации работы системы в условиях сложных режимов эксплуатации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Mohanraj D. A Review of BLDC Motor: State of Art, Advanced Control Techniques, and Applications / D. Mohanraj, R. Aruldavid, R. Verma, K. Sathiyasekar, A.B. Barnawi, B. Chokkalingam // IEEE Access. – 2022. – Vol. 10. – P. 54833–54869.

2. Ibrahim H.E.A. Optimal PID control of a brushless DC motor using PSO and BF techniques / H.E.A. Ibrahim, F.N. Hassan, A.O. Shomer // Ain Shams Engineering Journal. – 2014. – Vol. 5. – P. 391–398.

3. Саблина Г.В. Настройка параметров ПИД-регулятора в системе с объектом второго порядка с запаздыванием / Г.В. Саблина, В.А. Маркова // Автоматика. – 2022. – Т. 58, № 4. – С. 110–117.

4. Megrini M. Processor in the loop implementation of artificial neural network controller for BLDC motor speed control / M. Megrini, A. Gaga, Y. Mehdaoui // Results in Engineering. – 2024. – Vol. 23. – P. 102422.

5. Metaheuristic algorithms for PID controller parameters tuning: review, approaches and open problems / S.B. Joseph, E.G. Dada, A. Abidemi, D.O. Oyewola, B.M. Khammas // Heliyon. – 2022. – Vol. 8. – P. e09399.

6. Ходашинский И.А. Методы повышения эффективности роевых алгоритмов оптимизации // Автоматика и телемеханика. – 2021. – № 6. – С. 3–45.

7. Ibrahim M.A. Optimal PID controller of a brushless DC motor using genetic algorithm / M.A. Ibrahim, A.Kh. Mahmood, N.S Sultan // International Journal of Power Electronics and Drive System. – 2019. – Vol. 10. – P. 822–830.

8. Pakdeeto J. Optimal Speed Controller Design of Commercial BLDC Motor by Adaptive Tabu Search Algorithm / J. Pakdeeto, S. Wansungnoen, K. Areerak, A. Kongpan // IEEE Access. – 2023. – Vol. 11. – P. 79710–79720.

9. Son P.V.H. A novel giant pacific octopus optimizer for real-world engineering problem / P.V.H. Son, L.N.Q. Khoi // Evolutionary Intelligence. – 2024. – Vol. 17. – P. 3571–3592.

**НЕЧЁТКИЙ КЛАССИФИКАТОР СМЕШАННЫХ ДАННЫХ,
ОСНОВАННЫЙ НА ПРАВИЛАХ ДЕРЕВЬЕВ РЕШЕНИЙ*****Р.О. Остапенко, аспирант каф. КСУП****Научный руководитель И.А. Ходашинский, д.т.н., проф. каф. КСУП
г. Томск, ТУСУР, romanOstpub@mail.ru*

Рассматривается построение нечёткого классификатора на основе правил из деревьев решений на основе алгоритма C5.0. Использование данного подхода показало перспективы его использования для генерации базы нечётких правил.

Ключевые слова: нечёткий классификатор, деревья решений, алгоритм C5.0, база правил.

Чаще всего данные реального мира являются смешанными данными. Под смешанными данными подразумевается данные, содержащие числовые и категориальные значения. Использование нечёткого классификатора позволяет учесть неопределённости и неточности. Но работа нечёткого классификатора со смешанными данными затруднена, так как функции принадлежности строятся на основе непрерывных значений. Деревья решений на основе алгоритма C5.0 работают со смешанными данными [1]. Таким образом, возникает цель работы: разработать метод построения нечёткого классификатора на основе правил деревьев решений, построенных алгоритмом C5.0.

Использование алгоритма C5.0 с нечётким классификатором.

Сначала на основе обучающей выборке классифицируемого набора данных происходит построение дерева решений алгоритмом C5.0. Пусть набор данных состоит из трёх признаков: x_1 , x_2 , x_3 . Признак x_1 имеет следующее ограничение: $0,0 \leq x_1 \leq 1,0$, признак x_2 – категориальный признак, может принимать следующие значения: $x_2 \in \{T_1, T_2\}$, признак x_3 : $0,0 \leq x_3 \leq 1,0$. В наборе данных экземпляры четырёх классов, представленные метками: $class_1$, $class_2$, $class_3$ и $class_4$.

Правила в деревьях решений строятся следующим образом: задаются узлы с условиями на признаки. При соблюдении условия осуществляется переход по одной из веток, иначе происходит переход по другой. В итоге происходит присвоение одной из меток классов классифицируемому экземпляру данных (рис. 1).

Итоговое правило для класса $class_1$ будет иметь вид

ЕСЛИ $x_1 \leq K_1$ И x_2 есть $\{T_1\}$ ТО $class_1$.

Следующим шагом необходимо перейти от правил, полученных алгоритмом C5.0, к правилу нечёткого классификатора. Для этого необходимо задать функцию принадлежности для каждого условия

узла дерева. В данном случае выбрана трапецевидная функция принадлежности. Функция задаётся

$$f_1(x_1, a, b, c, d) = \begin{cases} 0, & x_1 \leq a; \\ \frac{x_1 - a}{b - a}, & a < x_1 < b; \\ 1, & b \leq x_1 \leq c; \\ \frac{d - x_1}{d - c}, & c < x_1 < d; \\ 0, & d \leq x_1, \end{cases}$$

где $a = b - 0,2 \cdot (c - b)$, $b = 0$, $c = K_1$, $d = c + 0,8 \cdot (c - b)$.

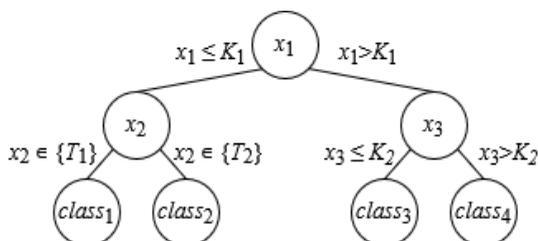


Рис. 1. Построенное дерево решений при применении алгоритма C5.0

Пример построения трапецевидной функции принадлежности для учёта x_1 (A_{11}) приведён на рис. 2.

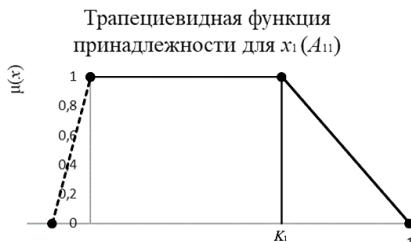


Рис. 2. Пример трапецевидной функции принадлежности для x_1

Для обработки категориальных признаков предлагается использовать подход, который аналогичен оригинальному алгоритму.

Финальное правило нечёткого классификатора примет вид

ЕСЛИ x_1 есть A_{11} И x_2 есть $\{T_1\}$ ТО $class_1$.

Эксперимент. Проведён эксперимент по построению нечётких классификаторов. Эксперимент проводился на 20 наборах данных,

содержащих смешанные данные, взятые из репозитория KEEL. В таблице приведены средние точности классификации, а также среднее количество правил для двух классификаторов: НК_С5.0 – нечёткий классификатор, построенный на основе правил, полученных алгоритмом С5.0. АЭПК – нечёткий классификатор, построенный при использовании алгоритма генерации по экстремумам классов [2]; значения категориальных признаков были заменены непрерывными значениями. Также производился отбор информативных признаков алгоритмом «саранчи» [3], количество итераций – 300. В таблице – «Обучение» – точность классификации на обучающей выборке, «Тест» – на тестовой, «Кол-во правил» – количество правил, полученных при генерации базы нечётких правил. Полужирным выделена лучшая точность или меньшее количество правил.

Результаты эксперимента

Название	Обучение, %		Тест, %		Кол-во правил	
	НК С5.0	АЭПК	НК С5.0	АЭПК	НК С5.0	АЭПК
Ср. знач.	67,14	68,76	68,97	62,90	122,01	5,55

Проведено сравнение результатов с применением критерия Уилкоксона. Уровень значимости установлен равным 0,05. На обучающей выборке p -value = 0,876, это означает, что результаты имеют только случайные отклонения. При сравнении тестовых результатов p -value = 0,003, а при сравнении количества правил p -value < 0,001, это означает, что результаты имеют неслучайные отклонения.

Заключение. Применение правил деревьев решений при построении нечёткого классификатора показало перспективы для работы со смешанными данными. Дальнейшее увеличение точности возможно при применении алгоритма «саранчи» для настройки параметров функций.

ЛИТЕРАТУРА

1. Kuhn M. Applied Predictive Modeling / M. Kuhn, K. Johnson. – New York: Springer, 2016. – 600 с.
2. Bardamova M.B. Formation of fuzzy classifier structure by a combination of the class extremum algorithm and the shuffled frog leaping algorithm for imbalanced data with two classes / M.B. Bardamova, I.A. Hodashinsky // Optoelectronics, Instrumentation and Data Processing. – 2021. – Vol. 57, № 4. – P. 378–387.
3. Остапенко Р.О. Алгоритм «саранчи» и его применение для отбора информативных признаков нечёткого классификатора // Сборник избранных статей научной сессии ТУСУР «Научная сессия ТУСУР–2023». – Томск: ТУСУР (заказчик); В-Спектр (ИП Бочкарева В.М., исполнитель), 2023. – Т. 2. – С. 191–193.

**ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ ДЛЯ ОЦЕНКИ
КЛАСТЕРНОГО РЕШЕНИЯ НА ОСНОВЕ ПРИЗНАКОВ
ПАЦИЕНТОВ С ЗАБОЛЕВАНИЯМИ, ВЫЗВАННЫМИ
КЛЕЩЕВЫМИ ИНФЕКЦИЯМИ**

В.С. Сафронов¹, аспирант ИПМКН;

Е.В. Сафронова², аспирант ИШИТР, ассистент КМБК

Научный руководитель С.В. Аксёнов³, доцент ИПМКН,

ИШИТР, КМБК

г. Томск, НИ ТГУ^{1,3}, НИ ТПУ^{2,3}, СибГМУ^{2,3}, vasilysafr@gmail.com

Рассматривается кластерный анализ признаков пациентов с клещевым энцефалитом, иксодовым клещевым боррелиозом и микст-инфекцией. Нечеткая кластеризация проводится для пар и тройки признаков алгоритмами Густаффсона–Кесселя и С-средних, качество работы которых оценивается индексами Си–Бени, нечеткого силуэта и Фукуямо–Сугено.

Ключевые слова: кластерный анализ, нечеткая кластеризация, алгоритм Густаффсона–Кесселя, алгоритм С-средних, клещевые инфекции.

Во многих странах широко распространены клещевые инфекции. В России наиболее популярными являются такие заболевания, передающиеся иксодовыми клещами, как клещевой энцефалит (КЭ), иксодовый клещевой боррелиоз (ИКБ, болезнь Лайма) и микст-инфекция КЭ и ИКБ, также существуют различные формы данных заболеваний [1]. Применение методов машинного обучения для решения задач медицины способно сократить время на диагностику заболеваний, что может оказать положительное влияние на их исход [2]. Кластерный анализ – один из способов обнаружения неявных закономерностей. При нечеткой кластеризации определяется степень принадлежности объекта к различным группам [3]. Учитывая многообразие видов и форм клещевых инфекций, наиболее подходящим инструментом для проведения кластерного анализа является нечеткая кластеризация. Целью данного исследования является сравнительный анализ работы алгоритмов нечеткой кластеризации клинических и лабораторных данных пациентов с заболеваниями, вызванными клещевыми инфекциями.

Набор деперсонализированных данных из 53 признаков по 204 пациентам предоставлен кафедрой инфекционных болезней и эпидемиологии СибГМУ. Из 53 показателей были выбраны три набора признаков, наиболее полно отражающих картину состояния пациентов. В

качестве первого набора были выбраны лейкоцитарный индекс (ЛИИ) по В.К. Островскому и пульс. Второй парой признаков стали скорость оседания эритроцитов (СОЭ) и систолическое давление (СД). Последней группой признаков стали нейтрофильно-лимфоцитарный индекс, максимальное значение температуры тела и пульс.

Кластерный анализ проводился с использованием двух алгоритмов нечеткой кластеризации, методами Густаффсона–Кесселя и С-средних. Для оценки качества моделей использовались такие метрики качества, как индекс Си–Бени, индекс нечеткого силуэта и индекс Фукуямо–Сугено. Наименьшие значения индексов Си–Бени и Фукуямо–Сугено свидетельствуют о наилучшей работе моделей, значения же индекса нечеткого силуэта, напротив, при наилучшей работе модели максимальны [4].

В таблице представлены результаты оценки работы моделей нечеткой кластеризации. Для сравнения представлены значения по трем метрикам качества работы двух моделей, по трем группам признаков. Рядом со значениями метрик в круглых скобках указано число кластеров.

Значения метрик качества работы моделей кластеризации

	Индекс Си–Бени (кол-во кластеров)	Индекс нечеткого силуэта (кол-во кластеров)	Индекс Фукуямо– Сугено (кол-во кла- стеров)
ЛИИ по В,К, Островскому и пульс			
Густаффсона– Кесселя	0,2515 (8)	0,3035 (10)	132,9787 (10)
С-средних	0,2125 (8)	0,1917 (10)	118,4780 (10)
СОЭ – Систолическое давление			
Густаффсона– Кесселя	0,2366 (10)	0,2414 (10)	119,3544 (8)
С-средних	0,1896 (10)	0,1150 (10)	115,4750 (10)
Нейтрофильно-лимфоцитарный индекс, максимальное значение температуры тела и пульс			
Густаффсона– Кесселя	0,3698 (3)	0,4368 (10)	130,2914 (8)
С-средних	0,2526 (10)	0,3317 (9)	90,2721 (10)

Видим, что в большинстве случаев оптимальным числом кластеров во всех группах признаков было выбрано число 10. По индексам Си–Бени и Фукуямо–Сугено лучшие результаты показал алгоритм кластеризации С-средних. Однако по индексу нечеткого силуэта алгоритм Густаффсона–Кесселя работает лучше. Индекс Си–Бени достиг наименьшего значения при кластеризации по СОЭ и систолическому

давлению методом С-средних. По индексам нечеткого силуэта и Фукуямо–Сугено наилучшим образом была проведена кластеризация по нейтрофильно-лимфоцитарному индексу, максимальному значению температуры и пульсу алгоритмами Густаффсона–Кесселя и С-средних соответственно.

В рамках текущего исследования был проведен кластерный анализ данных пациентов, страдающих заболеваниями, передающимися иксодовыми клещами. Наилучшие результаты модели нечеткой кластеризации показали на группе следующих признаков: нейтрофильно-лимфоцитарный индекс, максимальное значение температуры тела и пульс. Наилучшую модель кластеризации выявить не удалось, так как результаты отличаются в зависимости от различных метрик качества.

ЛИТЕРАТУРА

1. Клещевой энцефалит – острое природно-очаговое инфекционное заболевание // ДИАВАКС – центр вакцинопрофилактики [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.diavax.ru/infections/klleshchevoj-ehncefalit/> (дата обращения: 15.03.2025).

2. Аверьянова О.А. Искусственный интеллект в условиях современной медицины / О.А. Аверьянова, В.И. Коршак // Естественные и математические науки в современном мире. – 2016. – № 5 (40) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/iskusstvennyy-intellekt-v-usloviyah-sovremennoy-meditsiny> (дата обращения: 10.03.2025).

3. Егоров А.В. Особенности методов кластеризации данных / А.В. Егоров, Н.И. Куприянова // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2011. – № 11 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-metodov-klasterizatsii-dannyh> (дата обращения: 4.03.2025).

4. Кудинов Ю.И. Нечеткое моделирование и кластеризация / Ю.И. Кудинов, И.Ю. Кудинов // Проблемы управления. – 2008. – № 6 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/nечеткое-моделирование-и-кластеризация> (дата обращения: 12.03.2025).

УДК 004.09

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПАРАЛЛЕЛИЗМА НА УРОВНЕ ДАННЫХ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ АЛГОРИТМА КОМПЛЕКСИРОВАНИЯ ИНТЕРВАЛОВ АГРЕГИРОВАНИЕМ ПРЕДПОЧТЕНИЙ

В.С. Шабрамов, аспирант ОАР

Научный руководитель С.В. Муравьев, проф. ОАР, д.т.н.

г. Томск, ТПУ, vss62@tpu.ru

Рассматривается применение параллелизма на уровне данных с использованием технологии SIMD для ускорения работы алгоритма комплексирования интервалов агрегированием предпочтений

(IF&PA). Более рациональная организация вычислительных процессов достигается за счет применения специальных средств векторизации основных операций. Результаты экспериментальных исследований подтверждают возможность существенного сокращения времени работы алгоритма IF&PA.

Ключевые слова: технология SIMD, параллелизм на уровне данных, комплексирование интервалов, агрегирование предпочтений.

Для многих методов анализа данных важной характеристикой является *мера центральной тенденции*, служащая представителем заданной статистической выборки. Традиционными оценками этой меры служат среднее арифметическое, среднее взвешенное, выборочная медиана и др. Если значения выборки имеют разную дисперсию, то наиболее робастной и точной мерой центральной тенденции является оценка x^* , найденная методом *комплексирования интервалов агрегированием предпочтений* (IF&PA) [1].

Процедура IF&PA преобразует m исходных интервалов на вещественной числовой оси в m ранжирований, состоящих из n дискретных значений (альтернатив), принадлежащих соответствующим интервалам. Для полученного профиля предпочтений, состоящего из этих m ранжирований, определяются *все возможные* ранжирования консенсуса по *правилу агрегирования Кемени*. Затем с помощью специального *правила свертки* все ранжирования Кемени преобразуются в единственное *итоговое ранжирование консенсуса* [2]. Оценкой x^* служит наиболее предпочтительное дискретное значение в итоговом ранжировании консенсуса.

Хотя поиск ранжирования консенсуса по правилу Кемени является *NP-трудной* задачей, при числе альтернатив $n \leq 20$ ее точное решение может быть получено за несколько секунд в подавляющем большинстве практических случаев [3]. Тем не менее актуальными являются усилия по дальнейшему увеличению быстродействия метода IF&PA.

Экспериментальные исследования алгоритма [3] показывают, что при малом количестве m интервалов (4–5) в сочетании с большим числом n альтернатив (12–15) число ранжирований консенсуса (и, следовательно, время выполнения алгоритма) резко увеличивается. Особенно значительное увеличение происходит при чётном числе m интервалов. В этой ситуации применение правила свертки для приведения всех ранжирований консенсуса к единственному итоговому ранжированию также может требовать значительного времени.

Для решения данной проблемы была проведена модульная оптимизация ключевых этапов алгоритма IF&PA путем организации па-

раллельной обработки групп данных с использованием технологии SIMD (Single Instruction, Multiple Data) [4, 5].

Эта технология позволяет выполнять одну операцию над несколькими данными одновременно, что критически важно для задач, связанных с обработкой больших массивов информации. Для ее реализации были применены Advanced Vector Extensions (AVX) SIMD-инструкции, для чего двумерные массивы в исходном коде на языке C++ были заменены на векторы SIMD. Соответствующим образом была изменена структура циклов с учётом того, что теперь все операции выполняются с векторами.

Для оценки работоспособности предложенного подхода был проведён сравнительный эксперимент, в ходе которого фиксировалось время выполнения алгоритма в традиционной реализации и после оптимизации с применением AVX SIMD. В табл. 1 и 2 представлены результаты сравнения двух вариантов программы при значениях параметров алгоритма $n = 13$ и 15 , и $m = 5$.

Таблица 1

Время работы алгоритма IF&PA при традиционной и SIMD реализациях для $n = 13$, $m = 5$

№ эксперимента	Количество ранжирований консенсуса	Время работы, мс	
		Традиционная реализация	AVX SIMD-реализация
1	14 400	668,5	383,1
2	34 560	726,6	108,4
3	86 200	1 718,3	230,7
4	86 400	1 880,8	252,5
5	34 560	652,9	104,5

Таблица 2

Время работы алгоритма IF&PA при традиционной и SIMD реализациях для $n = 15$, $m = 5$

№ эксперимента	Количество ранжирований консенсуса	Время работы, мс	
		Традиционная реализация	AVX SIMD-реализация
1	518 400	14 600,1	1 990,4
2	518 400	14 549,0	1 954,2
3	4 838 400	141 276,0	19 285,7
4	3 628 800	103 202,0	13 996,7
5	1 209 600	33 663,5	4 496,0

Результаты экспериментов, представленные в табл. 1 и 2, показывают, что применение SIMD-инструкций существенно сокращает

время обработки данных при использовании IF&PA, что особенно важно для систем с высокими требованиями к скорости отклика. Дополнительное увеличение скорости работы алгоритма можно достичь, используя многопоточные вычисления, однако в этом случае наибольший эффект может быть достигнут при параллельной обработке различных наборов входных данных.

Таким образом, анализ организации структуры данных алгоритма IF&PA позволил предложить рекомендации по его оптимизации. Результаты экспериментов показывают прирост скорости выполнения алгоритма, который увеличивается с ростом числа ранжирований консенсуса. Максимальный достигнутый прирост скорости составил 7,5 раза.

ЛИТЕРАТУРА

1. Muravyov S.V. Analysis of heteroscedastic measurement data by the self-refining method of interval fusion with preference aggregation – IF&PA / S.V. Muravyov, L.I. Khudonogova, M.D. Ho // Measurement. – 2021. – Vol. 183. – P. 109851.

2. Muravyov S.V. Kemeny rule for preference aggregation: Reducing all exact solutions to a single one / S.V. Muravyov, E.Y. Emelyanova // Measurement. – 2021. – Vol. 182. – P. 109403.

3. Muravyov S.V. Dealing with chaotic results of Kemeny ranking determination // Measurement. – 2014. – Vol. 51. – P. 328–334.

4. Foster I. Designing and Building Parallel Programs: Concepts and Tools for Parallel Software Engineering. – New York: Pearson, 2019. – 408 p.

5. Разновидности SIMD // Хабр. – 2018 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://habr.com/ru/articles/441536/> (дата обращения: 01.02.2025).

УДК 004.94+519.8

МЕТОД МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОЙ КЛАСТЕРИЗАЦИИ НА ОСНОВЕ ЭВОЛЮЦИОННЫХ АЛГОРИТМОВ

А.Е. Сопов, студент

*Научный руководитель Е.А. Сопов, проф. каф. САИО, д.т.н.
г. Красноярск, СибГУ, antonsopov2004@gmail.com*

Предложен метод решения задач кластерного анализа, основанный на эволюционных алгоритмах многокритериальной оптимизации. Проведены экспериментальное исследование и визуальный анализ эффективности метода на наборе тестовых задач.

Ключевые слова: кластеризация, многокритериальная оптимизация, эволюционные алгоритмы, генетический алгоритм.

Кластеризацией называется задача исследовательского анализа данных, целью которой является определение конечного набора категорий (кластеров) для описания набора данных без обучающей выборки. Формально задача кластеризации может быть сформулирована как задача определения разбиения, при котором минимизируется один из критериев качества.

На практике использования одного критерия не всегда бывает достаточно, чтобы получить желаемое качество решения. Для того чтобы учитывать несколько факторов, задачу кластеризации можно рассмотреть как задачу многокритериальной оптимизации. В таком случае задача сводится к поиску набора Парето-оптимальных решений (множества Парето) [1].

Описанная выше проблема является задачей глобальной многокритериальной оптимизации. На практике для решения таких задач затруднительно применять аналитические методы. Одним из распространённых методов решения таких задач являются эволюционные алгоритмы – класс стохастических популяционных методов, основанный на биологических процессах естественного отбора [2]. Среди них стоит выделить генетические алгоритмы, которые используют кодирование решений в виде векторов-хромосом.

Для представления решений кластеризации в работе использовалось локус-кодирование [3], описывающее разбиения на кластеры с помощью графов. Пример преобразования строки на его основе в разбиение по кластерам представлен на рис. 1.

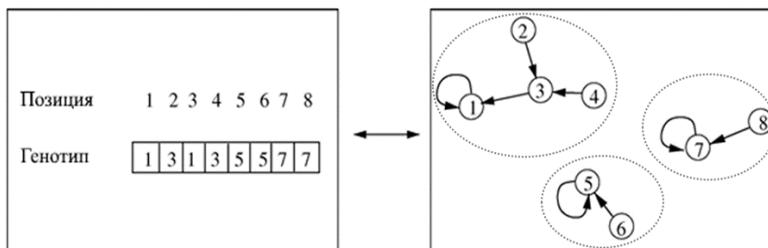


Рис. 1. Преобразование строки в локус-кодировке в разбиение

Преимуществами данного способа кодирования являются возможность генерации решений с любым числом кластеров, а также лёгкая интерпретация генетическими операторами. Недостатком является линейный рост размерности с увеличением набора данных, что было исправлено за счёт применения специализированных операторов инициализации и мутации, использующих в своей основе минимальные остовые деревья и концепцию значимых связей.

В качестве метода-основы был выбран генетический алгоритм NSGA-II [4]. Данный метод основан на постепенном улучшении популяции решений-кандидатов с помощью генетических операторов – селекции, скрещивания и мутации. Индивиды для следующих поколений отбираются с помощью механизма недоминируемой сортировки, распределяющего решения по фронтам Парето.

Чтобы увеличить эффективность алгоритма, необходимо выбрать критерии, отражающие фундаментально различные особенности кластеров. В качестве таких были выбраны внутрикластерный разброс и связность.

Для исследования эффективности описанного метода алгоритм был программно реализован [5], выбраны настройки и тестовые задачи, проведена серия численных экспериментов. Исследование проводилось на 10 синтетических датасетах, отражающих различные способы распределения данных в пространстве.

Для каждого набора данных проводилась серия из 10 независимых запусков, показатели усреднялись. В качестве внешнего критерия использовалась оценка Adjusted Rand Index (ARI). Дополнительно проводился визуальный анализ графиков аппроксимации фронта Парето и лучших разбиений (для задач с двумя признаками).

Далее была рассмотрена одна из тестовых задач. На рис. 2 показан график разброса данных. Как видно, лучший результат по показателю ARI продемонстрировало решение, в котором достигался компромисс между критериями. Эта тенденция сохранялась и для других задач.

На рис. 3 представлено сравнение лучшего (компромиссного) решения с разбиениями, у которых преобладает значение одного из критериев.

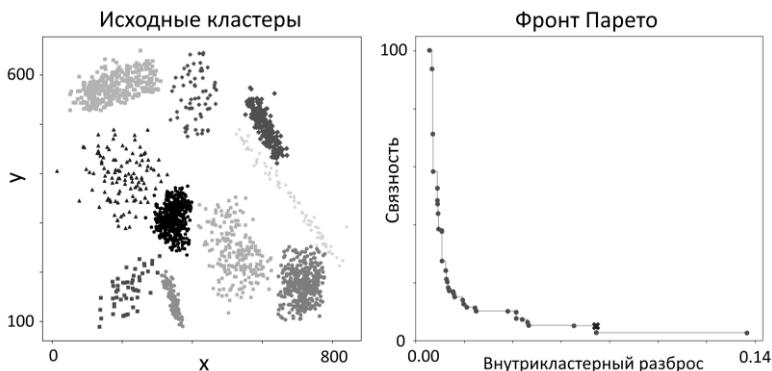


Рис. 2. Исходная задача (слева) и построенный фронт Парето (справа)



Рис. 3. Сравнение решений с лучшим показателем ARI (слева), низким внутрикластерным разбросом (по центру) и высокой связностью (справа)

Таким образом, исследование показало, что многокритериальный эволюционный подход к задаче кластеризации может улучшать качество получаемых решений. Оптимизация нескольких критериев одновременно позволяет методу адаптироваться под любой вид задач и получать набор разбиений с различными особенностями.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ferligoj A. Direct multicriterion clustering / A. Ferligoj, V. Batagelj // J. Classification. – 1992. – Vol. 9. – P. 43–61.
2. Molina D. An Insight into Bio-inspired and Evolutionary Algorithms for Global Optimization: Review, Analysis, and Lessons Learnt over a Decade of Competitions / D. Molina, A. LaTorre, F. Herrera // Cognitive Computation. – 2018. – Vol. 8. – P. 517–544.
3. Park Y.-J. A genetic algorithm for clustering problems / Y.-J. Park, M.-S. Song // Proc. 3rd Annu. Conf. Genetic Program. – 1998. – P. 568–575.
4. A fast and elitist multiobjective genetic algorithm: Nsga-ii. / K. Deb, A. Pratap, S. Agrawal, T. Meyarivan // IEEE Trans. Evol. Comput. – 2002. – Vol. 6, No. 2.
5. Св-во о гос. регистр. программы для ЭВМ № 2025613001 / А.Е. Сопов. – Зарег. в Реестре программ для ЭВМ 07 февраля 2025 г.

УДК 004.852

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПРИНАДЛЕЖНОСТИ ПАЦИЕНТАМ ЗАПИСЕЙ ДАННЫХ FNIRS С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

М.О. Светлаков, доцент каф. КСУП, к.т.н.

г. Томск, ТУСУР, svetlakov.m4@gmail.com

Для изучения возможности идентификации принадлежности пациентам записей функциональной ближней ИК-спектроскопии методами машинного обучения был проведен эксперимент, в котором

были использованы общедоступный набор данных и для извлечения признаков было использовано преобразование Холод–Гильберта. Полученный результат точности распознавания на тестовой выборке, равный 76,13%, позволяет сделать вывод о применимости методов машинного обучения для идентификации принадлежности записей fNIRS пациентам.

Ключевые слова: fNIRS, преобразование Холод–Гильберта, машинное обучение, идентификация принадлежности.

Функциональная магнитно-резонансная томография (фМРТ) – метод, который позволяет следить за активацией различных зон мозга. Предполагается, что мозговой кровоток и активность нейронов связаны между собой, а МРТ-томограф позволяет визуализировать кровоток и соотношение окси/дезоксигемоглобина. Альтернативный метод – оптический мониторинг кровотока и оксигенации зон мозга. Он основан на поглощении инфракрасного (ИК) излучения гемоглобином. Данный альтернативный метод также называют функциональной ближней ИК-спектроскопией, или fNIRS (functional near-infrared spectroscopy). Метод имеет более низкое пространственное разрешение, чем у МРТ, однако устройства снятия более портативны и налагают меньшие требования неподвижности испытуемого [1].

Данные fNIRS также можно обрабатывать с помощью машинного обучения для решения задач препроцессинга данных и устранения шумов, специфичных для интерфейсов человек–компьютер (BCI) задач, задач оценки ментального состояния и диагностики [2].

В работе [3] представлен набор данных fNIRS в открытом доступе. Данные были собраны с 15 пациентов, проходящих постинсультную реабилитацию (9 мужчин и 6 женщин в возрасте от 49 до 70 лет). Изначально набор предназначен для решения задачи интерфейсов человек–компьютер (BCI), а именно – распознавания представления пациентом движения левой рукой, правой рукой и состояния покоя. Набор данных собирался в течение нескольких сессий для каждого пациента. Каждый пациент участвовал как минимум в 7 сессиях сбора данных, как максимум – в 24 сессиях. Данные собирались с использованием прибора NIRScout (рис. 1), имеющего частоту дискретизации 15,6 Гц и 28 каналов (представляющих собой пары источник-детектор оптического сигнала). Сырые данные NIRS были преобразованы авторами в значения окси/дезоксигемоглобина (HbO и HbR соответственно).

Рассмотрена задача идентификации принадлежности записей fNIRS пациентам. Ее решение может внести вклад в развитие биометрических систем – систем автоматизированного распознавания субъ-

ектов на основе их уникальных физиологических и поведенческих характеристик.



Рис. 1. Система снятия данных fNIRS NIRSscout

Для изучения возможности идентификации принадлежности записей fNIRS пациентам методами машинного обучения был проведен эксперимент, в котором были использованы вышеописанный общедоступный набор данных fNIRS, были использованы только данные HbR. Для извлечения признаков было использовано преобразование Холо–Гильберта. Данный метод частотно-временного анализа позволяет извлечь спектральное представление высокого разрешения нестационарных и нелинейных данных. Данное преобразование включает в получаемое на выходе разложение «Холо»-компоненту для дополнения информации об частотной модуляции сигнала информацией об амплитудной модуляции [4]. Данный метод уже применялся для обработки данных электроэнцефалографии [5] и был выбран для исследования применимости в случае данных fNIRS.

С учетом теоремы Найквиста–Шеннона–Котельникова был выбран следующий диапазон частот для исследования (как в случае частотной, так и амплитудной модуляции): 0–1; 1–2; 2–3; 3–4; 4–5; 5–6; 6–7 Гц. Перед применением преобразования Холо–Гильберта сигнал усреднялся по всем 28 каналам. Результат преобразования Холо–Гильберта имеет следующую размерность: 7 диапазонов частотной модуляции \times 7 диапазонов амплитудной модуляции \times время. Результат преобразования усреднялся по оси времени и интерпретировался в дальнейшем как одномерный массив (вектор признаков). Значения, полученные после преобразования Холо–Гильберта, довольно небольшие, поэтому полученные значения спектральной мощности преобразуются в относительные логарифмические единицы – децибелы.

Получившийся набор данных, с учетом извлечения признаков, имеет следующую размерность: 237 записей, 49 признаков.

Для классификации (определения идентификатора пользователя для конкретной fNIRS записи) использовалась машина опорных векторов с линейным ядром из библиотеки scikit-learn. Для проведения эксперимента использовалась 5-кратная кроссвалидация (небольшая часть записей каждого пользователя помещалась в обучающую выборку, остальная часть записей каждого пользователя помещалась в тестовую выборку). Для оценки использовалась метрика сбалансированной точности, точность по результатам эксперимента составила 76,13%.

Полученный результат позволяет сделать вывод о применимости одного из методов машинного обучения для идентификации принадлежности записей fNIRS пациентам, дальнейшие исследования предполагается направить на совершенствование протокола оценки эффективности и метода извлечения признаков.

ЛИТЕРАТУРА

1. Sakai J. Functional near-infrared spectroscopy reveals brain activity on the move // *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* – 2022. – Т. 119, № 25.
2. Deep learning in fNIRS: a review / Eastmond C. et al. // *Neurophoton.* – 2022. – Vol. 9, No. 04.
3. A multiple session dataset of NIRS recordings from stroke patients controlling brain–computer interface / Isaev M. R. Ewt et al. // *Sci Data.* – 2024. – Vol. 11, No 1.
4. On Holo-Hilbert spectral analysis: a full informational spectral representation for nonlinear and non-stationary data / N.E. Huang et al. // *Phil. Trans. R. Soc. A.* – 2016. – Vol. 374, No. 2065. – P. 20150206.
5. Holo-Hilbert spectral-based noise removal method for EEG high frequency bands / N. Moradi et al. // *Journal of Neuroscience Methods.* – 2022. – Vol. 368. – P. 1–16.

ПОДСЕКЦИЯ 3.5

МОЛОДЕЖНЫЕ ИННОВАЦИОННЫЕ НАУЧНЫЕ И НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ПРОЕКТЫ

Председатель секции – Костина М.А., доцент каф. УИ, к.т.н.;
зам. председателя – Нариманова Г.Н., зав. каф. УИ, декан
ФИТ, зам. начальника учебного управления, к.ф.-м.н., доцент

УДК 681.772; 514

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КООРДИНАТ БПЛА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МНОГОКАМЕРНОГО ТРИАНГУЛЯЦИОННОГО МЕТОДА

А.Е. Бабинович, студентка¹, техник²

Научный руководитель А.В. Коношонкин, проф.¹, в.н.с.², д.ф.-м.н.
г. Томск, НИ ТГУ¹; Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева²,
anastasiababinovich@gmail.com

Рассматривается метод обнаружения и локализации беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) на основе многокамерных триангуляционных алгоритмов. Данный подход использует разнесённые камеры полного неба для точного вычисления координат и траектории движения объекта. Проведён анализ ключевых этапов обработки изображений. Показано, что предложенная методика позволяет повысить точность обнаружения, уменьшить вероятность ложных срабатываний и расширить диапазон наблюдения по сравнению с традиционными методами. Разработанная система может быть применена в сфере безопасности, мониторинга воздушного пространства и аэрофотосъёмки.

Ключевые слова: триангуляция, многокамерные системы, обнаружение БПЛА, локализация объектов, пассивное наблюдение, системы видеонаблюдения.

Актуальность задачи обнаружения и отслеживания беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) значительно возросла в последние годы в связи с увеличением их использования как в гражданских, так и в военных целях. Системы пассивного наблюдения на основе оптических датчиков являются перспективным направлением для решения этой задачи. Однако их эффективность ограничена разрешением камер и сложностью детекции небольших объектов на больших дистанциях.

В данной работе исследуется метод локализации БПЛА с применением многокамерных систем полного неба, использующих триангуляционные алгоритмы. Разрабатываемые алгоритмы могут быть использованы не только с камерами видимого диапазона, но и с инфракрасными матрицами, что значительно расширяет диапазон применимости устройства. Ключевой разработкой является сам алгоритм триангуляции на основе данных, поступающих с не менее чем двух датчиков.

Метод основан на использовании нескольких пространственно разнесённых камер, фиксирующих объект одновременно из разных точек наблюдения. Основная сложность заключается в том, что на начальных стадиях обнаружения изображение объекта может занимать всего несколько пикселей, что затрудняет его идентификацию. Однако благодаря триангуляции возможно вычислить расстояние до цели, её траекторию движения и скорость, а также оценить размер.

Для реализации метода используется алгоритмическая обработка данных, включающая:

- Предварительную фильтрацию изображения для исключения шумов и фоновых объектов.
- Детекцию движущихся элементов, основанную на анализе последовательных кадров.
- Вычисление угловых координат объекта относительно каждой камеры.
- Применение триангуляционного метода для определения точного положения объекта в пространстве.
- Классификацию обнаруженных объектов по скорости и размеру, что позволяет отличать БПЛА от птиц и самолетов.

Для детекции объекта на изменяющемся фоне использовались алгоритмы машинного зрения без использования нейросетей. Данный подход позволяет достаточно точно определить движущийся объект и в дальнейшем его классифицировать без необходимости применения нейросетей, не отличающихся высокой вычислительной эффективностью, нужды в обучении на большом объеме предварительно отобранных данных и склонности к неверным ответам при выходе за рамки изученных признаков.

Применение триангуляции позволяет не только определить местоположение и скорость БПЛА, но и оценить его размеры. Это даёт возможность оперативно реагировать на потенциальные угрозы, а также использовать систему в других областях, таких как аэрофотосъёмка, метеорологические исследования и контроль воздушного пространства.

Проведённые исследования и тестирование показали, что метод триангуляции с использованием камер полного неба значительно повышает точность обнаружения по сравнению с одиночными камерами. Он не требует сложного специализированного оборудования и может быть интегрирован в существующие системы видеонаблюдения. Кроме того, охранную систему можно развернуть в достаточно сжатые сроки.

Таким образом, разработанный подход представляет собой эффективное и доступное решение для мониторинга воздушного пространства и обнаружения БПЛА, обладая высокой точностью, низкими затратами на реализацию и возможностью использования в широком спектре применений.

Данный проект обладает потенциалом развития и определенным уровнем инновационности благодаря использованию достаточно простых алгоритмов при получении высокой точности. Система может быть дополнена как разными видами камер (видимого диапазона, инфракрасные), так и дополнительными источниками излучения и приема (радиоизлучатели, микрофоны и др.). Это позволит построить систему с высокой точностью измерений и, следовательно, повысить надежность её использования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Николаев В. Актуальность выбора методов обнаружения малых беспилотных воздушных судов гражданского класса / В. Николаев, Д. Прошутинский, А. Гладкова [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.secuteck.ru/articles/aktualnost-vybora-metodov-obnaruzheniya-malyh-bespilotnyh-vozдушnyh-sudov-grazhdanskogo-klassa> (дата обращения: 20.11.2024).
2. Classification of unmanned aerial vehicles / M. Arjomandi, S. Agostino, M. Mammoni, M. Nelson, T. Zhou. – Australia, Adelaide: University of Adelaide, 2006. – 49 p.
3. Макаренко С.И. Противодействие беспилотным летательным аппаратам. – СПб.: Научное издание, 2020. – 204 с.
4. Малоразмерные беспилотные летательные аппараты: задачи обнаружения и пути их решения / И.И. Олейник, А.А. Черноморец, В.Г. Андронов, Е.Г. Жиликов, А.Н. Заливин, И.Е. Мухин, А.А. Чуев. – Курск: Юго-Западный гос. ун-т, 2021. – 171 с.
5. Алпатов Ю.А. Методы автоматического обнаружения и сопровождения объектов. Обработка изображений и управление / Ю.А. Алпатов, П.В. Бабаян, О.Е. Балашов. – М.: Радиотехника, 2008. – 176 с.

**ВЛИЯНИЕ ГЕЙМИФИКАЦИИ НА МОТИВАЦИЮ
И ВОВЛЕЧЕННОСТЬ СТУДЕНТОВ
В НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКУЮ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ**
А.С. Пинешкина, В.А. Сулимов, Д.С. Банников, студенты каф. УИ
Научный руководитель М.Е. Антипин, доцент каф. УИ
г. Томск, ТУСУР, Anghelikapineshkina.02@gmail.com

Рассматривается применение геймификации как инновационного подхода к повышению мотивации и вовлеченности студентов в научно-исследовательскую деятельность (НИД). Анализируется потенциал геймификации в создании интерактивной и стимулирующей среды, способствующей развитию исследовательских навыков и генерации инновационных идей. В работе обсуждаются перспективы использования геймификации в образовательных учреждениях, а также предлагаются рекомендации по разработке эффективных геймифицированных программ для вовлечения молодежи в науку.

Ключевые слова: геймификация, мотивация, вовлеченность, научно-исследовательская деятельность, студенты, инновации, образование.

В современном мире научно-технический прогресс является ключевым фактором развития общества. Молодежь играет важную роль в этом процессе, выступая генератором новых идей и инициатив. Однако снижение интереса к науке и недостаточная вовлеченность студентов в НИД являются серьезными проблемами. Традиционные методы обучения часто оказываются неэффективными в стимулировании у студентов внутренней мотивации к исследовательской деятельности. В связи с этим возникает необходимость поиска инновационных подходов, способных сделать процесс обучения более увлекательным и продуктивным.

Одним из перспективных направлений является геймификация – использование элементов игры в неигровых контекстах. Геймификация позволяет создать интерактивную среду, в которой студенты могут активно участвовать в процессе обучения, получать обратную связь и ощущать прогресс. Это, в свою очередь, способствует повышению мотивации, вовлеченности и, как следствие, улучшению результатов обучения [1].

Теоретические основы геймификации опираются на психологические и педагогические концепции, такие как теория самоопределения, которая подчеркивает важность автономии, компетентности и связанности для мотивации. Геймификация может способствовать

созданию условий, при которых студенты чувствуют себя более вовлеченными в процесс обучения, что может привести к повышению их интереса к научным исследованиям. Игровые элементы, такие как баллы, уровни, награды и соревнования, могут стимулировать студентов к активному участию в исследовательской деятельности, создавая атмосферу, в которой они стремятся к достижению целей и преодолению вызовов.

Основная цель геймификации – стимулирование мотивации, вовлеченности и лояльности пользователей за счет использования игровых механик, таких как:

- Баллы: начисление баллов за выполнение определенных задач или достижение целей.

- Уровни: постепенное повышение сложности заданий и продвижение по уровням.

- Беджи (значки): награды за достижения, демонстрирующие навыки и знания.

- Лидерборды (таблицы лидеров): сравнение результатов участников и стимулирование конкуренции.

- Челленджи (задачи): предоставление интересных и сложных задач, требующих решения.

- Сюжет: использование увлекательной истории, создающей контекст и повышающей интерес к заданию.

- Обратная связь: предоставление оперативной и конструктивной обратной связи о прогрессе.

Применение геймификации в научно-исследовательской деятельности может принимать различные формы. Например, создание исследовательских проектов в формате конкурсов, где студенты могут работать в командах, разрабатывать инновационные идеи и представлять свои результаты [2]. Такие мероприятия не только способствуют развитию командной работы и критического мышления, но и создают здоровую конкурентную среду, которая может повысить уровень вовлеченности студентов. Кроме того, использование цифровых платформ и приложений для отслеживания прогресса и достижения целей может сделать процесс исследования более прозрачным и увлекательным.

Реализация геймификации в образовательных учреждениях требует комплексного подхода. Важно, чтобы преподаватели и исследователи осознавали, что геймификация не является универсальным решением, а должна быть адаптирована к специфике учебного процесса и потребностям студентов. Для успешного внедрения геймификации необходимо проводить обучение преподавателей, разрабаты-

вать соответствующие методические материалы и обеспечивать техническую поддержку. Также важно учитывать мнение студентов, чтобы создать систему, которая будет действительно мотивировать их и способствовать их вовлеченности.

Основные варианты реализации геймификации:

– Разработка специализированной онлайн-платформы: создание веб-сайта или приложения с игровыми элементами, где студенты могут регистрироваться, получать задания, отслеживать свой прогресс и общаться с другими участниками.

– Использование существующих LMS (Learning Management Systems): настройка таких платформ, как Moodle или Blackboard, для включения элементов геймификации (например, начисление баллов за выполнение заданий, создание рейтингов).

– Интеграция игровых механик в существующие курсы и проекты: добавление элементов геймификации в традиционные формы обучения, такие как лекции, семинары, лабораторные работы.

– Создание гибридных форм: сочетание онлайн- и оффлайн-активностей, где виртуальные достижения подкрепляются реальными призами и возможностями.

Перспективы и возможности внедрения геймификации в НИД:

1. Внедрение геймификации в большее количество вузов и научных направлений.

2. Создание более сложных и интересных игровых сценариев, адаптированных к специфике различных научных дисциплин.

3. Автоматическая адаптация сложности заданий, предоставление персонализированной обратной связи, создание виртуальных менторов.

4. Расширение сообщества исследователей, обмен опытом и результатами с коллегами из других вузов и стран.

5. Проведение исследований, направленных на оценку влияния геймификации на мотивацию, вовлеченность и результативность студентов в НИД.

6. Создание практических руководств для преподавателей и исследователей по внедрению геймификации в учебный процесс и научно-исследовательскую деятельность.

7. Получение грантов и инвестиций на разработку и внедрение геймифицированных образовательных программ и платформ.

Таким образом, геймификация представляет собой многообещающий инструмент для трансформации научно-исследовательской деятельности в образовательных учреждениях. Ее успешное внедрение требует комплексного подхода, включающего разработку адаптированных игровых сценариев, использование технологий для персона-

лизации обучения и создание международных сетей сотрудничества. В конечном итоге геймификация может значительно повысить мотивацию и вовлеченность студентов, способствуя их развитию как будущих исследователей и инноваторов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Геймификация [Электронный ресурс]: сайт Википедия. – URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/%> (дата обращения: 09.03.2025).

2. Геймификация: виды, принципы, сферы применения [Электронный ресурс]: сайт GeekBrains. – URL: <https://gb.ru/blog/gejmifikatsiya/> (Дата обращения: 12.03.2025).

УДК 378.147.88

ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПРАКТИЧЕСКОГО ТЕСТИРОВАНИЯ УЧЕБНОГО СТЕНДА НА ОСНОВЕ СВЕТОВОДОВ

Д.Е. Болбуков, магистрант

*Научный руководитель А.Е. Карелин, доцент каф. КСУП, к.т.н.
г. Томск, ТУСУР, danil_bolbukov@mail.ru*

Описываются предварительные результаты тестирования лабораторного стенда на основе световодов, тестирование проводилось в виде выполнения лабораторной работы на стенде студентами кафедры КСУП ТУСУРа.

Ключевые слова: цифровая схемотехника, образование, лабораторный стенд, оптические соединения, проведение практических работ.

В рамках проведения научно-исследовательских и конструкторских работ по созданию универсального стенда на основе световодов реализуется идея замены обыкновенных электрических проводников (используемых в современных стендах [1, 2]) в таком стенде на световоды с целью обеспечения высокой надежности и повышения наглядности для обучаемых. Повышения наглядности предполагается добиться благодаря отображению состояния проводника при помощи цветной подсветки такого световода по всей его длине. Стенд предназначен для обучения цифровой схемотехнике [3] и смежным с ней предметам, таким как программирование микроконтроллеров, промышленная автоматика, и другим подобным дисциплинам.

При проработке идеи на этапе, предшествующем созданию полноценного прототипа, пригодного для проведения лабораторных работ студентами, было выдвинуто предположение, что предлагаемый конструктив стенда позволит повысить наглядность проводимых ра-

бот благодаря индикации состояния проводников в реальном времени, а также может повысить интерес обучаемых к проводимой практической работе в случае переноса лабораторных работ из программы симулятора [4, 5] цифровых схем на реальный стенд.

По окончании первого этапа работ создан прототип стенда, представляющего собой платформу с оптическими приемниками и передатчиками, а также панель для установки модулей. Схематическое изображение стенда дано на рис. 1. Также изготовлен набор модулей, приспособленных для проведения ограниченного перечня лабораторных работ, проводимых в рамках различных дисциплин на кафедре КСУП, и минимально необходимый набор оптических проводников различной длины. Было начато тестирование стенда с привлечением студентов кафедры КСУП. В ходе первого этапа тестирования было решено проверить работоспособность стенда и попытаться выявить критические недостатки, если такие были допущены при проектировании. Также целью первого этапа тестирования стала апробация метода опроса студентов по окончании работы с целью оценки влияния стенда на наглядность лабораторной работы и интереса к ней.

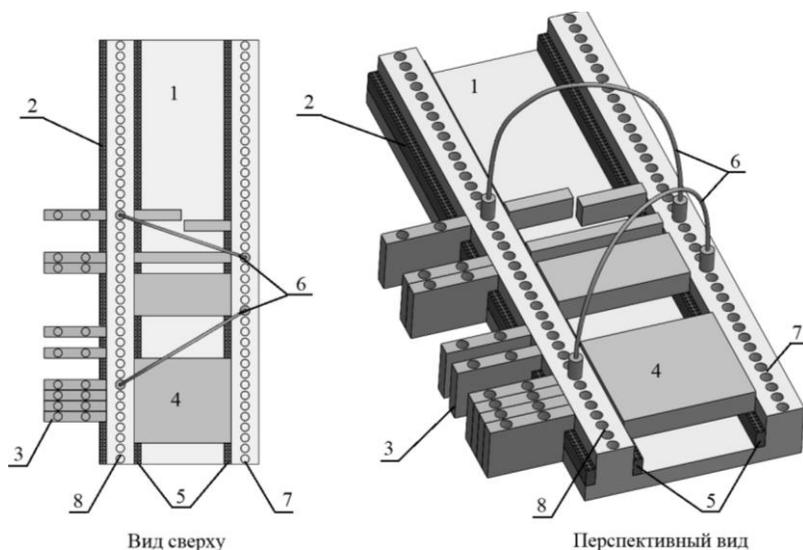


Рис. 1. Общий вид стенда: 1 – корпус стенда, 2 – разъем для подключения модулей-разветвителей сигнала, 3 – модуль-разветвитель сигнала, 4 – модуль аналогового или цифрового электронного элемента, 5 – разъемы для подключения модулей элементов, 6 – соединитель-проводник из полимерного оптического волокна, 7 – выходные порты для подключения оптоволокну, 8 – входные порты для подключения оптоволокну

На первом этапе тестирования участвовало 9 студентов, разделённых на 3 группы по 3 человека, которые выполняли лабораторную работу по изучению основных логических элементов и синтезу из них заданных таблицей истинности логических функций при помощи карт Карно.

На текущий момент ещё рано заявлять о выявлении влияния стенда на качество знаний или на влияние на наглядность в связи с маленькой выборкой, но уже по результатам этого этапа тестирования можно сделать вывод об отсутствии критических недостатков или недоработок в конструкции стенда. Вероятно, при большем количестве проведённых работ могут быть обнаружены мелкие недостатки, но концепция и текущая реализация стенда продемонстрировали свою работоспособность.

Так же можно отметить, что по результатам опроса по 10-балльной шкале студенты оценили работу со стендом следующим образом:

1. Удобство работы – 9,55 балла.
2. Наглядность – 9,44 балла.
3. Сложность лабораторного задания – 4,88 балла.
4. Сложность работы со стендом – 3,55 балла.

Среднее время выполнения лабораторного задания составило 50 мин.

На основании проведённого тестирования можно сделать вывод о целесообразности продолжения работ над стендом, так как результаты тестирования подтверждают гипотезу наглядности, однако необходимо провести исследование на значительно большей выборке, включающий сравнение разрабатываемого стенда с существующими стендами, а также с компьютерными симуляторами, также включающим студентов и школьников различных возрастных групп, в связи с различными способами усвоения информации в них [6, 7].

ЛИТЕРАТУРА

1. Стенд лабораторный ОЦТ-МР [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://labsys.ru/product/elektronika/tsifrovaya-elektronika/osnovy-tsifrovoye-tehniki-otst-mr/>, свободный (дата обращения: 5.03.2025).
2. Стенд лабораторный ИМПУЛЬС-М [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ross.com.ru/uchebno-laboratornyu-stend-impuls-m>, свободный (дата обращения: 5.03.2025).
3. Угрюмов Е.П. Цифровая схемотехника. – СПб.: БХВ-Петербург, 2007. – 787 с.
4. EveryCircuit [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://everycircuit.com/>, свободный (дата обращения: 5.03.2025).
5. LtSpice [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ltspice.sourceforge.net/>, свободный (дата обращения: 5.03.2025).

6. Шапатина О.В. Психология развития и возрастная психология / О.В. Шапатина, Е.А. Павлова. – Самара: Универс групп, 2007. – 204 с.

7. Меренкова В.С. Краткий курс лекций по психологии развития и возрастной психологии / В.С. Меренкова, Л.Ю. Комлик. – Елец: Елецкий гос. ун.т им. И.А. Бунина, 2018. – 91 с.

УДК 621.314.572

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ

А.Э. Бояринцев, аспирант ИШНКБ; А.И. Солдатов, проф., д.т.н.

Научный руководитель А.И. Солдатов, проф., д.т.н.

г. Томск, ТПУ, aeb28@tpu.ru

Рассмотрены основные методы управления электроприводом, представлены результаты математического моделирования системы управления и проведена оценка результатов исследования.

Ключевые слова: системы управления, электропривод, скалярный метод, векторный метод.

Электрическим приводом называют электромеханическую систему, способную преобразовать электрическую энергию в механическую с целью выполнения технологических процессов посредством управления и контроля рабочих органов машин и механизмов. Ключевыми задачами систем управления электроприводом являются выполнение программного управления в соответствии с заложенным алгоритмом, стабилизация координаты объекта управления и адаптация к внешним условиям.

Регулируемые электроприводы имеют широкую сферу применения, например: мельницы, металлообрабатывающие станки, намоточные машины, космические аппараты. Для нормального функционирования электропривода необходимо ограничивать момент и ток двигателя допустимыми значениями в переходных процессах пуска, торможения и приложения нагрузки. Разрабатываемую систему управления электроприводом планируется выполнить замкнутой с отслеживанием скорости и крутящего момента.

В современном электроприводе с целью регулирования скорости и момента используют скалярный или векторный методы частотного управления. Главным принципом скалярного метода управления является поддержание постоянства отношения питающего напряжения к частоте во всем рабочем диапазоне скоростей. В этом процессе происходит контроль напряжения и его частоты. Данный метод управле-

ния обладает простотой в реализации и возможностью одновременно управлять группой электродвигателей. С другой стороны, он может контролировать только один параметр (скорость или момент) электродвигателя, а также обладает низким моментом на валу при малых скоростях и падением частоты вращения ротора по отношению к магнитному полю статора с увеличением нагрузки.

Для реализации скалярного метода управления необходимо изменять скважность сигнала на верхних ключах в стойке по синусоидальному закону, при этом учитывать смещение по фазе. Нижние ключи стойки работают в комплементарном режиме [1].

Таймеры общего назначения микроконтроллера формируют ШИМ-сигнал с частотой 10 кГц и управляют трехфазным шестиключевым инвертором напряжения. Требуемая длительность импульсов для открытия верхних ключей определяется при помощи следующей формулы (1):

$$t_{\text{имп}} = U_m \cdot \sin\left(\frac{2 \cdot \pi \cdot x}{N} + S\right) + b, \quad (1)$$

где U_m – амплитуда синусоиды; x – номер точки; N – количество точек; S – смещение по фазе (0; 120; 240); b – смещение по амплитуде.

Скалярный метод управления не получил широкого распространения в задачах одновременного контроля момента и скорости, а также имеет значительные проблемы, связанные с неполным использованием напряжения звена постоянного тока преобразователя.

Для таймера с частотой 10 кГц разность потенциалов фаз для напряжения с максимальной амплитудой будет варьироваться в пределах от 0 до 86,6% (рис. 1).

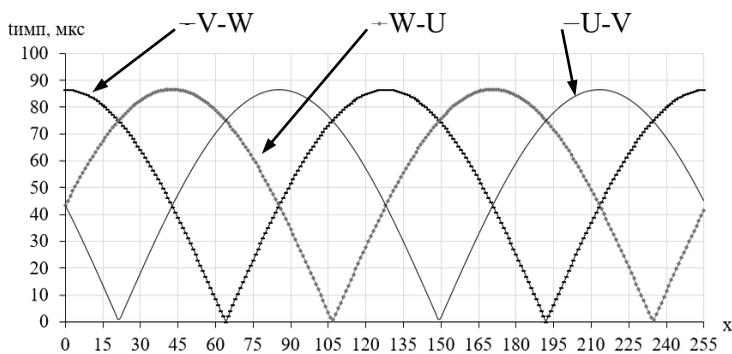


Рис. 1. График разности потенциалов фаз

Таким образом, разность потенциалов между фазами всегда ниже напряжения звена постоянного тока, что указывает на то, что запас

напряжения данного звена не используется полностью. Данную проблему можно разрешить с помощью синхронного добавления периодической составляющей, зависящей от фазы, к гармоническим входным напряжениям (рис. 2), тогда длительности импульсов будут вычисляться следующим образом (2):

$$t_{\text{имп}} = U_m \cdot \sin\left(\frac{2 \cdot \pi \cdot x}{N} + S\right) + 0,134 \cdot U_m \cdot \sin\left(\frac{3 \cdot 2 \cdot \pi \cdot x}{N} + S\right) + b. \quad (2)$$

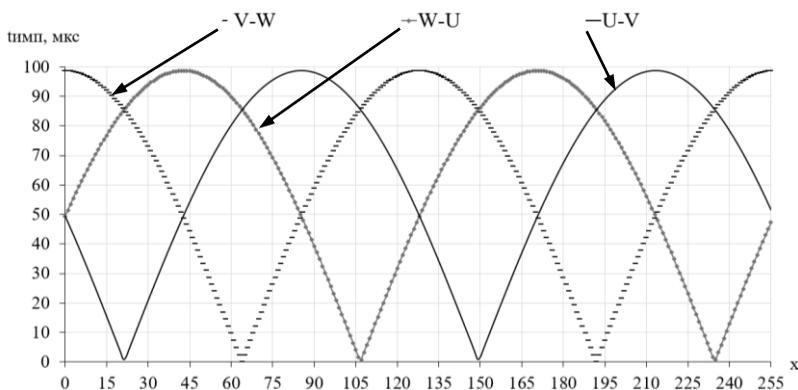


Рис. 2. График длительности импульсов верхних и нижних ключей стойки с добавлением третьей гармоники

Векторный метод управления позволяет полностью использовать напряжение звена постоянного тока. Его принцип работы заключается в контроле угла и пространственного вектора, вращающегося с частотой поля двигателя, что позволяет регулировать момент и скорость вращения вала, находящегося под нагрузкой, так как учитываются фазы токов [2].

В сравнении со скалярным методом векторное управление электроприводом обладает высоким качеством регулировки скорости ротора, включая динамические нагрузки, равномерное вращение на низких оборотах и высокий КПД, обеспечивающийся за счет уменьшения потерь во время переходных процессов.

Главным недостатком векторного метода является сложность вычисления, связанная с нахождением оси магнитных полей ротора во времени. Для решения этой проблемы необходимо установить датчики Холла или рассчитать их значение по известным формулам, учитывая мгновенные значения тока и напряжения на статоре, а также скорости движения ротора во время работы.

Таким образом, векторный метод управления является наилучшим решением регулирования скорости и момента электропривода.

ЛИТЕРАТУРА

1. Анучин А.С. Системы управления электроприводов: учеб. пособие. – М.: Академия, 2015. – 373 с.
2. Калачев Ю.Н. Векторное регулирование (заметки практика). – М.: ЭФО, 2013. – 72 с.

УДК 681.5.08

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ УРОВНЯ ЖИДКОСТИ

М.А. Черных, студент каф. УИ

*Научный руководитель Ю.О. Лобода, доцент каф. УИ
г. Томск, ТУСУР, chernykh_0970@mail.ru*

Описана система автоматического регулирования уровня жидкости в резервуаре, используемом для отладки и тестирования робота ElementaryROV.

Ключевые слова: тестирование, робот, жидкость, регулирование, датчик, разработка, система.

Системы автоматического регулирования уровня жидкости актуальны не только для повышения безопасности и эффективности промышленных процессов, где необходим точный контроль уровня, но и для создания установок тестирования и отладки подводных роботов. Для того чтобы полностью проверить функционал подводного робота, необходимо тестировать его в различных условиях. Одно из условий – тестирование робота на различной глубине. Из этого следует, что основной задачей является автоматическое изменение уровня жидкости в резервуаре, для этого необходимо при помощи микроконтроллера опрашивать датчик уровня жидкости для получения актуальной информации о количестве воды и регулировать его при помощи насосов. В таблице можно увидеть, по каким параметрам выбирался датчик уровня жидкости.

Сравнительный анализ датчиков

Название	Цена, руб.	Класс точности, %	Диапазон измерений, м
Датчик уровня жидкости погружной QDY30A RS485[2]	4 815	0,5	0...20
Ультразвуковой измеритель уровня UICPAL[3]	6 882	0,5	0...20
Ультразвуковой измеритель INNOLEVEL[4]	60 000	0,5	0...15

Из сравнительной таблицы можно сделать вывод, что более подходящим датчиком для данной системы будет датчик жидкости погружной QDY30A RS485, который имеет необходимый диапазон измерений и класс точности, не уступающий ультразвуковым измерителям. Далее необходимо подобрать оставшиеся компоненты для получения информации об уровне жидкости. Для этого понадобится микроконтроллер Arduino Mega [5], потому что в дальнейшем может появиться нужда в большом количестве портов, так же необходим преобразователь интерфейсов RS485-TTL [6] для подключения датчика к микроконтроллеру. LCD-экран [7] необходим для вывода информации (рис. 1).

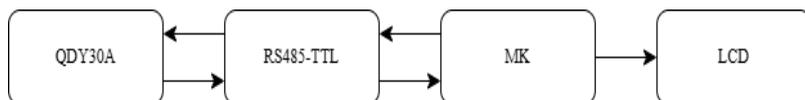


Рис. 1. Примерная схема системы

После подключения датчика к микроконтроллеру был проведен тестовый запуск, где датчик был погружен в емкость с водой.

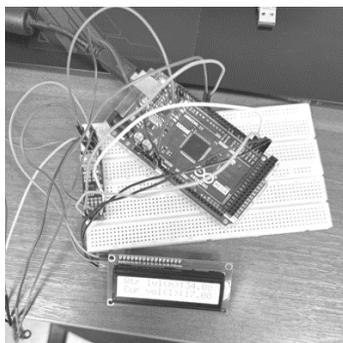


Рис. 2. Тестовый запуск системы

На рис. 2 видно, что система запустилась и выдает информацию о количестве воды в емкости на LCD-экран.

Система выдает необходимые значения для дальнейшего регулирования, а это значит, что все задачи были выполнены, датчик работает верно и подходит для дальнейшего развития системы и успешных тестов роботов.

В дальнейшем планируется выбрать насосы для установки, создать алгоритмы и написать программный код для регулирования уровня жидкости, планируется тестирование роботов не только на

различной глубине, но и в различных жидкостях или примесях. Также планируется испытание на стенде других подводных роботов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Робот ElementaryROV [Электронный ресурс]: Robocentr. – URL: <https://robocentr.net/goods/kit/elementaryrov/> (дата обращения: 24.02.2025).

2. Датчик уровня жидкости погружной QDY30A RS485 [Электронный ресурс]: Aliexpress. – URL: https://aliexpress.ru/item/1005002671639053.html?sku_id=12000030867338409&spm=a2g2w.productlist.search_results.0.64b97a0biYV8GI (дата обращения: 24.02.2025).

3. Ультразвуковой измеритель уровня UICPAL [Электронный ресурс]: Aliexpress. – URL: https://aliexpress.ru/item/1005006151608980.html?sku_id=12000035997908866&spm=a2g2w.productlist.search_results.3.7e4f2dc0sfhKG3 (дата обращения: 24.02.2025).

4. Ультразвуковой измеритель INNOLEVEL [Электронный ресурс]: Sensoren. – URL: https://sensoren.ru/product/ultrazvukovoy_datchik_urovnya_innolevel_il_ec_a/ (дата обращения: 24.02.2025).

5. Микроконтроллер Arduino MEGA [Электронный ресурс]: Arduino. – URL: <https://arduino.ru/Hardware/ArduinoBoardMega2560> (дата обращения: 25.02.2025).

6. Преобразователь интерфейсов RS485-TTL [Электронный ресурс]. – URL: https://duino.ru/rs485-ttl/?srsltid=AfmBOoq_kyzEs5odGja09KF11KSFWCx4mTsVQYQvT3f2V4ZTiv5FCK1r (дата обращения: 25.02.2025).

7. LCD экран для Arduino [Электронный ресурс]: Arduino54. – URL: <https://arduino54.ru/catalog/displei/lcd/lcd-16x2-1602-displej-sinij/> (дата обращения: 25.02.2025).

УДК 004.94

СОЦИАЛЬНАЯ ЦЕННОСТЬ ГРАЖДАН: АЛГОРИТМЫ И ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ

К.М. Эхуман, магистр каф. ФВС

*Научный руководитель И.Г. Боровской, проф. каф. ЭМИС, д.т.н.
г. Томск, ehoutan.martin@gmail.com*

С ростом цифровизации общества необходимы новые методы оценки и управления поведением граждан. Представлен алгоритм управления социальной ценностью, основанный на динамическом социальном досье. Алгоритм учитывает правовое поведение граждан, их моральные качества, академические и профессиональные достижения, а также социальную активность. Описаны преимущества, недостатки и перспективы использования алгоритма как в частном, так и в государственном секторах. Этические вопросы, такие как сохранение конфиденциальности данных и предотвращение дискриминации, были особо подчеркнуты.

Ключевые слова: алгоритм, оценивание, социальная ценность.

В XIX в. существовали кастовые системы или социальные классы, особенно в Африке, Европе и Азии, которые определяли ценность, важность граждан в соответствии с их предками. Сегодня цифровые технологии позволяют перейти от традиционной кастовой системы к системе, основанной на цифровых данных. Необходимость создания новых методов оценки и контроля за поведением граждан является одним из основных трудностей. Эти методы должны учитывать как социальные, так и юридические аспекты. Возникает необходимость в создании систем, которые могут постоянно оценивать и корректировать социальные ценности в условиях роста сложности социальных взаимодействий и объема данных о гражданах.

Цель работы состоит в том, чтобы создать алгоритм управления социальной ценностью граждан, основанный на динамическом социальном досье. Рассматриваются такие важные вопросы, как определение социальной ценности, источники данных, формула расчета и моральные аспекты. Кроме того, представлены результаты тестирования алгоритма на гипотетических данных, а также обсуждается его возможное использование.

Качества, действия и достижения человека называются социальной ценностью, которая определяет его вклад в развитие общества. В нее включены следующие элементы:

- правовое поведение, его способность соблюдать законы, не совершать правонарушений;
- моральные качества: его честность, ответственность и сочувствие;
- академические достижения, включая его академическое образование и публикации;
- профессиональные достижения: продвижение по службе и вклад в экономику;
- социальная деятельность: благотворительность и участие в волонтерских программах.

Для расчета социальной ценности (SV) используется следующая формула:

$$SV = W1 \cdot L + W2 \cdot M + W3 \cdot A + W4 \cdot P + W5 \cdot S, \quad (1)$$

где L – оценка правового поведения (Legal Behavior); M – оценка моральных качеств (Moral Qualities); A – оценка академических достижений (Academic Achievements); P – оценка профессиональных достижений (Professional Achievements); S – оценка социальной активности (Social Activity); W1, W2, W3, W4, W5 – весовые коэффициенты для каждого критерия (сумма коэффициентов равна 1).

Для создания социального досье используются данные из следующих источников:

✓ Судебное досье содержит информацию о правонарушениях, приговорах и штрафах.

✓ Моральные качества можно определить с помощью данных из социальных сетей, отзывов и опросов.

✓ Академические и профессиональные достижения, подтверждаемые аттестатом, дипломом или сертификацией.

Для демонстрации работы алгоритма были использованы гипотетические данные трех граждан: Алексея, Марии и Дмитрия. Результаты исследования социальной ценности следующие:

✓ Алексей: $SV = 80$.

✓ Мария: $SV = 91$.

✓ Дмитрий: $SV = 58$.

Алгоритм чувствителен к изменению данных.

Пример:

Социальная ценность Дмитрия падает с 58 до 49 после снижения оценки правового поведения (L) на 30 пунктов.

Увеличение моральных качеств (M) Алексея с 85 до 95 увеличивает его социальную ценность с 80 до 82.

Тестирование алгоритма на гипотетических данных было успешным. Он показывает, что очень точен и чувствителен к изменениям, что подтверждает его эффективность.

Потенциальные преимущества: алгоритм устранения субъективности предоставляет объективную оценку на основе данных.

Повышение социальной ответственности: люди мотивированы улучшить свои показатели.

Правила. Ошибки в данных: могут быть искажения в опросах или судебных досье. Спротивление общества: может возникнуть недоверие к системе.

Возможности применения: государственное управление включает в себя оценку программ и распределение льгот. Частный сектор: трудоустройство, социальная ответственность компаний.

Для повышения объективности, справедливости и социальной ответственности разработан алгоритм управления социальной ценностью граждан. Для его реализации необходимо учитывать этические и правовые аспекты, а также проводить дополнительные исследования для максимизации и расширения возможностей. В долгосрочной перспективе алгоритм может стать основой для создания общества, в котором люди будут более справедливыми и ответственными.

ЛИТЕРАТУРА

1. Kshetri Nir. China's Social Credit System: data, algorithms and implications // IT Professional. – 2020. – Vol. 22, No. 2. – P. 14–18.

2. Langer F.P. Lessons from China-The formation of a social credit system: Profiling, reputation scoring, social engineering // Proceedings of the 21st Annual International Conference on Digital Government Research. – 2020.

3. Sarker I.H. Data science and analytics: an overview from data-driven smart computing, decision-making and applications perspective // SN Computer Science. – 2021. – Vol. 2, No. 5. – P. 377.

4. Zwitter A. The network effect on ethics in the big data age // Big data challenges: society, security, innovation and ethics. – 2016. – P. 23–34.

5. Deliège R. Chapitre 2. La caste selon Louis Dumont // Sociologie d'aujourd'hui. – 2004. – P. 45–72.

УДК 004.891.2

СОЗДАНИЕ ТЕСТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЙРОСЕТЕЙ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОМПЕТЕНЦИЙ

Н.Е. Мешков, студент

*Научный руководитель Ю.О. Лобода, доцент каф. УИ
г. Томск, ТУСУР, BayronOneEz@gmail.com*

Изучена актуальность вопроса применения нейронных сетей в области оценки профессиональных и личностных компетенций. Раскрывается методология создания тестовых заданий, направленных на выявление таких компетенций, как критическое мышление, лидерство, наставничество, ориентация на результат, партнерство, саморазвитие, системное мышление, следование правилам, социальная ответственность, стрессоустойчивость, эмоциональный интеллект, анализ информации и инновационность. Подробно описан процесс использования нейронных сетей для анализа ответов респондентов и определения уровня развития данных компетенций. Особое внимание уделено преимуществам нейросетевого подхода по сравнению с традиционными методиками: повышение объективности оценки, автоматизация обработки данных и возможность адаптации тестов под индивидуальные особенности испытуемых. Приведены области применения предложенного метода, включая образовательную среду, HR-сферу и научные исследования. Выводы указывают о значимости подхода и перспективах его развития.

Ключевые слова: компетенции, компетентность, метод оценивания компетенций, искусственный интеллект, нейронные сети, оценка персонала, адаптивное тестирование.

Современная система образования и кадровой работы все больше ориентируется на компетентностный подход – важность развития и оценки ключевых компетенций у человека [1]. Еще в 1970 г. Д. Макклелланд показал, что успешность определяется не только интеллек-

том, но и набором определенных компетенций (например, настойчивость, инициативность, коммуникабельность).

На этом фоне все более заметную роль начинает играть использование технологий искусственного интеллекта, в частности, нейросетей, для разработки и проведения тестов. Нейросети способны анализировать большие объемы данных и выявлять скрытые закономерности, что открывает новые возможности для более точного и объективного определения компетенций тестируемых.

Методология. Вначале определяется модель компетенций – перечень тех умений, знаний, качеств, которые подлежат оценке. Каждой компетенции сопоставляются определенные показатели или критерии проявления. На основе них разрабатываются тестовые задания. Вопросы теста подбираются таким образом, чтобы напрямую соответствовать оцениваемым компетенциям.

С развитием машинного обучения в сфере оценки компетенций начали внедряться интеллектуальные алгоритмы. В частности, нейросетевые модели стали применять для автоматической интерпретации результатов тестов. Так, в работе М.Л. Кричевского и соавт. (2018) предложено использовать искусственные нейронные сети для оценки компетенций персонала; было показано, что нейросеть способна классифицировать сотрудников по уровню владения компетенциями на основе их характеристик [2].

Авторы отмечают, что традиционные методы часто субъективны, тогда как обученная нейросеть обеспечивает более объективную классификацию. Вопросы разрабатываются таким образом, чтобы ответы испытуемого демонстрировали проявление определённых навыков или качеств. Модель на основе многослойного персептрона смогла предсказать компетентность с точностью до 99,77%, продемонстрировав высокую эффективность нейросетевого подхода в образовательной сфере [3].

Обученная нейросеть фактически выполняет роль *интерпретатора* теста. Если традиционно специалисту нужно было задать вес каждого вопроса или индикатора компетенции вручную, то нейросеть делает это самостоятельно в процессе обучения, распределяя значимость входных признаков оптимальным образом. Исследования показывают, что нейросети могут моделировать не известный заранее процесс по набору примеров, приближаясь к принципам работы человеческого мозга.

При достижении приемлемой точности сеть встраивается в онлайн-тест или программу: теперь ответы испытуемых подаются на вход нейросети, и она выдает интерпретацию – диагностический профиль компетенций [4].

Нейросетевой подход обладает рядом важных преимуществ. Повышается объективность и точность оценки за счет учета множества факторов одновременно и обучения на реальных эмпирических данных, а не только на экспертных предположениях.

Сферы применения. Образование и обучение: в школах, колледжах и вузах интеллектуальные тесты помогают определить *индивидуальные образовательные потребности* учащихся. Также в дополнительном обучении и онлайн-курсах такие тесты применимы для оценки прогресса в навыках (критическое мышление, творческие способности и пр.) и подстройки траектории обучения под студента.

Управление персоналом (HR): при найме и аттестации сотрудников нейросетевые тесты компетенций становятся ценным инструментом объективной оценки. Компании вводят тестирования, моделирующие рабочие ситуации, кейсы на командное взаимодействие, этические дилеммы и т.п., чтобы проверить ключевые компетенции кандидата. Полученные ответы анализирует нейросеть, классифицируя соискателя по уровню развития требуемых компетенций.

Выводы. Ключевая идея – связать тщательно разработанный компетентностный тест с мощью анализа, которую дают нейронные сети, что позволяет быстро и точно интерпретировать результаты. Как показано в обзоре, традиционные методы оценки страдали от субъективности и трудоемкости настройки (подбора индикаторов, весов, критериев), тогда как обученная на данных нейросеть способна автоматически вывести объективную оценку компетенций.

ЛИТЕРАТУРА

1. Катаев С.Г. Индикаторный метод оценивания компетенций / С.Г. Катаев, Ю.О. Лобода, У.А. Хомякова // Вестник ТГПУ. – 2009. – Вып. 11. – С. 4.
2. Кричевский М.Л. Нейросетевая оценка компетенций персонала / М.Л. Кричевский, С.В. Дмитриева, Ю.А. Мартынова // Экономика труда. – 2018. – № 1. – С. 18.
3. Use of Neural Networks in the Adaptive Testing System / E.V. Chumakova, T.A. Chernova, Y.A. Belyaeva, D.G. Korneev, M.S. Gasparian // Journal européen des systèmes automatisés. – 2022. – No. 5. – С. 13.
4. Siraj F. Modeling Information Technology Competency using Neural Networks / F. Siraj, H. Asman, Md.R. Hasan // International Journal of Computer Applications. – 2012. – No. 58 (11). – P. 1–6.

ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОСЕТЕЙ В МИКРОКОНТРОЛЛЕРАХ ДЛЯ СИСТЕМ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ: ВЫЗОВЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ

А.И. Солдатов; Я.И. Антоненко, аспирант каф. УИ

*Научный руководитель А.И. Солдатов, проф. каф. УИ, д.т.н.
г. Томск, ТУСУР, iana.i.antonenko@tusur.ru*

Дан анализ возможностей и ограничений использования нейросетей в микроконтроллерах для систем технического зрения. Рассматриваются ключевые аспекты интеграции нейросетевых алгоритмов в ограниченные вычислительные среды, включая оптимизацию моделей и снижение требований к ресурсам. Обсуждаются актуальные исследования и разработки в данной области, а также перспективы дальнейшего развития технологий.

Ключевые слова: нейросети, микроконтроллеры, техническое зрение, оптимизация моделей, встраиваемые системы.

В условиях стремительного развития технологий автоматизации и робототехники интеграция нейросетей в микроконтроллеры для систем технического зрения становится всё более актуальной. Это направление открывает новые возможности для создания компактных и энергоэффективных решений, способных выполнять сложные задачи обработки визуальной информации. Однако внедрение нейросетей в ограниченные вычислительные среды сопряжено с рядом вызовов, связанных с оптимизацией моделей и управлением ресурсами.

Системы технического зрения на базе микроконтроллеров с интегрированными нейросетями могут значительно улучшить эффективность и точность выполнения задач в различных областях, таких как промышленность, медицина, сельское хозяйство и транспорт. Они позволяют автоматизировать процессы контроля качества, сортировки, мониторинга и анализа данных, что способствует повышению производительности и снижению затрат.

Нейросети представляют собой математические модели, вдохновлённые биологическими нейронными сетями, и используются для решения задач классификации, распознавания образов и прогнозирования. В контексте микроконтроллеров важно учитывать их ограниченные вычислительные возможности и объём памяти. Для успешной интеграции нейросетей необходимо разрабатывать специализированные архитектуры и алгоритмы, которые могут работать в условиях ограниченных ресурсов [1].

Архитектура нейросетей для микроконтроллеров должна быть оптимизирована с учётом специфики задачи и доступных ресурсов.

Это может включать в себя выбор определённого типа нейросети (например, свёрточные нейросети для обработки изображений), оптимизацию количества слоёв и нейронов, а также использование методов сжатия и квантизации моделей.

Оптимизация нейросетей включает в себя ряд методов, направленных на снижение требований к вычислительным ресурсам и памяти. К ним относятся:

- квантизация весов;
- сжатие моделей;
- оптимизация топологии сети;
- использование специализированных библиотек и фреймворков, таких как MXNet [3].

Эти методы позволяют сократить размер модели и ускорить вычисления, что особенно важно для встраиваемых систем.

Квантизация весов позволяет уменьшить размер модели за счёт представления весов с меньшей точностью. Сжатие моделей может включать в себя удаление ненужных параметров, использование методов сжатия данных и другие способы. Оптимизация топологии сети позволяет выбрать наиболее эффективную архитектуру с учётом доступных ресурсов.

Специализированные библиотеки и фреймворки предоставляют готовые инструменты для оптимизации нейросетей и упрощают процесс разработки и внедрения решений на базе микроконтроллеров.

Существует ряд примеров успешного применения нейросетей в системах технического зрения, работающих на микроконтроллерах. Например, нейросети могут использоваться для:

- распознавания объектов и определения их положения и ориентации;
- анализа изображений в режиме реального времени;
- обнаружения дефектов и аномалий;
- классификации изображений по заданным критериям.

Такие системы находят применение в различных областях.

В промышленности системы технического зрения на базе микроконтроллеров могут использоваться для контроля качества продукции, сортировки изделий по заданным параметрам, мониторинга производственных процессов и обеспечения безопасности. В медицине они могут помочь в диагностике заболеваний, анализе медицинских изображений и проведении хирургических операций. В сельском хозяйстве системы технического зрения могут использоваться для мониторинга состояния посевов, обнаружения вредителей и болезней, а также для автоматизации процессов сбора урожая.

Несмотря на перспективы, внедрение нейросетей в микроконтроллеры сталкивается с рядом вызовов:

- ограниченная вычислительная мощность и объём памяти;
- высокое энергопотребление;
- сложность оптимизации моделей под конкретные задачи;
- необходимость разработки специализированного программного обеспечения;
- обеспечение надёжности и безопасности систем.

Преодоление этих ограничений требует дальнейших исследований и разработок в области оптимизации нейросетевых алгоритмов и создания специализированных аппаратных решений, таких как аппаратные ускорители для глубоких нейронных сетей [4].

Одним из возможных путей решения проблемы ограниченных ресурсов является использование гибридных подходов, сочетающих нейросети с другими методами обработки данных, такими как алгоритмы машинного обучения или традиционные методы компьютерного зрения. Это позволяет оптимизировать использование ресурсов и повысить эффективность систем.

Таким образом, интеграция нейросетей в микроконтроллеры для систем технического зрения представляет собой перспективное направление развития технологий. Несмотря на существующие ограничения, разработка оптимизированных решений позволяет создавать эффективные встраиваемые системы, способные выполнять сложные задачи обработки визуальной информации. Дальнейшее развитие данной области связано с совершенствованием методов оптимизации, созданием специализированных архитектур и разработкой новых аппаратных решений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Goodfellow I. Deep Learning / I. Goodfellow, Y. Bengio, A. Courville. – Massachusetts Institute of Technology (MIT), Cambridge, USA: MIT Press, 2016. – P. 305–307.
2. LeCun Y. Deep learning / Y. LeCun, Y. Bengio, G. Hinton // Nature. – 2015. – Vol. 521. – P. 436–444.
3. Chen T. MXNet: A Flexible and Efficient Machine Learning Library for Heterogeneous Distributed Systems / T. Chen, C. Guestrin // NIPS Workshop on Machine Learning Systems (LearningSys). – 2015 [Электронный ресурс]. – URL: https://www.researchgate.net/publication/286134669_MXNet_A_Flexible_and_Efficient_Machine_Learning_Library_for_Heterogeneous_Distributed_Systems (дата обращения: 20.02.2025).
4. Ristin M. Hardware accelerators for deep neural networks / M. Ristin, P. Gallagher, V. Sze // IEEE Micro. – 2017. – Vol. 37, No. 2. – P. 8–20.

**МАКЕТ САМОНАСТРАИВАЮЩЕГОСЯ
АВТОНОМНОГО КОМПЛЕКСА
ДИСТАНЦИОННОГО МОНИТОРИНГА ТЕРРИТОРИИ**

*А.И. Солдатов; Я.И. Антоненко, аспирант каф. УИ
Научный руководитель А.И. Солдатов, проф. каф. УИ, д.т.н.
г. Томск, ТУСУР, iana.i.antonenko@tusur.ru*

Рассматривается процесс разработки и тестирования макетного образца самонастраивающегося автономного комплекса дистанционного мониторинга территории. Описывается выбор компонентов для системы технического зрения, включая микроконтроллер ESP32-CAM и камеру OV2640. Представлены результаты испытаний функции передачи информации через Telegram-бот и распознавания объектов на изображении. Обсуждаются перспективы дальнейшего развития проекта и возможные области применения разработанного комплекса.

Ключевые слова: дистанционный мониторинг, система технического зрения, ESP32-CAM, Telegram-бот, распознавание объектов.

В условиях современного мира возрастает потребность в эффективных системах дистанционного мониторинга территории. Такие системы позволяют оперативно получать информацию о состоянии объектов и своевременно реагировать на возможные угрозы. В данной работе представлен процесс разработки и тестирования макетного образца самонастраивающегося автономного комплекса дистанционного мониторинга территории.

Актуальность проекта обусловлена необходимостью создания надёжных и гибких систем мониторинга, способных адаптироваться к изменяющимся условиям и обеспечивать высокую точность распознавания объектов. Для достижения этой цели были выбраны современные компоненты и технологии, которые позволяют реализовать требуемые функции и обеспечить эффективное взаимодействие между элементами системы.

Для создания системы технического зрения (СТЗ) в макетном варианте были выбраны следующие компоненты: модуль ESP32-CAM, камера OV2640 и программатор USB to TTL. ESP32-CAM представляет собой миниатюрный модуль, оснащённый микропроцессором ESP32-S и миниатюрной камерой OV2640, а также имеет разъём для карт памяти micro SD [1].

ESP32-CAM активно используется в проектах, связанных с интернетом вещей (IoT). Он находит своё применение в системах распознавания лиц в офисных помещениях, учебных заведениях и других

защищённых зонах, а также может служить для беспроводного наблюдения, распознавания кодов QR и других задач.

Программирование ESP32-CAM происходит с помощью Arduino IDE. Для этого в Arduino IDE нужно установить дополнение (add-on) для работы с данным модулем. Модуль ESP32-CAM может обнаружить и идентифицировать любой объект, а затем присвоить ему имя. Он полностью основан на искусственном интеллекте и разработан с использованием кода компьютерного зрения, библиотеки OpenCV [2].

Библиотека OpenCV предоставляет широкий спектр функций для обработки изображений и видео, что делает её идеальным выбором для проектов в области компьютерного зрения. Она поддерживает различные алгоритмы распознавания объектов, что позволяет реализовать сложные сценарии анализа изображений.

Для передачи информации с макетного образца устройства используется Telegram-бот. Телеграм-боты – это небольшие приложения, способные автоматизировано выполнять различные задачи без участия пользователя. Они предоставляют широкий спектр функционала, начиная от ответов на вопросы и отправки ссылок на сайты и заканчивая продажей товаров, общением с пользователями и скрытием сообщений [3].

Tелеграм-боты интегрируются с различными приложениями, устройствами и сайтами, что позволяет им собирать информацию из различных источников. Благодаря этой интеграции пользователи могут получать данные из различных источников, не переключаясь между разными приложениями и сайтами.

Использование Telegram-ботов для передачи информации обеспечивает высокую гибкость и удобство взаимодействия с системой мониторинга. Пользователи могут получать уведомления о событиях в реальном времени и оперативно реагировать на них.

Испытания макетного образца устройства проводились для двух различных показателей: корректное выполнение функций макетного образца и проверка функций безопасности. В результате экспериментов были получены следующие результаты:

- датчик движения работает эффективно;
- Telegram-бот работает корректно;
- изображение фиксируется камерой и в короткий срок передаётся получателю в виде сообщения;
- высокая скорость распознавания объектов.

Таким образом, был протестирован рабочий макет передающего устройства, способный распознать объекты на изображении сразу после срабатывания датчика движения, а также передавать информацию

пользователю. Разработанный макетный образец самонастраивающегося автономного комплекса дистанционного мониторинга территории реализован с использованием перспективных современных технологий для решения задач мониторинга территории. Результаты испытаний подтверждают эффективность выбранного подхода и возможность дальнейшего развития проекта.

Перспективы развития проекта включают расширение функциональности системы, улучшение алгоритмов распознавания объектов и оптимизацию взаимодействия между компонентами. Это позволит создать более надёжные и эффективные системы мониторинга, которые могут быть использованы в различных областях, таких как охрана объектов, мониторинг окружающей среды и управление транспортными потоками.

ЛИТЕРАТУРА

1. Руководство по работе с ESP32-CAM [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.esp32.com/> (дата обращения: 20.02.2025).
2. Библиотека OpenCV и её применение в проектах компьютерного зрения [Электронный ресурс]. – URL: <https://opencv.org/> (дата обращения: 20.02.2025).
3. API Telegram-бота [Электронный ресурс]. – URL: <https://core.telegram.org/bots/api> (дата обращения: 20.02.2025).

ПОДСЕКЦИЯ 3.6

ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ СРЕДСТВА АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ, УПРАВЛЕНИЯ И ОБРАБОТКИ ДАННЫХ

*Председатель секции – Хабибулина Н.Ю., доцент
каф. КСУП, к.т.н.;*
зам. председателя – Потапова Е.А., ст. преп. каф. КСУП

УДК 62-50:62-83:004.942

ПРИМЕНЕНИЕ ПРОГРАММНЫХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ АНАЛИЗА ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В ПНЕВМОПРИВОДЕ

*Ф.С. Гудков, студент; А.Е. Карелин, к.т.н, доцент
г. Томск, ТУСУР, gudkov101001@gmail.com*

Разработана программная модель для анализа переходных процессов в пневмоприводах с использованием среды **Scilab**. Модель учитывает динамические характеристики системы, включая давление, объем, массу подвижных частей и силу трения. Для расчета переходных процессов использованы уравнение движения поршня и формула расхода воздуха через магистраль. Метод Эйлера применен для численного интегрирования системы уравнений. Реализация модели в **Xcos** планируется для повышения наглядности и интеграции с системами автоматизированного проектирования. Модель позволяет проводить расчеты динамических характеристик пневмосистемы и визуализировать результаты в виде графиков, обеспечивая эффективный анализ и оптимизацию работы пневмоприводов.

Ключевые слова: пневмопривод, моделирование, Scilab, Xcos, переходный процесс.

В современном мире автоматизация технологических процессов требует детального анализа и оптимизации динамических характеристик пневматических приводов. Пневмоприводы находят широкое применение в промышленности благодаря своей надежности, высокой скорости срабатывания и простоте конструкции. Однако их динамические характеристики могут существенно варьировать в зависимости от параметров системы, что требует проведения расчетов переходных процессов.

Для исследования динамических характеристик пневмоприводов можно использовать экспериментальные методы и численное моделирование. Экспериментальные методы требуют наличия физического оборудования, что связано с высокими затратами и сложностью организации испытаний. В связи с этим все большее распространение получают программные модели, позволяющие проводить исследования в виртуальной среде.

В рамках данной работы была разработана программная модель для расчета переходных процессов в пневматических системах, реализованная в среде Scilab.

В данной модели движение поршня описывается уравнением второго порядка, которое учитывает результирующую силу давления, сопротивление трения и динамические параметры системы. Следующее уравнение движения поршня формализует динамику системы и служит основой для численного интегрирования методом Эйлера в модели.

$$x'' = \frac{P_p - N^* \text{sign}(x') - T_S - h^* x'}{M},$$

где P_p – результирующая сила давления; $N^* \text{sign}(x')$ – статическая нагрузка; T_S – сила трения; $h^* x'$ – вязкое трение; M – масса системы.

При моделировании расхода необходимо учитывать нестационарные процессы сжатия и расширения газа, а также влияние перепада давления между полостями. Расход воздуха определяется через уравнение, связывающее параметры давления, температуры, плотности и геометрические характеристики проходного сечения.

Ниже представлена формула массового расхода воздуха, которая используется в разработанной модели:

$$p_1' = \frac{k f_1 \sqrt{RT_M}}{F_1(x + x_{01}) \sqrt{\zeta_1}} \sqrt{p_M^2 - p_1^2} - \frac{k p_1}{x + x_{01}} x',$$

где k – показатель адиабаты; R – газовая постоянная; x – координата поршня; T_M – температура газа; ζ_1 – коэффициент сопротивления; p_M – давление в магистрали; F_1 – полная площадь поршня.

Давление в рабочих полостях пневмопривода является одним из ключевых параметров, определяющих его динамическое поведение. Оно изменяется в зависимости от поступающего и выходящего потока воздуха, объемных характеристик системы и термодинамических процессов внутри камеры.

$$\begin{aligned}
 p_2' = & H_B \left(- \frac{k f_2 \sqrt{RT_M}}{F_2 (S - x + x_{02}) \zeta_1} \left(\frac{p_2}{p_M} \right)^{\frac{k-1}{2k}} * p_2^2 - p_A^2 \right) + \\
 & + H_{HM2} \frac{k f_2 \sqrt{RT_M}}{F_2 (S - x + x_{02}) \zeta_2 H_p} (p_{M2}^2 - p_2^2) + \\
 & + H_{BM2} \left(- \frac{k f_2 \sqrt{RT_M}}{F_2 (S - x + x_{02}) \zeta_{2B}} \left(\frac{p_2}{p_M} \right)^{\frac{k-1}{2k}} (p_2^2 - p_{M2}^2) \right) + \frac{k p_2}{S - x + x_{02}} x',
 \end{aligned}$$

где F_2 – полезная площадь штоковой полости; H_B – пневматическое демпфирование; H_{HM2} – коэффициент влияния температуры; H_{BM2} – коэффициент сжимаемости газа.

Метод Эйлера используется для численного решения дифференциальных уравнений движения поршня.

1. Обновление скорости: $x' = x' + x'' \times dt$.
2. Обновление координат поршня: $x = x + x' \times dt$.
3. Обновление давления в камере 1: $p_1 = p_1 + p_1' \times dt$
4. Обновление давления в камере 2: $p_2 = p_2 + p_2' \times dt$.

Результат моделирования переходного процесса в пневмоприводе показан на рис. 1.

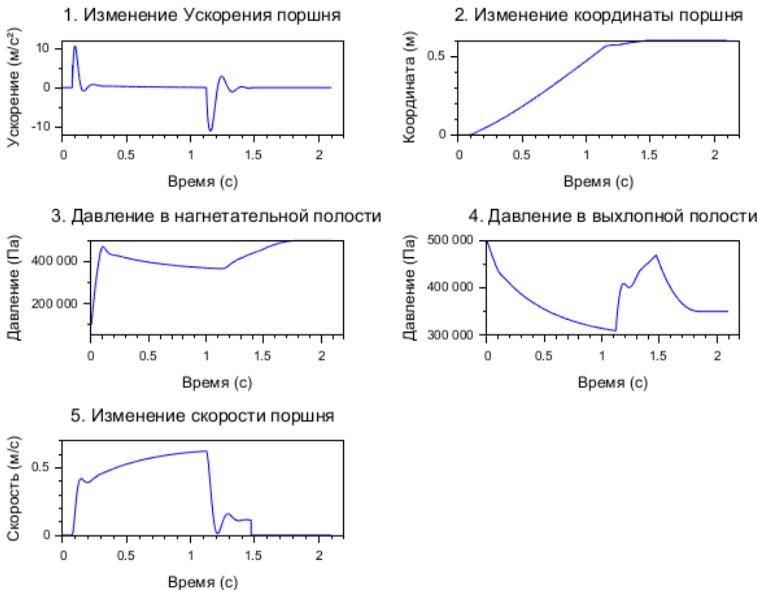


Рис. 1. Результат моделирования переходного процесса в пневмоприводе

В дальнейшем предполагается перенос данной модели в среду Xcos для более наглядного представления процессов и интеграции с другими системами автоматизированного проектирования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Донской А.С. Моделирование и расчет пневматических приводов: учеб. пособие. – СПб.: Санкт-Петербургский политехн. ун-т Петра Великого, 2017. – 87 с.
2. Герц Е.В. Расчет пневмоприводов / Е.В. Герц, Г.В. Крейнин. – М.: Машиностроение, 1975. – 272 с.

УДК 004.021

МЕТОД ВИЗУАЛИЗАЦИИ ЗНАЧЕНИЙ ДВУМЕРНОЙ МАТРИЦЫ ДАННЫХ

Е.П. Ильин, студент

*Научный руководитель И.Г. Боровской, зав. каф. ЭМИС, проф.
г. Томск, ТУСУР, каф. ЭМИС, eugenecalls@gmail.com*

Разработан алгоритм обобщения и визуализации двумерных числовых данных, таких как матричные карты амплитуд, для дальнейшего анализа.

Ключевые слова: визуализация, карты, двумерные данные, обобщение.

Одним из методов анализа данных является визуальный анализ однородных данных, представленных в виде двумерной матрицы чисел. Например, это могут быть данные, описывающие какие-либо параметры поверхности, поделенной на одинаковые области прямоугольной сеткой.

В случае необходимости одновременного отображения множества малых областей могут возникнуть сложности в процессе их визуального анализа, особенно если значения близлежащих областей близки.

Рассмотрим решение задачи на примере визуализации карты глубин дефектов, использованной в процессе обучения нейросети [1], предназначенной для поиска и классификации дефектов в магистральных газовых трубопроводах, на основании данных ультразвукового неразрушающего контроля.

Для визуализации таких данных предлагается выделить ряд граничных значений с заданным шагом, включающий в себя наименьшее и наибольшее значение в выборке. Например, для переменной, изменяющейся в диапазоне от 0 до 1, можно задать 6 граничных значений

V_k , где $k \in (0, \dots, 5)$, с помощью шага деления S , равного 0,2. Для отображения областей будут использованы полигоны – это области, объединяющие соприкасающиеся точки, имеющие близкие значения. В работе могут использоваться полигоны с отверстиями, относящимися к другим областям. Граничные значения будут использованы для подписей полигонов. Близкими значениями $x_{i,j}$, где i – номер строки, j – номер столбца, считаются те, что удовлетворяют условию $x_{i,j} \in V_k \pm S/2$. Например, полигон, подписанный числом 0,2 (при $S = 0,2$), в таком случае будет объединять точки в диапазоне от 0,1 до 0,3.

Можно выбрать любое количество граничных значений на усмотрение аналитика, также полигоны можно подписывать или нет в зависимости от читаемости полученной карты. Пример работы такого алгоритма представлен на рис. 1.

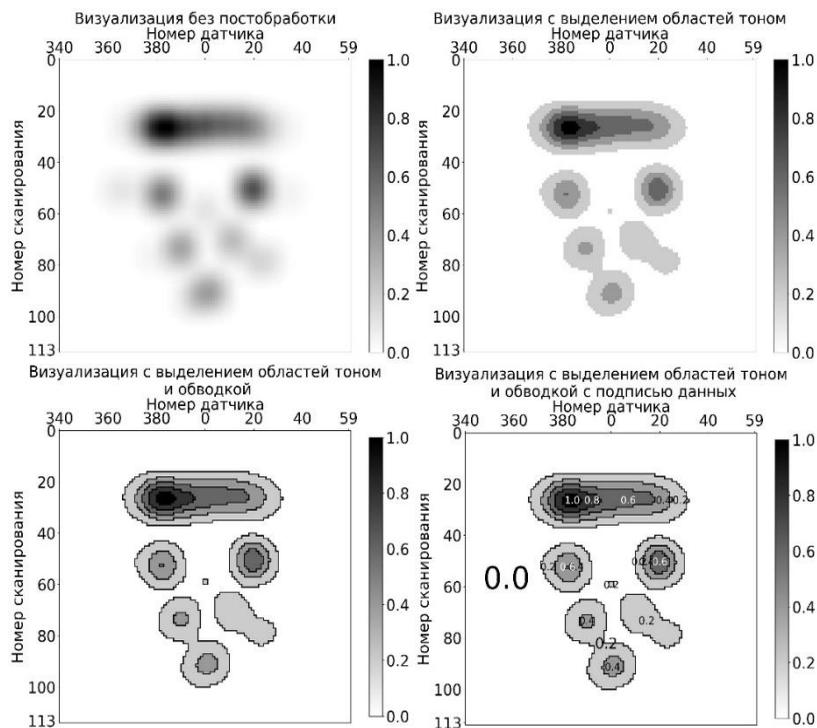


Рис. 1. Пример работы алгоритма визуализации на примере карты глубин дефектов зоны газового магистрального трубопровода в разных конфигурациях для 6 граничных значений

На рисунке на правой нижней карте можно увидеть пример подписи полигонов соответствующими граничными значениями. Каждая подпись находится на поверхности своего полигона и тем больше, чем больше площадь соответствующего полигона. Однако подпись полигонов таким образом опциональна, так как в текущей реализации не исключен случай наложения текста подписей друг на друга, а также выхода подписи за границы своего полигона.

Ввиду того, что полигон может быть любой формы (в том числе содержать отверстия) и размера, задача размещения подписи в нем таким образом, чтобы её размер был пропорционален размеру полигона относительно остальных, не выходил за его периметр и был читаем является нетривиальной. В данный момент текст размещается в случайной точке, находящейся внутри полигона, и имеет размер, пропорциональный его размеру относительно других полигонов.

В случае использования 21 граничного значения числовые подписи уже не будут читаемы (рис. 2), однако даже без них такая постобработка может улучшить читаемость визуализации.

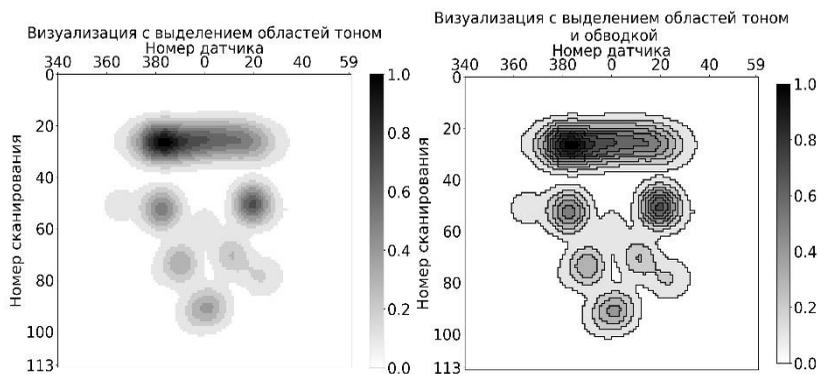


Рис. 2. Пример работы алгоритма визуализации на примере карты глубин дефектов зоны газowego магистрального трубопровода в разных конфигурациях для 21 граничного значения

Можно выделить два пути решения этой проблемы:

- 1) если подпись, размещенная в периметре полигона не читаема, то вынести её за пределы карты;
- 2) создать интерактивное изображение, которое будет отображать числовую подпись полигонов только при его выделении.

Результатом работы является алгоритм для визуализации пространственных матричных числовых данных, позволяющий оценить изменение параметра по оси, направленной на наблюдателя, тем са-

мым появляется возможность 3D-анализа распределения исследуемой величины.

ЛИТЕРАТУРА

1. Нейросетевой анализ данных ультразвуковой дефектоскопии магистральных газопроводов с использованием программно-аппаратной системы ДВУ / И.Г. Боровской, Е.А. Шельмина, А.А. Матолыгин, Е.П. Ильин // Вестник Том. гос. ун-та. Управление, вычислительная техника и информатика. – 2023. – № 64. – С. 50–60.

УДК 004.942

АВТОМАТИЗАЦИЯ ТРАССИРОВАНИЯ ЛИНЕЙНЫХ КОММУНИКАЦИЙ НЕФТЕГАЗОВОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ ПРИ КОРИДОРНОЙ ПРОКЛАДКЕ С АВТОДОРОГОЙ

А.П. Белошицкий, К.А. Кравченко, студенты каф. КСУП, инж.-программисты отд. развития геоинформационного ПО
Научный руководитель Е.А. Килин, нач. отд. развития геоинформационного программного обеспечения, АО «ТомскНИПИнефть»
г. Томск, ТУСУР, АО «ТомскНИПИнефть»,
belo4ickiq@gmail.com, kirillkravchenko89@gmail.com

Рассматривается проблема ручного проектирования трубопроводов, прокладываемых смежно с осью автодороги в её коридоре. Предлагается решение – использование модифицированной платформы для автоматизации комплексного трассирования, разрабатываемой в компании АО «ТомскНИПИнефть», которая позволяет снизить трудозатраты на трассирование и минимизировать риск ошибок при проектировании. При этом платформа предоставляет пользователю возможность воздействовать на процесс автоматизированного построения для более гибкой настройки.

Ключевые слова: автоматизация проектирования, трассирование, смежные коммуникации, CAD, .NET, трубопроводы, автодороги.

Проектирование трубопроводов и других коммуникаций, прокладываемых смежно с автодорогой, представляет собой сложный процесс, требующий учета множества параметров, таких как минимальная длина прямолинейных участков, которая вычисляется согласно ГОСТ [1, 2] и зависит от диаметра трубопровода, количества и величины углов при соединении прямолинейных участков, которые определяются диаметром и длиной трубопровода. Помимо этого, при проектировании необходимо учитывать максимальное приближение и максимальное удаление линий коммуникации от оси автодороги, при этом параметры могут изменяться динамически пользователем во

время проектирования. Всё вышесказанное должно быть учтено для каждого участка, и ошибка на начальном этапе ведёт, как правило, к перепроектированию всей линии коммуникации.

Таким образом, ручной подход к построению трубопроводов, границ отводов и охранных зон трудоёмок, подвержен ошибкам и требует высокой квалификации проектировщика. Задача состоит в комплексной модификации платформы «Полотно+» для автоматизированного построения трубопроводов и других коммуникаций.

Для решения данной задачи в АО «ТомскНИПИнефть» расширяется функционал двух из девяти модулей, входящих в платформу «Полотно+»: «Полотно+Трассы» и «Полотно+Границы Отводов», для построения трубопроводов и линий прочих коммуникаций, границ отводов и охранных зон.

Разработка расширенного функционала модулей ведётся параллельно с учётом их будущего взаимодействия и передачи данных между друг другом посредством как сериализации/десериализации чертежа в формате DWG, так и одновременной работы всех модулей, входящих в платформу, над одним чертежом.

На данном этапе ведётся тестирование модуля «Полотно+ Границы отводов», модуль «Полотно+ Трассы» находится на завершающей стадии разработки.

Модули обеспечивают следующий функционал:

Автоматическое построение: автодороги, бровок, подошвы, ограничительной зоны.

Проектирование осей коммуникаций: трубопроводов и линий электропередач.

Определение охранных зон и границ отводов.

Вспомогательные элементы: скругления, автогенерируемые подписи, управление видимостью слоев.

Интерактивное редактирование: перемещение точек и углов с контролем соответствия нормам.

Модули платформы «Полотно+» разрабатываются на различных версиях целевой платформы .NET для взаимодействия с разными версиями САПР-систем, таких как AutoCAD и NanoCAD.

По предварительным оценкам экспертов, модификация модуля окупится за первые 5 месяцев эксплуатации.

Модификация платформы «Полотно+» представляется перспективным направлением автоматизации проектирования коммуникаций, прокладываемых вдоль автодорог. Система позволяет существенно упростить и ускорить процесс трассирования, а также минимизировать риски, связанные с человеческим фактором. Сохранение возмож-

ности интерактивного редактирования обеспечивает гибкость и позволяет учитывать специфические условия каждого проекта. Дальнейшее развитие платформы и расширение ее функциональности позволит еще больше повысить эффективность и качество проектирования.

Платформа «Полотно+» является инструментом, автоматизирующим рутинные процессы проектирования и помогающим специалистам избежать ошибок на ранних этапах разработки линий коммуникации. Использование данной платформы упрощает и ускоряет процесс проектирования.

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 17375–2001. Детали трубопроводов бесшовные приварные из углеродистой и низколегированной стали. отводы крутоизогнутые типа 3D (Rш 1,5D N). – М.: Стандартинформ, 2010. – С. 4–8.

2. ГОСТ Р 55990–2014. Месторождения нефтяные и газонефтяные. Промысловые трубопроводы. Нормы проектирования. – М.: Стандартинформ, 2015. – С. 9–55.

УДК 004.934.2

АНАЛИЗ ПРИЗНАКОВ ФОНЕМ С ЦЕЛЬЮ РЕКОМЕНДАЦИИ УПРАЖНЕНИЙ ИСПРАВЛЕНИЯ ДЕФЕКТОВ РЕЧИ

Д.Д. Пимонов, студент

Научный руководитель М.Ю. Катаев, проф. каф. АСУ, д.т.н.

г. Томск, ТУСУР, pimonov.daniil@bk.ru

Сравниваются характеристики фонемы у пациентов с дефектом и без него путём построения гистограмм для выявления влияния дефекта на произношение.

Ключевые слова: набор данных, dataset.

В контексте современного постиндустриального общества, характеризующегося высокой изменчивостью и технологическим прогрессом, актуализируется задача формирования наборов данных для решения аналитических задач. Одной из таких задач является создание базы данных для обучения нейросетевых моделей, направленных на автоматическое выявление дефектов речи. Подробное описание программы сбора данных представлено в [1].

На этапе обработки собранных данных каждая запись содержит информацию о пациенте, произносимой фразе и её особенностях. Структура записи включает два уникальных идентификатора: первый относится к пациенту, второй – к конкретной сессии или записи. Далее указывается анализируемая фраза (например, слово «стол»). В последующем разделе перечислены дефекты речи, выявленные лого-

педом (например, «лямбдоцизм»), а также возможные дефекты речи (например, «парасигматизм свистящих», «парасигматизм шипящих» и др.). Основная часть записи состоит из параметров, характеризующих произношение каждой фонемы в фразе. Для каждой фонемы указаны следующие параметры: длительность произнесения, громкость, вероятность правильного произнесения (значение от 0 до 1) и среднее отклонение по громкости.

Фонемы перечислены последовательно с указанием всех четырёх параметров для каждой из них. Например, для звука «s» зафиксированы его длительность, громкость, вероятность правильного произнесения и среднее отклонение по громкости.

Анализ набора данных начинается с рассмотрения записей, содержащих информацию о произношении различных фраз пациентами. Каждая запись включает данные о пациенте, фразе, дефектах речи, выявленных логопедом, и параметрах произнесения отдельных звуков (фонем). Первоначальная цель исследования заключается в изучении одной конкретной фонемы для выявления различий в её произношении у пациентов с выявленным дефектом данной фонемы и без такового.

Для достижения поставленной цели выбрана одна фонема в качестве объекта исследования. Затем были проанализированы все записи в наборе данных, где логопед отметил наличие дефекта именно в этой фонеме. Для каждой такой записи были извлечены параметры, связанные с выбранной фонемой: длительность её произнесения, громкость, вероятность правильности произнесения и среднее отклонение по громкости. Эти параметры были собраны для всех случаев, когда фонема встречалась в словах с указанным дефектом. Результаты анализа представлены на рис. 1.

После того как данные были собраны, были построены гистограммы для каждого из четырёх параметров. Гистограммы позволили визуализировать распределение значений и выявить характерные особенности произношения фонемы у пациентов с дефектом.

На следующем этапе были проделаны аналогичные действия, но теперь анализировали записи, где логопед не отметил дефекта в выбранной фонеме.

Из этих данных были построены гистограммы для тех же четырёх параметров: длительности, громкости, вероятности правильности и среднего отклонения по громкости. Результат показан на рис. 2.

В результате исследования выявлены значимые различия в произношении фонем у пациентов с дефектами речи: увеличенная длительность, большая вариативность и сниженная точность.

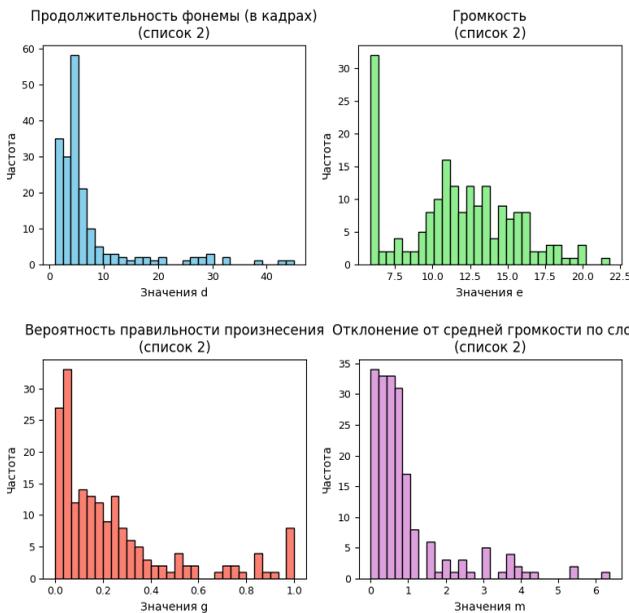


Рис. 1. Гистограммы признаков с дефектом

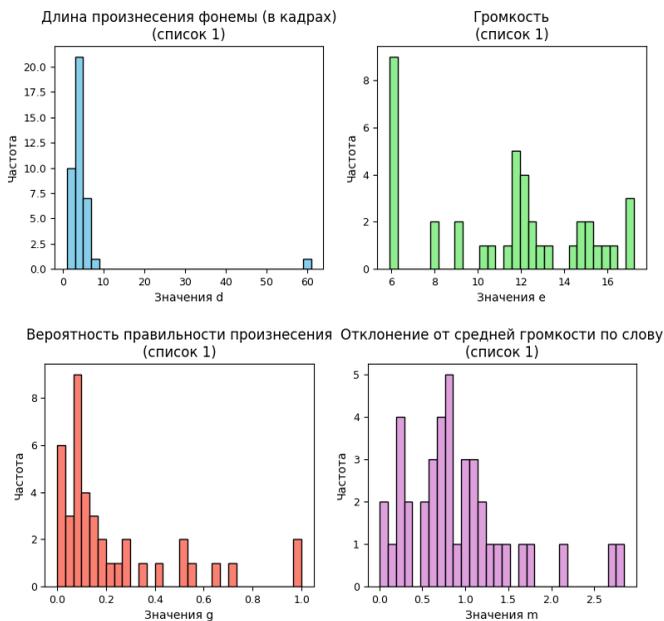


Рис. 2. Гистограммы признаков без дефектов

Также обнаружены отклонения громкости, указывающие на нестабильность артикуляции. Анализ акустических параметров подтверждает его эффективность для автоматического выявления дефектов. Полученные данные могут быть использованы для рекомендации логопедам.

ЛИТЕРАТУРА

1. Front-end часть веб-приложения сбора аудиоданных данных для формирования датасета [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://naukaip.ru/wp-content/uploads/2024/05/МК-2018.pdf>, свободный (дата обращения: 12.03.2025).

УДК 658.562.012.7

ПРОТОТИП СИСТЕМЫ ИДЕНТИФИКАЦИИ И ПРОСЛЕЖИВАЕМОСТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АЛГОРИТМОВ КОМБИНАТОРНОЙ ГЕНЕРАЦИИ НА ОСНОВЕ ДЕРЕВЬЕВ И/ИЛИ

К.С. Ражев, студент каф. ЭМИС;

А.В. Токарева, м.н.с. ЛАТИДС каф. КСУП

г. Томск, ТУСУР, defunct404@gmail.com

Представлены промежуточные результаты разработки системы идентификации и прослеживаемости. В ходе работы построен прототип системы с основным функционалом для частной задачи учёта комплексной техники на предприятиях.

Ключевые слова: система идентификации и прослеживаемости, алгоритмы комбинаторной генерации, автоматизированное рабочее место, Rank, Unrank.

Для большинства организаций и предприятий важной задачей является учёт комплексной техники и отслеживание её целостности. Однако автоматизация процесса учёта напрямую связана с вопросом управления и обработкой данных, поэтому необходимо выявить оптимальный вариант хранения и представления данных об учитываемых объектах.

Целью работы является создание прототипа системы идентификации и прослеживаемости для частной задачи учёта комплексной техники на основе модифицированного метода идентификации и прослеживаемости с использованием алгоритмов комбинаторной генерации на основе деревьев И/ИЛИ.

Учёт комплексной техники зачастую не является тем процессом, на который акцентируют внимание, так как обязательным методом

контроля активов является инвентаризация. Однако информация, собираемая для инвентаризации, носит экономический характер, в то время как материально ответственному лицу требуется знать её состояние и комплектующие, чтобы оперативно решать задачи диагностики и ремонта оборудования. В работе [1] уже была проанализирована возможность применения модифицированного метода идентификации и прослеживаемости сложных технических изделий на основе деревьев И/ИЛИ к процессу учёта комплексной техники. В данной работе представлена программа-прототип системы идентификации и прослеживаемости на основе описанного метода.

Модифицированный метод идентификации и прослеживаемости, описанный в [2], позволяет собрать всю информацию о множестве схожих изделий в одну структуру дерева И/ИЛИ, получить идентификационные номера с помощью алгоритма Rank. При этом заполнение информации об изделии или комплектующих можно разграничить для основной организации и организации-поставщика.

Допустим, в организации требуется учёт автоматизированных рабочих мест (АРМ) – персональных компьютеров с информацией о комплектующих, мониторах, периферии и всеми необходимыми материально ответственному лицу характеристиками. Для этой задачи был разработан прототип программы на языке C# с использованием Windows Presentation Foundation (WPF) – платформы разработки для создания десктопных приложений, в которой пользовательский интерфейс разработан на языке XAML [3]. Программа обеспечивает возможность хранения и обработки данных в текстовых файлах формата TXT, структуры JSON, а также поддерживает работу с реляционной базой данных MySQL. В основной функционал программы входит:

- генерация идентификационного номера АРМ с определенными комплектующими и характеристиками, используя алгоритм Rank;
- получение информации об автоматизированном рабочем месте по рангу с помощью алгоритма Unrank.

Окно программы содержит несколько элементов интерфейса: окно вывода всего дерева И/ИЛИ, окно ввода и вывода информации (рис. 1).

На рис. 2 представлена функция получения информации о комплектующих и характеристиках АРМ, которому принадлежит идентификационный номер.

В ходе работы был получен инструмент, позволяющий автоматизировать процесс идентификации комплексной техники на предприятиях. Данный прототип программы позволяет не только получать

нужную информацию об АРМ по идентификационному номеру, но и сокращает объем хранимых данных за счёт исключения дуближа информации. Следующим этапом исследования является расширение функционала программного приложения за счёт выделения прав доступа к определённым поддеревьям разным пользователям и корректировка пользовательского интерфейса с точки зрения эргономики.

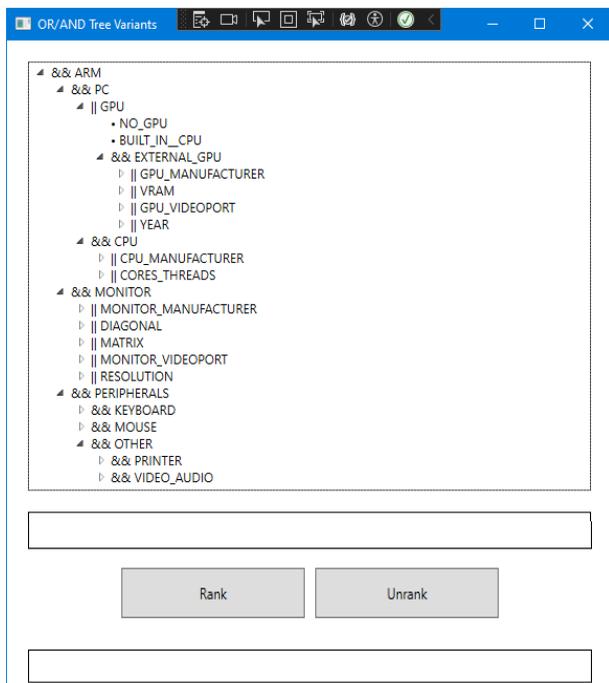


Рис. 1. Окно для ввода идентификационного номера

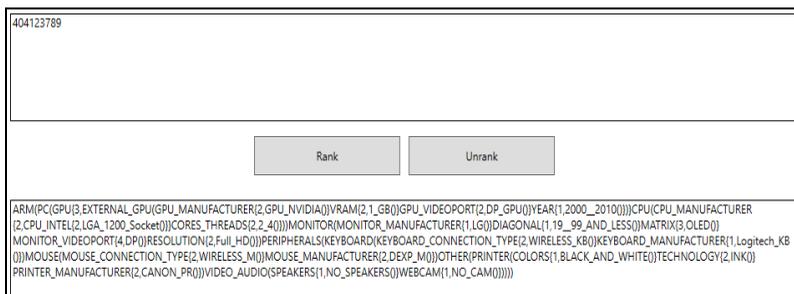


Рис. 2. Окно программы с информацией о комплектующих и характеристиках

Работа выполнена в рамках гранта Российского научного фонда (проект № 22-71-10052).

ЛИТЕРАТУРА

1. Токарева А.В. Применение модифицированного метода прослеживаемости и идентификации на основе деревьев И/ИЛИ для учёта комплексной техники // Сб. тр. XX Междунар. науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых «Перспективы развития фундаментальных наук». – Томск: Изд-во НИ ТПУ, 2024. – С. 17–19.

2. Токарева А.В. Модификация метода идентификации и прослеживаемости сложных технических изделий с применением алгоритмов комбинаторной генерации на основе деревьев И/ИЛИ / А.В. Токарева, Д.В. Кручинин // Вестник СибГУТИ. – Новосибирск: Из-во СибГУТИ, 2024. – № 3. – С. 73–85.

3. Что такое Windows Presentation Foundation [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://learn.microsoft.com/ru-ru/dotnet/desktop/wpf/overview/?view=netdesktop-9.0>, свободный (дата обращения: 11.03.2025).

УДК 004.428

ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА АВТОМАТИЗАЦИИ СБОРА И ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ДАННЫХ ПО УСПЕВАЕМОСТИ

М.И. Вишняков, студент каф. КСУП;

Н.Ю. Хабибулина, доцент каф. КСУП, к.т.н.

г. Томск, ТУСУР, vishhhnyakov@yandex.ru

Объектом исследования является деятельность деканата по повышению и анализу успеваемости студентов.

Ключевые слова: автоматизация сбора, информационная система, протокол, email-рассылка.

Целью работы является разработка информационной системы по автоматизации сбора и представления данных по успеваемости студентов и их информированию.

Для достижения цели необходимо рассмотреть существующие технологии для формирования и хранения данных и средства без применения подобных технологий для формирования и хранения данных.

Требования, выдвигаемые к информационной системе:

1) обработка *.xls и *.xlsx файлов:

- чтение данных;
- определение кафедры и семестра обучения студента;
- определение, является ли задолженность годовой;

– составление сводной таблицы с показателями успеваемости на основе второго файла с задолженностями;

– создание нового файла, состоящего из дисциплин и ФИО студентов, имеющих годовые задолженности, а также негодовые задолженности и их количество;

2) обработка *.doc и *.docx файлов:

– чтение дисциплины, даты и состава комиссии из распоряжения о формировании аттестационной комиссии;

– создание нового файла, включающего в себя считанные данные и таблицу с ФИО студентов, имеющих задолженность по дисциплине из распоряжения;

3) оповещение студентов по электронной почте:

– возможность ввода адреса электронной почты отправителя и пароля;

– возможность ввода текста письма.

В результате реализовано веб-приложение, соответствующее заданным требованиям. Программа способна формировать список ФИО студентов, их академических задолженностей.

На рис. 1 представлена созданная программой сводная таблица успеваемости студентов.

	Число		% от общего кол-ва студентов факультета	
	на 21.04.2022	на 21.04.2023	на 21.04.2022	на 21.04.2023
Приступили к сессии	4000	4000	4000	4000
Сдали сессию	3768	3619	94,2	90,475
1-2 долга	61	111	1,525	2,775
3 и более долга	171	270	4,275	6,75
Хорошо и отлично	3000	3050	3000	3050

Рис. 1. Сводная таблица успеваемости студентов

На рис. 2 представлен пример сформированного письма, информирующего студента о задолженности

Здравствуйге, Пванов Иван Иванович

Деканат факультета вычислительных систем уведомляет, что у вас есть следующие годовые задолженности:

Дисциплина	Семестр	Оценка	Контроль
Education desing	1	n/a	Зачет
Инженерная графика	1	n/a	Зачет с оценкой

Ликвидируйте задолженности в кратчайшие сроки. Всего доброго !

Рис. 2. Пример сформированного письма

На рис. 3 представлен пример сформированного протокола заседания аттестационной комиссии.

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования

«ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ
УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ» (ТУСУР)

ПРОТОКОЛ № _____ от «13» декабря 2022г.
заседания аттестационной комиссии по проведению
второй повторной промежуточной аттестации

Дисциплина/Производственная практика/Учебная практика:

Основы электротехники и электроники

Состав аттестационной комиссии (не менее 3-х человек):

Председатель комиссии:

ФИО - должность

Члены комиссии:

ФИО - должность

ФИО - должность

Результаты второй повторной промежуточной аттестации:

№ п.п.	Группа	ФИО обучающегося	Результаты второй повторной промежуточной аттестации:
1	XXX	ФИО	нет
2	XXX	ФИО	нет
3	XXX	ФИО	нет

Председатель комиссии:

_____ / ФИО

Члены комиссии:

_____ / ФИО

_____ / ФИО

Рис. 3. Протокол заседания аттестационной комиссии

Заключение. В результате разработано веб-приложение, поддерживающее возможность загрузки файлов, формирование списков задолженностей, протокола заседания аттестационной комиссии и информирование студентов, имеющих задолженности, по электронной почте.

ЛИТЕРАТУРА

1. Федеральный закон от 29.12.2012 № 273-ФЗ. Об образовании в Российской Федерации [Электронный ресурс]. – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_140174/85124c9196d691bcb8ae879146b0a2b60abef3f9/ (дата обращения: 12.02.2025).
2. Официальный сайт Java [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.java.com/> (дата обращения: 08.02.2025).
3. Роль автоматизации в современном производстве [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.el-info.ru/rol-avtomatizacii-v-sovremennom-pro/> (дата обращения: 12.02.2025).

4. Электронная почта и работа с ней в Java-приложениях [Электронный ресурс]. – URL: <https://habr.com/ru/articles/526162/> (дата обращения: 02.02.2025).

5. Эккель Брюс. Философия Java. – 6-е изд. – СПб.: Питер, 2022. – 1168 с.

УДК 004.896

СОЗДАНИЕ ТЕЛЕГРАМ-БОТА (НЕЙРОТИМБОТ) НА AIOGRAM 3 С ИНТЕГРАЦИЕЙ МУЛЬТИМОДАЛЬНОЙ НЕЙРОСЕТИ QWEN2.5-OMNI-7B ДЛЯ ОБРАБОТКИ ТЕКСТОВЫХ И ВИЗУАЛЬНЫХ ДАННЫХ

***Н.А. Мякшин, аспирант напр. гидротехнического строительства
гидравлики и инженерной гидрологии***

*Научные руководители: Н.В. Гавриловская, к.т.н., доцент каф.
систем автоматизированного проектирования и инженерных расче-
тов; О.М. Кузина, ст. преп. каф. сельскохозяйственных мелиораций
г. Москва, ФГБОУ ВО РГАУ – МСХА им. К.А. Тимирязева,
miakshin_na@rgau-msha.ru*

Рассмотрен вариант создания телеграм-бота на основе библиотеки Aiogram 3 для Python с интеграцией мультимодальной нейросетевой модели Qwen2.5-Omni-7B. Подчеркивается важность использования мультимодальных моделей для автоматизации бизнес-процессов и повышения эффективности взаимодействия с пользователями. Приведены примеры практического применения созданного решения в образовательных проектах.

Ключевые слова: Telegram, телеграм-бот, ТимБот, НейроТимБот Aiogram 3, Python, мультимодальная нейросеть, Qwen2.5-Omni-7B, обработка изображений, текстовая обработка, автоматизация, frontend, цифровые технологии, образование, IT-проекты.

В современных условиях цифровой трансформации телеграм-боты становятся важным инструментом для автоматизации различных процессов от клиентской поддержки до анализа данных [1]. Библиотека Aiogram 3 представляет собой мощный инструмент для создания Telegram-ботов на языке программирования Python. Однако для расширения функциональности ботов часто требуется интеграция с передовыми технологиями, такими как искусственный интеллект и мультимодальные нейросети [7]. В данной статье рассматривается процесс создания телеграм-бота на Aiogram 3 с подключением мультимодальной модели Qwen2.5-Omni-7B [6] для обработки текстовых и визуальных данных. Это решение будет применяться в образовательном проекте «ТимБот» [2], где требуется анализ документов и изображений для назначения стипендий студентам и поиска дубликатов.

Выбор библиотеки для создания бота. На сегодняшний день существует множество библиотек для создания Telegram-ботов на Python, таких как TeleBot, PyTelegramBotAPI, и Aiogram. Каждая из них имеет свои преимущества и недостатки.

Aiogram 3. Библиотека Aiogram 3 отличается высокой производительностью благодаря своей асинхронной архитектуре. Она предоставляет широкие возможности для создания сложных ботов с поддержкой FSM (Finite State Machine) и удобными средствами работы с клавиатурами и callback-запросами.

Выбор Aiogram 3 для нашего проекта был обусловлен необходимостью обработки большого объема запросов и интеграции с мультимодальными нейросетями [1].

Процесс интеграции модели включал следующие этапы:

- Подготовка окружения: установка необходимых библиотек (torch, transformers) и загрузка весов модели Qwen2.5-Omni-7B.
- Обработка входных данных: реализация функции для преобразования изображений и текста в формат, понятный модели.
- Выполнение предсказаний: генерация ответов на основе входных данных с использованием метода .generate() модели.

Практическое применение. Разработанный бот находится в стадии разработки и будет участвовать в проекте «ТимБот» для анализа документов студентов, таких как дипломы и грамоты [2]. Бот принимает изображения документов, отправленные пользователями, и использует нейросеть для их распознавания и анализа. Полученные результаты сохраняются в базе данных SQLite для дальнейшей обработки.

Заключение. Создание телеграм-бота на Aiogram 3 с интеграцией мультимодальной нейросети Qwen2.5-Omni-7B представляет собой эффективное решение для автоматизации процессов обработки текстовых и визуальных данных. Благодаря высокой производительности Aiogram 3 и возможностям модели Qwen2.5-Omni-7B, разработанное решение демонстрирует высокую точность и скорость работы.

Практическое применение данного подхода показывает его потенциал для использования в различных сферах, включая образование, здравоохранение и управление рисками в АПК [1]. Будущее развитие проекта может включать внедрение дополнительных функций, таких как детектирование аномалий и прогнозирование [4].

ЛИТЕРАТУРА

1. Мякшин Н.А. Использование ботов в качестве front-end в разработке it-проектов в АПК // Управление рисками в АПК. – 2024. – № S3 (53). – С. 592–599.

2. Св-во о гос- регистр- программы для ЭВМ № 2024618179 Российская Федерация. Чат-бот для студентов «ТимБот» в мессенджере Telegram: заявл. 29.03.2024; опубл. 09.04.2024 / Н.В. Гавриловская, Ю.А. Мырксина, Н.А. Мякшин и др.; заявитель ФГОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева».

3. Мякшин Н.А. Гидромелиорация и адаптация к изменениям климата // Вестник мелиоративной науки. – 2023. – № 3. – С. 41–47.

4. Мякшин Н.А. Влияние изменения климата на экосистемы водоемов: роль цифровых технологий в мониторинге и адаптации // Вестник мелиоративной науки. – 2024. – № 3. – С. 102–113.

5. Св-во о гос. регистр. программы для ЭВМ № 2023689124 Российская Федерация. Модель оценки состояния мелиоративной отрасли РФ, оптимизация и прогноз развития: заявл. 30.11.2023; опубл. 26.12.2023 / Д.М. Бенин, Н.В. Гавриловская, Н.А. Мякшин и др.; заявитель ФГОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева».

6. Св-во о гос- регистрации программы для ЭВМ № 2024692119 Российская Федерация. Применение больших языковых моделей для автоматизации проверки соответствия целевых индикаторов и программных мероприятий: заявл. 14.12.2024; опубл. 26.12.2024 / А.А. Червяков, Ш.Г. Магомедов, Н.Ш. Газанова и др.; заявитель ФГБОУ ВО «МИРЭА – Российский технологический университет».

7. Иванов Н.В. Искусственный интеллект в бизнесе: реалии и возможности / Н.В. Иванов, С.Н. Марков // Вестник Алтайской академии экономики и права. – 2025. – № 1. – С. 52–60.

8. An Entity Extraction Pipeline for Medical Text Records Using Large Language Models: Analytical Study / L. Wang, Y. Ma, W. Bi et al. // Journal of Medical Internet Research. – 2024. – Vol. 26. – P. e54580. DOI 10.2196/54580.

Секция 6

ЭКОЛОГИЯ И МОНИТОРИНГ

ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ.

БЕЗОПАСНОСТЬ

ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

*Председатель секции – Карташев А.Г., проф. каф. РЭТЭМ, д.б.н.;
зам. председателя – Денисова Т.В., доцент каф. РЭТЭМ, к.б.н.*

УДК 631.467.2, 665.61

**ВЛИЯНИЕ НЕФТЕЗАГРЯЗНЕНИЙ НА СООБЩЕСТВА
ПОЧВЕННЫХ НЕМАТОД НА ТЕРРИТОРИИ
ТОМСКОЙ ОБЛАСТИ**

***И.И. Абдуллаева, О.А. Достовалова, студенты каф. РЭТЭМ**
Научный руководитель С.А. Калашиникова, ст. преп. каф. РЭТЭМ
Проект ГПО РЭТЭМ-2401. Влияние нефтезагрязнений
на сообщества почвенных нематод
г. Томск, ТУСУР, dostovalova_olya@mail.ru*

Представлены результаты исследования влияния нефтезагрязнений на сообщества почвенных нематод в условиях лабораторного эксперимента. Изучены динамика численности и родовой состав нематод при различных концентрациях нефти. Полученные данные демонстрируют возможность использования почвенных нематод в качестве биоиндикаторов для оценки состояния почв и мониторинга изменений окружающей среды. Внимание уделено практическому применению результатов исследования для разработки методов биоиндикации и оценке техногенного воздействия на почвенные экосистемы.

Ключевые слова: почвенные нематоды, нефть, нефтезагрязнения, биоиндикация, экологический мониторинг, лабораторный эксперимент.

Нефтезагрязнения являются одной из наиболее актуальных экологических проблем, особенно в регионах с развитой нефтедобывающей промышленностью. Нематоды как важные компоненты почвенной биоты играют ключевую роль в разложении органических веществ и поддержании биологического равновесия в почве. В связи с этим изучение влияния нефтезагрязнений на почвенные нематоды представляет значительный интерес для разработки методов биоиндикации и мониторинга состояния почв.

Целью данного исследования было изучение влияния различных концентраций нефти на численность и родовой состав почвенных нематод в лабораторных условиях.

Для эксперимента были отобраны образцы почвы из парковой зоны г. Томска. В лабораторных условиях изучалось влияние различных концентраций нефти (25 и 50 г/кг) на сообщества почвенных нематод.

Результаты исследования показали, что нефтезагрязнения оказывают значительное влияние на численность и родовой состав почвенных нематод.

Особенно выраженные изменения были отмечены для бактериотрофов (рис. 1), численность которых значительно увеличивалась при высокой концентрации нефти (50 г/кг). Это может быть связано с тем, что бактериотрофы питаются бактериями, которые активно разлагают нефтепродукты. В то же время некоторые роды нематод, такие как *Plectus* и *Eudorylaimus*, быстро исчезали при загрязнении нефтью, что свидетельствует об их высокой чувствительности к нефтезагрязнениям.

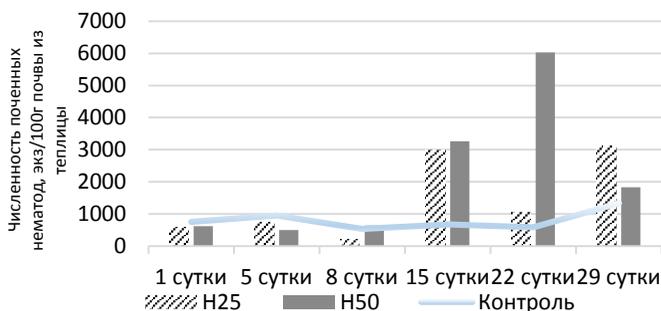


Рис. 1. Динамика численности бактериотрофов в тепличных образцах почвы

На первом участке исследования (менее урбанизованная зона) наблюдались более выраженные изменения численности нематод, тогда как на втором участке (городская среда) изменения были менее

резкими, что может быть связано с большей устойчивостью почвенной биоты к внешним воздействиям (рис. 2).

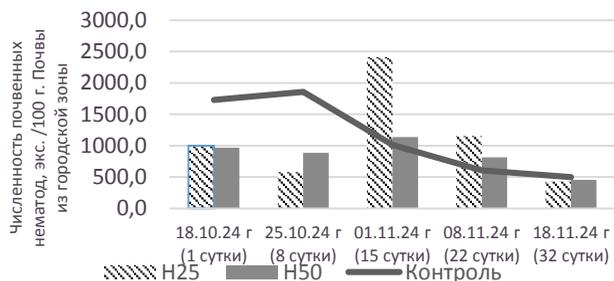


Рис. 2. Динамика численности бактериотрофов в образцах городской зоны

Полученные результаты имеют важное практическое значение для разработки методов биоиндикации и мониторинга состояния почв. Некоторые роды почвенных нематод, такие как *Mesorhabditis* и *Heterocerphalobus*, продемонстрировали высокую устойчивость к нефтезагрязнениям и могут быть использованы в качестве биоиндикаторов для оценки состояния почв.

На основе динамики численности и родового состава нематод можно разработать индексы, позволяющие оценивать уровень загрязнения почвы нефтью. Например, увеличение численности бактериотрофов при высокой концентрации нефти может служить индикатором активного разложения нефтепродуктов в почве.

Результаты исследования могут быть использованы для оценки эффективности мероприятий по рекультивации нефтезагрязненных почв. Восстановление численности и разнообразия нематод может служить показателем успешности рекультивационных работ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Нематоды. Круглые черви [Электронный ресурс]. – URL: <https://biology.su/zoology/nematode> (дата обращения: 23.12.2024).
2. Савкина Е.В. Почвенные нематоды как биоиндикаторы в черноземах Северного Казахстана при разных способах обработки / Е.В. Савкина, Б.А. Нугманов, Ю.В. Тулаев // Почвоведение и агрохимия. – 2017. – № 1.
3. Кудрин А.А. Методы исследования сообществ почвенных нематод / А.А. Кудрин, А.А. Сушук // Российский журнал экосистемной экологии. – 2022. – № 2.
4. Методические основы изучения фитопаразитических нематод: учеб.-метод. пособие / Е.М. Матвеева, А.А. Сушук, Д.С. Калинин, В.В. Займль-Бухингер. – Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2018.
5. Т-тест Стьюдента в анализах данных: комплексное исследование [Электронный ресурс]. – URL: <https://ru.statisticseasily.com/студенты-т-тест/> (дата обращения: 23.12.2024).

ВЫЯВЛЕНИЕ МЕТАБОЛИЧЕСКИ АКТИВНЫХ БАКТЕРИЙ В ПРИРОДНОМ ВОДОЕМЕ МЕТОДОМ МЕТАБАРКОДИНГА*М.П. Бухтояров, лаборант-исследователь;**Е.М. Астахова, н.с., аспирант**Научный руководитель А.А. Черемискина, с.н.с., к.б.н.
р.п. Кольцово, ФБУН ГНЦ ВБ «Вектор» Роспотребнадзора,
lilisunlock@gmail.com*

Исследование бактериального разнообразия водоемов в разные сезоны года является важной задачей для понимания этапов жизнедеятельности микроорганизмов в биогеоценозе водоема. Часто только молекулярно-биологическими методами можно выявить активно участвующие в природных биогеоценозах, но плохо культивируемые микроорганизмы. Представлен нестандартный метод молекулярно-биологического исследования, представляющий собой использование случайных праймеров, нацеленных на свободные фрагменты РНК бактерий, проявляющих метаболическую активность. Отбор проб льда, снега и воды для анализа проводили в апреле 2024 г. с оз. Сектинское, расположенного в Коченевском р-не Новосибирской обл., в период активного таяния снежного покрова с периодическим выпадением осадков. Исследование выполняли методом метабаркодинга, нацеленным на получение неизвестных геномных РНК фрагментов. Первый этап метода заключался в амплификации фрагментов РНК путем проведения полимеразной цепной реакции с обратной транскрипцией. Второй этап – секвенирование амплифицированных фрагментов ДНК с использованием платформы Illumina Platform. Считанные нуклеотидные последовательности классифицировали по таксономическим характеристикам. **Ключевые слова:** бактериальное разнообразие, биогеоценоз водоема, молекулярно-биологические методы, метабаркодинг, РНК.

Бактериальное разнообразие водоёмов играет важную роль в поддержании экосистемной устойчивости и здоровья окружающей среды [1, 2]. Молекулярно-биологические методы, такие как полимеразная цепная реакция (ПЦР) и секвенирование 16S рРНК, являются современными и высокоэффективными инструментами для изучения микробного разнообразия водоемов [3]. Однако данные методы имеют свои сложности и недостатки, зачастую связанные с низкой концентрацией микроорганизмов.

В работе предложен нестандартный подход исследования бактериального состава природных образцов с низкой концентрацией микроорганизмов путем получения неизвестных РНК-последовательностей. Преимущество предлагаемого подхода выявления метаболи-

чески активных микроорганизмов заключается в проведении ПЦР с обратной транскрипцией и использовании набора случайных праймеров, нацеленных на свободные фрагменты РНК.

Цель работы – получение из малого объёма природных образцов информации о метаболически активных микроорганизмах методом метабаркодинга.

Анализировали следующие пробы: образцы снега с сохранившегося заснеженного участка; образцы весеннего льда с прибрежной зоны озера; образцы воды с оттаявшего участка среди зарослей камыша большого озера; вода с малого озера со скоплением прилетевших водоплавающих птиц. Пробы отбирали в апреле 2024 г. в период активного таяния снега с оз. Сектинское (Коченевский р-н, Новосибирская обл.) со стабильной экосистемой и сезонным влиянием на его микробиом большого количества перелетных водоплавающих птиц.

Суммарную РНК выделяли с использованием набора «РеалБест экстракция 100» на магнитных частицах (Вектор-Бест, Россия). Обратную транскрипцию для перевода последовательности РНК в комплементарную ДНК (кДНК) с дальнейшим проведением ПЦР проводили с использованием наборов RNAscribe RT (Био-ЛабМикс, Россия) и БиоМастер LR HS-ПЦР (2x) (БиоЛабМикс, Россия). Секвенирование и подготовка библиотеки кДНК выполнены в Центре геномных исследований ФБУН ГНЦ ВБ «Вектор» Роспотребнадзора на приборе MiSeq («Illumina», США). Сопоставление собранных контигов с пользовательской вирусной базой данных проводили с помощью программы BLASTx.

В результате анализа полученных прочтений нуклеиновых кислот (НК) бактериального состава микробиома в образцах самыми многочисленными оказались представители *Gamma*proteobacteria, *Beta*proteobacteria, *Cytophagia*, *Actinomycetes*. Наибольшее количество прочтений получено из пробы воды с оттаявшего участка среди зарослей камыша большого озера. Также в пробах снега обнаружены бактерии, которые полностью отсутствовали в пробах льда и воды. Это представляет интерес для дальнейшего изучения возможного влияния атмосферного переноса на бактериальный состав водоема.

На рис. 1 представлена диаграмма, отображающая общее количество прочтений бактериальных НК в различных пробах.

В результате работы получены следующие выводы:

– представляет интерес дальнейшее изучение микробиома водоема для понимания естественного перехода бактериальной жизни из одной среды обитания в другую, а также возможный путь атмосферного переноса;

– представленный нестандартный молекулярно-биологический метод можно считать хорошим дополнением к основному анализу по 16S рРНК, что поможет подтверждать метаболическую активность анализируемых микроорганизмов.

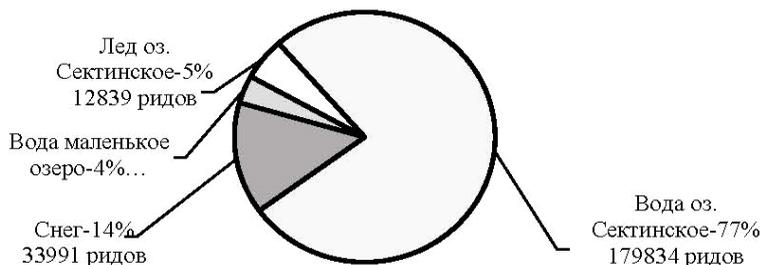


Рис. 1. Доля прочтений нуклеиновых кислот в каждой пробе от общего количества

Использованием различных молекулярно-биологических методов удается идентифицировать отдельные микроорганизмы, не выявляемые культуральными методами. Таким образом, есть вероятность выявить микроорганизмы биогеоценоза и их возможную взаимосвязь.

Работа выполнена при поддержке Государственного задания Роспотребнадзора ГЗ 11/21.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бактериальные лизаты в педиатрии / Т.П. Маркова, М.Н. Ким, Д.Г. Чувириков, А.Г. Чувирикова, Л.Г. Ярилина // Педиатрия (Москва). – 2016. – Т. 95, № 5. – С. 91–98.
2. Шукурова Ш.Ш. Роль микроорганизмов в обмене органических веществ в лимнических экосистемах // Экономика и социум. – 2022. – № 9 (100). – С. 794–797.
3. Кишечный микробиоценоз, пищевая толерантность и пищевая аллергия. Современное состояние проблемы / С.Г. Макарова, М.Н. Болдырева, Т.Е. Лаврова, М.И. Петровская // Вопросы современной педиатрии (Москва). – 2014. – № 3. – С. 21–29.

УДК 581.5, 004.932.2

АНАЛИЗ ДОЛГОВРЕМЕННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВОГО ПРИБОРА MODIS

Д.Е. Гостюхина, М.Д. Тюкаев, студенты

*Научный руководитель А.К. Лукьянов, доцент каф. АСУ, к.т.н.
Проект ГПО АСУ– АСУ-2301. Поиск изменений поверхности Земли
по спутниковым данным
г. Томск, ТУСУР, fogame@yandex.ru*

Приведен сравнительный анализ нормализованного вегетационного индекса за летние месяцы с 2001 по 2024 г. для оценки изменений растительного покрова земли в Западной Сибири. Для анализа использовались продукты MOD13Q1 спектро радиометра MODIS.

Ключевые слова: нормализованный вегетационный индекс, NDVI, MODIS, изменение поверхности, растительный покров.

Современные технологии дистанционного зондирования Земли открывают перед нами уникальные возможности для мониторинга состояния окружающей среды и сельскохозяйственных угодий. Одним из многих инструментов в этой области является анализ нормализованного разностного вегетационного индекса (NDVI) [1], который позволяет оценивать состояние растительного покрова на основе спутниковых снимков. Оценка с помощью NDVI широко используется в сельском хозяйстве, экологии, климатологии и других научных и практических сферах, предоставляя важные данные для принятия решений.

В России каждый год возникает от 10 до 50 тыс. лесных пожаров, и их количество зависит от погодных условий, человеческого фактора, видов производственных работ. Пожары не только разрушают экосистемы, но и способствуют выбросам парниковых газов. Но не только пожары могут доставить проблемы, но также и вырубка лесов, которая нужна для заготовки древесины и расчистки территорий для сельского хозяйства, также не стоит исключать, что некоторые лица могут незаконно вырубать лес. Из этого следует, что важно ежегодно отслеживать состояние растительности.

Сам индекс NDVI несёт в себе информацию о растительности на участке поверхности. NDVI может принимать значения от -1 до 1 , где высокое значение означает, что данная поверхность отражает солнечное излучение тех же частот, что и поверхность, покрытая растительностью. Исходя из значения NDVI, можно определить тип поверхности, является ли она участком поля, лесом или водоёмом. Но самое

главное предназначение NDVI – определение растительной поверхности, ведь он позволяет отличать лес от кустарников и травы, слабую растительность от сильной. Если имеется некоторая временная выборка, тогда, основываясь на динамике изменений индекса на одном и том же участке, можно определить причину изменений поверхности.

Для изучения был выбран набор снимков прибора MODIS [2], охватывающих территорию площадью 1,44 млн км². Снимки затрагивают территорию Томской, Новосибирской, Тюменской областей, а также территорию Алтайского края и ряда северных районов Казахстана.

Обработка данных проходит несколько шагов. На первом шаге из файлов MODIS формата hdf [3] извлекаются данные о NDVI. Данные имеют пространственное разрешение 250 м и временное разрешение 16 дней. Извлеченные значения NDVI записываются в файлы формата GeoTIFF для дальнейшего использования. Файлы формата GeoTIFF сохраняют метаданные исходных файлов, таких как географическая привязка, и позволяют легко интегрировать данные в географические информационные системы (ГИС) [4].

Вторым шагом стал расчёт средних значений NDVI для каждого пикселя за период летних месяцев каждого года. В результате состояние растительности для каждого пикселя изображений стало возможно оценить одним значением за год.

Третьим шагом, помимо непосредственного сравнения NDVI за разные годы, стало построение линейной регрессии для значений каждого пикселя за период с 2001 по 2024 г. Таким образом, были высчитаны три значения, по которым можно оценить состояние растительности и динамику его изменения: свободный член уравнения регрессии, который равен значению NDVI в начале периода; угол наклона тренда, который показывает степень изменения растительности; значения прямой в конце периода – значения NDVI в конце периода.

Углы наклона тренда для исследуемой области практически полностью укладываются в диапазон от $-0,01$ до $0,01$. Для всей области в целом не удалось выявить чёткой тенденции к упадку или увеличению растительности (рис. 1). Тем не менее хорошо заметно, что растительность угнетается на юге и имеет тенденцию к увеличению на севере исследуемой области (рис. 2).

Дальнейшие исследования предполагают выделение кластеров, в которых растительность изменяется похожим образом, и выявление причин этих изменений, таких как изменение температуры, влажности и других условий.

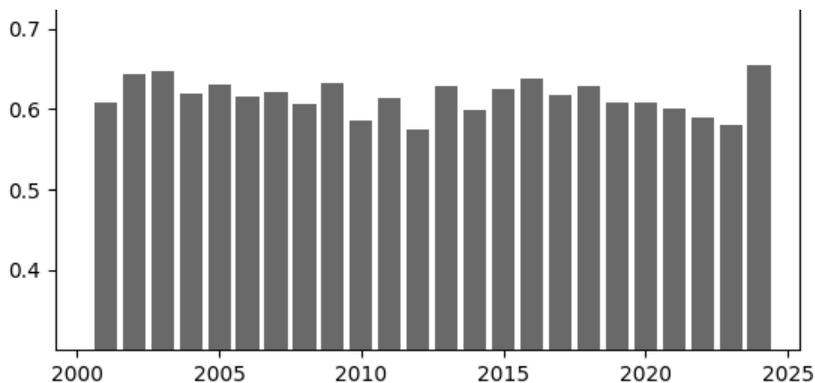


Рис. 1. Среднее значение NDVI для всей исследуемой области по годам

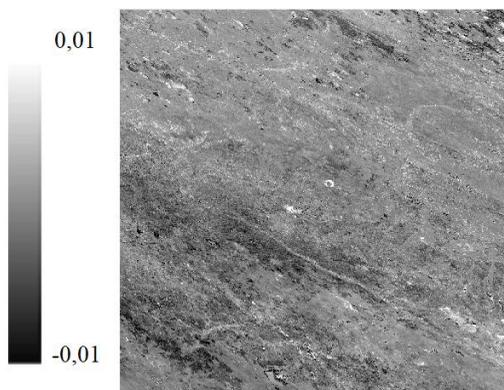


Рис. 2. Значение наклона тренда

ЛИТЕРАТУРА

1. NDVI – теория и практика [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://gis-lab.info/qa/ndvi.html>, свободный (дата обращения: 13.02.2025).
2. Некоторые данные прибора MODIS [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ru.wikibooks.org/wiki/Некоторые_данные_прибора_MODIS, свободный (дата обращения: 13.02.2025).
3. Hierarchical Data Format – Википедия [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Hierarchical_Data_Format, свободный (дата обращения: 13.02.2025).
4. QGIS – геоинформационная система. База знаний РЕД ОС. – Википедия [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://redos.red-soft.ru/base/redos-7_3/7_3-education/7_3-qgis/?nocache=1742131050217, свободный (дата обращения: 13.02.2025).

**МЕХАНИЗМ ПРИНЯТИЯ И РЕАЛИЗАЦИИ РЕШЕНИЙ
ОРГАНАМИ РСЧС В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВОГО
ПЛАТФОРМЕННОГО МЕЖВЕДОМСТВЕННОГО
ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ (НА ПРИМЕРЕ ОРГАНИЗАЦИИ
БЕЗОПАСНОГО ПРОПУСКА ПАВОДКОВЫХ ВОД
НА ТЕРРИТОРИИ КРАСНОЯРСКОГО КРАЯ)**

*А.А. Сержинмаа, В.Ю. Яровой, м.н.с.
каф. пожарной тактики¹;*

Я.В. Гребнев, инж.-исслед. НИЧ², к.т.н.

*¹ФГБОУ ВО «Сибирская пожарно-спасательная академия
ГПС МЧС России»;*

*²ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет»
г. Красноярск, yardesignmarket@yandex.ru,
yarovoivicheslav@yandex.ru, yaroslav.grebnev@gmail.com*

Рассмотрен механизм принятия и реализации решений органами Единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций (РСЧС) в условиях цифрового платформенного межведомственного взаимодействия. На примере организации безопасного пропуска паводковых вод на территории Красноярского края показаны возможности использования современных технологий, таких как математическое моделирование и геопорталы, для повышения эффективности прогнозирования и предотвращения чрезвычайных ситуаций природного характера.

Представлены результаты моделирования зон затопления с использованием программного комплекса MIKE FLOOD, которые позволяют определить риски подтопления территорий при различных уровнях обеспеченности паводков (1, 3, 5, 10, 25, 50%). Описаны подходы к интеграции данных гидрометеорологического мониторинга, визуализации информации в виде интерактивных карт и обеспечению оперативного взаимодействия между ведомствами.

Ключевые слова: РСЧС, цифровое взаимодействие, математическое моделирование, паводки, зоны затопления, MIKE FLOOD, геопорталы, Красноярский край, межведомственное взаимодействие.

Современные вызовы, связанные с увеличением частоты и масштабов чрезвычайных ситуаций (ЧС) природного характера, требуют внедрения инновационных подходов в систему предупреждения и ликвидации последствий ЧС [1]. Одним из ключевых направлений развития государственного регулирования в этой области является создание цифровых платформ для межведомственного взаимодействия, которые позволяют интегрировать данные из различных источников, моделировать сценарии развития ЧС и оперативно принимать

решения [2]. В данной статье рассматривается механизм принятия и реализации решений органами РСЧС на примере организации безопасного пропуска паводковых вод на территории Красноярского края.

Красноярский край, обладая обширной гидрографической сетью (более 20 000 рек и около 6 000 озер), ежегодно сталкивается с проблемой паводков [3], которые наносят значительный ущерб экономике и жизнедеятельности населения. Особую опасность представляют заторы льда, приводящие к наводнениям. В условиях изменения климата и увеличения частоты экстремальных погодных явлений актуальность разработки эффективных механизмов прогнозирования и предотвращения паводковых ЧС возрастает.

Для повышения эффективности работы РСЧС в условиях цифровизации предлагается создание единой платформы, интегрирующей данные гидрометеорологического мониторинга, результаты математического моделирования и информацию от различных ведомств. Такая платформа должна обеспечивать:

Интеграцию данных: сбор информации с метеостанций, гидропостов, ГЭС и других источников в режиме реального времени.

Моделирование сценариев: использование программных комплексов, таких как MIKE FLOOD, для прогнозирования зон затопления и оценки рисков.

Визуализацию данных: представление информации в виде интерактивных карт, графиков и аналитических отчетов для лиц, принимающих решения.

Межведомственное взаимодействие: обеспечение доступа к данным и результатам моделирования для всех участников процесса, включая МЧС, гидрометеорологические службы и местные администрации.

Для прогнозирования паводков и определения зон затопления используется программный комплекс MIKE FLOOD [4], который позволяет моделировать движение поверхностных вод с учетом множества факторов, таких как рельеф местности, характеристики русла рек и климатические условия. На основе данных гидрологической сети Красноярского края были проведены расчеты, позволяющие определить зоны затопления при различных уровнях обеспеченности (1, 3, 5, 10, 25, 50%).

Веб-реализация результатов обработки данных позволяет представить информацию в виде интерактивных карт, содержащих динамические ссылки на кросстаблицы, графическую аналитику и рекомендации. Это обеспечивает гибкость в использовании данных для разных групп пользователей (руководители, эксперты, операторы).

Интеграция технологий геопорталов с мобильными приложениями позволяет получать прогнозы и оперативные предупреждения в зависимости от местоположения пользователя. Это особенно важно для населения, проживающего в зонах риска.

На примере населенного п. Ярцево, расположенного на р. Енисей, были проведены расчеты и построена двумерная цифровая модель рельефа. Моделирование позволило определить зоны затопления при различных уровнях обеспеченности паводков. Так, при 1% обеспеченности площадь затопления составляет 13,775 км², а при 50% обеспеченности – 5,462 км².

Результаты моделирования показали, что наиболее уязвимыми являются территории с глубиной залегания грунтовых вод менее 0,3 м (сильное подтопление), от 0,3 до 2,0 м (умеренное подтопление) и от 2,0 до 3,0 м (слабое подтопление). На основе этих данных были разработаны рекомендации по проведению берегоукрепительных работ и других превентивных мероприятий.

Предложенный механизм принятия и реализации решений органами РСЧС в условиях цифрового платформенного взаимодействия позволяет повысить эффективность прогнозирования и предотвращения паводковых ЧС. Использование современных технологий, таких как математическое моделирование и геопорталы, обеспечивает оперативность и точность принимаемых решений. Внедрение таких подходов в практику РСЧС будет способствовать снижению ущерба от наводнений и повышению уровня безопасности населения.

Результаты работы демонстрируют, что предложенный механизм позволяет не только прогнозировать развитие паводковых ситуаций, но и разрабатывать превентивные мероприятия, направленные на снижение ущерба и повышение уровня безопасности населения. Внедрение таких подходов в практику РСЧС способствует повышению эффективности системы предупреждения и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 25-21-20088 «Совершенствование методологии построения регионального сегмента системы комплексной безопасности жизнедеятельности населения и техносферы в условиях изменения климатических условий».

ЛИТЕРАТУРА

1. Кайгородцев Е.А. Цифровизация и развитие системы управления по защите населения и территории от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера // Молодые ученые в решении актуальных проблем безопасности: сборник матер. IX Всерос. науч.-практ. конф., 30 ноября 2020 г.,

г. Железногорск. – Изд-во: ФГБОУ ВО Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2020. – 548 с.

2. Ничепорчук В.В. Информационное обеспечение управления природно-техногенной безопасностью // Сибирский пожарно-спасательный вестник. – 2016. – № 1. – С. 49–54.

3. Оценка и районирование риска чрезвычайных ситуаций для территории Красноярского края / А.М. Лепихин, В.В. Москвичев, В.В. Ничепорчук, А.В. Тридворнов // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. – 2007. – № 5. – С. 124–133.

4. Mike Flood [Электронный ресурс]. – URL: <https://echyden.ru/programmy/rechnye-sistemy4/mike-flood/> (дата обращения: 22.02.2025).

УДК 646/649

ДОМАШНЯЯ МОДУЛЬНАЯ МЕТЕОСТАНЦИЯ НА ARDUINO

М.А. Черепанов, В.С. Гориченко, Е.А. Мамонтова, И.Е. Дьяченко,

Р.Э. Исмагилов, Д.Д. Зубанов, студенты ИЯТШ

г. Томск, НИ ТПУ, mixail-cherepanov2000@mail.ru

Проведены исследования в области совместимости различных электротехнических модулей и их настройки для модульного подключения. Разработана схема домашней метеостанции, состоящей из двух модулей: базового и внешнего погодного.

Ключевые слова: Arduino, атмосферное давление, температура, влажность, модуль Wi-Fi, датчик газа.

Данная работа направлена на создание системы, состоящей из модулей, предназначенных для измерения как погодных условий на улице, так и микроклимата в помещениях.

В результате выполнения данной работы планируется получить готовую модель метеостанции, которая будет проводить сбор и анализ данных о климатических условиях на улице и в помещении, а также поможет в решении проблемы поддержания здоровья и комфортных условий жизни.

Разработанная домашняя метеостанция состоит из двух модулей:

1) внешний погодный модуль, схема электрическая принципиальная которого приведена на рис. 1;

2) базовый модуль, схема электрическая принципиальная которого приведена на рис. 2.

Внешний погодный модуль состоит из следующих компонентов: платы Arduino Nano, модуля BMP280, Wi-Fi модуля ESP8266-01, датчика АНТ10. Он способен измерять атмосферное давление, температуру, влажность, а также передавать информацию на расстояние беспроводным сигналом.

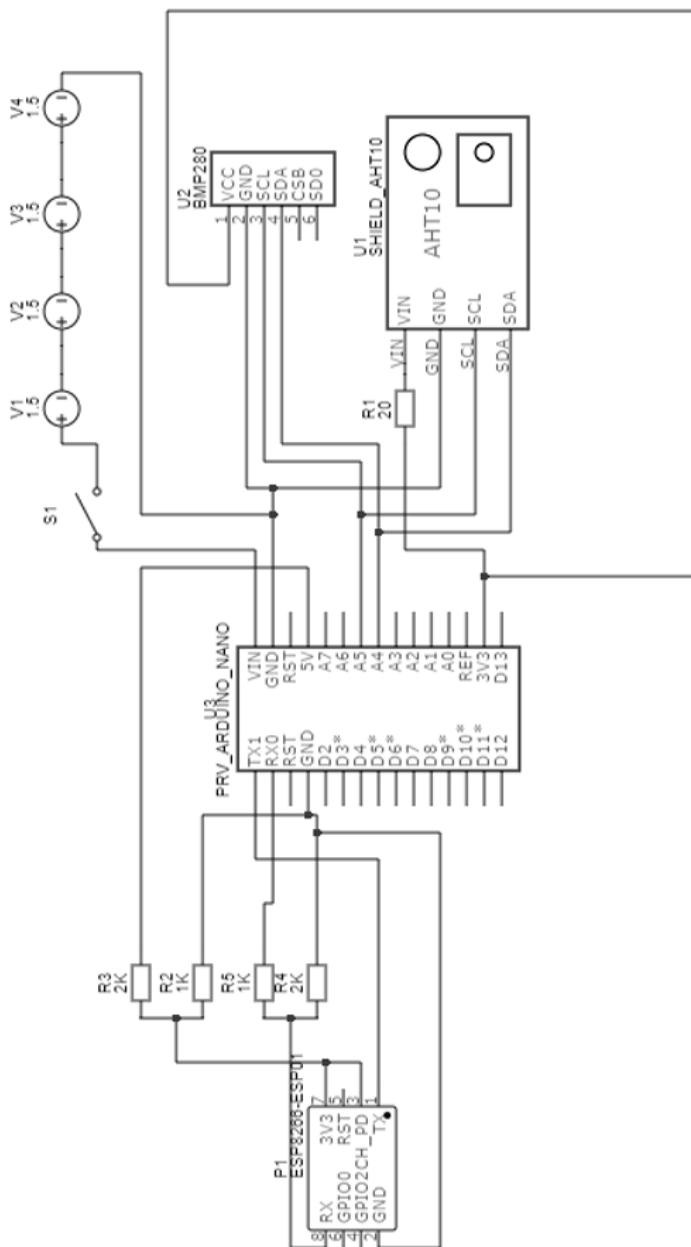


Рис. 1. Схема электрическая принципиальная внешнего погодного модуля

В результате работы была создана домашняя модульная метеостанция на базе микроконтроллера Arduino, имеющая следующие функциональные возможности:

- измерение ряда метеорологических характеристик окружающей среды (атмосферное давление, температура, влажность воздуха);
- обнаружение газа в помещении;
- графическое отображение текущих измеренных значений на экране, а также визуализация текущего состояния погоды в виде картинки;
- независимая работа двух модулей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сай Яманур. Raspberry Pi Pico в любительских проектах. Создание интересных проектов для домашней автоматизации, заботы о здоровье, садоводства и гражданской науки / Сай Яманур, Шрихари Яманур; пер. с англ. Ю.В. Ревича. – М.: ДМК-Пресс, 2023. – 282 с.
2. Барретт С.Ф. Arduino: искусственный интеллект и машинное обучение / пер. с англ. Ю.В. Ревича. – М.: ДМК-Пресс, 2024. – 242 с.

УДК 631.95

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ АГРОСИСТЕМЫ МАЛОГО ОБЪЕМА

А.Н. Шабунина, студентка каф. РЭТЭМ

*Научный руководитель Н.Н. Терещенко, д.т.н., проф. каф. РЭТЭМ
г. Томск, ТУСУР, Grizina02@yandex.ru, natlia.n.tereshchenko@tusur.ru*

С целью анализа основных характеристик объекта исследования и действующих на него факторов были использованы модель черного ящика и модель на основе графа.

Ключевые слова: агросистема, черный ящик, руккола, граф.

Модель «Черный ящик» представляет собой упрощенное отображение реальной системы, где учитываются только входные и выходные данные без учета внутренней структуры [1].

Этот подход особенно полезен, когда внутренние процессы системы слишком сложны для изучения или недоступны из-за ограниченных ресурсов. Он сосредоточен на том, как система взаимодействует с внешней средой [2].

В данном исследовании объектом моделирования стала агросистема малого объема на основе растений рукколы (рис. 1). Входные управляющие воздействия включали: керамзит (400 г) – дренажный материал, торф (400 г) – органический субстрат, габбро-диабаз (700 г) –

минеральный компонент, свежие пищевые отходы (200 г) – питание для червей, компостированные ПО (400 г), черви-редуценты (10 шт.) – перерабатывают отходы в биогумус, семена рукколы (8 шт.).



Рис. 1. Модель «черного ящика» агросистемы малого объема

Модель «черного ящика» позволила выявить ключевые управляющие факторы, влияющие на наш объект исследования. Этот подход помог определить основные входные и выходные параметры системы, что является важным шагом для понимания её поведения.

Граф – это математическая структура, состоящая из узлов (или вершин) и соединяющих их линий (или ребер). Он используется для визуализации сложных взаимосвязей и взаимодействий между объектами или явлениями. В графе каждая вершина представляет собой отдельный элемент, а каждое ребро – связь между этими элементами [3].

Для моделирования агросистемы мы использовали шесть контейнеров с габбро-диабазом (вершина 4) и еще шесть с керамзитом (вершина 5). Была выявлена связь габбро-диабазы и керамзита на рост и развитие растений рукколы, а соответственно на сухую массу (вершина 3) и количество листьев (вершина 2). Выбор семян (вершина 1) также оказал значительное влияние на эти параметры.

Смешивание пищевых добавок, таких как свежие отходы (вершина 7) и компостированные отходы (вершина 8), с минеральными добавками (габбро-диабаз и керамзит) существенно влияет на выделение солей и повышает электропроводность грунта (вершина 6). Это связано с химическими реакциями между минералами и органическими веществами, содержащимися в пищевых отходах.

Пищевые отходы (как свежие, так и компостированные) оказали влияние на количество червей, количество коконов и вес взрослых червей (вершины 9–11). Переработка пищевых отходов способствовала размножению и росту червей, что подчеркивает важность органических компонентов в поддержании жизнедеятельности агросистемы (рис. 2).

Моделирование графа позволило выявить взаимосвязи и взаимодействия между объектами агросистемы. В результате анализа было

установлено, что система представляет собой смешанный граф. Это подчеркивает сложность и многогранность исследуемой системы.

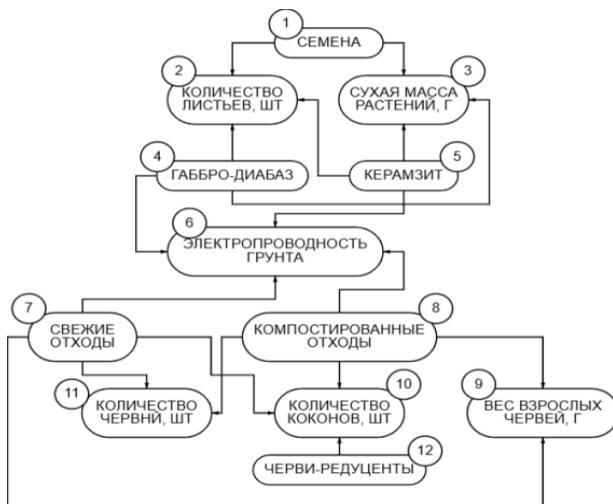


Рис. 2. Граф для агросистемы малого объема

ЛИТЕРАТУРА

1. Разумов В.И. Основы теории динамических информационных систем / В.И. Разумов, В.П. Сизиков. – Омск: Изд-во ОГУ, 2005. – 214 с.
2. Ashby W.R. Introduction to Cybernetics. – М., 1959.
3. История и развитие понятия «граф» в математике [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://skyeng.ru/magazine/wiki/it-industriya/chto-takoe-graf/> (дата обращения: 12.10.24).

УДК 621.762:616.71

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТА ПО ИЗМЕРЕНИЮ ТВЕРДОСТИ КОМПОЗИТНЫХ КЕРАМИК НА ОСНОВЕ ГИДРОКСИАПАТИТА

*А. Зафитумбу, Я.Я. Корнев, А.А. Кох, студенты каф. КСУП;
Б.С. Кудряшов, ИФПМ; А.Е. Резванова, инж. каф. КСУП, ИФПМ
Научный руководитель А.Н. Пономарев, д.ф.-м.н., проф. каф. КСУП
г. Томск, ТУСУР, Институт физики прочности и материаловедения
(ИФПМ) СО РАН, antoniozafitombo316@gmail.com*

Проведено численное моделирование механических свойств гидроксипатитовых композитов в COMSOL Multiphysics. Исследованы методы Бринелля и Виккерса для материалов с пористостью 5–

25%. Установлено, что увеличение пористости снижает твёрдость: до 28% по Бринеллю и 15–18% по Виккерсу. Результаты важны для оптимизации пористой структуры имплантатов.

Ключевые слова: гидроксиапатит, твёрдость по Бринеллю, твёрдость по Виккерсу, метод конечных элементов, пористость, композитная керамика, COMSOL Multiphysics.

Современные достижения в медицинском материаловедении открывают новые возможности для создания композитов на основе гидроксиапатита, который активно используется в регенеративной медицине благодаря биосовместимости и стимулированию роста костной ткани [1]. Однако низкая механическая прочность чистого ГА, сопоставимая с губчатой костью, ограничивает его использование в качестве самостоятельного имплантационного материала [2]. Для улучшения прочности и снижения хрупкости в ГА добавляют упрочняющие добавки. Современные вычислительные методы моделирования позволяют прогнозировать свойства таких композитов, снижая затраты на эксперименты [3, 4]. Цель работы – создание компьютерных моделей для оценки твёрдости ГА-керамических материалов, что позволит разрабатывать имплантаты с заданными свойствами.

Цель исследования – разработка численной модели в COMSOL Multiphysics для анализа твёрдости ГА-композитных керамик методом конечных элементов, с фокусом на влияние пористости для оптимизации биосовместимых имплантатов.

В работе проведено моделирование структуры и твёрдости ГА-керамики с разной пористостью (5–25%) методом конечных элементов в COMSOL Multiphysics, с оценкой твёрдости по шкалам Бринелля и Виккерса [5]. В рамках численного эксперимента применялись нагрузки от 10 до 100 кН с шагом 10–50 кН. Для каждой нагрузки выполнено по десять измерений, что обеспечило статистическую достоверность результатов при анализе механического поведения материала. Для расчета твёрдости по методу Бринелля использовалась формула

$$HB = \frac{2P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}, \quad (1)$$

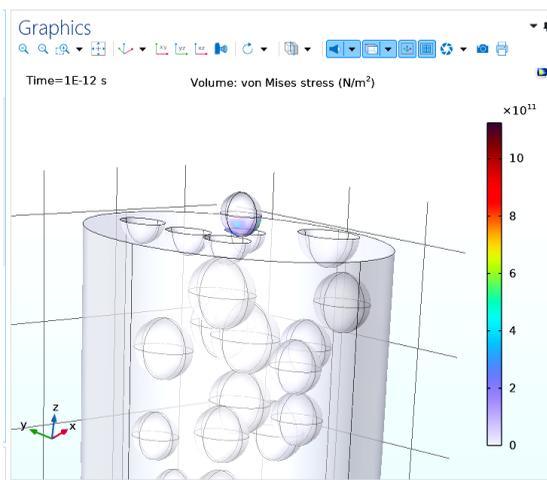
где P – нагрузка, H ; D – диаметр индентора, мм; d – диаметр отпечатка индентора, мм.

Для измерений твёрдости по Виккерсу эксперимент проводился с использованием алмазного пирамидального индентора, и твёрдость рассчитывалась формуле

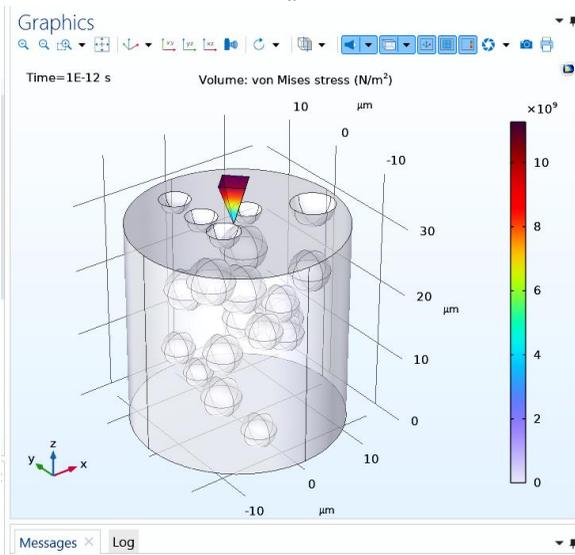
$$HV = 2F \frac{\sin(136^\circ / 2)}{d^2} = 1,5844 \frac{F}{d^2}, \quad (2)$$

где d – средняя из двух диагоналей отпечатка индентора, мм; F – нагрузка, H .

На рис. 1 представлены структурные модели, а также графики зависимости твёрдости от величины нагрузки и уровня пористости для смоделированных образцов.



a



б

Рис. 1. Измерение твердости: *a* – по Бринеллю, *б* – по Виккерсу

Численное моделирование ГА-керамики в COMSOL Multiphysics показало, что твёрдость обратно зависит от пористости (5–25%), при этом метод Бринелля выявил более выраженные изменения и оказался более чувствителен к структурным изменениям. После достижения определённого порога влияние пористости ослабевает.

Результаты важны для разработки имплантатов и выбора методов оценки механических свойств пористых материалов.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИФПМ СО РАН, тема № FWRW-2022-0002.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лыткина Д.Н. Получение и физико-химические свойства пористых биосовместимых композиционных материалов на основе гидроксиапатита и сополимера лактида и гликолида: дис. ... канд. техн. наук. – Томск: НИ ТГУ, 2021.

2. Suchanek W. Processing and properties of hydroxyapatite-based biomaterials for use as hard tissue replacement implants / W. Suchanek, M. Yoshimura // *Journal of Materials Research*. – 1998. – Vol. 13. – P. 94–117 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://doi.org/10.1557/JMR.1998.0015> (дата обращения: 20.04.2024).

3. Исследование композитов гидроксиапатита с биополимерами / Н.И. Пономарева, Т.Д. Попрыгина, С.И. Карпов, М.В. Лесовой, Б.Л. Агапов // *Конденсированные среды и межфазные границы*. – 2009. – Т. 11, № 3. – С. 239–243.

4. Lahiri D. Carbon nanotube reinforced hydroxyapatite composite for orthopedic application: a review / D. Lahiri, S. Ghosh, A. Agarwal // *Materials Science and Engineering*. – 2012. – Vol. 32. – P. 1727–1758 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://doi.org/10.1016/j.msec.2012.05.010> (дата обращения: 22.04.2024).

5. Механические методы определения твердости [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://tsprof.ru/blog/articles/mekhanicheskie-metody-opredeleniya-tverdosti/> (дата обращения: 22.04.2024).

Секция 8

POSTGRADUATE AND MASTER STUDENTS' RESEARCH IN ELECTRONICS AND CONTROL SYSTEMS

(Секция на английском языке)

Председатель секции – Покровская Е.М., зав. каф. ИЯ,

доцент, к.фил.н.;

зам. председателя – Шпит Е.И., доцент каф. ИЯ;

Соболевская О.В., ст. преп. каф. ИЯ;

Таванова Э.Б., ст. преп. каф. ИЯ

UDC 338.48

MACHINE LEARNING TECHNIQUES IN REVENUE MANAGEMENT AND SERVICE QUALITY IN THE HOSPITALITY SECTOR

N.A. Alghadi, PhD student at Dept. of Economics

Scientific supervisor V.Yu. Tsybulnikova, Head of Dept. of Economics,

PhD in Economics, Associate Professor

Tomsk, TUSUR, naser120230@gmail.com

This study explores the role of machine learning (ML) in revenue management and service quality within the hospitality sector. It focuses on key applications such as revenue forecasting, personalized service enhancement, and operational efficiency. ML models, including predictive analytics, natural language processing, and computer vision, contribute to pricing optimization, customer satisfaction, and automation. However, challenges like data limitations, high costs, and privacy concerns hinder their widespread adoption. The study identifies the impact of ML on demand forecasting, service automation, and customer feedback analysis while addressing key implementation barriers.

Keywords: machine learning techniques, revenue management, service quality, hospitality sector.

Rapid globalization has intensified competition in the hospitality industry, driving businesses to adopt advanced technologies like Internet of things (IoT), big data, Artificial Intelligent (AI), and machine learning (ML). These

innovations enhance hotel operations by enabling seamless booking, pricing comparisons, and customer feedback. ML applications in hospitality have been extensively studied, covering areas such as robotic services, predictive maintenance, fake review detection, energy demand forecasting, booking cancellation predictions, and dynamic pricing. While ML outperforms traditional revenue management and service optimization methods, challenges remain in its effective implementation. This study evaluates AI, ML, and deep learning applications in hospitality sector, identifying research gaps and future opportunities. Key focus areas include booking optimization, revenue forecasting, customer behavior analysis, and service enhancement [1].

Machine Learning in Hospitality: An Overview. ML is transforming the hospitality sector by enabling data-driven decision-making and automation. Its applications span various areas, such as natural language processing (NLP) for enhancing chatbots and virtual assistants, computer vision for improving security and surveillance, and predictive analytics for optimizing pricing, forecasting demand, and reducing operational costs. AI-driven automation also supports operational efficiency by streamlining processes like check-ins, room assignments, and guest interactions. Leveraging real-time data allows hotels to refine revenue management strategies, ensuring optimal pricing and occupancy rates [2].

Machine Learning for Revenue Management and Service Quality. In revenue management, ML enhances demand forecasting, as neural networks improve the accuracy of occupancy and seasonal demand predictions. Dynamic pricing models analyze market trends, competitor pricing, and demand fluctuations to optimize room rates. Additionally, ML helps mitigate revenue losses by predicting booking cancellations and enabling targeted policies. Studies highlight its role in predicting guest behavior, personalizing services, and improving efficiency. For example, Al-Hyari et al. [3] emphasize AI-driven service personalization, while Liu et al. [4] demonstrate the effectiveness of ML-based recommendation systems. Mishra and Tyagi [5] discuss how ML and IoT enhance customer relationships through real-time notifications. However, these studies often overlook challenges like high costs and balancing automation with human interaction.

Beyond revenue management, ML significantly improves service quality. AI-driven personalization offers to guests based on their preferences, while IoT integration enhances guest experiences through smart room technology and automated services. Moreover, sentiment analysis enables hotels to analyze customer reviews and feedback, helping identify areas for improvement and refining service strategies [6]. Other research, such as Pelet et al. [7], link ML-driven sentiment analysis to improved service quality and customer satisfaction. Despite these benefits, technological and

ethical barriers, such as data privacy concerns and high implementation costs, remain underexplored.

Challenges in Adopting Machine Learning in Hospitality. Despite its benefits, adopting ML in hospitality faces several challenges. Data quality and availability are major issues, as fragmented and unstructured data limit AI effectiveness. High implementation costs, including investments in infrastructure and skilled personnel, make adoption difficult, especially for smaller hotels. Additionally, privacy and security concerns arise due to data protection regulations like the General Data Protection Regulation (GDPR) requiring strong cybersecurity measures [8].

Balancing automation with human interaction is another challenge, as excessive reliance on AI may diminish the personal touch guests expect. Integration with legacy hotel management systems can also be costly and time-consuming. Moreover, staff training is essential for effective AI use, yet resistance to technological change and limited digital literacy can hinder adoption. Ethical concerns, including potential biases in AI models, pose risks in pricing, recommendations, and service personalization, necessitating fairness and transparency [9].

Overcoming these challenges requires strategic investment, regulatory compliance, and a structured approach to integrating machine learning while preserving service quality and guest satisfaction.

Discussion. ML is gradually being adopted in the hospitality industry; however, its application remains in the early stages. Hotels primarily use ML for demand forecasting, pricing, booking cancellations, and operational efficiency, yet its full potential, especially in analyzing consumer behavior, remains underutilized. Existing research lacks extensive case studies, and social factors influencing booking decisions and spending behavior are difficult to control.

Advanced ML models for online review analysis should incorporate response time, ratings, textual features, and writing style for deeper insights. Future research should explore the impact of ML on service quality, revenue management, and strategic decision-making. Successful adoption requires financial support from governments and institutions. As automation advances, ML and robotics will handle repetitive tasks, necessitating staff training programs to ensure a smooth transition and effective integration of these technologies.

Conclusion. In this study, we systematically examined practical applications and challenges of implementing ML techniques in the hospitality industry. While ML enhances revenue and service quality, further research is needed on overcoming adoption barriers, including cost and privacy issues. Future studies should explore its long-term effects on customer loyalty,

energy management, and fraud detection, alongside advancements in pricing and operational efficiency.

REFERENCES

1. Machine Learning in Hospitality: Interpretable Forecasting of Booking Cancellations / I. Gomez-Talal, M. Azizoltani, P. Talon-Ballesterero, A. Singh // *IEEE Access*. – 2025. – Vol. 13. – P. 26622–26638. DOI: 10.1109/ACCESS.2025.3536094.
2. Kopyrin A.S. Global experience in introducing digital platforms in the tourism industry // *Natural humanities research*. – 2023. – No. 2 (46). – P. 128–134 (in Russ.)
3. Al-Hyari H.S. The impact of artificial intelligence (AI) on guest satisfaction in hotel management: An empirical study of luxury hotels / H.S. Al-Hyari, H.M. Al-Smadi, S.R. Weshah // *Geo J. Tour. Geosites*. – 2023. – No. 48. – P. 810–819. DOI: 10.30892/gtg.482spl15-1081.
4. Liu Y. Enhancing User Experience through Machine Learning-Based Personalized Recommendation Systems: Behavior Data-Driven UI Design / Y. Liu, Y. Xu, S. Zhou // *Authorea Prepr*. – 2024 [Electronic recourse]. – Available at: <https://www.techrxiv.org/doi/full/10.36227/techrxiv.173337559.97825928>, free (accessed: 8 Mar. 2025).
5. Mishra S. The Role of Machine Learning Techniques in Internet of Things-Based Cloud Applications / S. Mishra, A.K. Tyagi // *Artificial Intelligence-based Internet of Things Systems* / ed. by S. Pal, D. De, R. Buyya. – Cham: Springer International Publishing, 2022. – P. 105–135 (Internet of Things). DOI: 10.1007/978-3-030-87059-1_4.
6. Artificial intelligence (AI) – powered chatbots: Providing instant support and personalized recommendations to guests 24/7 / T.K. Vashishth, V. Sharma, K.K. Sharma et al. // *Technology and Luxury Hospitality*. – Routledge, 2024. – P. 211–236. DOI: 10.4324/9781003488248-15.
7. Pelet J.-E. Internet of Things and Artificial Intelligence in the Hotel Industry: Which Opportunities and Threats for Sensory Marketing? / J.-E. Pelet, E. Lick, B. Taieb // *Advances in National Brand and Private Label Marketing* / F.J. Martínez-López, J.C. Gázquez-Abad, A. Roggeveen, Eds. – Cham: Springer International Publishing, 2019. – P. 154–164 (*Springer Proceedings in Business and Economics*). DOI: 10.1007/978-3-030-18911-2_20.
8. The adoption of artificial intelligence and robotics in the hotel industry: prospects and challenges / K. Nam, C.S. Dutt, P. Chathoth et al. // *Electronic Markets*. – 2021. – Vol. 31, No. 3. – P. 553–574. DOI: 10.1007/s12525-020-00442-3.
9. Mingotto E. Challenges in re-designing operations and jobs to embody AI and robotics in services. Findings from a case in the hospitality industry / E. Mingotto, F. Montaguti, M. Tamma // *Electronic Markets*. – 2021. – Vol. 31, No. 3. – P. 493–510. DOI: 10.1007/s12525-020-00439-y.

ALGORITHM FOR THE TRANSMISSION OF CCSDS PACKETS USING THE LORA FSK MODULATION MODE

I.T. Chikwanha, MSc student at the Advanced Engineering School;

A.K. Pashchenko, PhD student at Dept. of Design of Units

and Components for Radioelectronic Systems

Tomsk, TUSUR, chikwanha.i.923-m@e.tusur.ru

This article describes the development and implementation of an algorithm for transmitting CCSDS (Consultative Committee for Space Data Systems) protocol packets using the LoRa transceiver in FSK modulation mode. The system is based on the integration of an STM32F429ZIT6 microcontroller and the LoRa SX1278 transceiver. The study includes SPI communication setup, CCSDS framing, and integration with the Ettus B210 SDR for testing using GNU Radio Companion. The results demonstrate the capability of the system to provide robust communication suitable for space missions and telemetry applications.

Keywords: Consultative Committee for Space Data Systems (CCSDS), frequency-shift keying (FSK), Serial Peripheral Interface (SPI), software-defined radio (SDR).

Reliable data transmission in space communication systems is often hindered by noise, signal attenuation, and interference. To address these challenges, the Consultative Committee for Space Data Systems (CCSDS) protocol provides a standardized framework for data framing, error correction, and interoperability. This protocol is widely adopted in space missions due to its robustness and efficiency [1].

This study presents the implementation of CCSDS packet transmission using LoRa transceivers operating in frequency-shift keying (FSK) mode, leveraging their low-power and long-range capabilities and then create an algorithm for the transmission of CCSDS packets. The system integrates an STM32F429ZIT6 microcontroller, an SX1278 LoRa module, and an Ettus B210 software-defined radio (SDR) to evaluate performance and develop a practical transmission algorithm [2].

Implementation and Methodology. The implementation of the CCSDS protocol began with the initialization of the STM32F429ZIT6 microcontroller and the configuration of the LoRa SX1278 transceiver for FSK modulation. We selected the STM32F429ZIT6, built on an ARM Cortex-M4 processor operating at up to 180 MHz, because it features extensive memory and robust Serial Peripheral Interface (SPI) support. SPI communication was configured for full-duplex mode and utilized Master in Slave Out (MISO), Master Out Slave In (MOSI), Clock (CLK), and Not Slave Select (NSS) connections for data transfer, and RESET and Digital Input/Output

Pin 0 (DIO0) for module control [3]. The microcontroller configurations in the STM32CubeMX and programming in the Keil uVision ensured SPI communication between the microcontroller and the LoRa SX1278 transceiver, as shown in Fig. 1.

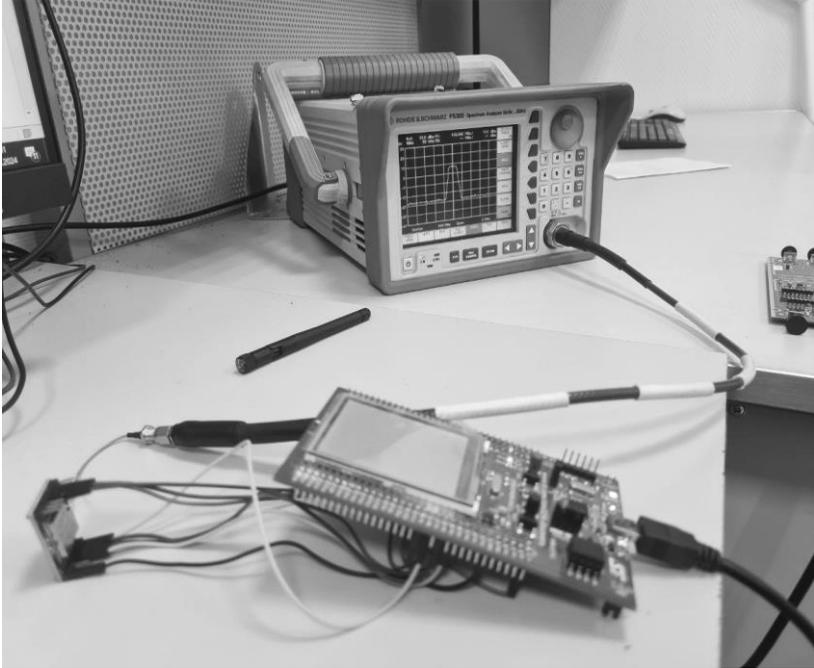


Fig. 1. Signal spectrum analyser

The LoRa SX1278 operating at 433 MHz was configured for FSK modulation with a frequency deviation of ± 25 kHz. Other parameters, such as baud rate set to 50 kbps and transmit power set to 17 dBm, ensured adequate transmission range [3]. Telemetry data were collected and framed into CCSDS-compliant packets. To detect errors, the framing process implemented using the `createCCSDSPacket()` function encapsulated data with a header, payload, and cyclic redundancy check (CRC) for error detection [4]. CRC validation was achieved using the `calculateCRC()` function and employed a CRC-16 algorithm to ensure data integrity [5].

The framed CCSDS packets were sent to the LoRa transceiver for modulation and transmission over the 433 MHz channel. At the receiver end, the Ettus B210 SDR captured the transmitted signals and processed them using GNU Radio Companion. The signal processing involved quadrature demodulation and filtering.

dulation to extract modulated data, clock recovery to align signal timing, and binary slicing to convert the demodulated signal into discrete bits [6]. This setup, as shown in Fig. 2, ensured accurate reconstruction of the transmitted packets.

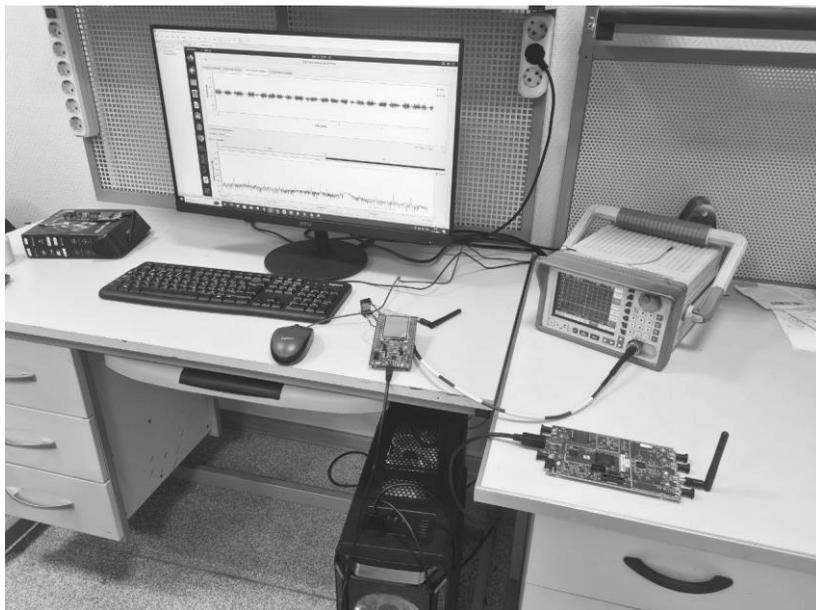


Fig. 2. Transmission and receiver testing setup

Algorithm Results. Testing and verification were conducted iteratively. The CCSDS packets and their exit from the microcontroller were verified through LEDs 1 and 2 on the STM32F429ZIT6 microcontroller. Spectrum analysis that employed the Rohde & Schwarz FS300 spectrum analyser also validated the signal characteristics. The LoRa SX1278 successfully transmitted data at a carrier frequency of 433 MHz with a frequency deviation of ± 25 kHz.

The Ettus B210 SDR received the signal, demodulated it, and recovered the original packets without data loss, thus confirming the robustness of the CCSDS framing. This is demonstrated by the complete algorithm flow as shown in Fig. 3 and verified through QT GUI blocks added to the GNU Radio schematic. Furthermore, CRC validation ensured error-free transmission under test conditions, demonstrating the efficacy of error correction mechanisms.

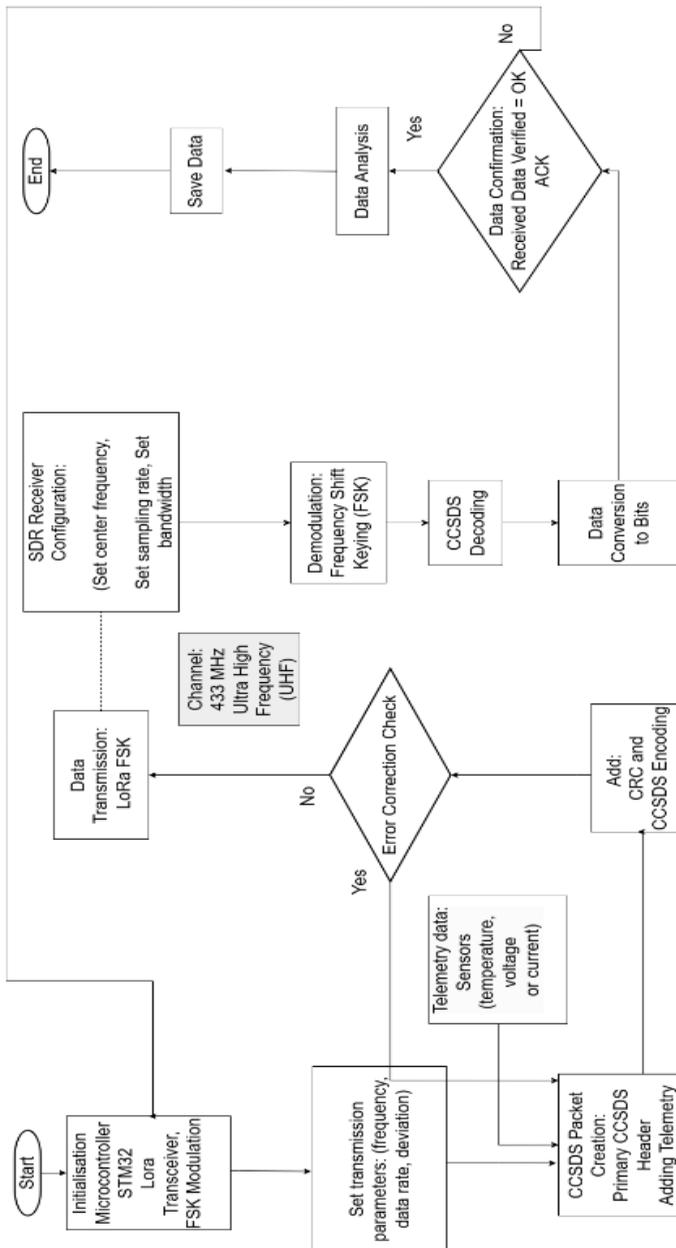


Fig. 3. Algorithm flowgraph

Conclusion. The proposed algorithm for transmitting CCSDS packets using LoRa FSK modulation proved to be highly efficient and reliable. By leveraging the CCSDS protocol, the system achieved structured, and error-resilient communication. The integration with the Ettus B210 SDR validated the implementation, showcasing potential applications of the CCSDS protocol in data transmission and error correction in space and telemetry systems.

REFERENCE

1. CCSDS. Consultative Committee for Space Data Systems [Electronic resource]: website of the Consultative Committee for Space Data Systems. – Available at: <https://public.ccsds.org> (Accessed: 11 Dec. 2024).
2. USRP B210 Ettus Research. Products [Electronic resource]: website of the Ettus Research Group LLC company. – Available at: <http://www.ettus.com/product> (Accessed: 14 Dec 2024).
3. Semtech Corporation. SX1278 Datasheet [Electronic resource]: website of Semtech Corporation. – Available at: <https://www.semtech.com/products/wireless-rf/lorconnect/sx1278> (Accessed: 12 Dec 2024).
4. Boettcher M. Low-cost approach for a software-defined radio based ground station receiver for CCSDS standard compliant S-band satellite communications / M. Boettcher, B. Butt, S. Klinkner // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2016. – Vol. 152 – P. 012033. DOI: 10.1088/1757-899X/152/1/012033.
5. Baicheva T. On the cyclic redundancy-check codes of 16-bit redundancy / T. Baicheva, S. Dodunekov, P. Kazakov // Communications, IEE Proceedings. – 2000. – P. 253–256. DOI: 10.1049/ip-com:20000649.
6. An Advanced GNU Radio Receiver of IEEE 802.15.4 OQPSK Physical Layer / E. Faulkner, Z. Yun, S. Zhou, Z.J. Shi, S. Han, G.B. Giannakis // IEEE Internet of Things Journal. – 2021. – P. 9206–9218. DOI: 10.1109/jiot.2021.3057472/

UDC 621.6.05

DEVELOPMENT OF A FLOW CELL FOR AN AUTOMATED OLIGONUCLEOTIDE SYNTHESIS SYSTEM

E.R. Ragimov, PhD student at Dept. of Design of Units and Parts of Radio-Electronic Equipment;

R.M. Gadirov, Head of Laboratory of Additive Technologies and Engineering Biology, PhD in Chemical Sciences

Tomsk, TUSUR, Ragimov_30@mail.ru

The paper considers the necessity and operating principle of a microfluidic flow cell, along with the design features of its construction. The authors investigate the development of a microfluidic module model, and

assess the uniform distribution of liquid through the channels of the microfluidic flow cell.

Keywords: oligonucleotide synthesis, microfluidic module, flow cell, glass drilling, laser marking.

Oligonucleotide synthesis is the chemical synthesis of DNA or RNA fragments with the known sequence [1]. The synthesis of DNA sequences is currently performed using automated synthesizers that provide a cyclic supply of chemical reagents and removal of by-products [2]. Such high-throughput synthesis systems are used in biology and medicine for the creation of DNA libraries, gene synthesis, DNA enrichment systems, PCR diagnostics, etc. Today, there is a problem associated with the long duration of high-throughput mass synthesis operations and the high consumption of reagents during the synthesis.

Increased synthesis productivity can be achieved by using traditional microfluidic cells in the synthesis process [3]. This approach allows for rapid replacement of reaction solutions but requires large volumes of solvents. Even greater efficiency can be achieved by using a microchannel structure. This structure is a system of microscopic channels on a glass base for controlling liquid flows, which allows precise control of reagent volumes [4].

However, a disadvantage of the synthesis in microfluidic channels is that the scale of such systems is at the level of units and fractions of femtomoles. The scale of synthesis can be increased by using nanoporous membranes in combination with a microchannel supply module.

This work is devoted to the development and testing of a microchannel module, which is the basis of a flow cell. The flow cell is integrated for use in an automated oligonucleotide synthesis system (synthesizer).

Methods. The operating principle of the flow cell is based on the sequential supply of chemical reagents into the cell and their uniform distribution. From the output channels of the microchannel module, the group filling reagents are uniformly distributed over the surface of the substrate based on porous anodized aluminum oxide (AAO), which serves as a solid-phase carrier in the synthesis process [5]. The substrate table can remove by-products using a vacuum system. After the group reagents are supplied, the cell automatically opens and condensing solutions are individually dripped onto the substrate surface in each state zone using piezoelectric dispensers.

The microchannel topology was designed in CAD with a channel width of 100 μm and a hole diameter of 500 μm . The model of the microchannel module was made of 1 mm thick laboratory glass with overall dimensions of 50×50 mm. Figure 1 shows a draft of the resulting topology.

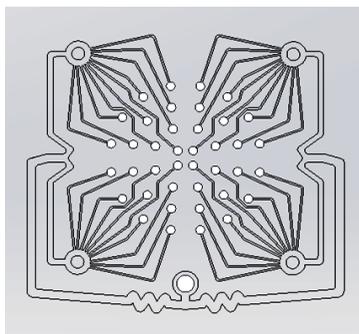


Fig. 1. Microchannel module

Figure 2, *a* shows a substrate table for placing AAO in a flow cell. It provides the removal of reagents by vacuum pumping from the pores of the AAO substrate and its retention using an additional vacuum clamping circuit. The table has a sink into which the reacted solutions are washed off the substrate during the synthesis process.

Figure 2, *b* shows a flow cell that provides movement of the microchannel module. The system for moving the microchannel module is an *XZ*-axis linear stage. To dispense condensing solutions from piezoelectric dispensers, the microchannel module is removed from the table in such a way that it does not interfere with the synthesizer's robotic platform.

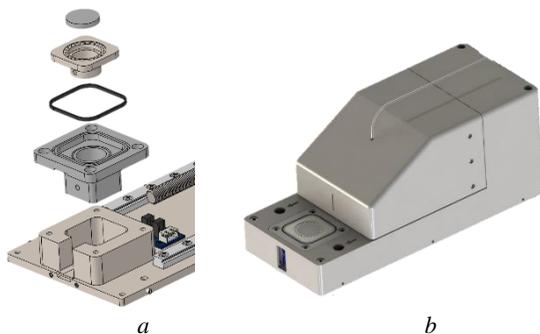


Fig. 2. Substrate table (*a*) and flow cell (*b*)

Results and Discussion. Figure 3, *a* demonstrates the manufactured research model of the microchannel module. The formation of channels was carried out on an ultraviolet laser marker. The module consists of two glasses bonded to each other. The experiments conducted to investigate the microchannel module demonstrated that when a fluid is supplied through a dis-

penser into the inlet of the microchannel module, it spreads through the channels and exits uniformly from the opposite side through an array of openings.

The experimental results confirm the cell's operability (Fig. 3, *b*), which opens up opportunities for further research and implementation in the field of automation of oligonucleotide synthesis.

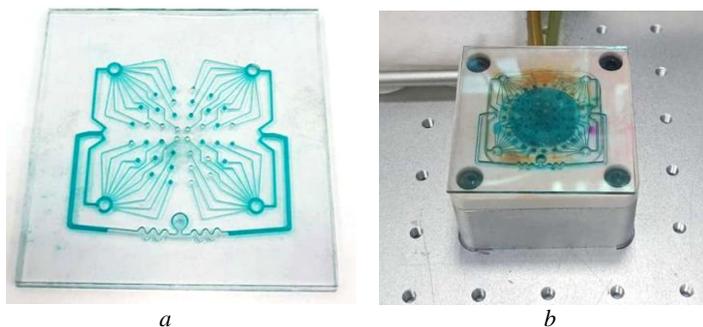


Fig. 3. Result of fabrication and bonding of microfluidic module (*a*) and the fluid flow uniformity test (*b*)

The use of the developed microchannel flow cell ensures fast and uniform delivery of reagents to the surface of the porous substrate, while minimizing the volumes of solutions.

Conclusion. In this work, a microchannel module for automated synthesis of oligonucleotides was developed and studied. The use of microchannel structures allows to significantly increase the efficiency of the synthesis process due to precise control of reagent volumes and minimization of solvent consumption.

The results of the experiment confirmed the operability of the microchannel module, which ensures uniform distribution of reagents over the surface of the porous substrate. This, in turn, contributes to the rapid and efficient implementation of synthetic operations. In the future, the development of multilayer microsystems is considered, which makes it possible to make microchannel modules smaller in size and more efficient for controlling liquid flows.

This work was performed within the framework of the State Assignment of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (Project No. FEWM-2024-0001).

REFERENCES

1. Patent EP2346883B1. Self-delivering bio-labile phosphate protected pro-oligos for oligonucleotide based therapeutics and mediating RNA interference / Scott G. Petersen – filed 23.09.2009; published 23.09.2009.

2. Patent RU170584U1. Apparatus for synthesis of oligo(poly)nucleotides / U.G. Sredin (RF). – No. 2016144550; filed 14.11.2016; published 28.04.2017 (in Russ.).

3. Ong S.-E. Fundamental principles and applications of microfluidic systems / S.-E. Ong, S. Zhang, H. Du, Y. Fu // *Frontiers in Bioscience*. – 2008. – Vol. 13. – P. 2757–2773.

4. Evstratov A.A. Microfluidic chips made of glass materials / A.A. Evstratov, T.A. Lukashenko, G.E. Rudnitskaya, A.L. Bulanitsa, V.E. Kurochkin, V.S. Gusev, O.G. Ivanov, I.F. Berkutova, A.A. Savitskaya // *Nauchnoye Priborostroyeniye*. – 2012. – Vol. 22, No. 2. – P. 27–43 (in Russ.).

5. Patent RU2826178C1. Method for obtaining a substrate for mass parallel synthesis of oligonucleotides / R.M. Gadirov (RF) and others – No. 2023128139; filed 01.11.2023; published 05.09.2024 (in Russ.).

UDC 004.75

DISTRIBUTED WEB-BASED PLATFORM FOR EM MODELING AND SIMULATION

*S. Kante, PhD student at Dept. of Television and Control
Scientific supervisor A.A. Kvasnikov, senior lecturer at Dept.
of Television and Control, PhD in Engineering
Tomsk, TUSUR, salif.kante.pro@gmail.com*

This paper describes a distributed web-based system for electromagnetic modeling and simulation that integrates FastAPI, MongoDB, and Three.js. The system separates user interaction, computational tasks, and data management to enhance accessibility, scalability, and performance.

Keywords: web-based platform, distributed system, electromagnetic modeling, FastAPI, MongoDB, Three.js.

Modern radioelectronic equipment (REE) design and electromagnetic modeling require considerable computational resources especially when it is provided by desktop applications. While these applications are efficient, users often face issues such as limited accessibility and scalability.

To overcome these problems, this work proposes a distributed solution – an architecture that separates user interaction, computational tasks, and data management. This solution consists of a web client that communicates with a backend server, which integrates a solver and a database. This design facilitates future integration of machine learning techniques to optimize simulation meshes and enhance REE modeling performance.

Architecture Development. The platform architecture is composed of three separated components (Fig. 1). The web client is developed using React and Three.js. The frontend provides an intuitive user interface for users

to upload REE configuration files. After uploading, users can visualize the results interactively in 3D before they start simulations [1]. The backend server is developed using FastAPI [2] and MongoDB [3]. This server handles client requests, dynamically manages data storage via MongoDB, and initiates solver computations. To optimize computational resources and enhance security, no files are stored locally. Instead, the backend retrieves simulation parameters from the database, executes solver tasks, and stores the results for future retrieval. The solver is a C++ executable responsible for performing electromagnetic simulations. FastAPI dynamically invokes the solver, passing the required input parameters directly from MongoDB.

The computed results, including field distributions and radiation patterns, are then stored back in the database for rapid access.

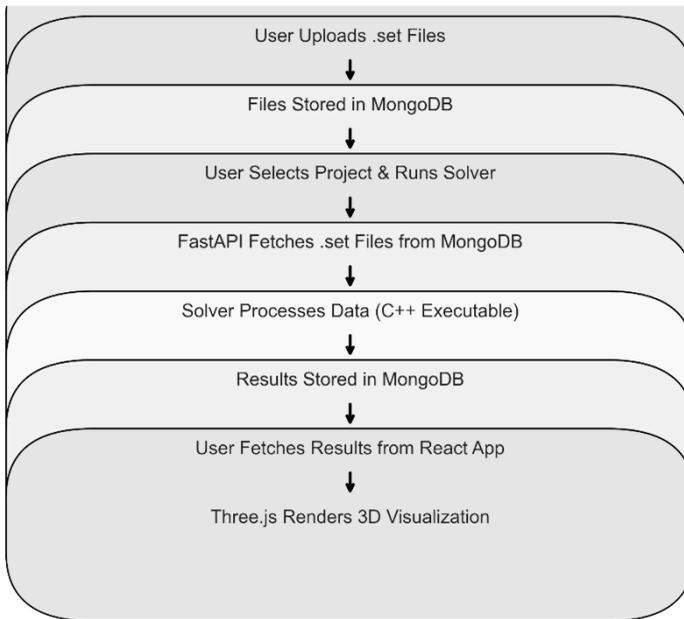


Fig. 1. Workflow diagram of the web-based platform

Component Architecture. The diagram begins with the web client, where users upload configuration files and interact with the simulation results (Fig. 2). It then shows the FastAPI server, which manages requests, stores data in MongoDB, and acts as the central coordinator between the client and the solver. The diagram ends with the solver, which is a high-performance C++ module that processes electromagnetic simulation data. The

relation between these components is clearly depicted, illustrating the complete journey from input at the beginning to the final output at the end.

The feasibility of this distributed, web-based approach is demonstrated through a working prototype. The configuration files uploaded by users are correctly parsed and stored in MongoDB collections. By selecting pre-existing projects saved in the database, users can initiate solver calculations directly from the online interface.

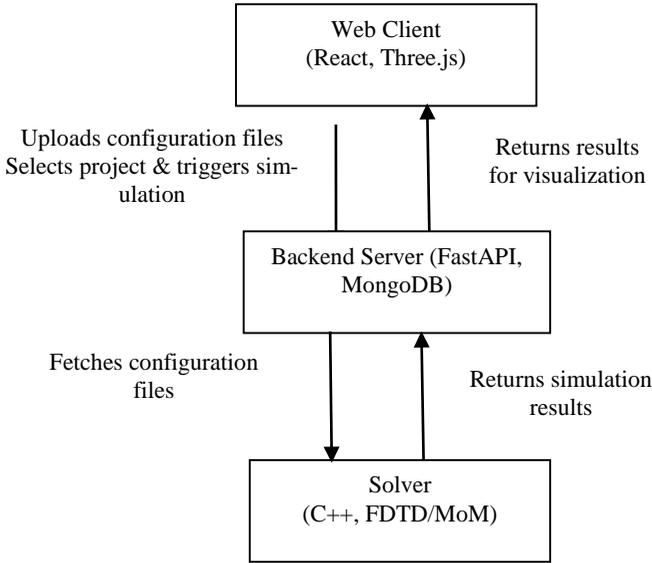


Fig. 2. Component architecture diagram

Currently, the user's browser displays interactive 3D-representations of simulation results enabled by Three.js, which simplifies the analysis of REE properties. To further enhance the design and simulation process, future developments should incorporate real-time mesh optimization and leverage neural networks to predict and recommend optimal simulation settings.

Conclusion. This project provides an innovative solution to conventional limitations in REE simulation by effectively separating computational tasks, data storage, and user interaction into specialized system components. Further enhancements will focus on integrating machine learning techniques to optimize performance, improve scalability, and enhance user accessibility, positioning this system as a powerful tool for electromagnetic modeling and simulation.

REFERENCES

1. Three.js Official Documentation [Electronic resource]. – Available at: <https://threejs.org/> (accessed: 02.02.2025).
2. FastAPI Official Documentation [Electronic resource]. – Available at: <https://fastapi.tiangolo.com/> (accessed: 11.02.2025).
3. MongoDB Manual [Electronic resource]. – Available at: <https://www.mongodb.com/docs/manual/> (accessed: 18.02.2025).

UDC 621.396.41

OPTIMAL POWER ALLOCATION FOR RSMA SYSTEM WITH EQUAL RATE SCHEDULING

*A.S. Shinkevich, G.N. Shalin, PhD students at Dept.
of Telecommunications and Basic Principles of Radio Engineering;
D.A. Pokamestov, Associate Professor at Dept. of Telecommunications
and Basic Principles of Radio Engineering,
PhD in Engineering Sciences
Tomsk, TUSUR, a.shinkevich00@gmail.com*

The article considers optimization of power distribution in communication systems with RSMA. The article provides a brief theoretical overview of RSMA. The authors formulate the optimization problem. The result of the study is an analytical equation for finding the optimal power allocation.

Keywords: multiple access, RSMA, power allocation, optimization, spectral efficiency.

Due to the increasing volume of transmitted traffic, the demands placed on communication systems are steadily rising. The fundamental performance characteristics of such systems are largely defined by physical layer technologies, among which multiple access (MA) plays a crucial role. Modern MA techniques have several inherent limitations. A novel strategy known as Rate-Splitting Multiple Access (RSMA) has recently been proposed to overcome these shortcomings and is discussed in [1].

The essence of this technology is to divide user messages into private and common parts. After that, common parts of messages from all users are combined. Then there is modulation and precoding of common and private messages, which are performed independently. The signal at the transmitter output will be a superposition of the common and private channel signals. In this way, RSMA combines the principles of space division MA, non-orthogonal MA, and multicasting. The advantage of RSMA is its flexibility: by optimizing the power allocation between the common and private signals, an improved link quality can be achieved. A detailed description of RSMA is given in [2].

Despite the intense interest from researchers [1–4], the optimal allocation of resources remains one of the unsolved problems. For these purposes, they use numerical optimization methods. However, these algorithms are of little use in real-world systems due to their high computational complexity.

In this paper, we consider the problem of optimal power allocation between private and common channels. An analytical solution to the optimization problem for an arbitrary antenna configuration with equal rate scheduling is presented.

Optimization problem. Let M be the number of transmit antennas, and K be the number of users (multiple input single output broadcast channel). Let $\mathbf{v}_p^k \in \mathbb{C}^{M \times 1}$ be the private precoding vector for the k -th user, and $\mathbf{v}_c \in \mathbb{C}^{M \times 1}$ be the common precoder vector. The values P_c and P_p are the power of common and private streams, respectively. P_{\max} is the maximum power, and σ is the noise variance. Multiplicative interference is described through the channel matrix $\mathbf{H} \in \mathbb{C}^{K \times M}$, where h_{ij} is the gain between the i -th receive antenna and the j -th transmit antenna, $i = 1, \dots, K, j = 1, \dots, M$. We use the channel inversion algorithm [3] for the precoding of the private channels. In this work, channel estimation is perfect, then: $|\mathbf{h}^k \mathbf{v}_p^j| = 0, i \neq k$, $|\mathbf{h}^k \mathbf{v}_p^k| = \text{const}, \forall k \in K$.

For RSMA, the spectral efficiency of the common and private streams for the k -th user (R_c^k and R_p^k , respectively) can be written as follows

$$R_c^k = \log_2 \left(1 + \frac{P_c |\mathbf{h}^k \mathbf{v}_c|^2}{\sum_{i=1}^K P_p |\mathbf{h}^k \mathbf{v}_p^i|^2 + \sigma^2} \right),$$

$$R_p^k = \log_2 \left(1 + \frac{P_p |\mathbf{h}^k \mathbf{v}_p^k|^2}{\sum_{i=1, i \neq k}^K P_p |\mathbf{h}^k \mathbf{v}_p^i|^2 + \sigma^2} \right),$$

for successful demodulation by all users, the spectral efficiency of the common stream cannot be more than $R_c^{\min} = \min \{R_c^1 \dots R_c^K\}$ [1].

The total spectral efficiency of the RSMA can be written as follows [1]

$$R = R_c^{\min} + \sum_{k=1}^K R_p^k.$$

The global maximization problem (1) can be represented as an equation

$$[\mathbf{v}_c, P_c, P_p] = \arg \max_{\mathbf{v}_c, P_c, P_p} \left(R(\mathbf{v}_c, P_c, P_p) \right), \quad (1)$$

s.t.

$$\begin{aligned} \|\mathbf{v}_c\|_F &= \|\mathbf{V}_p\|_F = 1, \\ P_c + P_p &\leq P_{\max}, \end{aligned} \quad (2)$$

where $\|\bullet\|_F$ is the Frobenius norm.

Problem (1) can be split into two independent problems: optimal common precoder design and optimal power allocation (3)

$$[P_c, P_p] = \arg \max_{P_c, P_p} \left(R(\mathbf{v}_c^{\text{opt}}, P_c, P_p) \right). \quad (3)$$

Proposed method. The paper considers only the problem of optimal power allocation (3). Let us consider it in more detail:

$$\begin{aligned} [P_p^{\text{opt}}, P_c^{\text{opt}}] &= \arg \max_{P_c, P_p} \left(R(\mathbf{v}_c^{\text{opt}}, P_c, P_p) \right) = \\ &= \arg \max_{P_p, P_c} \left(\min \left(\log_2 \left(1 + \frac{P_c |\mathbf{h}^k \mathbf{v}_c^{\text{opt}}|^2}{P_p |\mathbf{h}^k \mathbf{v}_p^k|^2 + \sigma^2} \right) \right) + \sum_{k=1}^K \log_2 \left(1 + \frac{P_p |\mathbf{h}^k \mathbf{v}_p^k|^2}{\sigma^2} \right) \right) = \\ &= \arg \max_{P_p, P_c} \left(\left(1 + \min \left(\frac{P_c |\mathbf{h}^k \mathbf{v}_c^{\text{opt}}|^2}{P_p |\mathbf{h}^k \mathbf{v}_p^k|^2 + \sigma^2} \right) \right) \left(1 + \frac{P_p |\mathbf{h}^k \mathbf{v}_p^k|^2}{\sigma^2} \right)^K \right). \end{aligned}$$

Let $\mathbf{h}^k \mathbf{v}_c^{\text{opt}} = a_k$, $\mathbf{h}^k \mathbf{v}_p^k = b$ and taking into (2), then

$$P_c^{\text{opt}} = \arg \max_{P_c} \left(\left(1 + \min \left(\frac{P_c |a_k|^2}{(P_{\max} - P_c) |b|^2 + \sigma^2} \right) \right) \left(1 + \frac{(P_{\max} - P_c) |b|^2}{\sigma^2} \right)^K \right).$$

We can see that $\min \left(\frac{P_c |a_k|^2}{(1 - P_c) |b|^2 + \sigma^2} \right)$ will be achieved at

$a_{\min} = \min \{a_k\}$, and based on this, the problem can be rewritten as follows

$$P_c^{\text{opt}} = \arg \max_{P_c} \left(\left(1 + \frac{P_c |a_{\min}|^2}{(P_{\max} - P_c) |b|^2 + \sigma^2} \right) \left(1 + \frac{(P_{\max} - P_c) |b|^2}{\sigma^2} \right)^K \right).$$

The multipliers can be rewritten as functions

$$f_1(P_c) = \left(1 + \frac{P_c |a_{\min}|^2}{(P_{\max} - P_c) |b|^2 + \sigma^2} \right), \quad f_2(P_c) = \left(1 + \frac{(P_{\max} - P_c) |b|^2}{\sigma^2} \right)^K.$$

Then the objective function can be written as follows: $f(P_c) = f_1(P_c) f_2(P_c)$. The derivative of the objective function can be written as follows: $f'(P_c) = f_1'(P_c) f_2(P_c) + f_1(P_c) f_2'(P_c)$. Next, it is necessary to conduct an analysis at critical points

$$\begin{aligned} f'(P_c) = 0 &\Rightarrow f_1'(P_c) f_2(P_c) = -f_1(P_c) f_2'(P_c) \Rightarrow \\ &\Rightarrow P_c = - \frac{(\sigma^2 + P_{\max} |b|^2) (K |b|^2 - |a|^2)}{K |b|^2 (|a|^2 - |b|^2)}. \end{aligned}$$

The optimal power of the common channel is determined by the following equation

$$P_c^{\text{opt}} = \begin{cases} P_c, & P_c \in [0, P_{\max}], \\ P_{\max}, & P_c \notin [0, P_{\max}] \wedge R(\mathbf{v}_c^{\text{opt}}, P_{\max}, 0) > R(\mathbf{v}_c^{\text{opt}}, 0, P_{\max}), \\ 0, & \text{otherwise.} \end{cases}$$

Thus, the study provides a closed-form analytical solution to the problem of optimal power allocation. The resulting expression makes it easy to obtain the optimal power distribution without complex optimization.

Conclusion. We have developed an analytical solution for the problem of optimal power allocation. Using the presented equation and mathematical modeling, we were able to obtain a power allocation that matches the results of numerical optimization, indicating the correctness of our equation. This allows us to obtain a computationally efficient solution to the optimal power allocation problem.

The research was carried out with the financial support of the Russian Science Foundation grant No. 22-79-10148 (<https://rscf.ru/project/22-79-10148/>).

REFERENCES

1. Rate-Splitting multiple access for downlink communication systems: Bridging, generalizing, and outperforming SDMA and NOMA / Y. Mao, B. Clerckx,

V.O.K. Li // EURASIP journal on wireless communications and networking. – 2018. – Vol. 2018. – P. 1–54.

2. Rate-splitting multiple access: Fundamentals, survey, and future research trends / Y. Mao, O. Dizdar, B. Clerckx, R. Schober, P. Popovski, H.V. Poor // IEEE Communications Surveys & Tutorials. – 2022. – Vol. 24. – No. 4. – P. 2073–2126.

3. Rate-splitting multiple access: A new frontier for the PHY layer of 6G / O. Dizdar, Y. Mao, W. Han, B. Clerckx // 2020 IEEE 92nd vehicular technology conference (VTC2020-Fall). – IEEE, 2020. – P. 1–7.

4. Evaluation of the Efficiency of Rate-Splitting Multiple Access in Next-Generation Communication Systems Scenarios / D. Pokamestov, A. Shinkevich, Y. Kryukov, E. Rogozhnikov, G. Shalin, S. Zemlyanukhin // 2024 IEEE 9th All-Russian Microwave Conference (RMC). – IEEE, 2024. – P. 161–165.

5. Evaluation of noise immunity of multi-user mimo systems with imperfect channel estimation and other distortions / A.S. Shinkevich, D.A. Pokamestov, Y.V. Kryukov, E.V. Rogozhnikov, G.N. Shalin // RENSIT: Radioelectronics. Nanosystems. Information Technologies. – 2023. – Vol. 15, No. 4. – P. 441–452.

UDC 621.396.41

ANALYSIS OF THE ERROR CORRECTION CAPABILITY OF THE POLAR CODING ADAPTATION ALGORITHM USING SC AND SCL DECODERS

G.N. Shalin, A.S. Shinkevich, PhD students at Dept. of Telecommunications and Basic Principles of Radio Engineering;

*D.A. Pokamestov, Associate Professor at Dept. of Telecommunications and Basic Principles of Radio Engineering, PhD in Engineering Sciences
Tomsk, TUSUR, shalingn1120@gmail.com*

The paper presents the results of modeling the polar code adaptation algorithm for the Rayleigh channel using SC and SCL decoders. The results allow assessing the effectiveness of the decoding algorithms for multipath propagation channels with the proposed adaptation method. In addition, brief theoretical information on polar coding and the principles of the adaptation algorithm is provided.

Keywords: polar codes, SCL, SC, LLR.

In modern communication systems, error-correcting codes are widely used to improve noise immunity. One of the promising solutions is polar codes, which have demonstrated high efficiency in channels with additive white Gaussian noise. However, when polar code construction methods are applied in multipath channels, their performance significantly degrades.

Therefore, an important task is to develop adaptive polar coding methods that can ensure high noise immunity under complex signal propagation

conditions. In [1] and [2], algorithms for adapting polar codes are proposed. However, they consider only the characteristics of the multipath channel, without addressing the integration of polar codes with different transmission systems. Our method, presented in [3], takes into account the reliabilities of bit subchannels in the polar code, as well as the characteristics of physical subchannels, and it is integrated with Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) technology. This approach allows for improved coding efficiency in multipath channels.

The main goal of this paper is to compare the reliability of the Successive Cancellation (SC) and Successive Cancellation List (SCL) decoding methods with the application of an adaptation algorithm in order to determine the most robust approach in terms of noise immunity. The results are presented as the dependencies of the Bit-Error Rate (BER) on the Signal-Noise Ratio (SNR) for both types of decoders SC and SCL. The calculations were performed using the Monte Carlo method with a transmission block count of 10^5 .

Methods. Polar codes are a type of error-correcting codes proposed by Arikan in 2008 [4]. As in other block codes, the formation of a codeword is performed by multiplying the input bit sequence by the generator matrix

$$\mathbf{d} = \mathbf{u}\mathbf{G}^{\otimes n}, \quad (1)$$

where $\mathbf{d} = [d_1, \dots, d_N]$ is the codeword, $\mathbf{u} = [u_1, \dots, u_N]$ is the input bit stream, and \mathbf{G} is the Arikan generator matrix.

The Arikan matrix is given as follows [5]

$$\mathbf{G} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 1 & 1 \end{bmatrix}. \quad (2)$$

Depending on the codeword length, the generator matrix is expanded to a size of $N \times N$ by repeatedly applying the Kronecker product to the base matrix. The number of iterations is determined by the polarization factor

$$n = \log_2 N, \quad (3)$$

where n is the polarization factor, and N is the codeword length.

In polar coding, the primary decoding method is the SCL algorithm [6], which is based on the SC algorithm [7]. The decoding process is performed using soft estimates in the form of the Log-Likelihood Ratio (LLR)

$$\text{LLR} = \ln \frac{\Pr(r_i | u = 0)}{\Pr(r_i | u = 1)}, \quad (4)$$

where \Pr is the probability of a certain bit occurring, u represents the transmitted bits, and r denotes the values of the received symbols.

The SC algorithm calculates the probability of a bit occurring at each decoding metric. This process is shown in Fig. 1.

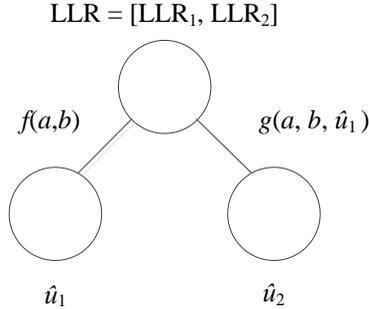


Fig. 1. Codeword recovery process

For the left child, calculations are performed using the minimum sum operator

$$f(a,b) = \text{sign}(a)\text{sign}(b) \min(|a|, |b|), \quad (5)$$

where $\text{sign}(\cdot)$ denotes the sign of value, and $\min(\cdot)$ is the minimum value of a pair of numbers.

For the right child, the decision is made based on the estimated bit received from the left child and is defined by the following expression

$$g(a,b,c) = b + (1 - 2\hat{u}) \cdot a, \quad (6)$$

where a is the LLR of the left branch, b is the LLR of the right branch, and \hat{u} is the hard decision obtained from the LLR of the left path.

The SCL algorithm is based on the combination of polar coding with the cyclic redundancy check code [8]. It consists of a set of SC decoders, and the decision on the correctness of the codeword is made from a list of possible candidates. The SCL-algorithm has a higher error correction capability compared to the SC algorithm, but the SC-algorithm has a lower computational complexity.

The adaptation method involves analyzing the reliability of both physical and bit channels. Physical channels have a different gain on each sub-carrier of the OFDM-signal. Therefore, less reliable bit channels will be mapped to less noisy physical channels. This process is implemented by multiplying the codeword by the formed interleaving matrix $\mathbf{R} = (R_{ij})$, where $i = 1, \dots, N$, $j = 1, \dots, N$

$$\mathbf{t} = \mathbf{d}\mathbf{R}. \quad (7)$$

The elements of the interleaving matrix are formed as follows:

$$R_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{if } (i, j) = (w_m, u_m) \text{ for some } m = 1, \dots, N; \\ 0, & \text{otherwise,} \end{cases} \quad (8)$$

where w_i is the row vector of physical subchannel indices, and u_j is the column vector of bit subchannel indices.

Results and Discussion. The simulation results show the dependence of BER on SNR for the SCL- and SC-encoding algorithms, both with adaptation with coding rate 512/1024. The results are presented in Fig. 2.

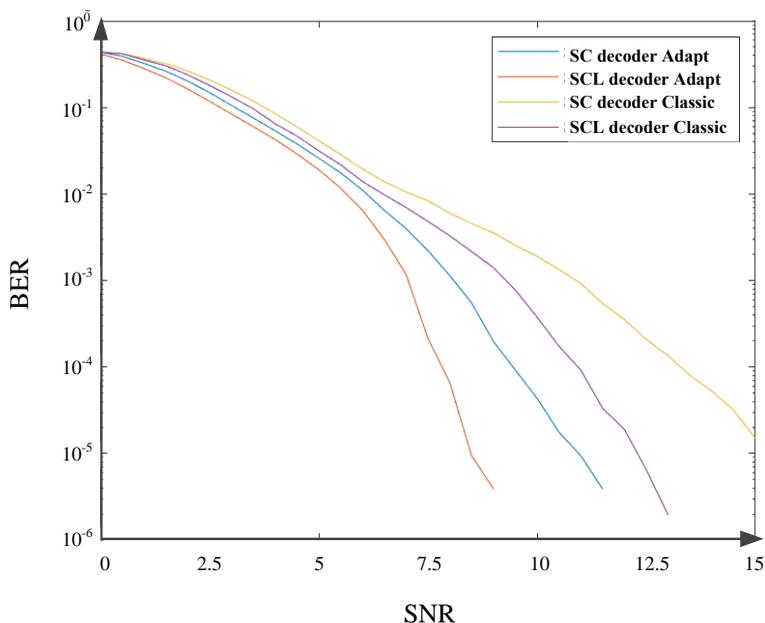


Fig. 2. BER vs. SNR for different decoding algorithms

The obtained results show that the SCL-algorithm demonstrates higher efficiency compared to the SC-algorithm when using the adaptive method. The gain is 3 dB at a BER value of 10^{-5} . However, the SC-algorithm with the adaptive method shows better corrective power compared to the classical coding approach with the SCL-algorithm. This means that the SC algorithm could be used with the adaptation method to reduce the computational complexity, and the SC algorithm could be more efficient when using other coding rates, which will be investigated in the future.

Conclusion. The proposed method demonstrates an improved performance compared to the classical polar code construction, showing a gain of 3 dB at a BER level of 10^{-5} . Future work will include investigating the algorithm in conjunction with multi-antenna and multi-user systems, such as MIMO and NOMA.

The research was supported by the Russian Science Foundation grant No. 24-29-00172 (<https://rscf.ru/project/24-29-00172/>).

REFERENCES

1. Trifonov P. Design of polar codes for rayleigh fading channel [C] // International Symposium on Wireless Communication Systems (ISWCS). – IEEE. – 2015. – P. 331–335
2. Zhou D. Construction of polar codes in rayleigh fading channel [J] / D. Zhou, K. Niu, C. Dong // IEEE Communications Letters. – 2019. – Vol. 23, No. 3. – P. 402–405
3. Adaptation of signal with NOMA and polar codes to the Rayleigh channel / D. Pokamestov, T. Kryukov, E. Rogozhnikov, G. Shalin, A. Shinkevich, S. Novichkov // Symmetry. – 2022. – Vol. 14, No. 10. – P. 2103.
4. Arikan E. A performance comparison of polar codes and Reed-Muller codes // IEEE Communication Letters. – 2008. – Vol. 12, No. 6. – P. 447–449.
5. Arikan E. Channel polarization: A method for construction capacity-achieving codes for symmetric binary-input memoryless channels // IEEE Transactions on information Theory. – 2009. – Vol. 55, No. 7. – P. 3051–3073.
6. Chen K. List successive cancellation decoding of polar codes / K. Chen, K. Niu, J.R. Lin // Electron. Lett. – 2012. – Vol. 48, No. 9. – P. 500–501.
7. Pedarsani R. Polar Codes: Construction and Performance Analysis // Swiss Federal Institute of Technology (EPFL). – June 2011. – 48 p.
8. Balatsoukas-Stimming A. LLR-based successive cancellation list decoding of polar codes / A. Balatsoukas-Stimming, M.B. Parizi, A. Burg // IEEE transactions on signal processing. – 2015. – Vol. 63, No. 19. – P. 5165–5179.

UDC 004.93'1

STUDY OF QUALITY METRICS OF THE YOLO 11 MODEL FOR OBJECT RECOGNITION IN RADAR IMAGES

***V.I. Weber, Ph.D. student at Dept. of Radio Engineering Systems
Scientific supervisor V.Yu. Kupritz, Associate Professor at Dept. of Radio
Engineering Systems, Candidate of Engineering Sciences,
Tomsk, TUSUR, vladweber00@gmail.com***

The article addresses the problem of applying neural networks for detecting and classifying objects in radar images. The aim of the study is to investigate and compare the performance metrics of 11 generations of YOLO neural network models when solving object detection tasks in radar imagery.

Keywords: neural networks, radar images, YOLO 11, synthetic aperture radar, automatic target recognition.

Radar observation using Synthetic Aperture Radar (SAR) technology is currently considered one of the effective methods for remote monitoring of objects of interest, resulting in highly informative two-dimensional radar

images. The acquisition of such images is not limited by time of day or meteorological conditions [1, 2].

The fundamental principles of SAR image formation are well-known and have been thoroughly discussed in the literature [3, 4]. The fundamental principles and peculiarities of SAR image formation must be taken into account when creating image databases intended for training, validation, and testing of neural network models.

The relevance of this work is supported by various publications. For instance, studies [5–7] investigated the effectiveness of neural networks for detecting and recognizing objects related to maritime navigation. In [5], the accuracy of the YOLOv5x neural network was evaluated using the SAR Ship Dataset [8] with appropriate metrics to assess its performance. In [6], neural networks were explored for ship detection and recognition, providing a quantitative description of the results obtained from various neural network models, such as YOLOv4, YOLOv7, YOLOv7-tiny, RetinaNet, Cascade R-CNN, SSD, and OE-YOLO. In [7], neural networks were described for object detection and recognition based on the Moving and Stationary Target Acquisition and Recognition (MSTAR) dataset. This work examined various neural network models, evaluating their performance using the following metrics: Recall, Precision, mAP50, and mAP50-95.

Methods. The MSTAR database was used for training the neural network models. This database consists of two datasets:

- MSTAR target, where each image has a simple background with a single vehicle located at the center. In this case, radar imaging is performed at various elevation angles;
- MSTAR clutter, which contains SAR images of rural areas featuring roads and forests, without any vehicles present.

The MSTAR database includes 8.890 images of vehicles, 2.539 images of corner reflectors, and 100 images of rural landscapes.

A training dataset was generated to address the problem of object detection in radar images. It consisted of 350 images, each containing 5 objects. A total of 300 images were allocated for training, while 50 images were reserved for validation and testing. For each image, a corresponding text file was prepared containing the object coordinates along with information about their class.

The elevation angle of the placed radar images from the MSTAR target corresponded to the elevation angle of the MSTAR clutter. The objects placed in the radar images corresponded to the following classes: class 0 is corner reflector, class 1 is armored personnel carrier, class 2 is armored reconnaissance vehicle, class 3 is self-propelled anti-aircraft gun, and class 4 is tank.

The study investigated the speed and accuracy of 11 generations of YOLO neural network models from the Ultralytics library, with varying numbers of trainable parameters (nano, small, medium, large, and extra-large models).

To monitor the training process of the models and evaluate their performance on the training and validation datasets, the following metrics were used [6]

$$\text{Precision} = TR / (TR + FP'), \quad (1)$$

$$\text{Recall} = TR / (TR + FN'), \quad (2)$$

$$AP = \int_0^1 P(R) dR, \quad (3)$$

$$mAP = \frac{1}{N} \int_{i=1}^N AP(i). \quad (4)$$

1. Precision is the proportion of objects classified as positive that are indeed positive.

2. Recall is the proportion of objects of a given class that the algorithm successfully identified out of all objects of that class.

3. Precision and Recall are calculated for different confidence thresholds of the model (confidence level). These thresholds are set manually, and both the prediction of the bounding box and the prediction of the class are evaluated simultaneously. The higher the threshold, the fewer detections the detector will trigger, which helps reduce false positives, thereby increasing precision but decreasing recall. Consequently, it is possible to construct a Precision vs. Recall curve. Average Precision (AP) is the area under the curve of the dependence of recall on precision.

4. Mean Average Precision (mAP) is the area under the curve of the dependence of recall on precision, weighted across all classes. The value mAP50-95 represents the mAP considering IoU values in the range [0.5; 0.95], where IoU (intersection over union) is a metric that measures the degree of overlap between the ground truth bounding box and the predicted bounding box. If the predicted bounding box perfectly matches the ground truth, then IoU = 1.

Results and Discussion. Table presents the obtained numerical values of the metrics during the training of the 11th generation YOLO neural networks.

From the data obtained, we can conclude that models L and x with a large number of floating-point operations are worse in all respects than models n , s and m , which is due to the undertraining of models L and x . Regarding the values of the mAP50 and mAP50-95 metrics, the best results were

shown by YOLO11s. Regarding the values of the precision and recall metrics, the YOLO11n model showed the best results (Fig. 1).

Metrics of 11th generation YOLO neural network models

model	Precision	Recall	mAP50	mAP50-95
YOLO11n	0.925	0.928	0.953	0.725
YOLO11s	0.883	0.914	0.961	0.74
YOLO11m	0.804	0.893	0.91	0.726
YOLO11L	0.566	0.7	0.761	0.573
YOLO11x	0.63	0.772	0.82	0.627

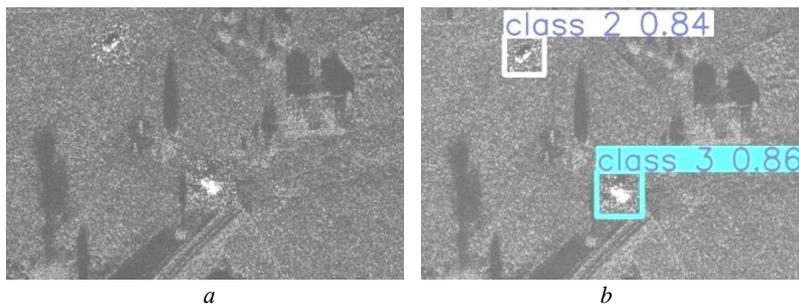


Fig. 1. Result of object recognition on radar images using a YOLOv11n model:
a – radar image before recognition, *b* – radar image after recognition.

Conclusion. Based on the results obtained, we consider the YOLOv11n model to be the best model, as it exhibits high recall and mAP50 results. These indicators are critical for tasks where it is important to detect as many objects as possible while minimizing omissions. At the same time, YOLOv11n has relatively good precision, which reduces the likelihood of false positives.

REFERENCES

1. Pol V.G. Space radar terrain survey and joint flight of a pair of space vehicles / V.G. Pol, A.V. Simonov // Engineering Journal: Science and Innovation. – 2020. – Vol. 7. – P. 1–21 (in Russ.).
2. Khakhulina N.B. Systems of information collection and processing of geodetic surveys and remote sensing results // Voronezh State Technical University. – 2022. – 78 p. (in Russ.).
3. Kondratenkov G.S. Airborne reconnaissance radar stations // Voenizdat. – 1983. – 154 p. (in Russ.).
4. Radar Systems of Multi-Function Aircraft. Radar Systems – The Information Basis for Combat Operations of Multi-Function Aircraft. Systems and Algorithms for Primary Processing of Radar Signals / Ed. by A.I. Kanaschenkov, V.I. Merkulov. – 2006. – Vol. 1. – 656 p.

5. Kupryashkin I.F. Classification of military equipment objects using a convolutional neural network on radar images formed in conditions of noise interference / I.F. Kupryashkin, A.S. Mazin // Bulletin of the Almaz-Antey East Kazakhstan Concern. – 2022.1. – P 71–81. DOI 10.38013/2542-0542-2022-1-71-81 (in Russ.).

6. GDB-YOLOv5s: Improved YOLO-based Model for Ship Detection in SAR Images / D. Chen, R. Ju, C. Tu, G. Long, X. Liu, J. Liu // IET Image Process. – 2024. – Vol. 18. – P. 2869–2883. <https://doi.org/10.1049/ipr2.13140>.

7. Vehicle Target Detection Method for Wide-Area SAR Images Based on Coarse-Grained Judgment and Fine-Grained Detection / Y. Song, S. Wang, Q. Li, H. Mu, R. Feng, T. Tian, J. Tian // Remote Sens. – 2023. – Vol. 15. – 3242 p. <https://doi.org/10.3390/rs15133242>.

8. SAR Ship Detection Dataset (SSDD): Official Release and Comprehensive Data Analysis / T. Zhang, X. Zhang, J. Li, X. Xu, B. Wang, X. Zhan, Y. Xu, X. Ke, T. Zeng, H. Su et al. // Remote Sens. – 2021. – Vol. 13. – 3690 p. <https://doi.org/10.3390/rs13183690>.

UDC 004.934.2

SPEECH CORPUS WITH RECORDINGS OF SPEECHES BY RUSSIAN ASTRONAUTS

N.S. Repyuk, Ph.D. student at Dept. of Information System Security;

G.V. Yashchenko, student at Dept. of Information System Security;

*A.A. Konev, Associate Professor at Dept. of Complex Information
Security of Computer Systems, PhD in Engineering Science*

Tomsk, TUSUR, rms@fb.tusur.ru

The work is devoted to the process of creating a dataset of speech information of Russian-speaking astronauts. The authors describe the processes of information search, transformation and structuring the speech corpus. The result of the work is a set of audio materials of Russian-speaking astronauts, both men and women, recorded in zero gravity and on the Earth. The obtained results could be useful to specialists in the fields of speech processing, artificial intelligence, medicine and all interested persons studying the influence of space conditions on speech.

Keywords: speech, speech corpus, zero gravity, cosmonaut.

The development of speech recognition and analysis technologies requires data sets containing various features of speakers. In the field of space technology, speech is not only a means of communication between astronauts but also for interaction with various control systems. However, cosmonauts' speech is influenced by some factors such as microgravity, psycho-emotional stress, and special features of technical communication equipment.

Early studies of the acoustic characteristics of speech were successfully conducted in a number of foreign space experiments [1, 2]. Hours-long

recordings of NASA's Apollo 11 space program were used as a dataset for foreign research. These recordings were made using analog equipment from the 1960s with a lot of distortion and static noise from its aging [3]. However, there are no relevant data sets for studying Russian speech in zero gravity.

The purpose of this work is to create a speech corpus with the speech of Russian-speaking astronauts on Earth and in zero gravity. Such a dataset can be used for research in the field of automatic speech recognition, linguistic analysis, and the development of adaptive voice interfaces for manned missions [4].

Data collection. As part of the study, the authors created a speech corpus consisting of audio recordings of astronauts' conversations in zero gravity and on the Earth. Part of the speech corpus devoted to recordings of astronauts' conversations on the International Space Station (ISS) was compiled based on the conversion of video recordings from publicly available sources. The second part of the recordings of the same astronauts, but in conditions of Earth gravity, was collected on the basis of publicly available video interviews made on Earth. As a result, eleven videos with eight cosmonauts from different space expeditions to the ISS were selected for the study, including seven men and one woman, as well as one video interview of each cosmonaut in ground conditions.

To prepare the data, the collected material was processed. Preprocessing began with converting video recordings to wav audio format. Further, the resulting audio recordings were unified to the 12 kHz sampling rate format and the mono audio channel. The preprocessing of speech files made it possible to bring all audio recordings to a single format to simplify the analysis of speech features in the framework of the experiment. A separate stage of data conversion was the transcription of audio recordings into text format. The text of each decrypted file was divided into phrases with a timestamp of the groups of words spoken by the speakers with an accuracy of seconds. Table 1 shows a fragment of the transcribed audio recording of the speaker in space.

Table 1

A fragment of the decrypted recording

The fragment	The translating fragment	Time interval
Вы видите полосатые	You can see the striped	1:19–1:21
ручки замков,	handles of the locks,	1:21–1:22
которые мы будем	which we will	1:23–1:23
открывать последовательно,	open sequentially	1:23–1:25
чтобы обеспечить	to ensure	1:25–1:26
перевод приемных	the transfer of the receiving	1:26–1:27
антенн блока	antennas of the unit	1:27–1:29
и передатчика	and the transmitter	1:29–1:30

The transcribed recordings make it much easier to automate speech signal analysis. The final task of this stage was to find matching words or phrases spoken by the same astronaut in zero gravity and on Earth. Among all the material, we managed to select 2–3 identical words or phrases for each speaker. Identical words ensure the purity of experiments by minimizing the articulatory features of the speakers during pronunciation.

The structure of the speech corpus. Table 2 contains the structure of the speech corpus and the distribution of recordings by speaker.

Table 2

The general structure of the speech corpus

Speaker's number	In zero gravity		On the Earth	
	Number of phrases	Recording duration, s	Number of phrases	Recording duration, s
1	308	616	112	197
2	414	717	119	157
3	100	163	127	175
4	159	287	134	134
5	146	222	192	138
6	125	211	122	188
7	168	244	129	190
8	38	71	142	199

The time intervals of the transcribed recordings made it possible to conveniently select the intervals of words and phrases repeated by the speakers in zero gravity and on the Earth. Table 3 shows a list of selected identical words and phrases separated by commas for each of the astronauts.

Thus, the obtained corpus includes speech recordings of Russian-speaking cosmonauts brought to a single format, as well as their text transcriptions with timestamps of spoken phrases by cosmonauts. The repeated words and phrases of each cosmonaut in zero gravity and on the Earth are selected.

Table 3

Repeated words of the announcers

Speaker's number	Words	Translation of words
1	Космос, космонавтов, станции	Cosmos, astronauts, stations
2	Космонавт, сегодня, сказать	Astronaut, today, tell
3	Белоруссия, женщин, трудно	Belarus, women, difficult
4	На Земле, экипажа, эксперимент	On Earth, crew, experiment
5	Конечно, полета, результат	Of course, flight, result
6	Гравитации, космонавт, сейчас	Gravitational, astronaut, now
7	Время, которые, эксперимент	Time, which, experiment
8	На Земле, эксперименты	On Earth, experiments

Conclusion. The main result of this work is a corpus with recordings of speech delivered on Earth and in zero gravity by Russian astronauts. The results of the work could be useful to specialists in the fields of speech processing, artificial intelligence, medicine, and all interested persons studying the influence of space conditions on speech.

REFERENCES

1. Yu C. 'Houston, we have a solution': A case study of the analysis of astronaut speech during NASA Apollo 11 for long-term speaker modeling / C. Yu, J. Hansen, D.W. Oard // *Interspeech*. – 2014. – No. 1. – P. 1–5.
2. Potential astronauts' Speech and Language disorders. Case study: Astronaut's interviews analysis before and after space mission / C. Vizitiu, A. Dinculescu, R. Vizitiu, V. Văleanu, A. Nistorescu // *2017 E-Health and Bioengineering Conference (EHB)*. – 2017. – No. 1. – P. 394–397 (in Russ.).
3. Shekar M.C. Historical Audio Search and Preservation: Finding Waldo Within the Fearless Steps Apollo 11 Naturalistic Audio Corpus [Applications Corner] / M.C. Shekar, J. Hansen // *IEEE Signal Processing Magazine*. – 2023. – Vol. 40. – P. 30–38.
4. Lebedeva S.A. Comparison of the psychophysiological state of a person under the influence of simulated microgravity without preventive measures and during rotation on a short-range centrifuge / S.A. Lebedeva, D.M. Shved // *Aerospace and Environmental Medicine*. – 2021. – Vol. 55, No. 2. – P. 98–101.

Содержание

Секция 2

ЭЛЕКТРОНИКА И ПРИБОРОСТРОЕНИЕ

Подсекция 2.6

ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ СОВМЕСТИМОСТЬ

Председатель – Суровцев Р.С., доцент каф. ТУ, к.т.н.;

зам. председателя – Белоусов А.О., доцент каф. ТУ, к.т.н.

Е.О. Беликова, К.Н. Абрамова

Повышение защитных характеристик печатной платы
с модальным резервированием 25

А.А. Киселева

Анализ временных откликов полосно-заграждающих фильтров
с центральной частотой 2 ГГц на импульсные воздействия 28

В.Д. Нгуен

Временной отклик асимметричной цепи электропитания
на воздействие сверхкороткого импульса по корпусной земле 32

Я.С. Николаева

Экспериментальное исследование электромагнитных
и акустических помех, создаваемых импульсным источником питания 36

А.Е. Томских, М.С. Мурманский

Сравнительный анализ характеристик линий передачи,
расположенных на внутренних и внешних слоях печатной платы 40

С.В. Власов

Анализ пассивного дифференциального фильтра нижних частот
на основе технологии GaAs-pHEMT 43

С.Р. Морозов, С.В. Власов

Однократное модальное резервирование на основе
зеркально-симметричной структуры в дифференциальном режиме 46

В.А. Трубченинов, С.В. Власов

Влияние ЗИПСИЛ 601 РРМ-01 на характеристики линии передачи
в интегральном исполнении 49

М.Д. Юсаф

Перекрестные наводки в модальном фильтре со связывающим проводником
при воздействии сверхкороткого импульса по схемной земле 52

П.В. Микола

Применение структур со ступенчатым импедансом и модальными
искажениями для защиты от помеховых воздействий 55

Н.С. Павлов

Моделирование S-параметров конденсатора на основе искусственной
нейронной сети 59

Подсекция 2.7

СВЕТОДИОДЫ И СВЕТОТЕХНИЧЕСКИЕ УСТРОЙСТВА

Председатель – Туев В.И., зав. каф. РЭТЭМ, д.т.н., проф.;
зам. председателя – Солдаткин В.С., доцент каф. РЭТЭМ, к.т.н.

Р.М. Абсалямов, Ю.М. Зубарь

Исследование влияния температуры на работу
полупроводниковых приборов при помощи Arduino.....64

М.А. Афанасьев, Р.Г. Герасимов, М.В. Славкин

Анализ современных люминофорных композиций,
применяемых в светодиодных технологиях67

Н.В. Амбарникова

Макетирование светодиода с полноспектральным люминофором69

В.Д. Бархатова, О.П. Мелентьева

Исследование влияния различных монтажных материалов
на тепловое сопротивление светоизлучающих диодов.....73

А.А. Черкашина

Цветовая температура как фактор влияния на восприятие
продуктов питания76

И.Ф. Гарипов

Полупроводниковый источник белого света
с высоким индексом цветопередачи.....79

В.А. Колесникова

Интеллектуальные системы освещения и их влияние
на учебный процесс студентов82

В.Д. Бархатова, О.П. Мелентьева

Разработка светодиодного кристалла красного цвета свечения85

Т.С. Михальченко, В.С. Солдаткин

Моделирование инсектицидного облучателя87

П.В. Шачнева

Влияние цветовой температуры освещения на когнитивные функции.....91

Е.А. Чемоданова, В.С. Якунина, А.О. Лазарева, В.С. Солдаткин

Облучательные приборы на основе светоизлучающих диодов
для выращивания растений94

Подсекция 2.8

РОБОТОТЕХНИКА

Председатель – Коцубинский В.П., доцент каф. КСУП, к.т.н.;
зам. председателя – Шандаров Е.С., ст. преп. каф. ЭП

П.А.В. Авад

Разработка цифрового двойника промышленного манипулятора
на базе MatLab Simulink98

<i>К.Т. Ахметов, К.М. Байжуман, М.С. Толегенова</i> Стабилизация и управление бесколлекторных двигателей с применением ПИД-регулятора	102
<i>О.А. Брылев</i> Симуляция динамики подвески в Project Chrono: валидация модели через сопоставление с экспериментальными данными ..	105
<i>Д.Р. Ягуфаров, А.А. Изюмов, А.Е. Карелин</i> Разработка мобильного приложения для взаимодействия с позиционером П4К	108
<i>Р.А. Корчагин</i> Разработка датчиков цвета для робототехнической платформы робота-спасателя.....	111

Секция 3 ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И СИСТЕМЫ

Подсекция 3.2

РАСПРЕДЕЛЁННЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И СИСТЕМЫ

*Председатель секции – Сенченко П.В., проректор по УРиМД,
доцент каф. АОИ, к.т.н.;*
зам. председателя – Сидоров А.А., зав. каф. АОИ, к.э.н., доцент

<i>В.О. Репин</i> Актуальность применения интегральной оценки в распределенных системах со слабой моделью согласованности.....	114
<i>Д.А. Сасс, Р.С. Кульшин</i> Система управления складскими дронами	117
<i>Р.С. Кульшин, А.А. Сидоров</i> Обзор методов нормализации данных	120

Подсекция 3.3

АВТОМАТИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ В ТЕХНИКЕ И ОБРАЗОВАНИИ

Председатель секции – Дмитриев В.М., проф. каф. КСУП, д.т.н.;
зам. председателя – Ганджа Т.В., проф. каф. КСУП, д.т.н., доцент

<i>А.М. Андреев</i> Автоматизация управления мультироторного беспилотного летательного апарата с электропитанием по кабелю от наземной станции	123
--	-----

<i>А.С. Божевалов</i> Программный комплекс симулятора лабораторной работы курса метрологии	126
<i>В.И. Гаренских, А.А. Шутов, С.С. Свахин</i> Система сбора и анализа данных в АСУ ТП мобильных технологических комплексов	129
<i>А.А. Горелов, Е.К. Гончарова, А.В. Картуков</i> Система корректировки координат БПЛА для осуществления посадки в автоматическом режиме	132
<i>Ю.Н. Кобзарь</i> Выбор инструментальных средств для формирования и хранения моделей аппаратов химико-технологических систем	136
<i>К.Д. Зинич, С.А. Пустовалов, К.В. Лазебный, Д.А. Самойленко</i> Проектирование библиотеки базовых моделей управления аппаратами	139
<i>А.А. Петров</i> Автоматизация подстанции ГЭС с применением технологии «Цифровая подстанция»	142
<i>Н.А. Ключников, Д.А. Рындин</i> Проектирование базовых блоков тренажера насосной станции для оператора-технолога	147
<i>Д.В. Саткин</i> Моделирование перекрестка в среде AnyLogic	151
<i>О.Н. Щетинская</i> повышение эффективности процесса ректификации за счет применения методов машинного обучения в системах управления технологическим процессом	153
<i>Д.С. Шифман</i> Применение нейронных сетей при автоматизации воздушного охлаждения газопровода	155
<i>А.М. Тернов</i> Применение технического зрения на основе искусственного интеллекта для обнаружения дефектов	158
<i>А.О. Ушаков</i> Разработка виртуальной лаборатории для моделирования химико-технологических процессов	161

Подсекция 3.4

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ

Председатель секции – Ходашинский И.А., проф. каф. КСУП, д.т.н.;
зам. председателя – Сарин К.С., доцент каф. КСУП, к.т.н.

<i>М.Б. Бардамова, Н.В. Барановская</i> Классификация элементного состава крови человека по территории проживания с применением нечетких систем	165
---	-----

А.Ю. Емельянов	
Разработка и оптимизация модифицированного муравьиного алгоритма.....	169
Е.Т. Гарипов	
Использование моделей машинного обучения для предсказания возникновения аварий.....	172
Н.С. Голубев	
Диагностика болезни Паркинсона по анализу речи пациента с помощью методов машинного обучения	175
А. Калаажи	
Нейро-нечеткая адаптивная система для решения обратной задачи кинематики робота-манипулятора	178
А.В. Каминский, О.С. Киселевский	
Анализ нотной составляющей музыкального произведения с применением Фурье- и вейвлет-преобразований	182
В.А. Клековкин	
Модели сверточных нейронных сетей YOLOv5s для детектирования малоразмерных летающих объектов.....	186
Р.Е. Коломников	
Прогнозирование параметра нечеткого классификатора типа Min-Max с помощью регрессионной модели.....	189
Н.П. Корышев	
Алгоритм построения эволюционирующего нечёткого классификатора с использованием алгоритма «китов»	192
А.А. Краев	
Выбор метода оптимизации для нахождения параметров модели электросталеплавильной печи.....	195
А.Ю. Малкин	
Устойчивость модели сверточной нейронной сети Mo-U-Net к импульсным помехам на изображениях	198
Т. Мамвота	
Модифицированный алгоритм построения нечеткого классификатора типа Min-Max	201
С.З. Май	
Алгоритм GPOO для управления скоростью вращения бесщеточного двигателя постоянного тока	206
Р.О. Остапенко	
Нечёткий классификатор смешанных данных, основанный на правилах деревьев решений	210
В.С. Сафронов, Е.В. Сафронова	
Исследование алгоритмов для оценки кластерного решения на основе признаков пациентов с заболеваниями, вызванными клещевыми инфекциями	213

В.С. Шабрамов

Использование параллелизма на уровне данных для реализации алгоритма комплексирования интервалов агрегированием предпочтений.....215

А.Е. Сонов

Метод многокритериальной кластеризации на основе эволюционных алгоритмов.....218

М.О. Светлаков

Идентификация принадлежности пациентам записей данных fNIRS с использованием методов машинного обучения221

Подсекция 3.5

**МОЛОДЕЖНЫЕ ИННОВАЦИОННЫЕ НАУЧНЫЕ
И НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ПРОЕКТЫ**

Председатель секции – Костина М.А., доцент каф. УИ, к.т.н.;
зам. председателя – Нариманова Г.Н., зав. каф. УИ, декан ФИТ,
зам. начальника учебного управления, к.ф.-м.н., доцент

А.Е. Бабинович

Определение координат БПЛА с использованием многокамерного триангуляционного метода.....225

А.С. Пинешкина, В.А. Сулимов, Д.С. Банников

Влияние геймификации на мотивацию и вовлеченность студентов в научно-исследовательскую деятельность228

Д.Е. Болбуков

Предварительные результаты практического тестирования учебного стенда на основе световодов.....231

А.Э. Бояринцев, А.И. Солдатов

Разработка системы управления электроприводом234

М.А. Черных

Разработка системы автоматического регулирования уровня жидкости237

К.М. Эхуман

Социальная ценность граждан: алгоритмы и их использование239

Н.Е. Мешков

Создание тестов с использованием нейросетей для определения компетенций242

А.И. Солдатов, Я.И. Антоненко

Применение нейросетей в микроконтроллерах для систем технического зрения: вызовы и перспективы245

А.И. Солдатов, Я.И. Антоненко

Макет самонастраивающегося автономного комплекса дистанционного мониторинга территории248

Подсекция 3.6

ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ СРЕДСТВА АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ, УПРАВЛЕНИЯ И ОБРАБОТКИ ДАННЫХ

Председатель секции – Хабибулина Н.Ю., доцент каф. КСУП, к.т.н.;
зам. председателя – Потапова Е.А., ст. преп. каф. КСУП

Ф.С. Гудков, А.Е. Карелин

Применение программных моделей для анализа переходных процессов
в пневмоприводе 251

Е.П. Ильин

Метод визуализации значений двумерной матрицы данных 254

А.П. Белошицкий, К.А. Кравченко

Автоматизация трассирования линейных коммуникаций нефтегазовой
инфраструктуры при коридорной прокладке с автодорогой 257

Д.Д. Пимонов

Анализ признаков фонем с целью рекомендации упражнений
исправления дефектов речи 259

К.С. Ражев, А.В. Токарева

Прототип системы идентификации и прослеживаемости
с использованием алгоритмов комбинаторной генерации
на основе деревьев И/ИЛИ 262

М.И. Вишняков, Н.Ю. Хабибулина

Информационная система автоматизации сбора
и представления данных по успеваемости 265

Н.А. Мякишин

Создание телеграм-бота (нейротимбот) на Aiogram 3
с интеграцией мультимодальной нейросети Qwen2.5-Omni-7B
для обработки текстовых и визуальных данных 268

Секция 6

ЭКОЛОГИЯ И МОНИТОРИНГ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ. БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Председатель секции – Карташев А.Г., проф. каф. РЭТЭМ, д.б.н.;
зам. председателя – Денисова Т.В., доцент каф. РЭТЭМ, к.б.н.

И.И. Абдуллаева, О.А. Достовалова

Влияние нефтезагрязнений на сообщества почвенных нематод
на территории Томской области 271

<i>М.П. Бухтояров, Е.М. Астахова</i> Выявление метаболически активных бактерий в природном водоеме методом метабаркодинга	274
<i>Д.Е. Гостюхина, М.Д. Тюкаев</i> Анализ долговременных изменений растительного покрова по данным спутникового прибора MODIS	277
<i>А.А. Сержинмаа, В.Ю. Яровой, Я.В. Гребнев</i> Механизм принятия и реализации решений органами РСЧС в условиях цифрового платформенного межведомственного взаимодействия (на примере организации безопасного пропуска паводковых вод на территории Красноярского края)	280
<i>М.А. Черепанов, В.С. Гориченко, Е.А. Мамонтова, И.Е. Дьяченко, Р.Э. Исмаилов, Д.Д. Зубанов</i> Домашняя модульная метеостанция на Arduino	283
<i>А.Н. Шабунина</i> Моделирование экологических особенностей агросистемы малого объема	286
<i>А. Зафитумбу, Я.Я. Корнев, А.А. Кох, Б.С. Кудряшов, А.Е. Резванова</i> Моделирование эксперимента по измерению твердости композитных керамик на основе гидроксипатита	288

Секция 8

POSTGRADUATE AND MASTER STUDENTS' RESEARCH IN ELECTRONICS AND CONTROL SYSTEMS

(Секция на английском языке)

*Председатель секции – Покровская Е.М., зав. каф. ИЯ, доцент, к.фил.н.;
зам. председателя – Шпит Е.И., доцент каф. ИЯ;
Соболевская О.В., ст. преп. каф. ИЯ; Таванова Э.Б., ст. преп. каф. ИЯ*

<i>N.A. Alghadi</i> Machine learning Techniques in Revenue Management and Service quality	292
<i>I.T. Chikwanha, A.K. Pashchenko</i> Algorithm for the Transmission of CCSDS packets using the LoRa FSK modulation Mode	296
<i>E.R. Ragimov, R.M. Gadirov</i> Development of a Flow Cell for an Automated oligonucleotide Synthesis System	300
<i>S. Kante</i> Distributed Web-Based Platform for EM Modeling and Simulation	304

A.S. Shinkevich, G.N. Shalin, D.A. Pokamestov	
Optimal power Allocation foR RSMA system with equal Rate Scheduling	307
G.N. Shalin, A.S. Shinkevich, D.A. Pokamestov	
Analysis of the Error correction Capability of the Polar coding Adaptation Algorithm using SC and SCL decoders	311
V.I. Weber	
Study of quality metrics of the YOLO 11 model for object recognition in radar images.....	315
N.S. Repyuk, G.V. Yashchenko, A.A. Konev	
Speech corpus with recordings of speeches by Russian astronauts.....	319

Научное издание

Сборник избранных статей научной сессии ТУСУР

**По материалам
международной научно-технической конференции
студентов, аспирантов и молодых ученых
«Научная сессия ТУСУР–2025»**

21–23 мая 2025 г., г. Томск

В трех частях

Часть 2

Корректор – **В.Г. Лихачева**
Верстка **В.М. Бочкаревой**

Сдано на верстку 20.04.2025. Подписано к печати 10.06.2025.
Формат 60×84^{1/16}. Печать трафаретная. Печ. л. 20,75
Тираж 100 экз. Заказ 3.

Издано ТУСУР (заказчик)
г. Томск, пр. Ленина, 40, к. 205, т. 70-15-24
Тираж отпечатан в типографии ТУСУРа
(для нужд всех структурных подразделений университета и авторов)

Ред.-изд. подготовка оригинал-макета в эл. виде
В-Спектр (ИП Бочкарева В.М., исполнитель)
ИНН 701701817754
634055, г. Томск, пр. Академический, 13-24,
тел. 8-905-089-92-40, эл. почта: bvm-1@list.ru