

Сборник избранных статей научной сессии ТУСУР



**ПО МАТЕРИАЛАМ МЕЖДУНАРОДНОЙ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ
СТУДЕНТОВ, АСПИРАНТОВ
И МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ
«НАУЧНАЯ СЕССИЯ ТУСУР–2024»**

**г. Томск, 15–17 мая 2024 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–2024»**

15–17 мая 2024 г., г. Томск

В трех частях

Часть 2

ТУСУР
В-Спектр
Томск, 2024

УДК 621.37/.39+681.518 (063)

ББК 32.84я431+32.988я431

С 23

С 23 Сборник избранных статей научной сессии ТУСУР, Томск, 15–17 мая 2024 г.: в 3 ч. – Томск: ТУСУР (заказчик); В-Спектр (ИП В.М. Бочкарева, исполнитель), 2024. – Ч. 2. – 280 с.

ISBN 978-5-902958-23-9

ISBN 978-5-902958-24-6 (Ч. 1)

ISBN 978-5-902958-25-3 (Ч. 2)

ISBN 978-5-902958-26-0 (Ч. 3)

1 часть – 1-я секция (подсекции 1.1 – 1.7); 2-я секция (подсекции 2.1 – 2.4).

2 часть – 2-я секция (подсекции 2.5 – 2.7); 3-я секция (подсекции 3.1 – 3.7); 6 секция, 8 секция.

3 часть – 4 секция (подсекции 4.1 – 4.3); 5-я секция (подсекция 5.1 – 5.8).

7 секция издана отдельным сборником.

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 978-5-902958-23-9

ISBN 978-5-902958-25-3 (Ч. 2)

© ТУСУР, 2024

Сборник избранных статей научной сессии ТУСУР

**по материалам
международной научно-технической конференции
студентов, аспирантов и молодых ученых
«Научная сессия ТУСУР–2024», 15–17 мая 2024 г.**

ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ

- Рулевский В.М. – председатель Программного комитета, ректор ТУСУРа, д.т.н.;
- Лоцилов А.Г. – заместитель председателя Программного комитета, проректор по научной работе и инновациям ТУСУРа, к.т.н.;
- 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 Института 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.;
- Денисов В.П., проф. каф. РТС ТУСУРа, д.т.н.;
- Дмитриев В.М., проф. каф. КСУП ТУСУРа, д.т.н.;
- Еханин С.Г., проф. каф. КУДР ТУСУРа, д.ф.-м.н.;
- Заболоцкий А.М., зав. каф. СВЧиКР ТУСУРа, д.т.н.;
- Зариковская Н.В., доцент каф. АОИ ТУСУРа, к.ф.-м.н.;
- Зейниденов А.К., PhD, декан физико-технического факультета 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.;
- Кобзев Г.А., проректор по международному сотрудничеству, к.т.н.;
- Костина М.А., доцент каф. УИ, к.т.н.;
- Коцубинский В.П., зам. зав. каф. КСУП ТУСУРа, доцент каф. КСУП, к.т.н.;
- Красинский С.Л., декан ЮФ ТУСУРа, к.и.н.;

- 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., г. Москва (по согласованию);
- Малютин Н.Д., гл.н.с. НИИ Систем электрической связи, проф. каф. КУДР ТУСУРа, д.т.н.;
- Мицель А.А., проф. каф. АСУ ТУСУРа, д.т.н.;
- Озеркин Д.В., декан РКФ ТУСУРа, к.т.н.;
- Орлова В.В., зав. каф. ФиС ТУСУРа, д.соц.н.;
- Осирко В.О., н.с. лаборатории прикладной электроники ИСЭ СО РАН, технический директор ООО «Прикладная электроника», к.т.н. (по согласованию);
- Покровская Е.М., зав. каф. ИЯ ТУСУРа, к.фил.н.;
- Разинкин В.П., проф. каф. ТОР, декан факультета радиотехники и электроники, Новосибирский государственный технический университет, д.т.н., г. Новосибирск (по согласованию);
- Рогожников Е.В., зав. каф. ТОР ТУСУРа, к.т.н.;
- 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.;
- Семенов Э.В., проф. каф. РСС ТУСУРа, д.т.н.;
- Сенченко П.В., проректор по учебной работе ТУСУРа, доцент каф. АОИ, к.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., зав. каф. ФЭ ТУСУРа, д.т.н., проф.;
- 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) по научной работе, ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет», к.т.н. (по согласованию);
- Шарангович С.Н., проф. каф. СВЧиКР ТУСУРа, к.ф.-м.н.;
- Шелупанов А.А., президент ТУСУРа, директор ИСИБ, д.т.н., проф.;
- Шурыгин Ю.А., директор департамента управления и стратегического развития ТУСУРа, зав. каф. КСУП, д.т.н., проф.;
- Krozer V., professor at Goethe University, Frankfurt am Main (по согласованию).

ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ

- Медовник А.В. – председатель Организационного комитета, начальник научного управления, д.т.н.;
- Бобер Ю.Н., специалист по учебно-методической работе ОАиД;
- Климов А.С., председатель Совета молодых ученых, ст. научный сотрудник лаборатории плазменной электроники каф. физики, д.т.н.;
- Коротина Т.Ю., заведующая аспирантурой ОАиД, к.т.н.;
- Михальченко Т.С., председатель студенческого научного сообщества «Система», 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 – Денисов Вадим Прокопьевич, проф. каф. РТС, д.т.н.; зам. председателя – Аникин Алексей Сергеевич, доцент каф. РТС, к.т.н.*

Подсекция 1.2. Проектирование и эксплуатация радиоэлектронных средств. *Председатель секции – Озёркин Денис Витальевич, декан РКФ, к.т.н.; зам. председателя – Понамарев Дмитрий Евгеньевич, преподаватель каф. КИПР.*

Подсекция 1.3. Радиотехника. *Председатель секции – Семенов Эдуард Валерьевич, проф. каф. РСС, д.т.н.; зам. председателя – Артищев Сергей Александрович, доцент каф. КУДР, к.т.н.*

Подсекция 1.4. Интеллектуальные видеoinформационные технологии. *Председатель секции – Курячий Михаил Иванович, доцент каф. ТУ, к.т.н.; 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. ТОР, к.т.н.; зам. председателя – Дмитриев Эдгар Михайлович, ассистент каф. ТОР.*

Подсекция 1.6. Робототехника. *Председатель секции – Коцубинский Владислав Петрович, доцент каф. КСУП, к.т.н.*

Подсекция 1.7. Интеллектуальные системы проектирования технических устройств. *Председатель секции – Шурыгин Юрий Алексеевич, директор департамента управления и стратегического развития ТУСУРа, зав. каф. КСУП, 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.; зам. председателя – Романовский Михаил Николаевич, доцент каф. КУДР, к.т.н.*

Подсекция 2.2. Разработка контрольно-измерительной аппаратуры. *Председатель секции – Лоцилов Антон Геннадьевич, проректор по НРиИ, зав. каф. КУДР, к.т.н.; зам. председателя – Бомбизов Александр Александрович, начальник СКБ «Смена», доцент каф. КУДР, к.т.н.*

Подсекция 2.3. Физическая и плазменная электроника. *Председатель секции – Троян Павел Ефимович, зав. каф. ФЭ, д.т.н., проф.; 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.; зам. председателя – Оскирко Владимир Олегович, н.с. лаборатории прикладной электроники ИСЭ СО РАН, технический директор ООО «Прикладная электроника», к.т.н.; Михальченко Сергей Геннадьевич, зав. каф. ПрЭ, д.т.н.*

Подсекция 2.5. Оптические информационные технологии, нанофотоника и оптоэлектроника. *Председатель секции – Шарангович Сергей Николаевич, проф. каф. СВЧиКР, к.ф.-м.н.; зам. председателя – Перин Антон Сергеевич, доцент каф. СВЧиКР, к.т.н.*

Подсекция 2.6. Электромагнитная совместимость. *Председатель секции – Заболоцкий Александр Михайлович, зав. каф. СВЧиКР, 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.*

Секция 3. Информационные технологии и системы

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

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

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

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, к.ф.-м.н.*

Подсекция 3.6. Разработка программного обеспечения. *Председатель секции – Зариковская Наталья Вячеславовна, доцент каф. АОИ, ген. директор ООО «АльдераСофт», к.ф.-м.н.; зам. председателя – Колотаев Илья Владимирович, главный разработчик ООО «Газпром ЦПС».*

Подсекция 3.7. Инструментальные средства автоматизации проектирования, управления и обработки данных. *Председатель секции – Хабибулина Надежда Юрьевна, декан ФВС, 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.*

Подсекция 4.3. Экономическая безопасность. *Председатель секции – Кузьмина Елена Александровна, проректор по программам развития, к.т.н.; зам. председателя – Колтайс Андрей Станиславович, ст. преподаватель каф. ЭБ.*

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, доцент 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.*
- 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, директор НОЦ «СГТ», д.соц.н., проф.; зам. председателя – Мальцева Мария Александровна, старший преподаватель каф. ФиС.*
- Подсекция 5.6. Актуальные проблемы социальной работы в современном обществе. *Председатель секции – Ким Максим Юрьевич, зав. каф. ИСР, к.и.н.; зам. председателя – Куренков Артем Валериевич, доцент каф. ИСР, к.и.н.*
- Подсекция 5.7. Актуальные вопросы частного права в условиях цифровой трансформации. *Председатель секции – Мельникова Валентина Григорьевна, доцент, зав. кафедрой 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., проф.; 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 ТУ-СУРА; 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 – Шнит Елена Ирисметовна, доцент 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

Сборник в 3 частях:

1 часть – 1-я секция (подсекции 1.1 – 1.7); 2-я секция (подсекции 2.1 – 2.4).

2 часть – 2-я секция (подсекции 2.5 – 2.7); 3-я секция (подсекции 3.1 – 3.7);
6 секция, 8 секция.

3 часть – 4 секция (подсекции 4.1 – 4.3); 5-я секция (подсекция 5.1 – 5.8).

7 секция издана отдельным сборником.

ГЕНЕРАЛЬНЫЕ СПОНСОРЫ

ООО «Научные приборы
и системы»



АО «НПФ «Микран»



АО «НИИПП»



Томское региональное отделение
ООО «Союз машиностроителей
России»



СПОНСОРЫ

ООО «СТК», г. Томск



ООО «500m ТЕХНОЛОДЖИЗ»



АО «ИнфоТеКС»



**Генеральный спонсор конференции –
группа компаний «Научное оборудование»**



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

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

Группа компаний «Научное оборудование» была образована в 1999 г. Основное направление деятельности компании – снабжение высокотехнологичным оборудованием учебных, научно-исследовательских и промышленных предприятий Сибири и Дальнего Востока России.

Мы анализируем задачи заказчика, подбираем оборудование под каждый конкретный случай, осуществляем поставку оборудования, а также оказываем технологическую и методологическую поддержку, гарантийный и послегарантийный ремонт. Некоторые наши заказчики доверяют нам полное закрытие всех потребностей своих лабораторий и в оборудовании, и в расходных материалах.

В штате компании состоят высококвалифицированные технические специалисты с собственным опытом научной работы. Наши специалисты регулярно знакомятся с новинками оборудования, с новыми подходами в приборостроении, посещают международные выставки и обучающие семинары от производителей. Для каждой задачи заказчика мы можем предложить самое современное решение. Существующие рабочие связи со многими лабораториями СО РАН позволяют оперативно привлекать к решению задач заказчика профильных научных специалистов. Кроме того, мы сами организуем мастер-классы и семинары, на которых наши заказчики имеют уникальную возможность попробовать новейшее оборудование для решения своих задач.

У нас налажены партнерские отношения со многими ведущими мировыми производителями научного и технологического оборудования как в России, так и за рубежом. У компании есть свой инженерный департамент; в случае необходимости мы можем самостоятельно разработать решение непосредственно под задачу заказчика.

Нашими заказчиками являются все академические институты Сибирского отделения Российской академии наук, многие промышленные предприятия, технологические компании, учебные заведения высшего образования Сибирского и Дальневосточного регионов.

Кроме деятельности по поставке и разработке оборудования, мы участвуем в продвижении разработок институтов СО РАН на внеш-

ний рынок, организуем совместные проекты институтов СО РАН с разными организациями по разработке конкретных технологических и наукоёмких решений.

Компания «Научные приборы и системы» строго следует закону и считает недопустимыми какие-либо компромиссы в правовом аспекте – вся деятельность компании основана на соблюдении требований как российского законодательства, так и законодательства стран деловых партнеров.

Своей миссией мы видим деятельное участие в поступательном развитии научно-технического потенциала Сибири и Дальнего Востока путём построения и реализации долгосрочных отношений с широким кругом партнёров и выстраивания сети, в рамках которой наши заказчики могут эффективно взаимодействовать, объединяя усилия для достижения общих результатов.

Группа компаний «Научное оборудование» существует уже более 20 лет. Сотрудничество с нами всегда продуктивно, комфортно и происходит в атмосфере взаимопонимания. У нас много амбициозных и долгосрочных задач, но прежде всего мы работаем над тем, чтобы задачи наших партнеров были решены самым простым и в то же время наилучшим образом.

Приглашаем к долгосрочному и взаимовыгодному сотрудничеству!

*Директор ООО «Научные приборы и системы»
Федоров Павел Леонидович*

**Генеральный спонсор конференции –
АО «НПФ «Микран»**



АО «НПФ «Микран»
634041, г. Томск,
пр-т Кирова, д. 51д

Т. +7 (382-2) 90-00-29
Ф. +7 (382-2) 42-36-15
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»
Пармонова Вера Юрьевна*

Генеральный спонсор конференции –
АО «НПФ «НИИПП»



АО «НИИПП» 634034, г. Томск,
niipp@niipp.ru ул. Красноармейская, 99а
www.niipp.ru Тел.: +7 (382-2) 28-82-88

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».

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 СВЧ0 и оптоэлектронных изделий на основе полупроводниковых соединений АЗВ5. Исследование нового материала – арсенида галлия – 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.

Основной девиз и принцип работы НИИПП – «Достижение науки – в производство».

Е.А. Монастырев: «Сохраняя традиционные направления, мы не стоим на месте, постоянно развиваемся, продолжаем работать с арсенидом галлия, производя интегральные схемы, отрабатываем нитрид-галиевую и фосфид-индиевую технологию. Позиции НИИПП в этом вопросе на российском и даже мировом рынке на хорошем уровне».

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 монолитные 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 монолитных интегральных схем (МИС) мм диапазона.

В НИИПП были созданы первые отечественные, не имеющие зарубежных аналогов монолитные интегральные схемы мм диапазона, обладающие уникальным сочетанием технологической простоты, высоких параметров и устойчивости к жестким внешним воздействиям. На основе этой технологии создаются образцы МИС и модулей на их основе самого разного типа (балансные смесители, двойные балансные смесители, смесители сдвига, детекторы, умножители частоты, квазимонолитные генераторы, модуляторы). Созданы образцы приемных и приемопередающих модулей в едином корпусе в 8, 5, 3 и 2 мм диапазоне. Проводится разработка монолитных интегральных схем для работы в диапазоне до 600 ГГц для радиоастрономических исследований и для зондирования атмосферы.

За время работы по направлению СВЧ-электроники на предприятии получено более 100 авторских свидетельств и патентов. Отдел СВЧ-электроники НИИПП в числе лидеров в области создания малогабаритных приемопередающих модулей и устройств для систем

ближней локации и радиовидения. Ежегодно АО «НИИПП» выполняет научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы (НИОКР) в рамках государственных программ.

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.

Развитие оптоэлектроники шло по нескольким направлениям: повышение мощности излучения диодов, создание излучающих диодов для волоконно-оптических линий связи (ВОЛС), разработка излучающих диодов с повышенной стойкостью к дестабилизирующим факторам, создание интегрированных оптоэлектронных устройств. Наряду с разработкой специализированных излучающих диодов на предприятии создавались индикаторные светодиоды различного цвета свечения, велась работа по двойному применению мощных светоизлучающих диодов.

На предприятии действует **испытательный технический центр (ИТЦ)**, аккредитованный в системе добровольной сертификации «Электронсерт», оснащенный уникальным оборудованием. В том числе измерительными комплексами на базе спектрометра, гониометра и фотометрического шара фирмы Instrument Systems (Германия); переносными средствами измерений (люксметры, яркомеры, спектрометроколориметры); стационарными гониофотометрическими установками.

Продукция 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.

Серия SLED-Street. Светодиодные уличные светильники предназначены для освещения открытых пространств. Светильники данной линейки освещают объекты различных регионов России: парко-

вые и пешеходные зоны, улицы, автомобильные дороги, внутридомовые территории, охранные периметры, площади, тоннели, мосты, автостоянки, строительные площадки, промышленные объекты и здания, карьеры по добыче полезных ископаемых открытым способом, складские помещения, самолётные ангары, сборочные самолётостроительные помещения, судовые верфи, наружные и внутренние площади нефте- и газоперерабатывающих предприятий, нефтяных месторождений (кустов). Светильники этой линейки учитывают различия климатических зон России и успешно прошли испытания в суровых климатических условиях на северных нефтяных месторождениях.

Серия SLED-Office. Светильники этой линейки создают комфортное и естественное внутреннее освещение административных помещений, предприятий торговли, муниципальных учреждений – поликлиник, больниц, школ, вузов и библиотек. В зависимости от серии светильники предоставляют дополнительные возможности, в том числе дезинфекции помещений. Грамотный подбор и размещение осветительных приборов крайне важны для комфорта сотрудников, покупателей, посетителей, пациентов. А также для оптимизации расходов на освещение. Эксперты НИИПП предлагают комплексное решение и бесплатно выполняют светотехнический расчёт.

SLED-Prom – для торговых, производственных, складских и приравненных к ним помещений, общественных и административных учреждений, торговых залов, складов, общественных учреждений, в том числе для помещений с повышенным температурным режимом.

SLED-B-Ex – применяются для общего освещения взрывоопасных зон всех классов помещений и наружных установок согласно маркировке взрывозащиты. Светильники этой линейки защищены от грязи, пыли, снега и воды.

АО «НИИПП» разрабатывает и поставляет светосигнальную технику для водных путей России с 1998 г. Речная светотехника производства НИИПП зарекомендовала себя в работе во многих речных бассейнах России. У предприятия большой опыт установки световых модулей на бакены: более 160 тысяч сигнальных огней производства НИИПП стоят на реках от середины Волги до Амура и несколько десятков – в море Лаптевых. Продукция зарегистрирована в речном реестре и соответствует требованиям Международной ассоциации маячных служб (МАМС), имеет малое энергопотребление и отличную цветопередачу на большие расстояния, устойчивость к внешним воздействиям. АО «НИИПП» выпускает разные позиции светотехнического оборудования для водных путей: светосигнальные приборы для установки на береговые и плавучие навигационные знаки, автономные светосигнальные приборы с питанием от солнечной энергии, фо-

тоавтоматы пускорегулирующие, лампы полупроводниковые светодиодные для светосигнальных приборов кругового и секторного действия, в том числе для замены ламп накаливания на светосигнальных приборах старого типа.

В 2023 г. началась апробация инвестпроекта, реализуемого АО «НИИПП» и субсидируемого Министерством промышленности и торговли РФ, – «Система удаленного мониторинга и управления навигационными огнями». НИИПП, предлагая большой спектр светосигнальной техники, переходит к комплексным решениям для речных бассейнов, что соответствует утверждённой распоряжением Правительства РФ стратегии развития внутреннего водного транспорта РФ до 2030 г.

Система включает в себя программную часть, устройства связи и передачи информации, навигационные огни (круговые, направленные) со светосигнальным оборудованием и системой автономного питания. Для системы разработан уникальный автономный круговой навигационный огонь с удалённым управлением, перезаряжаемой аккумуляторной батареей и солнечными элементами. Устройство может быть дополнительно оснащено датчиками влажности, температуры, глубины и другими в зависимости от задач заказчика. Электронный модуль адаптирован к серийно выпускаемым плавучим навигационным огням производства АО «НИИПП».

Система даёт онлайн-информацию о местоположении огня, напряжении на аккумуляторе, качестве радиосвязи, времени последней связи с бакеном, какое управление настроено (ручное или автоматическое), состоянии огня в данный момент, режиме свечения, уровне освещённости. По всем параметрам можно строить графики за выбранный период.

Система удалённого мониторинга и управления навигационными огнями решает задачи:

- поступления информации к диспетчеру в режиме реального времени;
- полной информации обо всех элементах системы;
- при отсутствии возможности передачи данных по сотовой связи, задействуется способ связи через радиоканал («от огня к огню»). GSM-связь используется только в местах хорошей доступности.

В итоге система служит для повышения безопасности речного судоходства в РФ, экономии ресурсов (материального, временного, человеческого) администраций бассейнов внутренних водных путей.

В 2022 г. АО «НИИПП» представило уникальный для российского рынка продукт – **зондовые станции** собственного производства, предназначенные для измерений в области СВЧ-электроники (изме-

рения можно выполнять и на других материалах). В 2022/23 г. 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»).

АО «НИИПП» уже 25 лет выпускает **реле контроля и защиты**, которые применяются для защиты трехфазных электроустановок любых производителей. В зависимости от диапазона контролируемых токов подбирается модель устройства одного из пяти типов: реле контроля и защиты (РКЗ, РКЗМ, РКЗ-И) и реле контроля, диагностики и защиты (РКД, РКДМ).

Выпуск **продукции медицинского назначения** в АО «НИИПП» начался в 1980-х гг. Сегодня это широкий спектр изделий, в том числе стимулятор желудочно-кишечного тракта «Сибириум» (в разных исполнениях, в том числе аппарат «Электрон»), аппараты для свето-, цвето- и магнитотерапии серии «Геска». НИИПП также выпускает узкоспециализированную продукцию для медиков.

В 2023 г. на рынок выведен комплекс автоматизированного мониторинга и контроля состояния здоровья человека «СМОТР», предназначенный для автоматизации и оптимизации процесса прохождения медицинского контроля состояния здоровья производственного персонала, в том числе предсменного/послесменного состояния водителей. Программно-аппаратный комплекс позволяет осуществлять удаленный сбор, передачу и анализ данных о состоянии здоровья человека в рамках реализации услуг удаленного здравоохранения – телемедицины. Проект реализуется в рамках Постановления Правительства РФ от 17.02.2016 № 109 по соглашению с Минпромторгом РФ.

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

*Генеральный директор АО «НИИПП»
Монастырев Евгений Александрович*

Спонсор конференции –
ООО «Системы. Технологии. Коммуникации» (ООО «СТК»)



ООО «СТК»
634034, г. Томск,
ул. Кулёва, д. 24
<http://stc-tomsk.ru>

Т. +7 (382-2)
60-97-08, 90-56-10
Эл. почта:
info@stc-tomsk.ru

Компания «СТК» является системным интегратором в области связи и автоматизации технологических процессов. Территориально расположена в Томске. За 10 лет компанией реализовано более 170 крупных проектов в области технологической связи и автоматизации технологических процессов. Компания является технологическим партнером ТУСУРа в области разработки, систем связи и автоматизации. ООО «СТК» очень внимательно относится к выбору партнерской сети, ориентируется только на лучших из них, работает напрямую с производителями оборудования и разработчиками программных продуктов. Является платиновым партнером «Моторолы», официальным дилером «Микран», «Нека», «Серагона», «Инфинета», «Элтека», «Индустроника», «Исс», «Бевард», «Аксис», «ITV», «CISCO». Отличительной особенностью нашей компании является комплексность в подходах построения систем и решении задач заказчика. Мы выполняем полный комплекс работ, начиная от проработки технического решения до обучения персонала заказчика и обслуживающего персонала (включая проектирование, поставку, СМР, ПНР и ввод в эксплуатацию).

ВИДЫ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Разработка проектной документации – разработка проектно-сметной документации для строительства систем связи и сдачи их в эксплуатацию. Подготовка необходимых документов в соответствии с принятыми нормами и техническими требованиями.

Сопровождение документации – разработка и научно-техническое сопровождение заявочных документов на получение частотных разрешений. Сопровождение документов при прохождении необходимых экспертиз. Полный комплекс работ: от подготовки и подачи заявки в госкомиссию до получения свидетельств на разрешение использования частот.

Монтажные и пусконаладочные работы – строительство «под ключ» систем связи и автоматизации, ОПС и систем видеонаблюдения на любых промышленных объектах.

Комплексная поставка оборудования – поставка оборудования комплексных системных решений от ведущих мировых производителей на любые промышленные и технологические объекты.

Собственные разработки и производство – система громкоговорящей связи «СТК-ГГС», базовая станция «СТК-ТС-ТЕТРА», базовая станция «СТК-ТС-DMR», шкафы автоматизации «СТК-САУ», шкафы телемеханики «СТК-ТМ», телекоммуникационные шкафы «СТК-ТС», система видеонаблюдения «DIVISION».

Обучение персонала – выезд на объект и обучение специалистов заказчиков работе с оборудованием, передача системы в эксплуатацию.

НАПРАВЛЕНИЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

1. Проектирование систем технологической связи, видеонаблюдения и АСУ ТП.
2. Системная интеграция в области технологической связи, видеонаблюдения и АСУ ТП.
3. Консалтинг в получении разрешений на использование радиочастот.
4. Поставка оборудования связи, видеонаблюдения и АСУ ТП.
5. Производство систем связи, видеонаблюдения и АСУ ТП.
6. Обучение персонала работе с оборудованием связи, видеонаблюдения и АСУ ТП.

ПРЕИМУЩЕСТВА

1. Практический опыт компании в решении задач связи и автоматизации.
2. Специальные свидетельства на деятельность по строительству зданий и сооружений, подтверждающие право на работу.
3. Высокое качество и надёжность поставляемого оборудования.
4. Решения только от ведущих производителей мирового уровня.
5. Высококвалифицированные специалисты с практическим опытом.
6. Законченные решения и гарантия бесперебойной работы систем.
7. Сотрудники постоянно повышают квалификацию и уровень технической подготовки, проходят регулярные тренинги и стажировки.
8. Официальные сертификаты производителей.
9. Производство – собственные производственные мощности.
10. Нам доверяют – положительная деловая репутация.

СОБСТВЕННАЯ РАЗРАБОТКА ОБОРУДОВАНИЯ

1. **Базовая станция «СТК-ТС-DMR»** построена на элементной базе ведущих мировых и отечественных производителей. Модульная архитектура позволяет реализовать любую задачу в части построения систем оперативной диспетчерской радиосвязи. Цифровая платформа СТК-ТС-DMR обеспечивает надёжную коммуникацию персонала

предприятия и управление технологическими процессами, объединяя в себе функции системы оперативно-диспетчерской радиосвязи, системы позиционирования радиоабонентов, оповещения в чрезвычайных ситуациях.

2. **Базовая станция «СТК-ТС-TETRA»** транкинговой связи стандарта TETRA предназначена для обеспечения увеличения зоны покрытия транкинговой радиосвязи. Представляет собой законченное решение в виде 19” шкафа с собственной системой резервного электропитания. Сокращенная потребность в обслуживании с выездом на место и возможность повторного использования станции в различных конфигурациях снижает эксплуатационные расходы. Малые размеры и масса упрощают транспортировку. Полная совместимость с инфраструктурным оборудованием DIMETRA IP производства Motorola Soluons.

3. **Система ГГС** построена на оборудовании ведущих мировых и отечественных производителей. Модульная архитектура позволяет реализовать любую задачу в части оповещения производственных площадок совместно с громкоговорящей и диспетчерской связью. Цифровая телекоммуникационная система оперативно-технологической громкоговорящей связи и оповещения с поддержкой IP. Цифровая платформа СТК-ГГС обеспечивает надежную коммуникацию персонала предприятия и управление технологическими процессами, объединяя в себе функции системы оперативно-диспетчерской двусторонней связи, громкого оповещения и экстренного оповещения о чрезвычайных ситуациях.

4. **Станция управления «СТК-САУ»** предназначена для автоматического управления технологическими процессами таких объектов, как дожимная насосная станция, установка предварительного сброса воды, установка подготовки нефти, центральный пункт сбора нефти, товарный парк. Станция управления осуществляет контроль параметров технологического процесса, а также выполняет функции противоаварийной защиты объекта. Станция управления может быть построена с применением контроллеров DirectLogic, Allen-Bradley (SLC-500, ControlLogix, CompactLogix, FlexLogix, MicroLogix), Modicon (Quantum, Momentum), Siemens (S7-300, S7-400).

5. **Шкаф телемеханики «СТК-ТМ».** Станция предназначена для построения системы телемеханики нефтяного или газового промысла и выполняет функции сбора, передачи информации с технологического оборудования куста скважин на верхний уровень системы ТМ. Станция ТМ строится на базе контроллера SCADAPack с модулями расширения.

6. Система видеонаблюдения «DIVISION» – законченное работоспособное решение, предназначенное для реализации функций технологического и охранного видеонаблюдения для нефтегазодобывающей, химической и топливной промышленности. Включает в себя весь комплекс необходимого оборудования и видеоаналитики: серверы записи и управления, рабочие места операторов, видеостены и мониторы отображения, видеокамеры внутреннего и наружного (до $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$) исполнения, стационарные и поворотные, взрывозащищенного и общепромышленного исполнения. Программное обеспечение, позволяющее интегрировать в единую систему видеокамеры различных производителей, интеграция с системами СКУД и ОПС, интеллектуальные функции видеоаналитики.

*Генеральный директор ООО «СТК»
Савин Андрей Дмитриевич*

НАШИ ЗАКАЗЧИКИ



НАШИ ВЕНДОРЫ



**Спонсор конференции –
ООО «50ohm Technologies»**

50ohm Technologies

✉ info@50ohm.tech ☎ +7-923-408-04-08
🌐 50ohm.tech/ru 📧 fiftyohm
📍 634045, г. Томск 🌐 fiftyohm

Компания «50ohm Technologies» разрабатывает программное обеспечение для автоматизации измерений, построения моделей компонентов и проектирования ВЧ- и СВЧ-радиоэлектронных устройств.

«50ohm Technologies» предлагает решения задач автоматизации рабочих процессов с учётом индивидуальных особенностей предприятия. Миссия компании – разрабатывать удобные, умные, интеллектуальные инструменты, которые помогают инженерам в области СВЧ-электроники быстро решать возникающие задачи.

Компания реализует программные решения по направлениям:

- автоматизация измерений устройств электроники и радиоэлектроники;
- базы данных результатов измерений и их автоматическая обработка;
- автоматизация проектирования СВЧ-устройств;
- построение моделей электронных компонентов;
- подготовка научно-технической документации.

Компания обладает компетенциями в использовании методов искусственного интеллекта и экспертных систем. Внедрение данных технологий на предприятие позволяет перейти на качественно новый уровень и автоматизировать наиболее рутинные этапы бизнес-процессов.

«50ohm Technologies» предлагает услуги по разработке систем автоматизации измерений, реализуемых на основе оборудования заказчика. Использование готовых сценариев измерений конкретных компонентов и устройств в значительной степени сократит время тестирования и повысит эффективность измерений. «50ohm Technologies» производит разработку решений автоматизированной генерации технической документации по типовым шаблонам – от оформления графиков до формирования готовых документов.

Компания обладает значительным опытом построения моделей пассивных и активных СВЧ-компонентов. Создание программного обеспечения на основе общепринятых и авторских методик в значительной степени упрощает и автоматизирует процесс построения мо-

делей, уменьшая временные и финансовые затраты предприятия на данном этапе.

Наиболее сложным этапом в процессе проектирования СВЧ-устройства является получение схмотехнического и топологического решений. За годы научной работы коллектив получил успешный опыт разработки и использования программных модулей САПР, основанных на методах искусственного интеллекта. Такие программы позволяют получить целый набор решений, из которых разработчик может выбрать наиболее подходящее для дальнейшей реализации. Также компания занимается автоматизацией проектных операций в популярных коммерческих САПР СВЧ-устройств и интеграцией между ними.



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

**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 300 компаний. В штате трудоустроено более 1 600 сотрудников, а офисы открыты в 9 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 поддержка научных разработок и исследовательских проектов, а также обучение и продвижение молодых специалистов.

Поэтому уже более 12 лет «ИнфоТеКС» активно работает над развитием потенциала будущего и реализует специальную программу стажировки «ИнфоТеКС Академия». Главная задача проекта – помо-

гать специалистам получать и эффективно использовать знания и навыки, необходимые для успешной работы в сфере информационной безопасности. Участники стажировки работают над реальными проектами компании под руководством опытных кураторов, а лучших из них «ИнфоТеКС» приглашает в ряды штатных сотрудников.

Кроме того, в рамках «ИнфоТеКС Академии» осуществляется грантовая программа, направленная на поддержку молодых учёных, формирование кадрового потенциала и развитие научно-исследовательской среды в области криптографии, ИТ- и ИБ-разработок. В рамках данной программы уже реализовано более 49 проектов и получено 7 патентов.

*Генеральный директор АО «ИнфоТеКС»
Чапчаев Андрей Анатольевич*

Секция 2
ЭЛЕКТРОНИКА И ПРИБОРОСТРОЕНИЕ
(подсекции 2.5–2.7; стр. 31 – 106)

Секция 3
ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
И СИСТЕМЫ
(подсекции 3.2 – 3.7; стр. 107 – 221)

6 секция
ЭКОЛОГИЯ И МОНИТОРИНГ
ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ.
БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ
(стр. 222 – 253)

8 секция
POSTGRADUATE AND MASTER STUDENTS’
RESEARCH IN ELECTRONICS
AND CONTROL SYSTEMS
(стр. 254 – 271)

Секция 2

ЭЛЕКТРОНИКА

И ПРИБОРОСТРОЕНИЕ

ПОДСЕКЦИЯ 2.5

ОПТИЧЕСКИЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, НАНОФОТОНИКА И ОПТОЭЛЕКТРОНИКА

*Председатель – Шарангович С.Н., проф. каф. СВЧиКР, к.ф.-м.н.;
зам. председателя – Перин А.С., доцент каф. СВЧиКР, к.т.н.*

УДК 535.421

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ И ДИФРАКЦИИ СВЕТА НА ОТРАЖАТЕЛЬНЫХ МНОГОСЛОЙНЫХ НЕОДНОРОДНЫХ ГОЛОГРАФИЧЕСКИХ ДИФРАКЦИОННЫХ СТРУКТУРАХ В ФОТОПОЛИМЕРИЗУЮЩИХСЯ КОМПОЗИЦИЯХ

Д.Р. Плотников, В.А. Шардаков,

Ю.А. Алтухов, Д.М. Чубаров, студенты;

В.О. Долгирев, ассистент; С.Н. Шарангович, проф. каф. СВЧиКР

*Проект ГПО СВЧиКР-2304. Голографические дифракционные
структуры на основе фотополимеризующихся композиций
г. Томск, ТУСУР*

Представлены результаты экспериментов, проведенных для изучения процесса формирования и дифракции света на многослойных неоднородных голографических дифракционных структурах, которые были записаны в фотополимерных пленках BayFall HX 200 с использованием отражательной геометрии записи. В результате исследования было выявлено, что при записи с отражающей геометрией наличие набора локальных максимумов и минимумов угловой

селективности характерно только для прошедшего излучения, причем ширина общего контура сопоставима, как и для дифрагированного излучения при пропускающей геометрии записи. Для дифрагированного же излучения заметно сужение угловой селективности, а также ее смещение вследствие особых искажений, присутствующих в пространственной структуре фотополимерного слоя.

Ключевые слова: дифракция, МНГДС, ФПМ.

Ранее в работах [1, 2] были исследованы процессы формирования и дифракции света при пропускающей геометрии записи для многослойных неоднородных голографических дифракционных структур (МНГДС). Данные структуры были записаны в фотополимерных материалах (ФПМ), таких как тонкие пленки BayFall HX 200 и пленки производства «Полимерные голограммы – Новосибирск». Отличительной особенностью МНГДС является угловая селективность дифрагированного излучения, представляющая череду локальных максимумов и минимумов, общий контур которых соответствовал одиночной дифракционной структуре. Кроме того, в работе [1] были проведены исследования, показывающие возможность кратного уширения угловых и спектральных характеристик с помощью последовательной записи нескольких фотонных структур.

Однако в настоящее время недостаточно внимания уделено изучению характеристик МНГДС, сформированных в ФПМ при отражательной геометрии записи. Основным преимуществом при такой схеме записи является более высокая разрешающая способность и высокая спектральная селективность. Таким образом, целью данной работы является исследование процесса формирования и дифракции света при отражательной геометрии записи на МНГДС в ФПМ.

В качестве исследуемого образца была использована двухслойная голографическая дифракционная структура (ГДС), состоящая из двух тонких ФПМ-пленок BayFall HX 200 толщиной 16 ± 2 мкм. Сами пленки отделены однородным буферным слоем толщиной 60 мкм.

На рис. 1 представлена конфигурация экспериментальной установки для записи и считывания МНГДС с отражающей геометрией. Световой источник, представленный гелий-неоновым лазером (Л) с максимальной выходной мощностью до 30 мВт и апертурой 1 мм, излучает свет с длиной волны 633 нм. После прохождения через серию зеркал (З) световой пучок разделяется на два с помощью светоделительного кубика (с.к.), затем направляется в центр вращения образца с МНГДС, формируя внутри него интерференционную картину. Угол записи составлял 45 градусов. После прохождения через образец световые пучки попадают на анализаторы (А) для измерения мощно-

сти оптического излучения. Для изучения угловых характеристик, сформированных МНГДС, один из пучков блокируется шторкой (Ш).

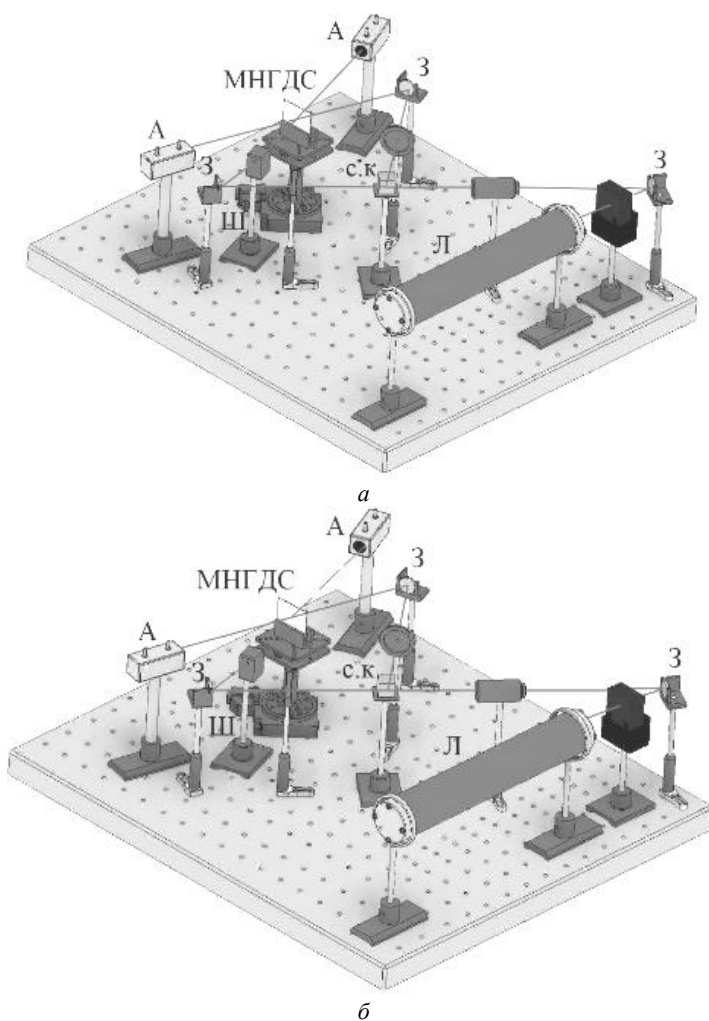


Рис. 1. Схемы: *а* – записи и *б* – считывания МНГДС

На рис. 2 приведенная полученная кинетика формирования дифракционной эффективности (ДЭ) и угловая селективность прошедшего и дифрагировавшего излучения.

Как видно из рис. 2, *а*, после 5 с записи уровень ДЭ начинает снижаться. Это, вероятно, обусловлено тем, вектор дифрагированного излучения имеет более смещенный угол вследствие искажения внутренней пространственной структуры решеток [3], которое может возникать из-за различных факторов. Например, это возможно из-за изменения амплитуды модуляции показателя преломления, которое обусловлено вариациями энергии засветки на разных глубинах фотополимерного слоя [2]. Кроме этого, периодичность также может быть нарушена из-за усадки толщины ФПМ в процессе записи [3].

Из рис. 2, *б* следует, что для угловой селективности прошедшего излучения наблюдается чередование максимумов и минимумов, как это было характерно для дифрагированного излучения при пропускающей геометрии записи [1, 2]. Появление же их обусловлено интерференцией волн из каждой решетки. Причем ширина угловой селективности для прошедшего излучения при отражательной геометрии записи очевидно сопоставима, как и с пропускающей геометрией [1, 2]. Вместе с тем угловая селективность для дифрагированного излучения не имеет характерный ряд локальных максимумов и минимумов, что говорит об отсутствии интерференции между двумя решетками. Также для дифрагированного пучка заметны более узкая угловая селективность и наличие засветки от отраженного луча, который виден в виде дополнительного пика.

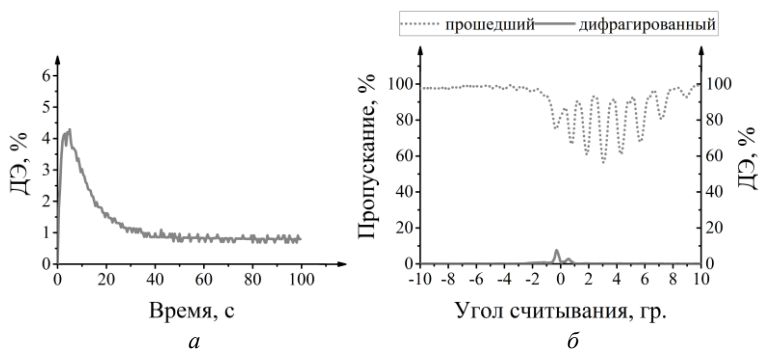


Рис. 2. Графики кинетики формирования ДЭ угловой селективности излучения: прошедшего – *а* и дифрагированного – *б*

ЛИТЕРАТУРА

1. Dolgirev V.O. Light diffraction on inhomogeneous multiplexed multilayer holographic structures in photopolymerizing compositions / V.O. Dolgirev, S.N. Sharangovich, D.S. Rastrygin // Russian Physics Journal. – 2023. – Vol. 66, No. 8. – P. 900–905.

2. Исследование дифракции света на многослойных неоднородных голографических ФПМ дифракционных структурах в условиях ФИП / В.О. Долгирев, С.Н. Шарангович, В.Г. Иванченко, Д.С. Растрыгин // Сб. науч. трудов XVIII Междунар. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых «Перспективы развития фундаментальных наук». – Томск: НИ ТПУ, 2021. – С. 32–34.

3. Пен Е.Ф. Спектральные свойства каскада голографических отражательных решеток, разделенных однородным слоем / Е.Ф. Пен, М.Ю. Родионов, П.А. Чубаков // Автометрия. – 2017. – Т. 53, № 1. – С. 73–82.

УДК 681.7.068

РЕАЛИЗАЦИЯ И ИССЛЕДОВАНИЕ КОЛЛИМИРУЮЩЕЙ ОПТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ ВОЛОКОННЫХ СФЕРИЧЕСКИХ МИКРОЛИНЗ ДЛЯ БЕСКОНТАКТНЫХ ОПТИЧЕСКИХ СОЕДИНИТЕЛЕЙ

А.А. Шейнбергер, м.н.с.; М.С. Цехановская, м.н.с.;

Ю.С. Жидик, в.н.с. ЛИОР каф. ФЭ

*Научный руководитель М.В. Степаненко, н.с. ЛИОР каф. ФЭ
г. Томск, ТУСУР, annasejnberger@gmail.com*

Представлены результаты исследования коллимирующих оптических систем на основе волоконных сферических микролинз с различными геометрическими параметрами. Даны рекомендации по применению данных оптических систем в бесконтактных оптических соединителях.

Ключевые слова: волоконные сферические микролинзы, оптические системы, оптоволокно, бесконтактные оптические соединители.

В волоконно-оптических линиях связи часто требуется оптическое соединение оптоволоконных кабелей друг с другом. Особую сложность представляет оптическое соединение волоконных кабелей, устойчивое к загрязнениям и вибрации. Для этого применяются бесконтактные оптические соединители. Их конструкция, как правило, включает коллимирующие сферические микролинзы [1–3]. Однако применение дискретных микролинз приводит к потерям оптической мощности. Это вызвано отклонением микролинз и сегментов оптического волокна от установленного положения, связанным с технологическими возможностями позиционирующего оборудования и усадкой клеевых фиксирующих составов. Одним из решений данной проблемы является использование волоконных сферических микролинз, которые представляют собой монолитную конструкцию из одномодового оптического волокна и сферической микролинзы. Кроме того, во-

локонные сферические микролинзы могут применяться в системах вывода излучения лазерных диодов в волоконные световоды [4–6].

Таким образом, целью данной работы является разработка волоконных сферических микролинз и исследование оптических систем на их основе.

Были изготовлены образцы волоконных сферических микролинз с различными геометрическими параметрами. Изготовление волоконных сферических микролинз осуществлялось следующим образом. При помощи автоматического сварочного аппарата к сегментам одномодового оптоволокна марки SMF-28 присоединялись сегменты многомодового (бессердцевинного) оптоволокна произвольной длины. Далее для обеспечения требуемой длины бессердцевинной вставки осуществлялся скол сегмента многомодового оптоволокна на определенном расстоянии от места сварки. Затем методом дугового оплавления на сегментах многомодового оптоволокна формировались волоконные сферические микролинзы. Далее осуществлялся автоматизированный контроль качества линзы.

На основе изготовленных образцов волоконных сферических микролинз были реализованы оптические системы по типу системы, изображенной на рис. 1. Стоит отметить, что система на рис. 1 является идеализированным приближением. Для реальных систем пучок на выходе из излучающей линзы не был строго коллимированным и имел некоторый угол сходимости или расходимости.

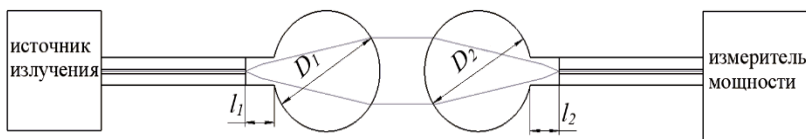


Рис. 1. Схематическое изображение оптической системы на основе пары концевых сферических микролинз

Ниже приведена табл. 1, в которой показаны все реализованные системы, каждой из которых присвоен номер.

Таблица 1

Реализованные оптические системы				
№	d_1 , мкм	l_1 , мкм	d_2 , мкм	l_2 , мкм
1	250	108	300	221
2	250	108	300	111
3	250	116	300	111
4	300	221	300	111
5	300	111	300	221

Коллимирующая оптическая система, применяемая в бесконтактных оптических соединителях, должна обеспечивать как можно меньшие потери оптической мощности при как можно больших расстояниях между линзами. Для каждой системы линз были проведены измерения оптической мощности, собираемой принимающей линзой при различных расстояниях между линзами. Для каждой системы было определено наибольшее значение переданной оптической мощности (P_{\max}), а также расстояние между линзами, при котором наблюдалось данное значение оптической мощности ($d_{P_{\max}}$). Также для расстояний $d_{P_{\max}}$ были определены потери передаваемой мощности ΔP . Мощность на выходе из источника излучения во всех случаях составляла 10 мВт. Результаты измерений представлены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты исследования оптических систем

№ системы	1	2	3	4	5
η , отн.ед.	0,89	0,76	0,84	0,95	0,94
$d_{P_{\max}}$, мкм	500	200	200	500	500

Согласно экспериментальным данным (см. табл. 2), реализованные системы обеспечивают бесконтактную передачу излучения между оптическими волокнами с потерями оптической мощности не более 25%. Однако наибольшая переданная мощность для систем № 2 и 3 наблюдается при достаточно малых расстояниях между линзами в сравнении с другими системами, что делает данные системы непригодными для применения в бесконтактных оптических соединителях. Остальные реализованные оптические системы, в свою очередь, могут использоваться в бесконтактных оптических соединителях.

Работа выполнена коллективом научной лаборатории интегральной оптики и радиофотоники при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках проекта FEWM 2024-0004.

ЛИТЕРАТУРА

1. Single-channel expanded beam connector: US 7,775,725 B2. № 12/260,426 / Grinderslev S.; опубли. 17.08.2010.
2. Expanded beam connector: US 8,511,909 B2. № 12/756,600 / Kadar-Kallen M.A.; опубли. 20.08.2012.
3. Lee Y.-G. et al. Alignment tolerant expanded beam connector based on a gapless fiber-lens interface // Appl. Opt. Optica Publishing Group. – 2016. – Vol. 55, № 2. – P. 341–344.
4. Méndez A.M. Specialty Optical Fibers Handbook / ed. Méndez A.M.T.F. Academic Press. – 2007. – 1-st edition.

5. Исследование систем вывода излучения лазерного диода в одномодовое оптическое волокно / А.А. Шейнбергер, М.В. Степаненко, Ю.С. Жидик и др. // Фотоника. – 2023. – Т. 17, № 7. – С. 526–541. DOI: 10.22184/1993-7296.FRos.2023.17.7.526.538.

6. Milenko K. et al. Optimization of SERS Sensing With Micro-Lensed Optical Fibers and Au Nano-Film // J. Lightwave Technol. Optica Publishing Group. – 2020. – Vol. 38, No. 7. – P. 2081–2085.

УДК 535.421

ПРЕОБРАЗОВАНИЕ СЕЛЕКТИВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЧИРПИРОВАННЫХ МУЛЬТИПЛЕКСИРОВАННЫХ ТРЕХСЛОЙНЫХ ГОЛОГРАФИЧЕСКИХ ДИФРАКЦИОННЫХ СТРУКТУР В ФПМ-ЖК

*Д.О. Удовенко, магистрант; В.О. Долгирев, Д.С. Растрзыгин, аспиранты каф. СВЧиКР; С.Н. Шарангович, проф. каф. СВЧиКР
Научный руководитель С.Н. Шарангович, проф. каф. СВЧиКР*

Представлено численное моделирование селективных свойств мультиплексированных чирпированных трехслойных голографических дифракционных структур, сформированных в фотополимерном материале с нематическими жидкими кристаллами. Результаты моделирования показали, что при варьировании отклонением модуля K от среднего значения и применяя метод последовательной записи, возможно значительно увеличить ширину угловой селективности дифракционной структуры.

Ключевые слова: мультиплексирование, чирпирование, селективность, ФПМ-ЖК.

В предыдущих исследованиях [1–4] было показано, что увеличение ширины селективного отклика достигается за счет использования мультиплексированных голографических дифракционных структур (ГДС) и чирпированных ГДС.

Главная задача представленной работы – численное моделирование процесса преобразования селективных характеристик чирпированных мультиплексированных трехслойных ГДС в ФПМ-ЖК.

Используя метод численного моделирования, было проведено исследование такого процесса, как дифракции света на чирпированной мультиплексированной трехслойной ГДС, сформированной в ФПМ-ЖК. При моделировании были использованы следующие параметры: $d_n = 20$ мкм – ширина ФПМ-ЖК слоя; $t_n = 297$ мкм – толщина буферного слоя; $n_p = 1,530$ – показатель преломления полимера;

$n_{LC}^o = 1,535$ – обыкновенный показатель преломления ЖК; $n_{LC}^e = 1,680$ – необыкновенный показатель преломления ЖК; $\theta_b = 8$ градусов – угол Брэгга; $\lambda = 633$ нм – длина волны записи и считывания; $0,5\nabla^2\varphi^{n,n_h} = \{2,5 \cdot 10^5; 3,5 \cdot 10^5; 4,5 \cdot 10^5\}$ 1/мм – отклонение модуля вектора \mathbf{K} от среднего значения.

Последовательная запись осуществлялась под углами $\psi = \{-5; 5^\circ\}$ градусов – для мультиплексированной трехслойной ГДС и $\psi = \{-5; 5^\circ\}$ при $0,5\nabla^2\varphi^{n,n_h} = 2,5 \cdot 10^5$ 1/мм, $\psi = \{-8; 8^\circ\}$ при $0,5\nabla^2\varphi^{n,n_h} = 3,5 \cdot 10^5$ 1/мм и $\psi = \{-10; 10^\circ\}$ градусов при $0,5\nabla^2\varphi^{n,n_h} = 4,5 \cdot 10^5$ 1/мм – для мультиплексированной chirпированной трехслойной ГДС соответственно.

На представленных ниже рис. 1–3 продемонстрировано влияние угла поворота образца на дифракционную эффективность для мультиплексированной трехслойной ГДС и для мультиплексированной трехслойной ГДС с изменяющимся периодом.

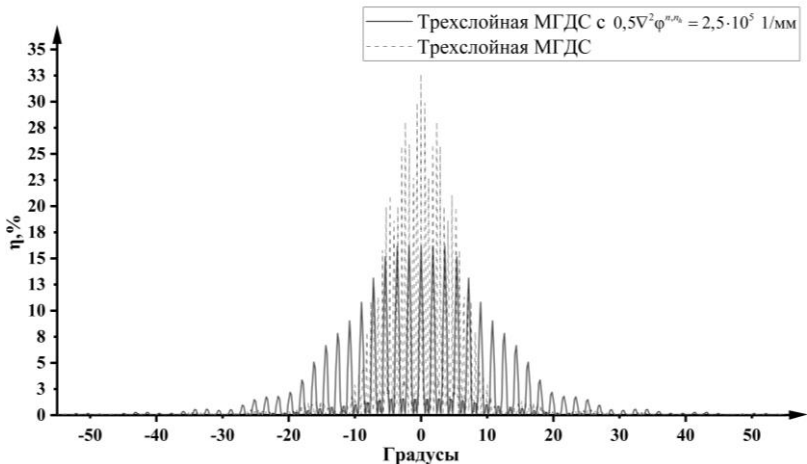


Рис. 1. График угловой селективности мультиплексированной и chirпированной ГДС с изменяющимся периодом $0,5\nabla^2\varphi^{n,n_h} = 2,5 \cdot 10^5$ 1/мм

Исходя из рис. 1–3, видно, что при последовательной записи мультиплексированной chirпированной трехслойной ГДС относитель-

но мультиплексированной трехслойной ГДС увеличение ширины угловой селективности обеспечивается до 3 раз при $0,5\nabla^2\varphi^{n,n_h} = 2,5 \cdot 10^5$ 1/мм, до 4 раз при $0,5\nabla^2\varphi^{n,n_h} = 3,5 \cdot 10^5$ 1/мм и до 5,5 раза при $0,5\nabla^2\varphi^{n,n_h} = 4,5 \cdot 10^5$ 1/мм.

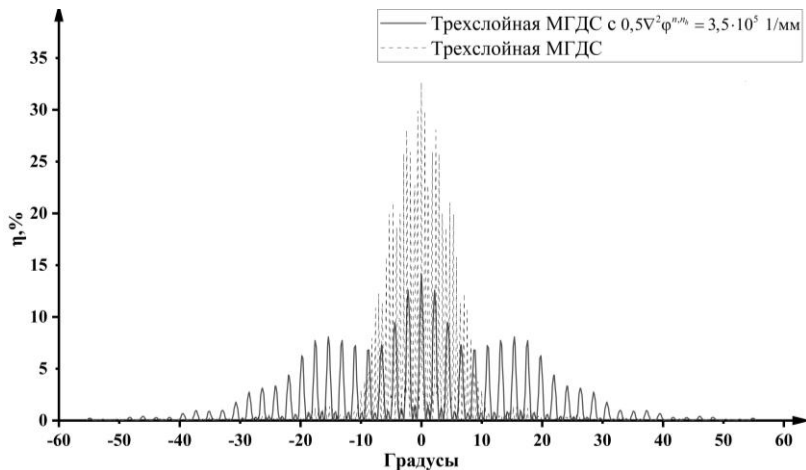


Рис. 2. График угловой селективности мультиплексированной и мультиплексирующей ГДС с изменяющимся периодом $0,5\nabla^2\varphi^{n,n_h} = 3,5 \cdot 10^5$ 1/мм

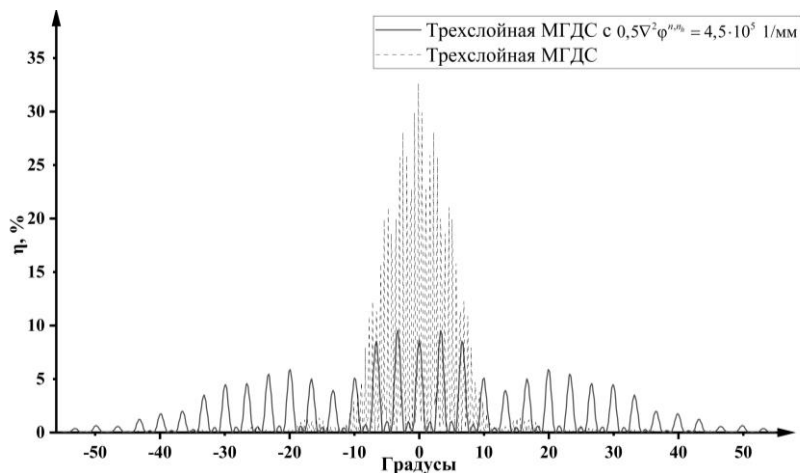


Рис. 3. График угловой селективности мультиплексированной и мультиплексирующей ГДС с изменяющимся периодом $0,5\nabla^2\varphi^{n,n_h} = 4,5 \cdot 10^5$ 1/мм

Таким образом, результаты проведенного численного моделирования показывают, что при формировании трехслойной ГДС методом последовательной записи и варьируя отклонением модуля **K**, можно добиться увеличения ширины угловой селективности вплоть до 5,5 раза. Следовательно, также появляется возможность увеличить полосу пропускания таких структур при использовании их в качестве спектральных фильтров до 5,5 раз относительно стандартной многослойной голографической дифракционной структуры.

ЛИТЕРАТУРА

1. Быков Д.А. Теория связанных мод для резонансных дифракционных решеток с изменяющимся периодом / Д.А. Быков, Е.А. Безус, Л.Л. Досколович // Компьютерная оптика. – 2023. – Т. 47, № 3. – С. 341–349. DOI: 10.18287/2412-6179-CO-1232.

2. Долгирев В.О. Исследование дифракции света на электрически управляемых мультиплексированных многослойных неоднородных голографических ФПМ-ЖК дифракционных структурах / В.О. Долгирев, С.Н. Шарангович, Д.С. Растрьгин // Труды школы-семинара «Волны–2023»: Нанофотоника, метаматериалы и фотонные кристаллы. – 2023. – С. 47–50.

3. Dovolnov E. Theoretical and experimental investigation of photopolymer chirped gratings formation / E. Dovolnov, S. Sharangovich, J.T. Sheridan // Photo-refractive Effects, Materials, and Devices 2005 (PR05), OSA Trends in Optics and Photonics Series (TOPS). – 2005. – Vol. 99. – P. 337–342.

4. Растрьгин Д.С. Мультиплексированные голографические ФПМ-ЖК дифракционные структуры с изменяющимся периодом / Д.С. Растрьгин, В.О. Долгирев, С.Н. Шарангович // XIII Междунар. конф. по фотонике и информационной оптике: Сб. науч. трудов. – М.: НИЯУ МИФИ, 2024. – С. 619–620.

ПОДСЕКЦИЯ 2.6

ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ СОВМЕСТИМОСТЬ

Председатель – Заболоцкий А.М., зав. каф. СВЧиКР, д.т.н.;
зам. председателя – Белоусов А.О., доцент каф. ТУ, к.т.н.

УДК 621.3.049.75

ГРАФИЧЕСКИЙ ИНТЕРФЕЙС ПРОГРАММЫ ДЛЯ ОЦЕНКИ ИЗЛУЧАЕМОЙ ЭМИССИИ ОТ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ С МОДАЛЬНЫМ РЕЗЕРВИРОВАНИЕМ

Т.Ф. Данг, аспирант каф. ТУ;

А.Ф. Алхадж Хасан, м.н.с. НИЛ «БЭМС РЭС», к.т.н.

Научный руководитель Т.Р. Газизов, зав. каф. ТУ, д.т.н.

г. Томск, ТУСУР, dang.p.2213-2023@e.tusur.ru

Разработан графический интерфейс программы для оценки излучаемой эмиссии от печатных плат с модальным резервированием. Представлена информация об использованных библиотеках и функциях при ее реализации. Программа позволяет пользователям в системе TALGAT ввести входные данные платы и рассчитать распределение тока в ее проводниках и напряженность электрического поля в дальней зоне.

Ключевые слова: TALGAT, Python, печатная плата, графический интерфейс пользователя, излучаемая эмиссия, модальное резервирование.

Система TALGAT предназначена для решения электромагнитных задач и анализа свойств сложных проводящих и диэлектрических структур [1]. К таким задачам относится и оценка излучаемой эмиссии от печатных плат с модальным резервированием (MP) [2]. Однако это довольно сложно для пользователей, которые не сталкивались с языком TALGAT_Script. Поэтому цель данной работы – разработать графический интерфейс пользователя (ГИП), помогающий ему легко оценить излучаемую эмиссию от печатных плат с MP.

Разработанный ГИП позволяет осуществить:

- Построение поперечного сечения структуры печатной платы и ее эквивалентной электрической схемы.

- Вычисление матриц погонных сопротивлений, коэффициентов электромагнитной и электростатической индукции, проводимостей и вектора результирующего тока.
- Построение эквивалентной проводной структуры.
- Построение графиков частотной зависимости максимальной напряженности поля и токов в проводах структуры в зависимости от их сегментов.
- Трехмерное отображение диаграммы направленности (ДН) структуры в дальней зоне с распределением поверхностного тока в ее проводах.
- Вычисление затрачиваемого времени на выполнение каждого этапа расчета.

Алгоритм работы ГИП следующий. Сначала пользователь задает параметры структуры: количество и параметры проводников, количество сегментов, параметры материалов, вид схемной земли (бесконечная или конечная), исследуемый диапазон частот. Далее задаются параметры эквивалентной электрической схемы: частота, на которой будет вычисление частотного отклика, амплитуда ЭДС, сопротивления согласующих нагрузок. Для построения ДН необходимо задать начальные и конечные значения углов θ и φ , их шаг и расстояние.

ГИП создан на языке программирования Python [3], поскольку он популярен, и в нем интегрировано множество библиотек, позволяющих легко создавать интерфейсы (tkinter, tkinter.ttk, matplotlib, FigureCanvasTkAgg). В ГИП использованы разные виджеты [4]: Label, Button, Checkbox, Radio button и Entry.

Функции и классы, используемые в ГИП: Tooltip – для отображения объяснения всех меток. В Main объявляются все переменные, кнопки и вводные элементы. Multi_return служит для связи вводных элементов с функциями вычисления, set_inf_ground – выбора вида схемной земли, draw_one_structure – построения и отображения структуры, calc_R, calc_L, calc_C, calc_G и calc_res_curt – вычисления погонных матриц R , L , C , G и тока, equivalent_wiregrid_structure – построения и отображения эквивалентной проводной структуры, calc_pole – вычисления и отображения ДН, draw_current – 3D-трехмерного отображения распределения поверхностного тока в проводах, change_axis_I – двухмерного отображения распределения токов в проводах структуры в зависимости от номера сегмента.

При запуске программы появляется основное окно (рис. 1). Для проверки работоспособности ГИП проведен тестовый запуск на примере двухпроводной линии передачи (рис. 2). Двухмерное отображение распределения тока вдоль сегментов на частоте $f = 1$ ГГц и частотные зависимости E_{\max} представлены на рис. 3.

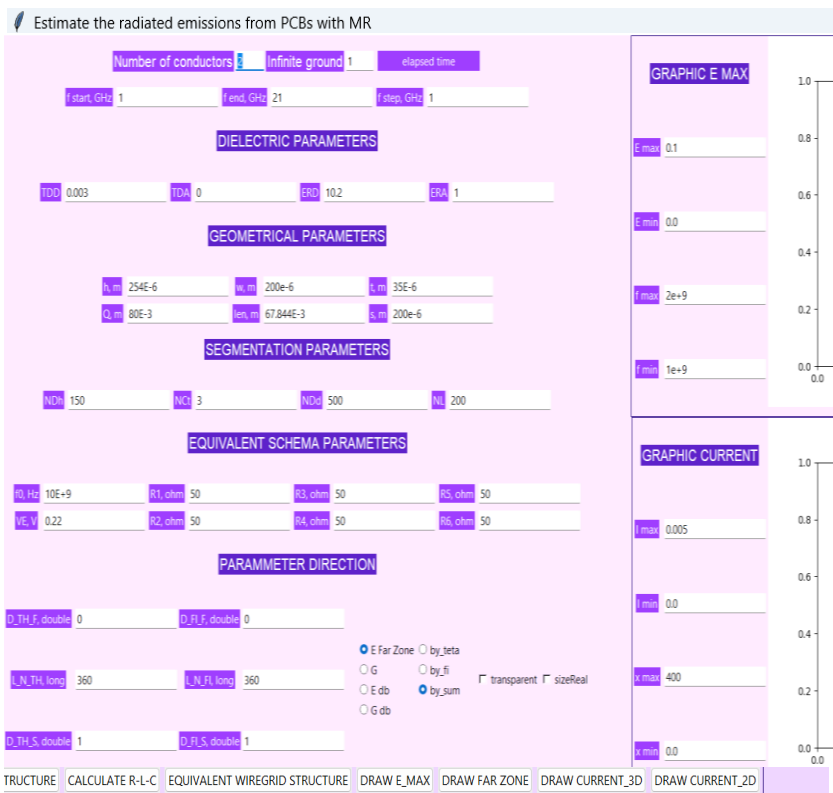


Рис. 1. Основное окно ГИП

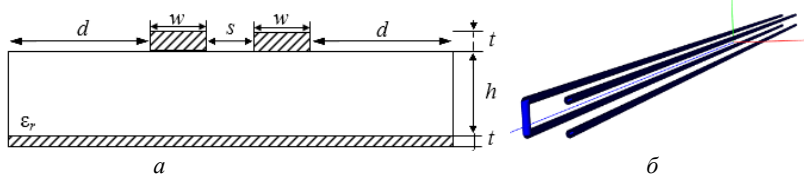


Рис. 2. Поперечное сечение исследуемой структуры (а) и ее эквивалентная проводная структура (б)

Таким образом, разработан ГИП программы для оценки излучаемой эмиссии от печатных плат с модальным резервированием. Показана его работоспособность. В будущем программу можно развивать путем, например, добавления условия проверки ввода данных и параллелизации ее реализации для ускорения работы.

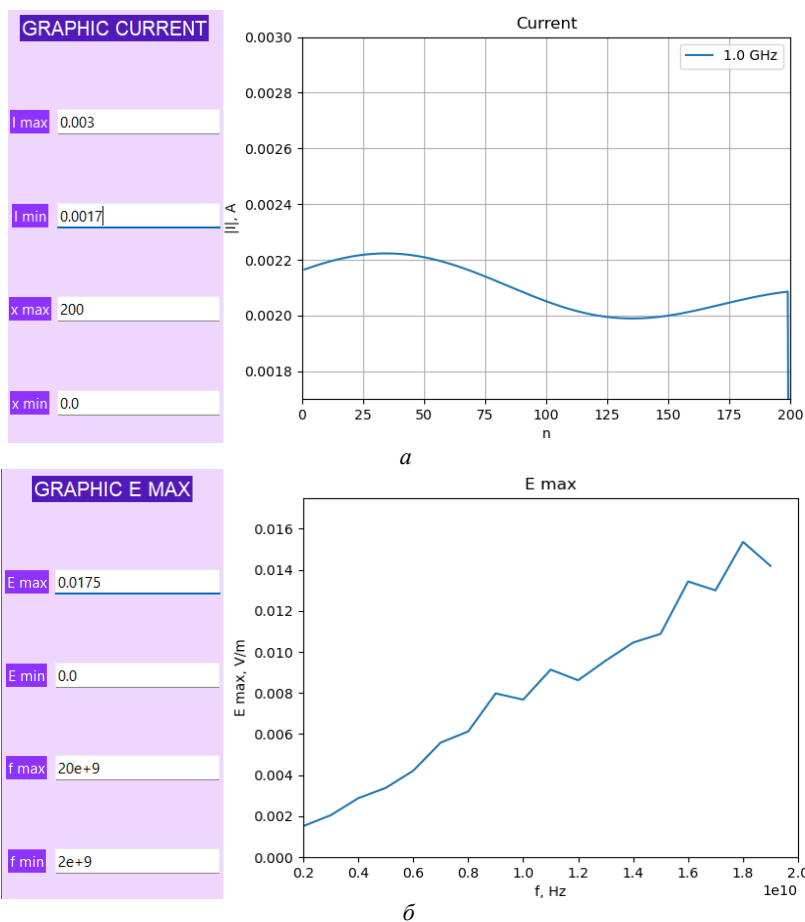


Рис. 3. Двухмерное отображение распределения тока вдоль сегментов на частоте $f = 1$ ГГц (а) и частотные зависимости E_{\max} (б)

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России по проекту FEWM-2022-0001.

ЛИТЕРАТУРА

1. Куксенко С.П. Разработка программного обеспечения для моделирования радиоэлектронных средств с учетом электромагнитной совместимости в ТУСУРе / С.П. Куксенко, Т.Р. Газизов // Наноиндустрия. – 2023. – Т. 16, № S9-1 (119). – С. 170–178. DOI: 10.22184/1993-8578.2023.16.9s.170.178.

2. Алхадж Х.А. Обзор исследований по модальному резервированию / Х.А. Алхадж, Т.Р. Газизов // Доклады ТУСУР. – 2022. – Т. 25, № 4. – С. 54–67. DOI: 10.21293/1818-0442-2022-25-4-54-67.

3. Python [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://metanit.com/python/tutorial/>, свободный (дата обращения: 15.02.2024).

4. Python and Tkinter Programming [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://electrovolt.ir/wp-content/uploads/2017/07/Python_And_Tkinter_Programming_ElectroVolt.ir_.pdf, свободный (дата обращения: 01.02.2024).

5. Алхадж Хасан А.Ф. Модель и методики для оценки уровня электромагнитного излучения печатных плат с модальным резервированием и антенн с аппроксимацией проводной сеткой: дис. ... канд. техн. наук. – М., 2023. – 214 с.

УДК 621.396, 004.514

ПРОГРАММНЫЙ МОДУЛЬ ДЛЯ УПРОЩЕНИЯ ПРОЦЕССА МОДЕЛИРОВАНИЯ РУПОРНОЙ АНТЕННЫ ПРОВОДНОЙ СЕТКОЙ В СИСТЕМЕ TALGAT

М.Т. Нгуен, аспирант каф. ТУ;

А.Ф. Алхадж Хасан, м.н.с. НИЛ «БЭМС РЭС», к.т.н.

Научный руководитель Т.Р. Газизов, зав. каф. ТУ, д.т.н.

г. Томск, ТУСУР, nguyen.t.2213-2022@e.tusur.ru

Разработан программный модуль с графическим интерфейсом пользователя для моделирования рупорной антенны проводной сеткой в системе TALGAT. Данный модуль позволяет задать размеры рупорной антенны, количество элементов проводной сетки, а также источник возбуждения. Кроме того, модуль позволяет выбрать различные методы численного интегрирования и рассчитать основные характеристики антенны на одной или в диапазоне частот. Показана работоспособность модуля.

Ключевые слова: метод моментов, рупорная антенна, проводная сетка, Python, TALGAT, программный модуль, графический интерфейс пользователя.

Моделирование антенн позволяет инженерам и специалистам лучше определить производительность, характеристики и эффективность антенн в различных условиях без необходимости создания реальных прототипов. Благодаря этому достигаются уменьшение времени и затрат на разработку изделий, а также повышение гибкости и адаптации процесса проектирования.

В настоящее время одной из известных отечественных программ для моделирования является система TALGAT [1]. Она предназначена для компьютерного моделирования различных электромагнитных задач, в том числе и моделирования антенн на основе метода моментов (МоМ). В частности, используется подход к аппроксимации проводящей поверхности антенны с помощью проводной сетки (ПС) из-за его

способности моделировать различные типы антенн и точности расчёта их характеристик [2]. Однако работа с этим подходом в системе TALGAT требует знания языков программирования Python и TALGAT_Script. Это усложняет задачи пользователей при моделировании антенн в широком диапазоне параметров. Поэтому основной целью данной работы является разработка программного модуля с интуитивно понятным графическим интерфейсом пользователя (ГИП) для упрощения процесса моделирования рупорной антенны с ПС в системе TALGAT. Он позволяет задавать размеры рупорной антенны, количество элементов проводной сетки, а также источник возбуждения. Кроме того, модуль позволяет выбрать различные методы численного интегрирования для вычисления матрицы импедансов и рассчитать основные характеристики антенны на определенной частоте или в диапазоне частот.

Для создания ГИП выбран язык программирования Python. Он является языком высокого уровня и поддерживает много библиотек, позволяющих быстрее и проще создавать графические интерфейсы [3]. Основные библиотеки языка программирования Python, такие как Tkinter, Matplotlib и Openpnl, использованы в данной работе. Библиотека Tkinter – одна из самых популярных и используемых для создания ГИП. Она предоставляет такие компоненты, как окна, кнопки, текстовые поля и другие инструменты для создания ГИП. Matplotlib – графическая библиотека, используемая для создания различных графиков и визуализаций данных. Openpnl – библиотека, позволяющая пользователям легко работать с файлами Excel (.xlsx). Она позволяет читать, записывать и редактировать данные в файлах Excel, а также создавать и манипулировать электронными таблицами и ячейками данных.

Кроме того, для наследования команд вычислений в системе TALGAT использованы библиотеки UTIL, MATRIX, MOMW, MOM2D, RESPONSE и GRAPH. Программный модуль построен в соответствии с модульной структурой для удобства управления и регулировки. Он состоит из модулей: настройки параметров антенны, расчета и отображения и сохранения результатов. Каждый модуль состоит из подмодулей, выполняющих различные функции и задачи. Главный ГИП программного модуля построен и представлен на рис. 1. Для упрощения настройки параметров, а также расчета характеристик антенны ГИП создан в одном окне.

Основными геометрическими параметрами рупорной антенны являются длина (a_1), ширина (b_1) и высота (l_1) регулярной части и длина (a_2), ширина (b_2) и высота (l_2) нерегулярных частей.

Geometry Builder: Horn antenna

Horn

Geometric parameters

a_1, m_1 : 8.35e-3 b_1, m_1 : 3.05e-3 l_1, m_1 : 4.32e-3

a_2, m_2 : 2.2e-3 b_2, m_2 : 1.715e-3 l_2, m_2 : 1.325e-3

Frequency, Hz

Only on center frequency: 28e+9

In the frequency range: first: 10e+9 end: 30e+9 step: 2e+9

Grid Setting

Regular: Wx : 7 Wy : 6 Wz : 10

Irregular: Hx : 7 Hy : 6 Hz : 10

Source: Zs : 2.15e-3

Wire: Zw : 2e-4 Rth : 2e-4 $Round$: 10

Set Segmentation Structure

Manual Number segment: 1

Auto On Wave: 10 Minimal: 1

Excitation

Excitation

Excitation subsection

Number segment: 5 Excitation on: first

Excitation fixed Fixed number: 5e-5

The method of numerical integration

PIA126_127 PIA129_135 PIWener PIUedd PIBode PINewtonCotes

Save data Calculate Show Plot

27.27%

Time calculate and save data: 3.87/s

Total wire: 1139 wire

Draw Structure

transparent real size

Draw Currents

transparent Real Size

Far zone radius: 1

Start theta: 0 N Start: 0

N theta: 360 N Fin: 360

Step theta: 1 Step Fin: 1

Draw

Draw DN

by_teta by_fi by_sum

G GdB EFarZone EdB

Antenna characteristics after calculation

f, GHz	G, dB	VSWR	S11, dB	Impedance	Z , Ohm	Admittance, ABS	reflection_ratio, dB	TPR	MAX_Current	MAX_Current_noc.	Current_Source
20.0	14.30174	1.28825	-17.9468	(5.1575407249079-33.50395	0.01669	0.12597	0.98413	0.01669	0.01789	0.01068	0.01689
18.0	11.5043	15.6895	-1.11012	(7.1516408330895-55.91138	0.01789	0.88002	0.22556	0.01789	0.00949	0.00949	0.01789
20.0	12.34061	3.9406	-4.44531	(17.8120588007202-35.6617	0.02804	0.3872	0.64153	0.02804	0.01536	0.01536	0.02804
22.0	13.05456	1.88393	-10.25773	(37.6740087067095-45.55766	0.02195	0.30698	0.90576	0.02195	0.01215	0.01215	0.02195

Рис. 1. ГИП программного модуля

Для упрощения восприятия всех этих параметров они вместе с изометрическим видом антенны отображаются на ГИП. Все параметры задаются в метрах. Модуль задания параметров позволяет выбрать расчет характеристики на определенной частоте или в диапазоне частот. При расчете в диапазоне частот нужно задавать начальную (first), конечную (end) частоты и шаг по частоте (step). Модуль позволяет задать количество ячеек сетки, на которые антенна будет разделена по соответствующим координатным осям. Для регулярной части рупора их количество по осям Ox , Oy , Oz составляет Wx , Wy и Wz соответственно, а нерегулярной – Hx , $Hу$ и Hz .

Кроме того, модуль позволяет задать длину (Ls), радиус (Rs) и положение (в какой части сетки по оси OZ) (Zs) провода воздействия, а также радиус проводов регулярной (Rw) и нерегулярной (Rh) частей в сетке. Для обеспечения точности работы можно задать округление полученных результатов (Round). Модуль позволяет выбрать ручную (Manual) или автоматическую в зависимости от длины волны (Auto) сегментацию. Модуль позволяет выбрать источник возбуждения в виде несегментированного провода (Excitation), сегментированного провода с возможностью задания номера сегмента с источником (Excitation subsection) или сегментированного провода при нахождении источника в центральном сегменте (Excitation fixed). При выборе источника возбуждения в виде сегментированного провода нужно задать количество сегментов (Segment number) и положение источника возбуждения в первом (first), центральном (center) или конечном (end) сегменте. Кроме того, можно изменить значение напряжения источника с помощью кнопки Edit Voltage.

Модуль расчета позволяет выбрать метод вычисления интегралов: аналитический быстрый по Харрингтону (PIA126_127), аналитический уточненный по Харрингтону (PIA129_135), аналитический по Вернеру (PIWerner), численное интегрирование методом Уэддла (PIUeddl), численное интегрирование методом Боде (PIBode), численное интегрирование методом Ньютона–Котеса (PINewtonCotes). Модуль позволяет выполнить построение структуры (кнопка Build structure) и отображение в ГИП общего количества используемых проводов. При изменении настройки параметров необходимо нажать на кнопку Build structure для перестроения структуры. Модуль позволяет отобразить созданную структуру ПС рупорной антенны с помощью кнопки Preview. Для сохранения рассчитанных данных необходимо до расчета отметить флажок Save data.

Для расчета характеристики антенны нужно нажать кнопку Calculate. Для проверки работоспособности программного модуля проведен тестовый запуск на примере рупорной антенны из [4]. Про-

цесс вычисления представлен индикатором выполнения и процентом вычисления, что позволяет визуально отслеживать процесс вычисления. После завершения расчета (100%) на экране отображается уведомление об успешном расчете.

В модуле отображения и сохранения данных, если выбрана функция сохранения, необходимо указывать путь к месту сохранения рассчитанных данных. После сохранения на ГИП отображается время расчета и сохранения данных. Основные характеристики антенны, полученные после расчета, также отображаются в таблице на ГИП. Все полученные данные после расчета сохраняются в виде файлов с расширениями (.txt, .xlsx) и располагаются в различных папках для упрощения поиска данных. После расчёта характеристик можно отобразить их частотные зависимости, нажав на кнопку Show Plot. Кроме того, модуль позволяет, отмечая флажки Draw Structure, Draw Currents и Draw DN и нажимая на кнопку Draw, отобразить структуру, распределение токов и диаграмму направленности (ДН) антенны, полученные после расчета.

Таким образом, в данной работе представлен программный модуль с ГИП, предназначенный для моделирования рупорных антенн посредством ПС. Подробно представлены основные возможности данного программного модуля. Дальнейшая работа будет направлена на развитие данного модуля для создания разреженных антенн.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России по проекту FEWM-2023-0014.

ЛИТЕРАТУРА

1. Разработка программного обеспечения для моделирования радиоэлектронных средств с учетом электромагнитной совместимости в ТУСУРе / С.П. Куksenko, Т.Р. Газизов, А.А. Квасников, В. Демаков, А.А. Иванов, Д.В. Клюкин, А. Алхадж Хасан, А.Е. Максимов, А.В. Осинцев // Наноиндустрия. – 2023. – Т. 16, № S9–1(119). – С. 170–178. DOI: 10.22184/1993-8578.2023.16.9s.170.178.
2. Alhaj Hasan A. Wire-grid and sparse MoM antennas: Past evolution, present implementation, and future possibilities / A. Alhaj Hasan, M.T. Nguyen, S.P. Kuksenko, T.R. Gazizov // Symmetry. – 2023. – Vol. 15, No. 2. – P. 378. DOI: 10.3390/sym15020378.
3. Python [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://metanit.com/python/tutorial/>, свободный (дата обращения: 15.02.2024).
4. The use of 3D printing technology for manufacturing metal antennas in the 5G/IoT context / D. Helena, A. Ramos, T. Varum, J.N. Matos // Sensors. – 2021. – Vol. 21, No. 10. – P. 3321. DOI: 10.3390/s21103321.

**СВЧ-ЗОНДЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ УРОВНЕЙ
ПОМЕХОЭМИССИИ ОТ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ
В БЛИЖНЕЙ ЗОНЕ**

В.И. Варварин, магистрант ПИИШ;

И.И. Николаев, аспирант каф. ТУ

*Научный руководитель М.Е. Комнатнов, доцент каф. ТУ, к.т.н.
г. Томск, ТУСУР, viacheslav.i.varvarin@tusur.ru*

Проведено сравнение частотных диапазонов, геометрических размеров, технологий изготовления и влияния на измеряемое электромагнитное поле СВЧ-зондов, выполненных на основе магнитно-рамочных антенн для измерения уровня помехоэмиссии от печатных плат в ближней зоне. По совокупности критериев был выбран наиболее предпочтительный вариант для его использования в составе аппаратно-программного комплекса.

Ключевые слова: помехоэмиссия, СВЧ-зонд, электромагнитное поле.

Совершенствование радиоэлектронных средств (РЭС) за счет увеличения плотности монтажа печатных плат (ПП), миниатюризации и интеграции электронной компонентной базы приводит к возникновению кондуктивных и излучаемых электромагнитных помех. При этом уровень излучаемой помехоэмиссии регламентируется стандартами. Так, согласно широко применяемому международному стандарту IEC-61967-3 [1], измерение уровня помехоэмиссии в ближней зоне проводят методом поверхностного сканирования в частотном диапазоне от 150 кГц до 1 ГГц. Разработано множество аппаратно-программных комплексов (АПК): антенные сканеры EMScan [2], EM-Matrix [3], экспериментальный автоматизированный сканер [4] и т.д. Важнейшим элементом АПК являются СВЧ-зонды, выполненные на основе магнитно-рамочных антенн [5], предназначенные для измерения уровня помехоэмиссии от ПП в ближней зоне. При этом исследуемый частотный диапазон и геометрические размеры источников помехоэмиссии зависят от соответствующих характеристик СВЧ-зонда. Цель работы – выполнить сравнение частотных диапазонов, геометрических размеров, технологий изготовления и влияния на измеряемое электромагнитное поле СВЧ-зондов, на основании которого, выбрать модель СВЧ-зонда для реализации в составе АПК для измерения уровня помехоэмиссии от ПП в ближней зоне.

Известны СВЧ-зонды, выполненные на основе магнитно-рамочных антенн в виде копланарной полосковой линии (КПЛ) [6], коаксиальной линии (КЛ) с замкнутым концом [7] и полосковой линии [8] (ПЛ) (рис. 1).

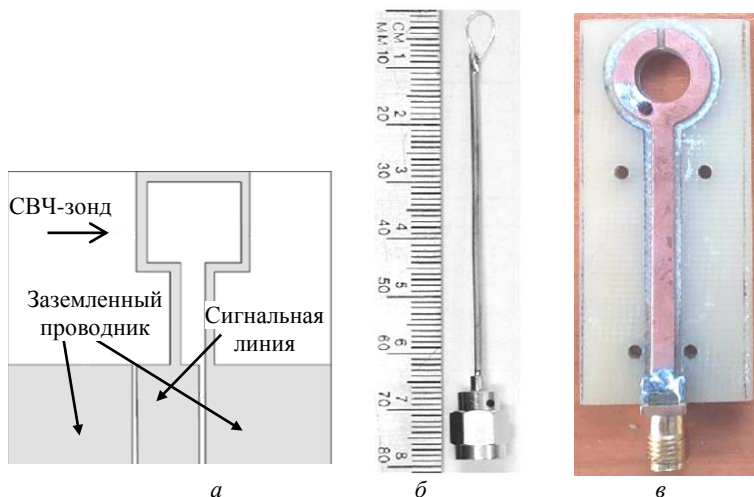


Рис. 1. Общий вид СВЧ-зонда на основе КПЛ (а) и экспериментальные макеты СВЧ-зондов на основе КЛ (б) и ПЛ (в)

Основными характеристиками СВЧ-зондов являются: его частотные характеристики; геометрические размеры; влияние на измеряемую компоненту электромагнитного поля (ЭМП), вызванное присутствием СВЧ-зонда [10]; возможность изготовления на ПП.

Из таблицы видно, что СВЧ-зонд на основе КПЛ имеет широкий частотный диапазон и изготавливается на ПП, однако он имеет неравномерную частотную характеристику $|S_{11}|$ с выраженным резонансом, что влияет на измеряемое ЭМИ [11]. СВЧ-зонд на основе КЛ имеет наименьшие геометрические размеры, что позволяет локализовать источник ЭМИ с большей точностью, но частотный диапазон не совпадает со стандартом [1]. Частотный диапазон СВЧ-зонда на основе ПЛ удовлетворяет требованиям стандарта [1] и по совокупности критериев является наиболее предпочтительным вариантом для использования в АПК для измерения уровней помехоэмиссии от ПП в ближней зоне.

Сравнение СВЧ-зондов

Тип СВЧ-зонда	Частотный диапазон	Влияние на измеряемое ЭМИ	Геометрические размеры	Изготовление на ПП
КПЛ	1 – 20 ГГц	+	10 мм	+
КЛ	2 – 10 ГГц	–	5×8 мм	–
ПЛ	150 – 1 ГГц	–	10 мм	+

Таким образом, в работе рассмотрены СВЧ-зонды, применяемые в АПК для измерения уровней помехоэмиссии от ПП в ближней зоне. Проведено их сравнение, по результатам которого, по совокупности критериев, наиболее предпочтительным для реализации в составе АПК является СВЧ-зонд, выполненный на основе ПЛ [7]. В дальнейшем планируется провести экспериментальное сравнение рассмотренных СВЧ-зондов.

Работа выполнена при финансовой поддержке Фонда содействия инновациям, договор № 26ГУПКЭС18/91722.

ЛИТЕРАТУРА

1. Integrated circuits – Measurement of electromagnetic emissions, 150 kHz to 1 GHz. – Part 3: Measurement of radiated emissions – Surface scan method, IEC, 61967–3:2005.

2. EMxpert от 20 MHz – 1 GHz [Электронный ресурс]. – URL: http://dev.ccontrols.pl/cms/upload/content/news/EMxpert_Datasheet.pdf (дата обращения: 01.03.2024).

3. Dienot J.M. Applications for Diagnosis of Real Electromagnetic Behaviors in Hybrid Electronic Architectures / J.M. Dienot, G. Viné // 2018 5th IEEE International Workshop on Metrology for AeroSpace (MetroAeroSpace). – 2018. – P. 363–368.

4. Pfeifer S. A Novel Automated Phasor Measurement System for Validated and Traceable EMC/EMI Near-Field Analysis / S. Pfeifer, B. Kochali, E. Grobelaar // IEEE Electromagnetic Compatibility Magazine. – 2016. – P. 41–47.

5. Whiteside H. The Loop Antenna as a Probe / H. Whiteside, R.W. King // IEEE Transactions on antennas and propagation. – 1964. – Vol. 12, No. 3. – P. 291–297.

6. Gao Y. A new miniature magnetic field probe for measuring three-dimensional fields in planar high frequency circuits / Y. Gao, I. Wolff // IEEE Trans. Microw. Theory Tech. – 1996. – Vol. 44, No. 6. – P. 911–918.

7. Joseph W. The influence of the measurement probe on the evaluation of electromagnetic fields / W. Joseph, L. Martens // IEEE Trans. electromagnetic compatibility. – 2004. – Vol. 43, No. 2. – P. 339–349.

8. Экспериментальная установка для измерения электромагнитного излучения от излучающей структуры в ближней зоне / Скворцов И.В. и др. // Журнал радиоэлектроники. – 2019. – № 11.

9. Joseph W. The influence of the measurement probe on the evaluation of electromagnetic fields / W. Joseph, L. Martens // IEEE Trans. Electromagn. Compat. – 2003. – Vol. 43, No. 2. – P. 339–349.

10. Jung-Min K. Resonance-Suppressed Magnetic Field Probe for EM Field-Mapping System / K. Jung-Min, K. Woo-Tae, Y. Jong-Gwan // IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques. – 2005. – Vol. 53, No. 9. – P. 2693–2699.

СРАВНЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВИДОВ ФИЛЬТРАЦИИ ДЛЯ МЕТОДА ВАЛИДАЦИИ ВЫДЕЛЕНИЕМ ОСОБЕННОСТЕЙ

Н.Ю. Шайманов, магистрант

*Научный руководитель А.А. Иванов, к.т.н., с.н.с. НИЛ «БЭМС РЭС»
г. Томск, ТУСУР, vishado1@mail.ru*

Работа посвящена сравнению эффективности видов фильтрации для метода валидации выделением особенностей. Приведено сравнение четырех видов фильтрации. Фильтрация с 5 общими точками показала самую высокую точность расчета глобальной меры разности и рекомендуется к использованию при сравнении данных по методу валидации выделением особенностей.

Ключевые слова: метод валидации выделением особенностей, feature selective validation, FSV, фильтрация.

В разные годы предлагались разные виды фильтрации данных для метода валидации выделением особенностей (от англ. feature selective validation, FSV), каждый из которых должен уменьшать ошибку, получаемую в результате эффекта «наложения на краю» при обратном преобразовании Фурье, что приводит к очень острым пикам на графике глобальной меры разности (от англ. global difference measure, GDM). Существующие виды фильтрации отличаются числом общих точек, используемым фильтром, а также алгоритмами расчета мер разности. Целью работы является сравнение эффективности видов фильтрации для метода FSV.

Перед началом работы проанализирована литература по методу FSV и выявлены три вида фильтрации. Самой первой предложена фильтрация с 9 общими точками [1]. Позже вышел стандарт IEEE 1597.2 [2], где описан алгоритм для метода FSV, а также предложена фильтрация с 5 общими точками. Наконец, предложен ещё один вид фильтрации – без общих точек [3]. В данной работе предложен четвертый вид фильтрации смешанного типа, который включает в себя отсутствие общих точек, как в [3], и экспоненциальное поведение наборов данных на границе области низких (L_o) и высоких (H_i) частот аналогично [2].

В [1] также приведены наборы данных для метода FSV. На примере двух таких наборов проведено сравнение эффективности видов фильтрации. На рис. 1 представлен первый тестовый набор данных. Результаты расчета GDM с использованием разной фильтрации представлены на рис. 2.

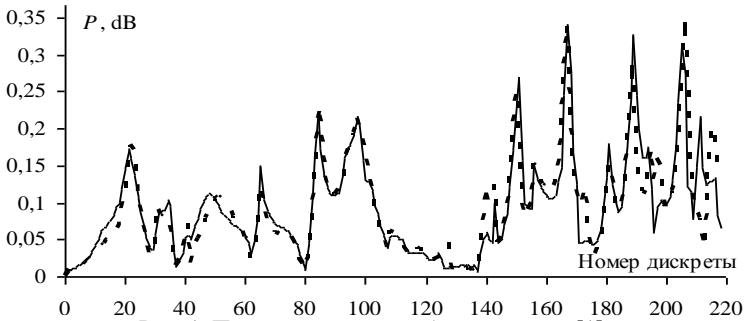


Рис. 1. Первый тестовый набор данных из [1]

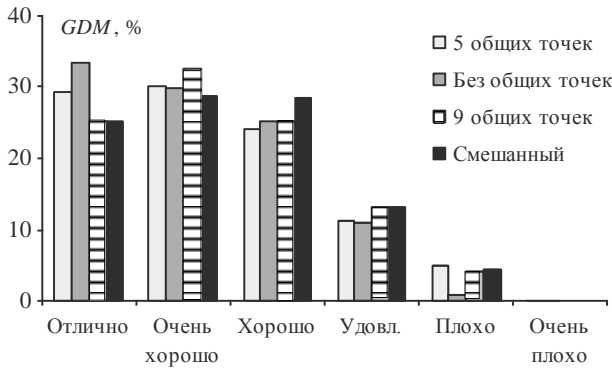


Рис. 2. Гистограмма GDM для первого тестового набора данных

Первый тестовый набор фильтрации с 5 общими точками хорошо совпадает с результатами визуального сопоставления данных и является наиболее эффективным. Второй тестовый набор данных представлен на рис. 3.

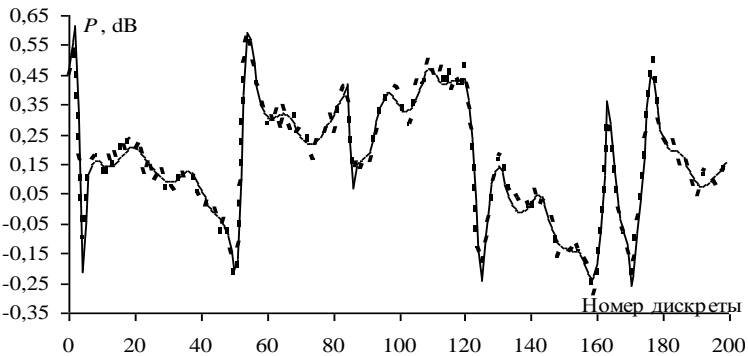


Рис. 3. Второй тестовый набор данных из [1]

Результаты расчета GDM для данного набора данных представлены на рис. 4. Из результатов расчета видно, что фильтрация с 5 общими точками также наиболее эффективна.

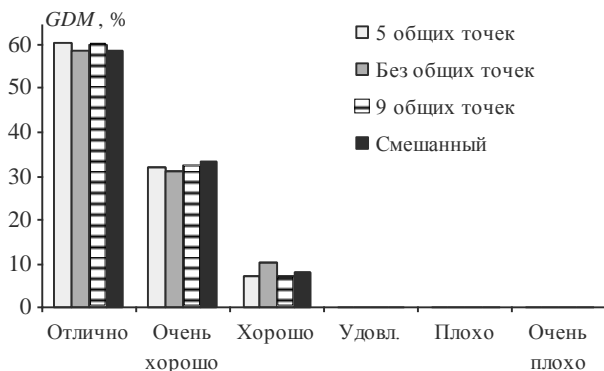


Рис. 4. Гистограмма GDM для второго тестового набора данных

В результате выполнено сравнение эффективности 4 видов фильтрации, используемых при сравнении наборов данных методом FSV. Результаты показали, что наиболее достоверные результаты можно получить при использовании фильтрации с 5 общими точками.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-79-10165, <https://rscf.ru/project/23-79-10165/>.

ЛИТЕРАТУРА

1. Martin A.J.M. Quantitative data validation (automated visual evaluations): thesis BSc Lester. – 1999. – 196 p.
2. Recommended Practice for Validation of Computational Electromagnetics Computer Modeling and Simulations // IEEE 1597.2. – 2010. – 62 p.
3. Duffy A.P. Review of the feature selective validation method (FSV). Part I-theory / A.P. Duffy, A. Orlandi, G. Zhang // IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility. – 2017. – № 99. – P. 1–8.

УДК 621.315

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ ЛИНИЙ ПЕРЕДАЧИ

Н.Ю. Шайманов, магистрант

*Научный руководитель А.А. Иванов, к.т.н., с.н.с. НИЛ «БЭМС РЭС»
г. Томск, ТУСУР, vishado1@mail.ru*

Разработано программное обеспечение (ПО) для расчета параметров линий передачи. ПО протестировано путем расчета характери-

стического импеданса и эффективной диэлектрической проницаемости для двух структур линий передачи. Показано, что результаты, полученные с помощью разработанного ПО и программ AppCAD и TX-Line, хорошо согласуются. Среднее расхождение в результатах составило 2–3%, а максимальное – не превысило 5%.

Ключевые слова: печатная плата, монолитная СВЧ интегральная схема, линии передачи, электрические параметры, программное обеспечение.

Линии передачи (ЛП) являются одним из основных элементов печатных плат (ПП) и монолитных микроволновых интегральных схем (ММИС). Некорректное проектирование ЛП может приводить к нарушениям целостности сигналов и питания [1]. Поэтому в процессе создания ПП и ММИС важно анализировать параметры ЛП.

В настоящее время существует множество программ для расчета параметров ЛП, например [2–5]. Одни из них являются коммерчески и недоступными широкому кругу разработчиков, другие же устарели или ограничены в своих функциональных возможностях. Поэтому возникает необходимость в разработке нового некоммерческого программного обеспечения (ПО) для расчета параметров ЛП.

Разработка программного обеспечения. Для разработки ПО для расчета параметров ЛП использовалась среда Matlab. Перед началом разработки проанализированы программы TX-Line [2] и AppCAD [3], являющиеся аналогами будущего ПО. В результате анализа составлен минимально необходимый перечень структур ЛП.

Создана библиотека материалов, в которую включены 5 материалов для проводников ЛП с разной удельной электропроводностью σ . Также добавлены 5 материалов диэлектриков с разной относительной диэлектрической проницаемостью (ϵ_r) и тангенсом угла диэлектрических потерь ($\text{tg } \delta$). Названия материалов и их электрофизические параметры представлены в табл. 1.

Таблица 1

Библиотека материалов для ЛП

Проводники		Диэлектрики		
Название	σ , МС/м	Название	ϵ_r	$\text{tg } \delta$
Медь	58,8	Воздух	1	0
Алюминий	35,3	FR4 (Стеклотекстолит)	4,5	0,035
Золото	41	Керамика	9,8	0,0005
Никель	14,7	Арсенид галлия	12,9	0,0005
Серебро	61,4	Германий	16	0,0005

На рис. 1 представлен графический интерфейс пользователя (ГИП) разработанного ПО. В верхней части интерфейса располагают-

ся переключатели между вкладками, с помощью которых можно выбрать структуру ЛПП для анализа. В каждой вкладке располагаются графическое изображение выбранной ЛПП, а также окна для ввода геометрических размеров и вывода рассчитанных параметров.

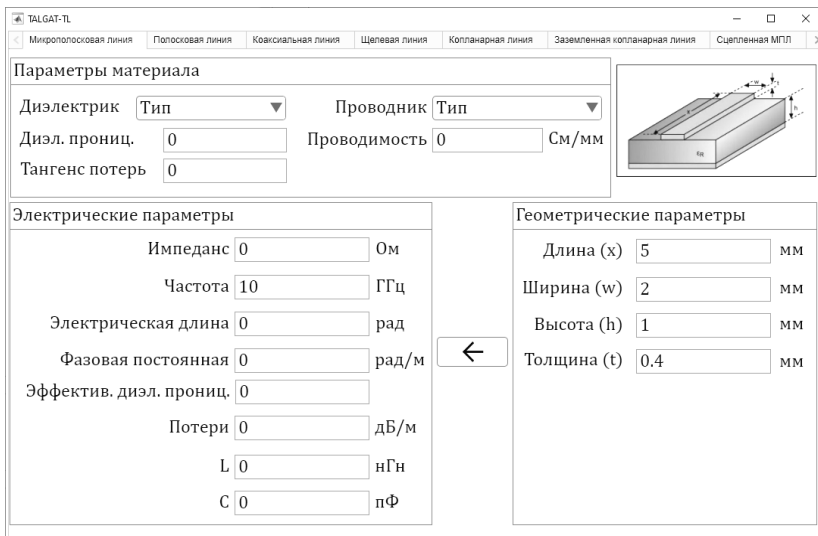


Рис. 1. Графический интерфейс пользователя разработанного ПО

Тестирование. Для проверки ПО выполнен расчет параметров для двух тестовых структур ЛПП. Структура 1 (рис. 2, а) является микрополосковой линией на диэлектрической подложке высотой $H = 1$ мм с сигнальным проводником шириной $W = 2$ мм и толщиной $T = 0,4$ мм. В качестве материалов использовались керамика и медь. Структура 2, представленная на рис. 2, б, выполнена в виде симметричной полосковой ЛПП. Толщина проводников соответствует структуре 1 при $H = 2$ мм, а $W = 1$ мм. В качестве материалов выбраны арсенид галлия и серебро.

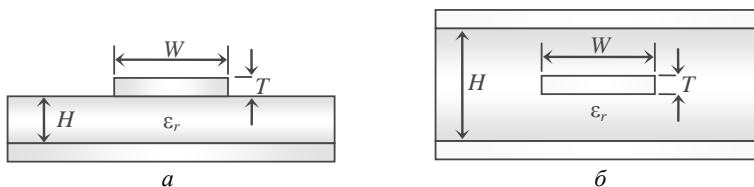


Рис. 2. Тестовые структуры: микрополосковая (а) и полосковая (б) ЛПП

При тестировании ЛПП вычислялись только импеданс Z и эффективная диэлектрическая проницаемость ϵ_{eff} . Результаты, полученные в разработанном ПО, сравнивались с TX-Line и AppCAD. Результаты вычислений Z и ϵ_{eff} для двух тестовых структур представлены в табл. 2.

Таблица 2

Рассчитанные параметры ЛПП

Параметры ЛПП	Микрополосковая ЛПП			Полосковая ЛПП		
	TX-Line	ПО	AppCAD	TX-Line	ПО	AppCAD
Z , Ом	32,8197	33,59	32,5	19,89	19,89	20,2
ϵ_{eff}	7,42	7,034	7,212	12,9	12,9	12,9

Из табл. 2 видно, что значения Z и ϵ_{eff} , полученные в разработанном ПО, TX-Line и AppCAD, хорошо согласуются. Максимальное различие в значениях Z не превышает 2%, а в значениях ϵ_{eff} – 3%. При этом для полосковой ЛПП значения ϵ_{eff} , полученные в разных программах, полностью совпадают, поскольку $\epsilon_{\text{eff}} = \epsilon_r$.

Заключение. Разработаны ПО для расчета параметров ЛПП, его ГИП, а также библиотека материалов ЛПП. На примере двух структур ЛПП выполнено сравнение разработанного ПО с программами TX-Line и AppCAD. Показано, что отклонения результатов расчета с помощью разработанного модуля составляют 2–3%.

Исследование выполнено за счет средств гранта Российского научного фонда 23-79-10165, <https://rscf.ru/project/23-79-10165/>.

ЛИТЕРАТУРА

1. Bogtain E. Signal and power integrity. – Simplified, 2nd ed. Upper Saddle River, NJ, USA: Prentice Hall PTR, 2009. – 757 p.
2. TX-Line (2023) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.cadence.com/en_US/home/tools/system-analysis/rf-microwave-design/awr-tx-line.html, свободный (дата обращения: 15.12.2023).
3. AppCAD (2002) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.hp.woodshot.com>, свободный (дата обращения: 15.12.2023).
4. Polar Si8000 PCB Controlled Impedance Field Solver (2023) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.polarinstruments.com/products/cits/Si8000.html>, свободный (дата обращения: 05.02.2024).
5. LearnEMC – Transmission line parameters (2020) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://learnemc.com/EXT/calculators/TL_Calculator/index.html, свободный (дата обращения: 05.02.2024).

**ПРОГРАММНЫЙ МОДУЛЬ
ДЛЯ АНАЛИТИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ
ЭКРАНИРОВАНИЯ МНОГОСЛОЙНЫХ СТРУКТУР
ИЗ МЕТАЛЛОВ И КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

С.В. Смирнов, магистрант

*Научный руководитель А.А. Иванов, к.т.н., с.н.с. НИЛ «БЭМС РЭС»
г. Томск, ТУСУР, seroga64-30@yandex.ru*

Разработаны универсальный вычислительный алгоритм и программный модуль для оценки эффективности экранирования (ЭЭ) многослойных экранирующих структур, выполненных из металлов и композитных материалов. Эти алгоритм и модуль основаны на комбинации двух аналитических моделей, отличающихся низкими вычислительными затратами. Приведены результаты тестирования модуля на примере расчета ЭЭ трех структур.

Ключевые слова: эффективность экранирования, композитные материалы, металлы, аналитическая модель, программный модуль.

Для оценки эффективности экранирования (ЭЭ) сложных структур, таких как многослойные экраны, обычно используются численные методы. Они дают точные оценки ЭЭ, но требуют значительных временных и вычислительных ресурсов. В связи с этим, более целесообразным является использование аналитических моделей, которые обладают малой вычислительной сложностью и позволяют быстро оценить ЭЭ. К сожалению, большинство существующих аналитических моделей предназначены для экранов не более чем двумя слоями [1–4]. Однако известны модель D. Shi [5], а также ее модификация [6], позволяющие рассчитывать металлические экраны с произвольным числом слоев и экраны из слоистых радиопоглощающих композитов. Так, целью работы является разработка алгоритма и программного модуля для аналитической оценки ЭЭ плоских экранов.

Разработка алгоритма. Согласно [5, 6], для вычисления ЭЭ структура с n слоями заменяется эквивалентной схемой, состоящей из n четырехполосников, соединенных каскадно. Значения ЭЭ определяются из коэффициента передачи в эквивалентной схеме, который, в свою очередь, вычисляется на основе ABCD-параметров четырехполосников. Эти ABCD-параметры находятся из значений постоянной распространения k_i и характеристического импеданса Z_i в каждом i -м слое экрана в зависимости от его толщины t и электрофизических свойств (электропроводности σ , диэлектрической проницаемости ϵ и магнитной проницаемости μ). Причем выбор метода расчета k и Z зависит от того, является ли материал слоя хорошим проводником или

электрическим изолятором. На основе аналитических моделей [5, 6] разработан алгоритм для расчета ЭЭ многослойных структур, выполненных из разных материалов. Блок-схема алгоритма представлена на рис. 1.

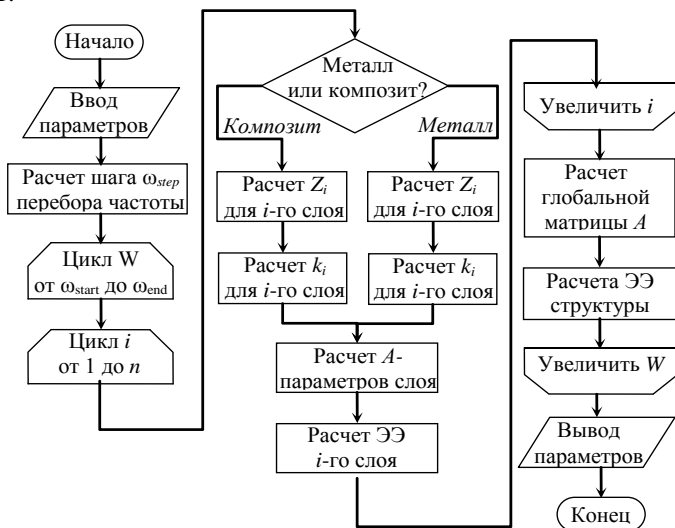


Рис. 1. Блок-схема алгоритма вычисления ЭЭ

Создание программного модуля. На основе алгоритма из рис. 1 создан программный модуль (рис. 2).

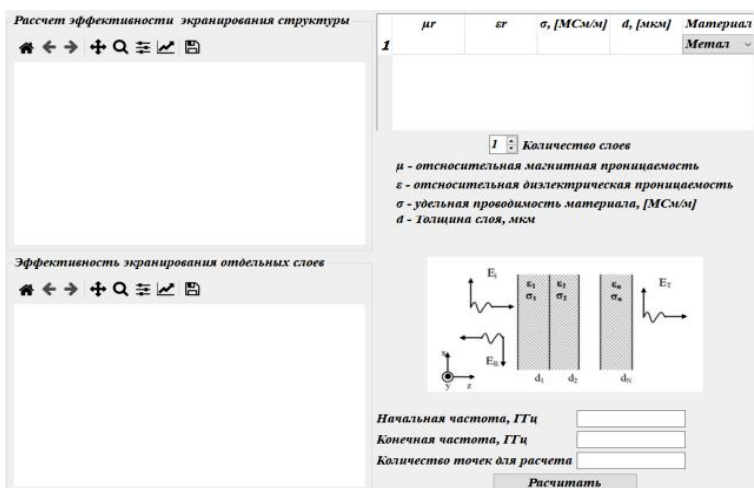


Рис. 2. Графический интерфейс пользователя программного модуля

При разработке использовались язык программирования Python, а также библиотеки: NumPy (для работы с данными); PyQt5 (для создания графического интерфейса пользователя в QtDesigner); Matplotlib (для вывода частотных зависимостей ЭЭ).

Верификация. Для верификации программного модуля и алгоритма выполнено сравнение результатов (рис. 3), полученных с его помощью, с эталонными (из [6] и вычисленными в TALGAT). Вычисления выполнены для четырех однослойных структур. Структуры 1 и 2 имели толщину 1 мм и были выполнены из меди и алюминия, а ЭЭ определялось в диапазоне частот от 10 кГц до 1 МГц. Структуры 3 и 4 имели толщины 1 и 2 мм соответственно. При этом они были выполнены из одного и того же композитного материала с $\epsilon_r = 9,1 + 0,4j$ и $\mu_r = 0,7 + 1j$. Вычисления ЭЭ для этих структур выполнялись в диапазоне частот 0–12 ГГц.

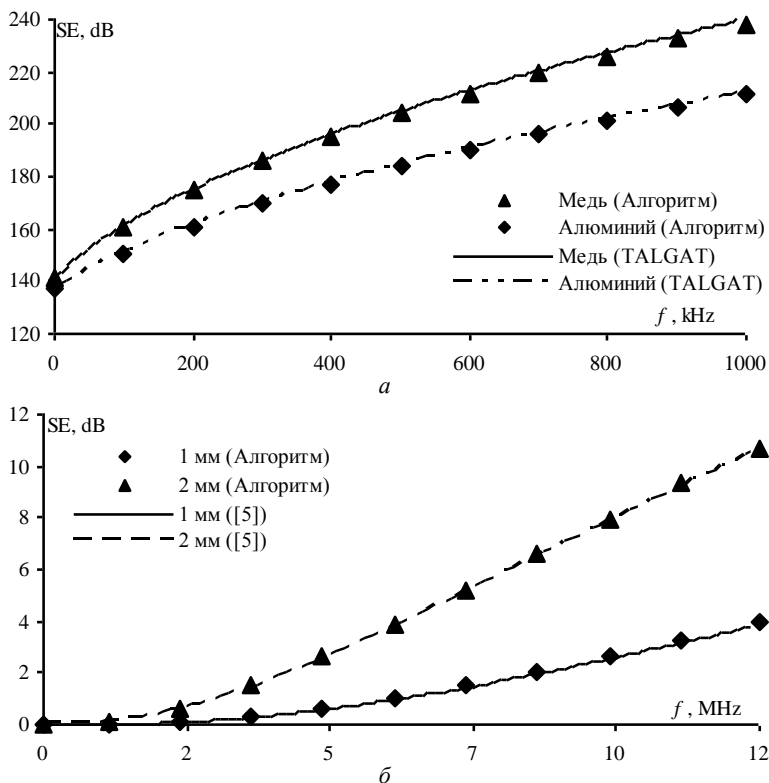


Рис. 3. Частотные зависимости ЭЭ однослойных структур из металлов (а) и композитного материала (б)

Из рис. 3 видно, что результаты расчетов в разработанном модуле хорошо согласуются с [6] и системой TALGAT. Таким образом, разработанные алгоритм и программный модуль могут использоваться для оценки ЭЭ с приемлемой точностью.

Заключение. Разработаны алгоритм и программный модуль для аналитической оценки ЭЭ плоских экранов. Приведены результаты его тестирования.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-79-10165, <https://rscf.ru/project/23-79-10165/>.

ЛИТЕРАТУРА

1. Rudd M. Determining high-frequency conductivity based on shielding effectiveness measurement using rectangular waveguides / M. Rudd, T.C. Baum, K. Ghorbani // IEEE Trans. Instrum. Meas. – Jan. 2020. – Vol. 69, No. 1. – P. 155–162.

2. Xia X. et al. Modeling for the electromagnetic properties and EMI shielding of Cf/mullite composites in the gigahertz range // J. Eur. Ceram. Soc., – Aug. 2020. – Vol. 40, No. 9. – P. 3423–3430,

3. Kizilcay A.O. Equivalent analytical model of plain weave composite fabric for electromagnetic shielding applications / A.O. Kizilcay, Y. Akinay, J. Microw // Power Electromagn. Energy. – Jul. 2020. – Vol. 54, No. 3. – P. 245–253.

4. Schulz B. Shielding theory and practice / B. Schulz, V.C. Plantz, D.R. Brush // IEEE Trans. Electromgn. Compat. – Aug. 1988. – Vol. 30, No. 3. – P. 187–201.

5. Shi D. Determination of shielding effectiveness of multilayer shield by making use of transmission line theory / D. Shi, Y. Gao, Y. Shen // in Proc. Int. Symp. Electromagn. Compat. and Electomagn. Ecolg. – Saint-Petersburg, 2007. – P. 95–97.

6. Ivanov A.A. et al. Analytical model and software for evaluating the shielding materials properties // Proc. 2021 IEEE 22nd Int. Conf. Young Pro. Elect. Dev. Mater., Souzga, the Altai Republic, Russia. – 2021. – P. 189–192.

7. TALGAT (2020) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://talgat.org/talgat-software/>.

УДК 621.372

АЛГОРИТМ АВТОМАТИЧЕСКОГО ВЫБОРА ОПТИМАЛЬНОЙ СЕГМЕНТАЦИИ ДУГИ КАК ПАРАМЕТРА МОДЕЛИРОВАНИЯ ЛИНИЙ ПЕРЕДАЧИ

П.П. Снетков, студент каф. ТУ;

И.Е. Сагиева, к.т.н., доцент каф. ТУ, м.н.с. НИЛ «БЭМС РЭС»

г. Томск, ТУСУР, indira_sagieva@mail.ru

Впервые представлен алгоритм автоматического выбора оптимальной сегментации дуги как параметр моделирования линии переда-

чи, разработанный для квазистатической системы TALGAT. На основе алгоритма в качестве примера выполнено моделирование одиночной микрополосковой линии с закругленной дугой на торцах проводника. В результате выявлено, что моделирование дуги с числом сегментов больше 8 нецелесообразно, так как точность увеличивается не более 1%.

Ключевые слова: микрополосковая линия, алгоритм, сегментация.

В настоящее время основным элементом радиоэлектронных устройств (РЭУ) является печатная плата (ПП), которая изготавливается на основе различных линий передачи (ЛП). Между тем одной из главных ЛП, реализуемых на ПП, является микрополосковая линия (МПЛ) и ее модификации. Она применяется практически во всех РЭУ (около 90%). В этой связи перед изготовлением РЭУ возникает необходимость учета её всех параметров и характеристик.

Однако без ранее выполненного точного компьютерного моделирования это экономически не целесообразно. Между тем, известны различные программные обеспечения, позволяющие выполнить такое моделирование, например Advanced Design System (ADS), MATLAB. Зачастую их главным недостатком является построение поперечного сечения с прямоугольными типами проводников и готовыми встроенными поперечными сечениями с возможностью только изменения её размеров. Реальные изготовленные проводники на ПП могут быть закругленными на торцах в виде дуги, получаемые впоследствии травления ПП химическими растворами, подтравляющими торцы проводников [1]. Из-за моделирования некорректной формы торцов проводников матрицы погонных параметров (L , C , R , G) могут неконтролируемо искажаться, что приводит к неверным результатам и, соответственно, увеличению затрат на производство. В этой связи возникает необходимость моделирования с возможностью построения поперечных сечений различных ЛП с закругленными проводниками в виде дуги.

Такую возможность можно реализовать в системе квазистатического анализа TALGAT [2], так как в ней есть возможность произвольного построения различных типов проводников. Для построения таких проводников необходима правильная сегментация, влияющая на точность и вычислительные затраты (памяти и времени). В этой связи важно разработать алгоритм автоматического выбора оптимальной сегментации дуги как параметр моделирования ЛП. Поэтому целью данной работы является разработка такого алгоритма.

В системе TALGAT выполнено моделирование закругленного проводника при сегментации дуги: в верхних и нижних частях торцов

и на углах. Выявлено, что минимальное необходимое число сегментов для моделирования дуги на торце проводника равно 6, так как меньшее число сегментов не позволяет смоделировать закругление на торце проводника (рис. 1).

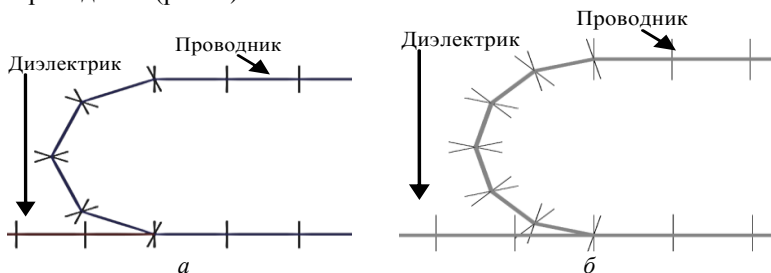


Рис. 1. Пример числа сегментов на торце для построения дуги: 4 (а) и 6 (б)

На этой основе разработан алгоритм автоматического выбора оптимальной сегментации дуги как параметр моделирования ЛП (рис. 2).

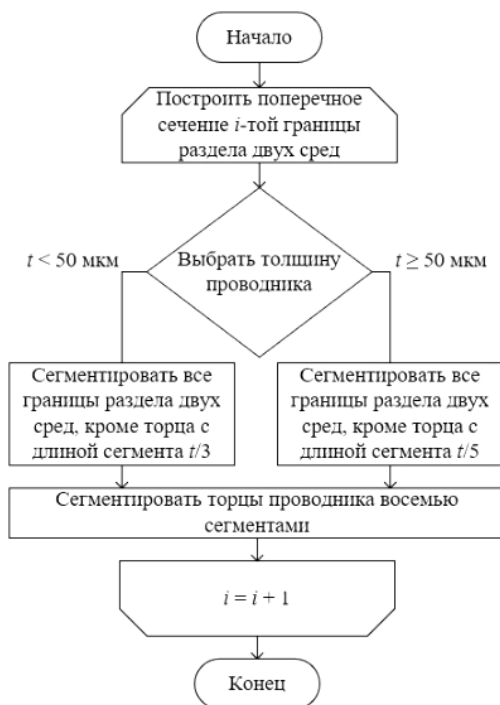


Рис. 2. Алгоритм автоматического выбора оптимальной сегментации дуги

Данный алгоритм подходит для N числа проводников, а их количество в алгоритме определяется как i . В качестве примера с помощью данного алгоритма выполнено моделирование одиночной МПЛ. Её поперечное сечение представлено на рис. 3 с параметрами: $t = 18$ мкм, $w = 0,4$ мм, $d = 1,5$ мм, $h = 0,5$ мм, $\epsilon_r = 4,4$, $r = 0,5t$.

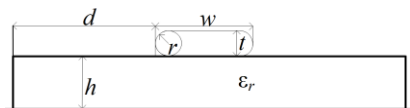


Рис. 3. Поперечное сечение одиночной МПЛ с закругленной на торцах формой проводника

Ниже в таблице показано, как изменяются матрицы погонных параметров, при увеличении числа сегментов на дугах торцов, где l – длина сегмента, n – общее число сегментов на структуре, a – число сегментов на дуге торца и V – объем вычислительных затрат.

Матрицы погонных параметров при увеличении сегментов на дугах торцов проводников одиночной МПЛ

l , мкм	C , пФ/м	L , мкГн/м	n	a	V , КБ
6	74,761	0,452	803	4	5038
3,6	75,545	0,452	811	8	5138
2,6	75,316	0,452	815	10	5189
2	75,164	0,452	823	14	5292
1,6	75,307	0,452	831	18	5395
1,4	75,251	0,452	835	20	5447
1,2	75,214	0,452	843	24	5552

Таким образом, разработан алгоритм автоматического выбора оптимальной сегментации дуги как параметр моделирования ЛПП.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-79-00101, <https://rscf.ru/project/22-79-00101/>.

ЛИТЕРАТУРА

- Кузнецова-Таджибаева О.М. Исследование формы поперечного сечения печатного проводника печатной платы / О.М. Кузнецова-Таджибаева, И.Е. Сагиева // 28-я Междунар. науч.-практ. конф. «Природные и интеллектуальные ресурсы Сибири. СИБРЕСУРС-28-2022». – Томск: ТУСУР, 2022. – С. 122–125.
- Разработка программного обеспечения для моделирования радиоэлектронных средств с учетом электромагнитной совместимости в ТУСУР / С.П. Куксенко, Т.Р. Газизов, А.А. Квасников, А.В. Демаков, А.А. Иванов, Д.В. Клокин, А. Алхадж Хасан, А.Е. Максимов, А.В. Осинцев // Наноиндустрия. – 2023. – Т. 16, № S9-1 (119). – С. 170–178.

О МОДЕЛИРОВАНИИ АНТЕННЫХ РЕШЕТОК С ПРИМЕНЕНИЕМ ПРИНЦИПОВ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ДЕКОМПОЗИЦИИ

В.В. Торопов, студент

*Научный руководитель С.П. Куксенко, проф. каф. ТУ, д.т.н.
г. Томск, ТУСУР, каф. СВЧуКР, tvv@tusur-ya.ru*

Дана оценка точности и вычислительной эффективности метода расчета дальнего поля антенных решеток (АР) с использованием пространственной декомпозиции. Оценка производилась на примере моделирования дальнего поля квадратных АР, состоящих из 16, 64, 100 и 400 печатных антенных элементов (АЭ). Показано, что при использовании декомпозиции для расчета АР из 400 АЭ требуется почти в 3 раза меньше памяти, чем при полном моделировании АР. Кроме того, время моделирования сокращается почти в 2,5 раза. Вместе с тем точность моделирования возрастает с ростом числа АЭ.

Ключевые слова: антенная решетка, антенный элемент, пространственная декомпозиция, краевые эффекты, эффекты взаимной связи.

Антенные решетки (АР) играют ключевую роль в современных системах связи, радиолокации и радионавигации [1–3]. Разработка АР сопровождается предварительным моделированием в САПР, что позволяет оптимизировать их конструкцию, параметры и характеристики [4]. Основная сложность расчета характеристик излучения АР связана с учетом электромагнитного взаимодействия между их антенными элементами (АЭ) [5]. Взаимодействие между АЭ может быть полностью учтено при решении граничной электродинамической задачи для всей АР с использованием интегральных или конечно-разностных уравнений. Такой подход позволяет рассчитать характеристики АР с высокой точностью и с учетом различных неоднородностей в моделируемой структуре. Однако полное электродинамическое моделирование больших АР требует значительных вычислительных затрат. В связи с этим применяют методы расчета, которые позволяют сократить затраты и тем самым ускорить процесс моделирования. Одним из таких методов является метод расчета ДН АР с использованием пространственной декомпозиции [6]. Цель работы – выполнить сравнение этого метода с полным моделированием АР, оценить его точность и вычислительную эффективность при моделировании АР различных размеров.

Принцип работы метода. Пространственная декомпозиция позволяет с приемлемой точностью учитывать краевые эффекты и взаим-

ную связь между АЭ при расчете ДН АР. Для этого АЭ делятся на группы в зависимости от их расположения в АР. Рассмотрим планарную квадратную АР из рис. 1. В ней определено девять групп: угловые (2–5), краевые (6–9) и центральная (1).

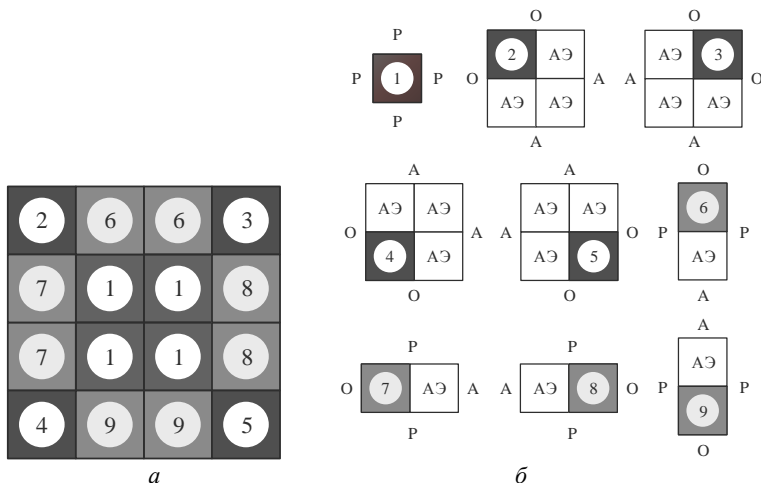


Рис. 1. Классификация АЭ по группам (а), граничные условия для каждой группы (б): Р – периодические граничные условия, О – открытые границы, А – поглощающие граничные условия

Результирующая ДН всей АР определяется как

$$\dot{F}(\theta, \varphi) = \sum_{n=1}^N \dot{I}_n \dot{f}_n(\theta, \varphi) e^{j\Phi_{xn} + \Phi_{yn}},$$

где Φ_{xn} и Φ_{yn} – пространственные фазовые сдвиги для направления наблюдения (θ, φ) вдоль осей x и y , определяемые как

$$\Phi_{xn} = \frac{2\pi}{\lambda} X_n \sin(\theta) \cos(\varphi), \quad \Phi_{yn} = \frac{2\pi}{\lambda} Y_n \sin(\theta) \sin(\varphi),$$

где $\dot{f}_n(\theta, \varphi)$ – суммарная ДН каждой группы АЭ, λ – длина волны излучения АР, \dot{I}_n – комплексная амплитуда возбуждения n -го излучателя, а X_n и Y_n – его координаты в решетке.

Оценка эффективности метода. Для оценки точности и вычислительной эффективности исследуемого метода проведено моделирование квадратных АР из 16, 64, 100 и 400 АЭ. Сравнивались результаты, полученные с применением пространственной декомпозиции и при моделировании полной АР (рис. 2). Каждый АЭ представлял собой печатную антенну радиусом 23,2 мм, выполненную на диэлектри-

ческой подложке с относительной диэлектрической проницаемостью 2,33 и толщиной 2,8 мм. Под подложкой располагалась металлическая пластина заземления толщиной 3,5 мм. Расчет проводился на частоте 2,4 ГГц при изменении угла θ от -180 до $+180^\circ$. Расстояния между АЭ по осям x и y составляли 60 мм.

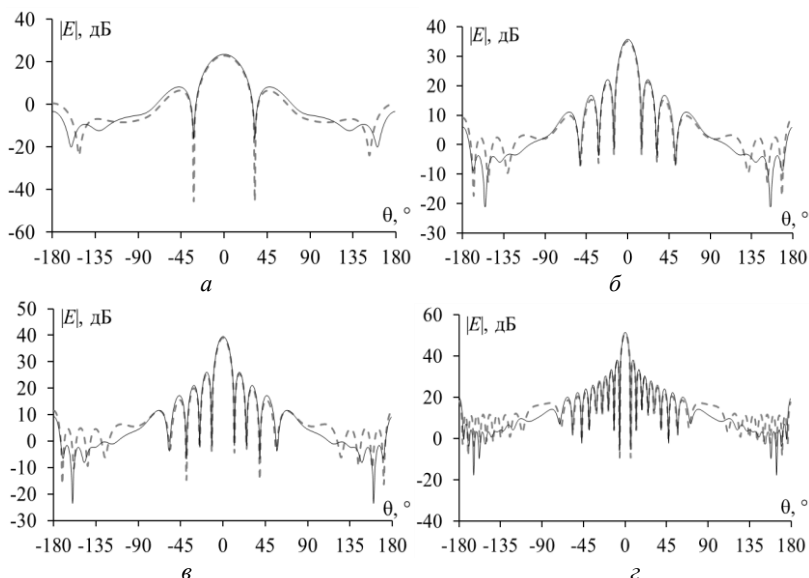


Рис. 2. Угловые зависимости модуля напряженности электрического поля $|E|$ в плоскости $\varphi = 0^\circ$ для АР с 16 (а), 64 (б), 100 (в) и 400 (з) АЭ: моделирование полной АР (—), декомпозиция (---)

Из рис. 2 видно, что при θ от -90 до $+90^\circ$ ДН, полученные с применением пространственной декомпозиции, согласуются с ДН, полученными полным моделированием АР. В таблице приведены минимальные и максимальные значения отклонений результатов моделирования исследуемым методом от полного моделирования АР и результаты оценки вычислительных затрат при моделировании полной АР. Результаты, представленные в таблице, подтверждают вычислительную эффективность метода [6], что особенно заметно, начиная от 100 АЭ. Для АР с 400 АЭ использование декомпозиции позволяет сократить затраты памяти на 66%, а время, необходимое для расчета ДН, – 60%. Однако отклонения в результатах могут достигать 14 дБ. При этом значение максимального отклонения тем ниже, чем больше АЭ в АР.

Оценка эффективности исследуемого метода

Число АЭ	Отклонения, дБ	Память, ГБайт	Время, ч
16	0,11–29,52	0,789	0,259
64	0,04–19,52	2,56	0,945
100	0,01–19,09	3,671	1,416
400	0,06–14,13	13,819	4,224
Затраты на декомпозицию		4,697	1,692

Заключение. Выполнены оценки точности и вычислительной эффективности метода расчета дальнего поля АР, основанного на применении пространственной декомпозиции. Сравнивались результаты, полученные этим методом и при моделировании полной АР. Показано, что с увеличением числа АЭ точность моделирования возрастает. Отклонения в результатах могут достигать 14 дБ, при этом для диапазона углов θ от -90° до $+90^\circ$ полученные ДН хорошо согласуются. Вычислительная эффективность исследуемого метода подтверждается тем, что при использовании пространственной декомпозиции для АР из 400 АЭ требуется почти в 3 раза меньше памяти, чем при полном моделировании АР. Кроме того, время моделирования сокращается почти в 2,5 раза. Однако метод целесообразно использовать только для АР с числом АЭ не менее 100.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России по проекту FEWM-2024-0005.

ЛИТЕРАТУРА

1. Fenn A.J. Adaptive Antennas and Phased Arrays for Radar and Communications. – Boston: USA, 2008. – 424 p.
2. Chang Y. A K-band series-fed microstrip array antenna with low sidelobe for anticollision radar application / Y. Chang, Y. Jiao, L. Zhang, G. Chen, X. Qiu // 2017 Sixth Asia-Pacific Conference on Antennas and Propagation (APCAP). – 2017. – P. 1–3.
3. Fan F. A Wideband Compact Printed Dipole Antenna Array With SICL Feeding Network for 5G Application / F. Fan, Q. Chen, Y. Xu, X. Zhao, J. Feng, Z. Yan // IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters. – 2023. – Vol. 22, No 2. – P. 283–287.
4. Cheng D.K. Optimization techniques for antenna arrays // Proceedings of the IEEE. – 1971. – Vol. 59, No 12. – P. 1664–1674.
5. Stutzman W.L. Antenna Theory and Design / W.L. Stutzman, G.A. Thiele. – 2nd ed. – New York: USA, 1997. – 598 p.
6. Zhou H. A Novel Unit Classification Method for Fast and Accurate Calculation of Radiation Patterns / H. Zhou, J. Li, K. Wei // Electronics. – 2023. – Vol. 12. – P. 3512.

**ОБЗОР АНАЛИТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ РАСЧЕТА
ПАРАМЕТРОВ ЭКВИВАЛЕНТНЫХ СХЕМ ЗАМЕЩЕНИЯ
ПЛАНАРНЫХ КАТУШЕК ИНДУКТИВНОСТИ**

В.И. Варварин, магистрант ПИИШ;

И.И. Николаев, аспирант каф. ТУ

*Научный руководитель М.Е. Комнатнов, доцент каф. ТУ, к.т.н.
г. Томск, ТУСУР, viacheslav.i.varvarin@tusur.ru*

Выполнен обзор аналитических моделей для расчета параметров эквивалентных схем замещения планарных катушек индуктивности.

Ключевые слова: планарная катушка индуктивности, эквивалентная схема замещения, аналитические модели.

Проектирование планарных катушек индуктивности интегрального исполнения является затруднительной задачей из-за необходимости учета потерь в диэлектрике, эффектов близости и скин-эффекта в проводнике [1]. Для их моделирования широко применяют системы автоматизированного проектирования (САПР), такие как Sonnet, MagNet, ASITIC и SISP. В данных программных продуктах для вычисления электрических параметров используются численные методы. Так, например, в [2] предлагается использование метода конечных элементов, или комплексный метод, объединяющий метод конформных отображений, и метод конечных разностей во временной области [3]. Стоит отметить, что при схемотехническом моделировании и оптимизации интегральной схемы требуется одновременное изменение большого числа параметров модели, а применение численных методов приводит к высоким вычислительным затратам.

Другим известным методом моделирования планарных катушек индуктивности является метод эквивалентных схем из частичных элементов (ЭСЧЭ) [4]. Метод сводится к представлению ЭСЧЭ катушки индуктивности, которую возможно использовать в SPICE-симуляторах для вычисления её частотных характеристик [5]. Параметры ЭСЧЭ вычисляются при помощи аналитических выражений, что существенно снижает вычислительные затраты. Цель работы – выполнить обзор аналитических моделей для расчета параметров ЭСЧЭ планарных катушек индуктивности.

Методом ЭСЧЭ возможно представление планарных катушек индуктивности интегрального исполнения в свернутом [4] и развернутом [6] видах (рис. 1).

Типовая свернутая катушка методом ЭСЧЭ включает в себя внутреннее сопротивление (R_s) и собственную индуктивность (L_s)

проводника, ёмкости межвитковую (C_s) и подложки (C_p). Развернутая катушка методом ЭСЧЭ содержит паразитную ёмкость (C_{ol}), возникающую между подложкой и проводником катушки, а также сопротивление (R_p) потерь в подложке.

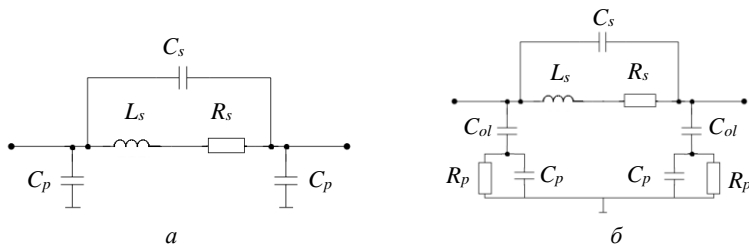


Рис. 1. Планарная катушка индуктивности в свернутом (а) и развернутом (б) видах методом ЭСЧЭ

Сопротивление R_s вычисляется с учетом скин-эффекта, вследствие чего является частотно-зависимым, C_s – суммарная взаимная ёмкость между каждым витком, паразитные ёмкости C_p , C_{ol} вычисляются как ёмкости плоского конденсатора с учетом относительной диэлектрической проницаемости (ϵ_{ol}) и погонной ёмкости (C_{sub}) кремневой подложки, R_p – вычисляется как собственное сопротивление проводника с учетом погонной проводимости кремневой подложки (G_{sub}). Основной характеристикой катушки является ее индуктивность (L_s), которая может быть вычислена при помощи аналитических выражений, основанных на частных решениях уравнений Максвелла [6–11]. При этом данные выражения имеют значительные погрешности вычислений, составляющие 15–20%, а в некоторых случаях превышающие 80% [11].

Для уменьшения погрешности вычислений L_s в [12] используется модифицированная аналитическая модель из [13] с использованием переменных коэффициентов, получаемых на основе измерений. В [14] используется аналитическая модель, представляющая мономиальное выражение с переменными коэффициентами. Также существует аналитическая модель, основанная на аппроксимации плотности тока с использованием выражения из [12].

Вычисление и сравнение вышеописанных аналитических моделей с результатами моделирования в САПР ASITIC выполнено в [15]. Показано, что погрешность вычислений по аналитическим моделям составляет не более 10%, а наиболее предпочтительная для использования модель представлена в [12].

Для более точного вычисления L_s в [16], предлагается использование геометрической модели, которая разбивается на сегменты с со-

направленным и противоположнонаправленными токами. Для расчёта L_s выполняется суммирование значений собственных индуктивностей каждого сегмента и значений положительных и отрицательных взаимных индуктивностей. В [17] выполнена программная реализация такой геометрической модели планарной катушки индуктивности с применением VHDL-AMS и использована для расчета катушки в составе силового преобразователя интегрального исполнения. Измерение показало, что погрешность аналитической модели не превышает 3%.

Другая геометрическая модель планарной катушки индуктивности предлагается в [18], которая выполнена в симметричном виде и интегральном исполнении. Геометрическая модель разбивалась на полные и неполные витки, а также на проводники отводов. Аналитическая модель представляет собой сумму всех собственных и взаимных индуктивностей сегментов. Сравнение результатов расчета данной аналитической моделью с результатами моделирования методом конечных элементов показало, что погрешность её вычисления не превысила 2% для диапазона значений индуктивности 0,1...10 нГн.

Таким образом, выполнен обзор аналитических моделей для расчета параметров планарных катушек индуктивности методом ЭСЧЭ, приведены их погрешности вычислений, из которых можно выделить аналитическую модель из работы [18] как модель с наименьшей погрешностью, не превышающей 2%.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда, проект № 19-79-10162, <https://rscf.ru/project/19-79-10162/>.

ЛИТЕРАТУРА

1. Pardue C.A. et al. Design and characterization of inductors for self-powered IoT edge devices // IEEE transactions on components, packaging and manufacturing technology. – 2018. – Vol. 8 (7). – P. 1263–1271.
2. Dey A. et al. Design, Fabrication, Analysis and Testing of a Planar Inductor on a High Frequency Buck Converter using SiC Device // IEEE. International Conference on Signal Processing, Informatics, Communication and Energy Systems (SPICES). – 2022. – Vol. 1. – P. 1–6.
3. Zheng H.X. Numerical modeling for planar spiral inductors in silicon-based radio-frequency integrated circuits // IEEE. Asia-Pacific Microwave Conference Proceedings. – 2005. – Vol. 1. – P. 1–4.
4. Ruehli A.E. Inductance calculations in a complex integrated circuit environment // IBM journal of research and development. – 1972. – Vol. 16. – P. 470–481.
5. Gadjeva E. Development of wide-band geometry dependent RF planar spiral inductor SPICE model / E. Gadjeva, M. Hristov, V. Durev // Proceedings of the 18th International Conference Mixed Design of Integrated Circuits and Systems-MIXDES. – 2011. – P. 446–449.
6. Koutsoyannopoulos Y.K. Systematic analysis and modeling of integrated inductors and transformers in RF IC design / Y.K. Koutsoyannopoulos, Y. Pa-

pananos // IEEE. Transactions on Circuits and Systems II: Analog and Digital Signal Processing. – 2000. – Vol. 47, No. 8. – P. 699–713.

7. Voorman J.O. Continuous-time analog integrated filters // Integrated Continuous-Time Filters-Principles, Design, and Applications. – 1993. – P. 15–46.

8. Dill H.G. Designing inductors for thin film applications // Electronic Design. – 1964. – P. 52–59.

9. Bryan H.E. Printed inductors and capacitors // Tele-Tech & Electronic Industries. – 1955. – Vol. 14, No. 12. – P. 68.

10. Ronkainen H. et al. IC compatible planar inductors on silicon // IEEE. Proceedings-Circuits, Devices and Systems. – 1997. – Vol. 144. – P. 29–35.

11. Crols J. et al. An analytical model of planar inductors on lowly doped silicon substrates for high frequency analog design up to 3 GHz // IEEE. 1996 Symposium on VLSI Circuits. Digest of Technical Papers. – 1996. – P. 28–29.

12. Mohan S.S. The Design, Modeling and Optimization of On-Chip Inductor and Transformer Circuits: PhD thesis. Stanford, 1999. – 215 p.

13. Wheeler H.A. Simple inductance formulas for radio coils // Proceedings of the institute of Radio Engineers. – 1928. – Vol. 16, No. 10. – P. 1398–1400.

14. Walker C.S. Capacitance, inductance, and crosstalk analysis. – M.: Artech House, 1999. – 226 p.

15. Mohan S.S. Simple accurate expressions for planar spiral inductances // IEEE Journal of solid-state circuits. – 1999. – Vol. 34, No. 10. – P. 1419–1424.

16. Jenei S. Physics-based closed-form inductance expression for compact modeling of integrated spiral inductors / S. Jenei, B.K.J.C. Nauwelaers, S. Decoutere // IEEE. Journal of solid-state circuits. – 2002. – Vol. 37, No. 1. – P. 77–80.

17. Development of a physically-based planar inductors VHDL-AMS model for integrated power converter design / A. Ammouri et al. // The European physical journal-applied physics. – 2014. – Vol. 66, No. 2. – P. 20901.

18. Erokhin V.V. New Inductance Calculating Formulas of Planar Symmetrical Square Inductors / V.V. Erokhin, S.A. Zavyalov // XVII International scientific and technical conference «Dynamics of Systems, Mechanisms and Machines» (Dynamics), Russia, Omsk. – 2023. – P. 5.

УДК 621.315

АНАЛИЗ РЕЗОНАНСНЫХ ЧАСТОТ ЭКРАНИРУЮЩИХ КОРПУСОВ НА ОСНОВЕ МОНОСТАТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОЙ ПЛОЩАДИ РАССЕЯНИЯ

А.О. Зайков, магистрант

*Научный руководитель А.А. Иванов, к.т.н., с.н.с. НИЛ «БЭМС РЭС»
г. Томск, ТУСУР, anton.ivn@tu.tusur.ru*

Выполнено моделирование частотных зависимостей эффективности экранирования и моностатической эффективной площади рассеяния для двух типовых корпусов радиоэлектронных средств. Показано, что на резонансных частотах корпуса обратно рассеянное поле зна-

чительно увеличивается. Сделан вывод, что измерения резонансных частот можно проводить по эффективной площади рассеяния без размещения антенны внутри корпуса.

Ключевые слова: эффективность экранирования, моностатическая эффективная площадь рассеяния, электромагнитный экран, плоская электромагнитная волна.

Традиционно считается, что экранирующий корпус может обеспечить ослабление воздействующей на него помехи на 60–100 дБ [1]. Однако из-за возникновения объемных резонансов помеха, проникающая в корпус через отверстия, наоборот, может усилиться [2]. Поэтому оценка резонансных частот является одной из главных задач проектирования корпуса. Обычно при такой оценке применяются две антенны, одна из которых помещается внутри корпуса [3]. Однако такой метод плохо подходит для корпусов, имеющих небольшие габариты или внутреннее заполнение [4].

В данной работе предлагается новый подход к оценке резонансных частот корпуса, основанный на анализе обратно рассеиваемого корпусом поля (моностатической эффективной площади рассеяния, ЭПР). Чтобы подтвердить состоятельность подхода, с помощью электродинамического моделирования рассчитаны и проанализированы частотные зависимости эффективности экранирования (ЭЭ) и моностатической ЭПР для двух типовых корпусов радиоэлектронных средств.

Тестовые структуры. На рис. 1 представлены исследуемые тестовые структуры в виде прямоугольных корпусов с апертурами разных конструкций. Оба корпуса имеют одинаковую ширину – a и глубину – d по 300 мм, высоту – $b = 120$ мм и толщину стенок по 3 мм. Апертура корпуса 1 имеет длину $w_1 = 100$ мм, ширину $l_1 = 100$ мм, а апертура корпуса 2 – $w_2 = 10$ мм и $l_2 = 294$ мм. В обоих случаях ЭПР и ЭЭ определялись в диапазоне частот 0–1000 МГц при воздействии на корпус вертикально-поляризованной плоской электромагнитной волны с амплитудой вектора напряженности электрического поля $E = 1$ В/м.

Анализ результатов. Результаты расчета ЭЭ и ЭПР показаны на рис. 2. Видно, что в исследуемом диапазоне частот корпус 1 имеет один резонанс на частоте 690 МГц, при котором ЭЭ уменьшается до минус 31,4 дБ. Это говорит об усилении электромагнитных помех на этой частоте. В том же диапазоне на частотной зависимости ЭЭ корпуса 2 наблюдается два резонанса на 500 и 738 МГц, при которых ЭЭ падает до –11,7 и –23,06 дБ соответственно.

Из рис. 2, в, г видно, что на частотных зависимостях моностатической ЭПР имеются флуктуации амплитуды в области резонансных

частот исследуемых корпусов. Так, ЭПР корпуса 1 имеет резкий скачок до $-1,5$ дБм² на частоте 690 МГц. На частотах резонанса корпуса 2 (500 и 738 МГц) наблюдаются скачки до $-4,24$ и $-2,21$ дБм² соответственно. В результате можно сделать вывод, что оценку резонансных частот можно проводить на основе ЭПР, т.е. без необходимости размещения антенны внутри корпуса.

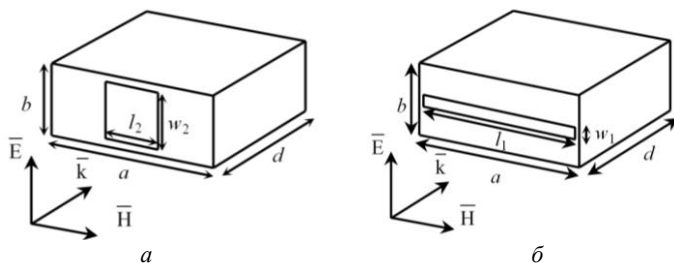


Рис. 1. Тестовые структуры корпусов 1 (а) и 2 (б)

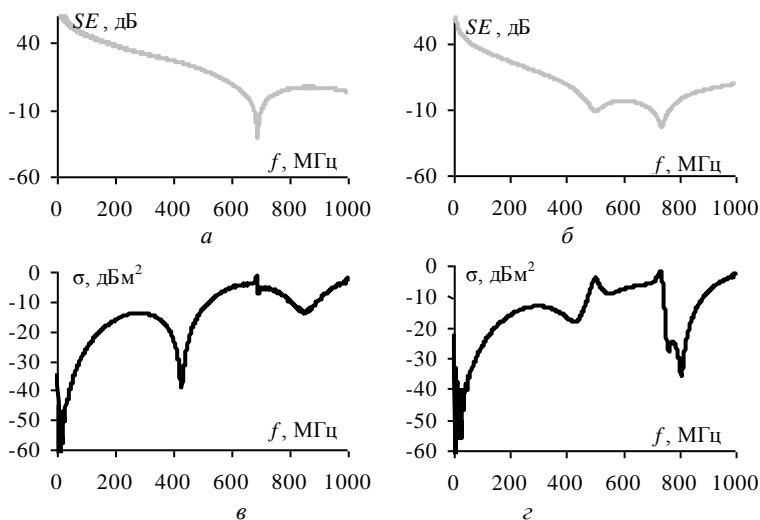


Рис. 2. ЭЭ в центре корпуса 1 (а) и его ЭПР (б);
ЭЭ в центре корпуса 2 (в) и его ЭПР (г)

Заключение. Выполнено сравнение частотных зависимостей ЭЭ и ЭПР для двух экранирующих корпусов. Показано, что на зависимости моностатической ЭПР возникают флуктуации, соответствующие резонансам корпуса (минимумам ЭЭ). Это говорит о возможности

анализа уязвимых частот корпуса с помощью измерения его обратно рассеянного поля.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-79-10165, <https://rscf.ru/project/23-79-10165/>.

ЛИТЕРАТУРА

1. Electromagnetic shielding: theory and applications / S. Celozzi, R. Araneo, P. Burghignoli, G Lovat. // Hoboken, NJ, USA: Wiley-IEEE Press, 2022. – P. 560.

2. Internal stirring: an approach to approximate evaluation of shielding effectiveness of small slotted enclosures / A. Rusiecki, K. Aniserowicz, A.P. Duffy, A. Orlandi // IET Sci. Meas. Technol. – 2016. – Vol. 10, No. 6. – P. 659–664.

3. Chunhong G., Shufang L. Shielding effectiveness of an enclosure with apertures // IEEE International Symposium on Microwave, Antenna, Propagation and EMC Technologies for Wireless Communications. – 2005. – Vol. 1. – P. 614–618.

4. Hussein K.F.A. Effect of internal resonance on the radar cross section and shield effectiveness of open spherical enclosures // Progress In Electromagnetics Research. – 2007. – Vol. 70. – P. 225–246.

УДК 621.391.825

ОСЛАБЛЕНИЕ СВЕРХШИРОКОПОЛОСНОГО ИМПУЛЬСА В ДВУХДИАПАЗОННОМ ПОЛОСНО-ЗАГРАЖДАЮЩЕМ ФИЛЬТРЕ

Н.Д. Одиванов, В.В. Пичугин, студенты

*Научный руководитель Е.С. Жечев, доцент каф. СВЧиКР, к.т.н.
г. Томск, ТУСУР, каф. СВЧиКР, odivanovn@gmail.com*

Выполнена оценка ослабления сверхширокополосного импульса в двухдиапазонном полосно-заграждающем фильтре поглощающего типа. Выявлено, что исследуемый фильтр незначительно ослабляет рассмотренное воздействие с точки зрения N -норм.

Ключевые слова: полосно-заграждающий фильтр, временной отклик, сверхширокополосный импульс, N -нормы.

Сверхширокополосные (СШП) помехи характеризуются очень широким спектром и могут негативно влиять на работу радиосистем, вызывая искажения в передаваемом сигнале или приводя к потере связи. Такие помехи могут возникать в результате работы других радиоустройств и высоковольтных систем коммутации. Они также могут быть результатом преднамеренного воздействия мощных СШП-генераторов. Полосно-заграждающие фильтры (ПЗФ) активно используются в современных радиотехнических системах связи, радиолокации, радионавигации и т.д. [1]. Одними из основных требований к

ПЗФ являются их миниатюрность, а также высокие селективные свойства. В известных работах по ПЗФ анализировались только их частотные характеристики. Между тем при наличии априорной информации о помехах важно оценивать временные отклики систем и устройств. Поэтому целью данной работы является анализ ослабления СШП-импульса в двухдиапазонном ПЗФ поглощающего типа.

Исследуемая структура. Топология исследуемого фильтра из [1] представлена на рис. 1. Использование катушек типа bridged-T вместо линий $\lambda/4$ значительно уменьшает размер фильтра. Кроме того, используя двухдиапазонную конструкцию катушки bridged-T, также может быть реализован компактный двухдиапазонный ПЗФ.

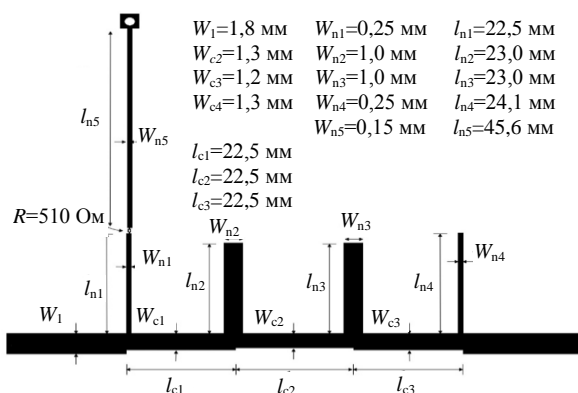


Рис. 1. Топология исследуемого компактного двухдиапазонного ПЗФ из [1]

При моделировании фильтра использованы характеристики двухстороннего фольгированного ламината Rogers RO4003C толщиной 0,8128 мм. Нижний слой является сплошным полигоном. Резистор R является компонентом типоразмера 0402 с сопротивлением 510 Ом.

На рис. 2 представлены частотные характеристики фильтра, полученные при электродинамическом моделировании и из [1]. Видно, что результаты хорошо согласуются. Значение $|S_{11}|$ не превышает -10 дБ. Параметры $|S_{21}|$ также хорошо согласуются, что можно наблюдать на рис. 2, б. Значения $|S_{21}|$ по уровню -40 дБ лежат в диапазоне частот от 1,4 до 2,5 ГГц.

На рис. 3 представлены вычисленные временные отклики на воздействие СШП-импульса (Гауссов импульс с шириной спектра от 0,1 до 6 ГГц). Видно, что входное воздействие незначительно ослабилось при прохождении через исследуемый ПЗФ.

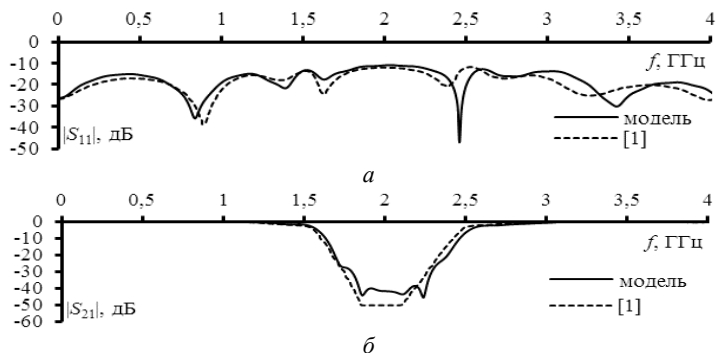


Рис. 2. Частотные зависимости $|S_{11}|$ (а) и $|S_{21}|$ (б) исследуемого ПЗФ

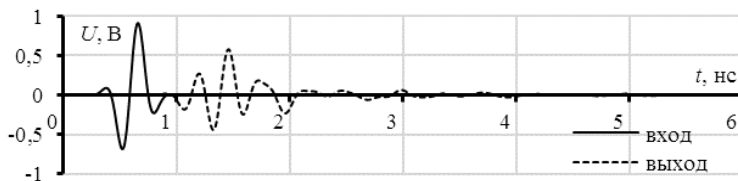


Рис. 3. Временной отклик на входе (—) и выходе (---)

Для оценки эффективности подавления СШП-импульса использованы N -нормы [2] (таблица). Видно, что исследуемый ПЗФ позволяет незначительно ослабить значения N_1 , N_2 и N_5 . При этом значение N_3 осталось без изменений, а значение N_4 и вовсе увеличилось.

Нормированные значения N -норм временных откликов на воздействие СШП-импульса

нормы	N_1	N_2	N_3	N_4	N_5
Выход/вход	0,621	0,6363	1	1,416	0,743

Закключение. Выполнено моделирование характеристик двухдиапазонного полосно-пропускающего фильтра. Вычислены N -нормы временного отклика на входе и выходе ПЗФ на воздействие СШП-помех. Выявлено, что N -нормы уменьшаются незначительно.

ЛИТЕРАТУРА

1. Lin Y.S. Miniature dual-band absorptive bandstop filters with improved passband performance / Y.S. Lin, Y.C. Huang, Q.Y. Jiang // IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Regular Papers. – 2022. – Vol. 69, No. 6. – P. 2339–2350.
2. Baum С.Е. Norms and eigenvector norms // Mathematics Notes. – 1979. – Vol. 63. – P. 1–42. – URL: <http://eceresearch.unm.edu/summa/notes/Mathematics/0063.pdf> (дата обращения: 25.03.2024).

АНАЛИЗ ХАРАКТЕРИСТИК ДВУХ СВЯЗАННЫХ ЛИНИЙ ПЕРЕДАЧИ В ВИДЕ СПИРАЛИ

М.С. Мурманский, магистрант каф. ТУ

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

г. Томск, ТУСУР, mihailmurmanskii@gmail.com

Дан анализ характеристик двух связанных линий передачи в виде спирали, расположенных на внутреннем слое печатной платы. Показано, что предложенная схема трассировки позволяет ослабить импульс сверхширокополосной электромагнитной помехи в 2,67 раза.

Ключевые слова: *N*-нормы, временной отклик, микрополосковые линии передачи.

Микрополосковые линии передачи широко используются в современных печатных платах (ПП), работающих до сотен ГГц. Такие линии часто служат в качестве линий задержки [1]. Ранее в [2] было предложено располагать близко две линии передачи, расположенные на внешнем слое ПП, и трассировать их проводники в виде спирали и меандра. Благодаря этому удалось увеличить помехоподавление сверхширокополосных помех в линиях передачи при контролируемом уровне дальней перекрестной помехи. Целью же данной работы является анализ характеристик двух связанных линий передачи в виде спирали, расположенных на внутреннем слое ПП.

Исследуемая структура. На рис. 1, *а* представлено поперечное сечение предложенной структуры. Видно, что проводники располагаются на внутреннем слое ПП. На рис. 1, *б* показана эквивалентная схема включения двух связанных линий передачи. Помеховое воздействие подается с помощью генератора E с внутренним сопротивлением R_s на порт 1, выходной сигнал снимается с порта 2. Номинал резисторов принят равным 50 Ом.

В качестве помехового воздействия использован Гауссов импульс (0,1–6 ГГц), который соответствует определению СШП-помехи согласно стандарту МЭК [3]. Геометрические параметры структуры (мкм): $w = 200$, $s = 50$, $d = 50$, $h = 68$, $h_1 = 70$, $l = 189$ мм. Параметры используемых диэлектрических материалов 1035HRC ($\epsilon_{r1} = 3,05$, $\text{tg}\delta_1 = 0,040$) и 1078 ($\epsilon_r = 3,26$, $\text{tg}\delta = 0,040$) [4]. Для проведения электродинамического моделирования использована программа COMSOL Multiphysics. На рис. 2 представлены вычисленные формы напряжений в портах 1 и 2.

Из рис. 2. видно, что предложенная схема трассировки в виде спирали, расположенной на внутреннем слое ПП, позволяет умень-

шить пиковое значение напряжения СШП ЭМП в 2,67 раза. Для более детального анализа в таблице представлены вычисленные значения N -норм для форм напряжения на входе и выходе структуры. N -нормы используются для оценки форм сигналов во временной области [5].

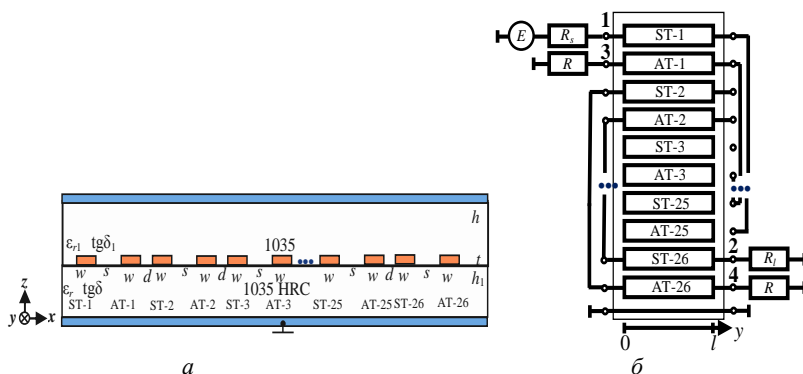


Рис. 1. Поперечное сечение (а) и эквивалентная схема включения (б) связанных линий передачи со схемой трассировки в виде спирали

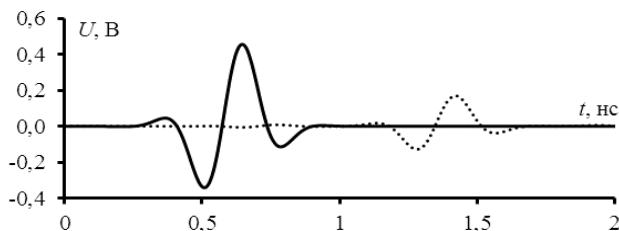


Рис. 2. Вычисленные формы напряжения в портах 1 (—) и 2 (---)

Вычисленные N -нормы форм напряжений в портах 1 и 2

Источник	N_1	$N_2 \cdot 10^9$	$N_3 \cdot 10^{-12}$	$N_4 \cdot 10^{-11}$	$N_5 \cdot 10^{-6}$
Порт 1	0,454	9,370	6,460	9,224	5,046
Порт 2	0,17	3,186	1,888	6,221	2,022

Показано, что в исследуемой структуре, при заданном помеховом воздействии, значение N_1 снижается в 2,67 раза, N_2 – в 2,94 раза, N_3 – в 3,42 раза, N_4 – в 1,48 раза, N_5 – в 2,49 раза. При этом значение N_3 ослабляется в 3,43 раз. Таким образом, использование данной схемы трассировки позволяет снизить пиковое значение напряжения СШП ЭМП в 2,67 раза.

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

ЛИТЕРАТУРА

1. Dai X. Implicit periodic strong reflection points of UWB Hilbert fractal time delay lines and the performance improvements / X. Dai, W. Feng, W. Che // IEEE Trans. Microw. Theory Techn. – Oct. 2022. – Vol. 70, No. 10. – P. 4376–4388.
2. Zhechev Y.S. et al. Routing Technique for Microwave Transmission Lines to Ensure UWB Interference Immunity // IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques. – 2023. – Vol. 12, No. 71. – P. 5304–5316.
3. Electromagnetic Compatibility (EMC). – Part 1–5: High Power Electromagnetic (HPEM) Effects on Civil Systems // IEC. 61000-1-5. – Ed: IEC. – 2004.
4. Intel Agilex® 7 Device Family HighSpeed Serial Interface Signal Integrity Design Guidelines [Электронный ресурс]. – Сайт Intel: <https://device.report/manual/11296866> (дата обращения: 12.04.2024).
5. Baum C.E. Norms and eigenvector norms // Math. Notes. – 1979. – Vol. 63. – P. 1–42.

УДК 621.391.825

ВЛИЯНИЕ ЗАЗЕМЛЕННЫХ ЗАЩИТНЫХ ТРАСС НА ПОМЕХОПОДАВЛЯЮЩИЕ СВОЙСТВА ДВУХ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ ПАР

С.В. Власов, магистрант

*Научный руководитель Е.С. Жечев, доцент каф. СВЧуКР, к.т.н.
г. Томск, ТУСУР, каф. ТУ, Lukashinka12@gmail.com*

Представлены результаты моделирования характеристик двух связанных дифференциальных пар с защитными трассами и без них. Результаты показали, что применение защитных трасс ухудшают помехоподавляющие свойства, но уменьшает наведенное напряжение на вторую дифференциальную пару.

Ключевые слова: электромагнитная совместимость, дифференциальная пара, сверхширокополосная помеха.

Обеспечение электромагнитной совместимости (ЭМС) является ключевым аспектом в проектировании современных радиоэлектронных систем. Дифференциальные пары играют важную роль в передаче сигналов на высоких частотах, и их надежное функционирование в различных электромагнитных средах критично [1].

Для обеспечения ЭМС, в частности, защиты от различных видов помех применяют разнообразные технические решения, такие как TVS-диоды, варисторы, LC-фильтры и т.д. [2]. Эти меры направлены на защиту дифференциальных пар от разрядов статического электричества, перенапряжений, шумов и других внешних воздействий. Важно учитывать не только защиту от внешних помех, но и уменьшение

перекрестных помех между самими дифференциальными парами и другими элементами системы. Для защиты от перекрестных помех часто применяются защитные трассы с определенной геометрией и расположением на печатной плате [3].

Ранее не было проведено исследования влияния защитных трасс на помехоподавляющие свойства двух дифференциальных пар. Цель работы – выполнить анализ влияния защитных трасс на характеристики двух связанных дифференциальных пар.

На рис. 1 представлены поперечное сечение и эквивалентная схема включения двух дифференциальных пар.

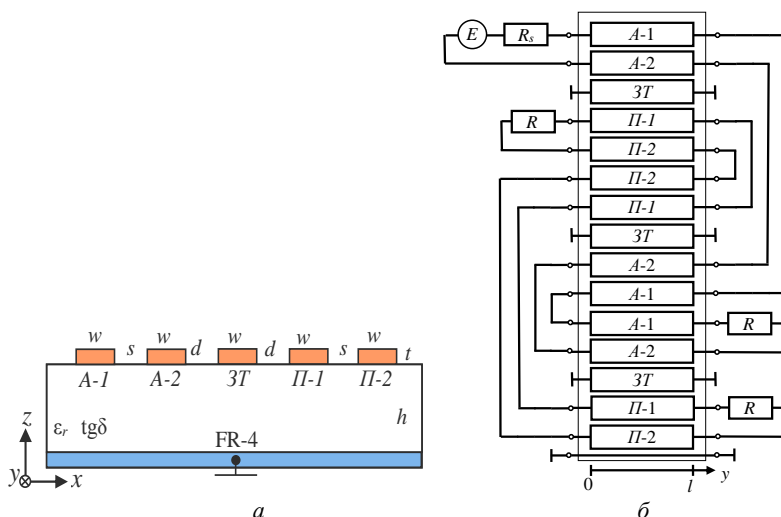


Рис. 1. Поперечное сечение (а) и эквивалентная схема включения (б) двух связанных дифференциальных пар

Геометрические параметры структуры: общая длина дифференциальных пар $l = 200$ мм, ширина проводников $w = 170$ мкм, расстояние между проводниками $s = 350$ мкм, расстояние между витками $d = 70$ мкм, толщина подложки $h = 101$ мкм, толщина проводников $t = 35$ мкм. Относительная диэлектрическая проницаемость и тангенс угла диэлектрических потерь подложки приняты равными $\epsilon_r = 4,5$ и $\text{tg}\delta = 0,025$. Структура согласована с трактом 100 Ом. На рис. 2 представлены временные отклики на выходе исследуемой структуры при воздействии сверхширокополосной (СШП) помехи без защитных трасс (3Т) и с их наличием.

Из рис. 2 видно, что без ЗТ-ослабления помехи больше. Максимальное значение амплитуды помехи на выходе исследуемой структуры без ЗТ составило 169 мВ, а с ЗТ – 234 мВ.

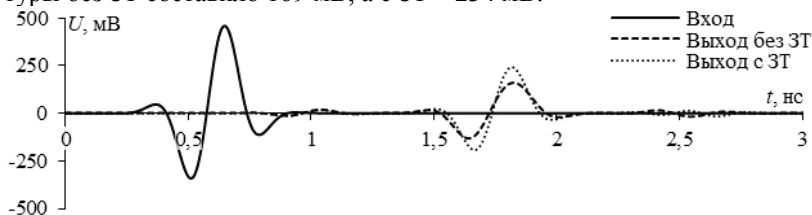


Рис. 2. Временной отклик на СШП-помеху

На рис. 3 представлены формы наведенного напряжения на входе и выходе второй дифференциальной пары при распространении СШП-помехи.

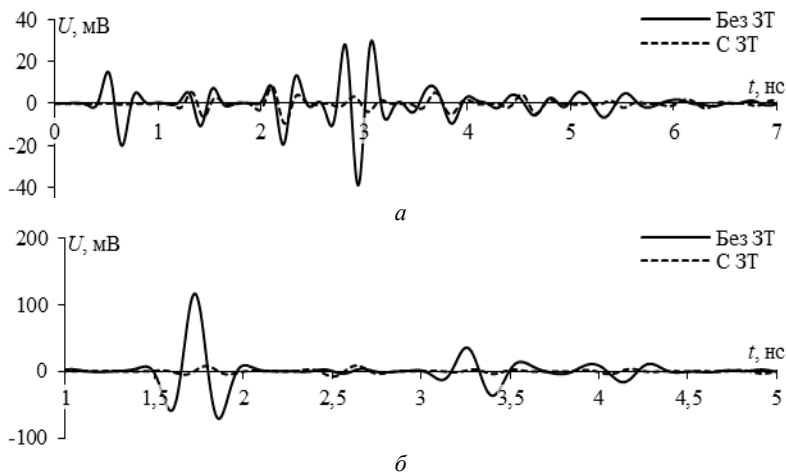


Рис. 3. Наведенное напряжение на входе (а) и выходе (б) второй дифференциальной пары при распространении СШП-помехи

Из рис. 3 видно, что при добавлении ЗТ уменьшается взаимное влияние (уменьшении амплитуды наведенного напряжения) как на входе, так и на выходе исследуемой структуры. Максимальная амплитуда напряжения помехи на входе без ЗТ составила 37 мВ, с ЗТ – 6,5 мВ, а на выходе – 116 и 9,1 мВ соответственно.

Выявлено, что, добавляя ЗТ, можно уменьшить взаимное влияние дифференциальных пар друг на друга. Но за счет этого ухудшатся

помехоподавляющие свойства. В будущих исследованиях планирует провести лабораторный эксперимент.

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

ЛИТЕРАТУРА

1. Завалин И. Проблемы высокоскоростной передачи данных. Соединители стандарта VPX // Компоненты и технологии. – 2018. – № 3. – С. 22–24.

2. Effect of RF signals on TVS diode trigger voltage for ESD protection / G. Maghlakelidze, S. Marathe, W. Huang, J. Willemen, D. Pommerenke // IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility & Signal/Power Integrity (EMCSI). – 2020. – P. 194–199.

3. Скорняков И.А. Оценка влияния способов заземления защитной трассы связанной двухпроводной линии на перекрестные наводки // Сборник избранных статей научной сессии ТУСУР: матер. конф. «Научная сессия ТУСУР – 2021. – Томск: В-Спектр, 2021. – № 1-2. – С. 83–86.

УДК 621.391.825

АНАЛИЗ ХАРАКТЕРИСТИК ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ ПАР С МОДАЛЬНЫМ РЕЗЕРВИРОВАНИЕМ

С.Р. Морозов, С.В. Власов, магистранты

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

Представлены первые результаты моделирования характеристик двух связанных дифференциальных пар с модальным резервированием. Из полученных результатов видно, что связанные дифференциальные пары можно применять для уменьшения кондуктивных помех в цепях с модальным резервированием.

Ключевые слова: электромагнитная совместимость, дифференциальная пара, сверхширокополосная помеха, резервирование.

В современных электронных устройствах дифференциальные пары играют важную роль в передаче сигналов, и их надежное функционирование в различных электромагнитных средах критично [1]. Существует множество способов повышения функциональной безопасности [2], одним из которых является резервирование [3, 4]. Однако от воздействия электромагнитных помех (ЭМП) оно не защищает. Для борьбы с ЭМП может быть использована технология на основе модальной фильтрации [5]. Разработан подход, называемый модальным резервированием (МР). Его особенностью является реализация модальной фильтрации за счет использования сильной электромагнитной связи между основными и резервными проводниками [6]. Оpub-

ликован ряд работ, посвященных характеристикам одиночных и многопроводных линий передачи с МР. Однако возможность использования МР в структурах с дифференциальными парами ранее не исследовалась. Цель работы – провести анализ характеристик дифференциальных пар с МР.

Исследуемая структура и методы. На рис. 1 представлены поперечное сечение, а также эквивалентные схемы включения двух связанных дифференциальных пар до и после отказов. Геометрические параметры структуры: длина структуры $l = 245$ мм, ширина проводников $w = 170$ мкм, расстояние между проводниками $s = 350$ мкм, расстояние между витками $d = 70$ мкм, толщина подложки $h = 101$ мкм, толщина проводников $t = 18$ мкм. Относительная диэлектрическая проницаемость и тангенс угла диэлектрических потерь подложки $\epsilon_r = 4,5$ и $\text{tg}\delta = 0,025$. Структура согласована с трактом 100 Ом.

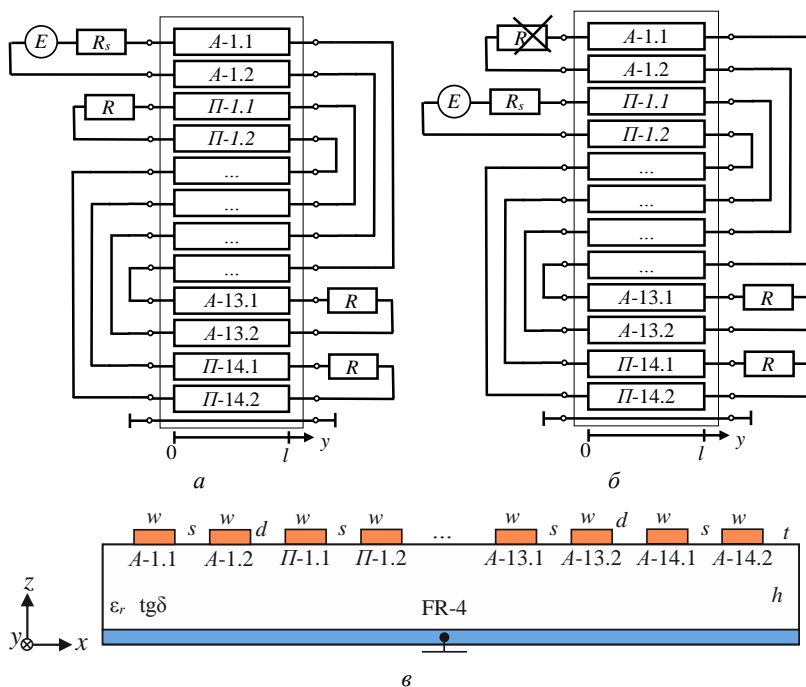


Рис. 1. Эквивалентные схемы включения до (а) и после (б) отказов, а также поперечное сечение (в) структуры с МР

Для анализа максимальной амплитуды на выходе структуры использованы два воздействия: сверхширокополосное (СШП) и узкопо-

лосное (УП). Гауссов импульс с шириной спектра от 0,1 до 6 ГГц (рис. 2, *а*) соответствует СШП ЭМП в соответствии со стандартом МЭК [7]. В качестве УП ЭМП рассмотрена затухающая синусоида (рис. 2, *б*) в соответствии со стандартом MILSTD-461F [8].

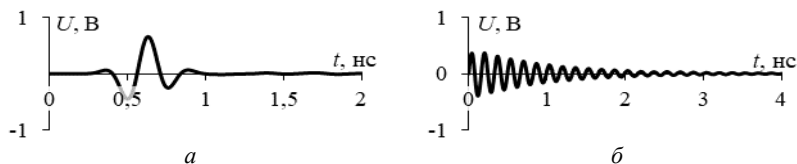


Рис. 2. Формы напряжений: СШП (*а*) и УП (*б*) ЭМП

Результаты. На рис. 3 представлены графики зависимости максимальной амплитуды на выходе (U_{\max}) от количества отказов для каждого из подаваемых сигналов.

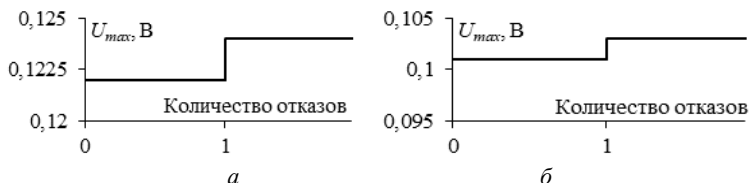


Рис. 3. График U_{\max} от количества отказов при СШП (*а*) и УП (*б*) ЭМП

Из рис. 3 видно, что U_{\max} увеличилась после отказа на 0,81% (0,122 и 0,124 В) для СШП и 0,98% (0,101 и 0,103 В) для УП ЭМП. Из представленных результатов видно, что значение ослабления находится на прежнем уровне, так как при переключении $\Delta U_{\max} < 1\%$.

Закключение. Выполнен анализ возможности применения двух связанных дифференциальных пар для модального резервирования. Показано, что после отказа и переключения на резервную дифференциальную пару уровень ослабления изменяется незначительно. Это означает, что при проектировке устройств с дифференциальными парами можно использовать МР для повышения надежности проектируемого устройства и лучшего обеспечения ЭМС. В перспективе планируется рассмотреть аналогичные устройства с большей кратностью резервирования.

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

ЛИТЕРАТУРА

1. Завалин И. Проблемы высокоскоростной передачи данных. Соединители стандарта VPX // Компоненты и технологии. – 2018. – № 3. – С. 22–24.

2. ГОСТ Р МЭК 61508-1–2012. Функциональная безопасность систем электрических, электронных, программируемых электронных, связанных с безопасностью. Общие требования. – М.: Стандартинформ, 2014. – 58 с.
3. Денисенко В.В. Аппаратное резервирование в промышленной автоматизации // В записную книжку инженера. – 2008. – № 2 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.cta.ru/cms/f/373347.pdf>, свободный (дата обращения: 10.03.2024).
4. Резервирование. Надежность технических систем и техногенный риск [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.obzh.ru/nad/4-4.html>, свободный (дата обращения: 10.03.24).
5. 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.
6. Alhaj Hasan A. Ensuring the Reliability and EMC by Modal Reservation: A Brief History and Recent Advances / A. Alhaj Hasan, T.R. Gazizov // Symmetry. – 2022. – Vol. 14, Iss. 11. – 27 p.
7. Electromagnetic Compatibility (EMC). – Part 1–5: High Power Electromagnetic (HPEM) Effects on Civil Systems, IEC. 61000–1–5, Ed: IEC, 2004.
8. Requirements for the Control of Electromagnetic Interference Characteristics of Subsystems and Equipment, MIL-STD-461F, Interface Standard, 2007.

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 628.8

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СВЕТОДИОДНОГО ОБЛУЧАТЕЛЯ ДЛЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПТИЦ

М.Х. Фам, магистрант; В.С. Солдаткин, доцент, к.т.н.
г. Томск, ТУСУР, каф. РЭТЭМ, phatalyona11@mail.ru

На территории Российской Федерации в 2023 г. произведено 34,8 млрд штук куриных яиц [1]. В 2022 г. на территории Российской Федерации произведено более 7 млн. тонн кур на убой для питания населения [2]. Для продуктивного выращивания сельскохозяйственных птиц необходимо обеспечивать освещение и обогрев помещения, в котором они содержатся. Согласно ОСН-АПК 2.10.24.001-04 [3], освещённость в помещениях животноводства должна быть не менее 20 лк и меняться в зависимости от вида и возраста животных, а также иметь суточную периодичность. Согласно ГОСТ 12.1.005-88 [4] температура воздуха должна составлять от 18 до 25 °С. Для целей освещения в настоящее время доступны светодиоды со световой отдачей порядка 210 лм/Вт, срок службы составляет порядка 50 000 ч [5].

Ключевые слова: светодиодный светильник, освещенность, цветовая температура, спектр излучения, сельскохозяйственные птицы, керамическая лампа.

Целью работы является создание светодиодного облучателя для обеспечения условий выращивания сельскохозяйственных птиц.

Свет является важным фактором, который регулирует продолжительность сна и бодрствования у животных и птиц. Нехватка света отрицательно влияет на продуктивность и жизнедеятельность птиц.

Известна установка осветительная светодиодная с изменяемой цветоцветовой средой [6]. Недостатком данного технического решения является отсутствие обогрева. Известны инфракрасные лампы, излучающие в видимом и инфракрасном диапазоне оптического спектра, например ИКЗК 230-100 R95 E27 ЭРА [7]. Недостатком данных

ламп является отсутствие функции изменения коррелированной цветовой температуры.

Для достижения поставленной цели создано техническое решение (рис. 1).

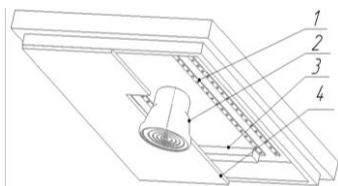


Рис. 1. Схематический вид конструкции светодиодного облучателя для сельскохозяйственных птиц: 1 – светодиодный модуль, 2 – керамическая лампа, 3 – устройство электропитания и управления, 4 – рассеиватель

При проектировании светодиодного облучателя необходимо учитывать основные параметры, которые влияют на состояние птиц, а именно цветовая температура, освещённость и продолжительность освещения. Были выбраны светодиодные линейки SMD 5730. Рекомендуемая освещённость для содержания сельскохозяйственных птиц должна быть примерно 40 лк.

В качестве источника обогрева для проектирования светодиодного облучателя была выбрана керамическая инфракрасная лампа LightBest ERK 25W. Площадь обогрева составляет от 1 до 2 м² при установке на расстоянии не менее 0,4 м от пола. Преимуществом керамических ламп является отсутствие света, что не нарушает цикл дня и ночи.

Заключение. Проведён аналитический обзор и патентный поиск, а также был спроектирован светодиодный облучатель для сельскохозяйственных птиц.

ЛИТЕРАТУРА

1. Причины повышения цен на куриные яйца и пути решения этой проблемы / АО «Россельхозбанк» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://svoefermerstvo.ru/svoemedia/articles/jaichnaja-panorama-vse-chto-nuzhno-znat-o-roste-cen-na-kurinye-jajca> (дата обращения: 10.03.2024).

2. Производство мяса птицы в 2023 году может остаться на прошлогоднем уровне / ООО «Континуум Риал Эстейт» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.agroinvestor.ru/markets/news/41593-proizvodstvo-myasapititsy-v-2023-godu-mozhet-ostatsya-na-proshlogodnem-urovne/> (дата обращения: 10.03.2024).

3. Нормы освещения сельскохозяйственных предприятий, зданий и сооружений. ОСН-АПК 2.10.24.001-04 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293853/4293853695.pdf> (дата обращения: 10.03.2024).

4. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны. ГОСТ 12.1.005-88 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200003608> (дата обращения: 10.03.2024).

5. Солдаткин В.С. Обзор современных светодиодов: для общего освещения, для садоводческого освещения, УФ-диоды для дезинфекции // Электронные средства и системы управления: матер. докладов междунар. науч.-практ. конф. – Томск: В-Спектр, 2022. – Т. 1. – С. 239–241.

6. Патент на полезную модель № 159034 U1 Российская Федерация, МПК F21K 99/00. Установка осветительная светодиодная с изменяемой цветоцветовой средой : № 2014147714/07 : заявл. 26.11.2014; опубл. 27.01.2016 / А.А. Ашрятов, С.А. Вишнеvский; заявитель ФГБОУ ВПО Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва.

7. Инфракрасная лампа ЭРА ИКЗК 230-150 R127 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.eraworld.ru/catalog/2660668> (дата обращения: 10.03.2024).

УДК 628.8

СРОК СЛУЖБЫ ОБЛУЧАТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ ДЛЯ ВЫРАЩИВАНИЯ РАСТЕНИЙ

*Д.В. Былков, инженер-светотехник АО «Физтех-Энерго»;
Д.А. Полторацкий, техн. директор АО «Физтех-Энерго»;
А.О. Лазарева, маэистрант; В.С. Солдаткин, доцент, к.т.н.
г. Томск, ТУСУР, каф. РЭТЭМ, alena.o.lazareva@tusur.ru*

Описывается выращивание растений в условиях закрытого грунта под светодиодными светильниками.

Ключевые слова: светодиодные приборы, теплицы, растения, газоразрядные лампы.

В 2023 г. на территории Российской Федерации насчитывается 3 280 га теплиц, 2 058,8 га для светокультур, из них 2 165 га современные, 1066 га требуют реконструкции [1]. Для облучения растений в теплицах применяются газоразрядные лампы типа ДНаЗ [2]. Современные достижения в полупроводниковых технологиях позволяют конструировать высокоэффективные облучательные приборы порядка 3,0 мкмоль / Дж для выращивания растений на основе светодиодов [3, 4].

Целью работы является анализ срока службы облучательных приборов для теплиц на основе ДНаЗ и светодиодов.

Для исследований выбраны светильники ДНаЗ 250 Вт, Diora Unit Agro и Diora Quadro Agro [5, 6]. Конструкция светодиодных облучателей Diora Unit Agro и Diora Quadro Agro запатентована [7].

Светильник ДНаЗ 250 Вт имеет габариты 550×180×170 мм, потребляемая мощность 263,8 Вт, поток фотосинтетически активной радиации (ФАР) 302,25 мкмоль/с, квантовая эффективность 1,15 мкмоль/Дж.

Светильник Diora Unit Agro с габаритами 305×165×25 мм, потребляемая мощность 80,92 Вт, поток ФАР 238 мкмоль/с, квантовая эффективность 2,94 мкмоль/Дж.

Светильник Diora Quadro Agro имеет габариты 390×195×70 мм, потребляемая мощность 113 Вт, поток ФАР 248,78 мкмоль/с, квантовая эффективность 2,2 мкмоль/Дж.

Светодиодные светильники меньше по габаритам, чем газоразрядная лампа, потребляют меньше энергии и имеют большую квантовую эффективность.

С помощью спектрометра UPRtek PG200N проведены измерения спектров излучения облучательных приборов для растений (рис. 1–3).

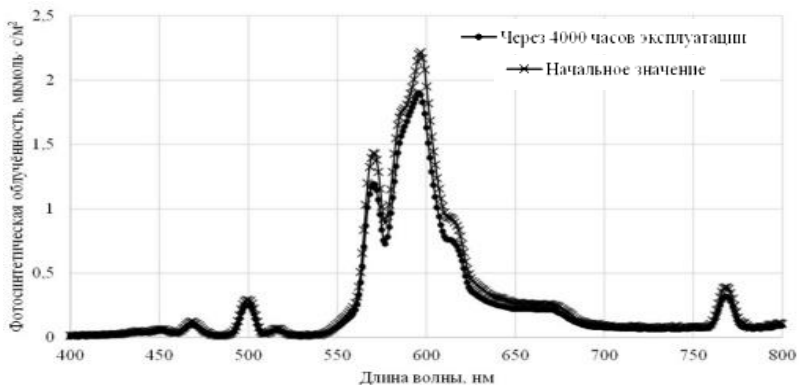


Рис. 1. Спектр излучения облучательных приборов ДНаЗ 250 Вт

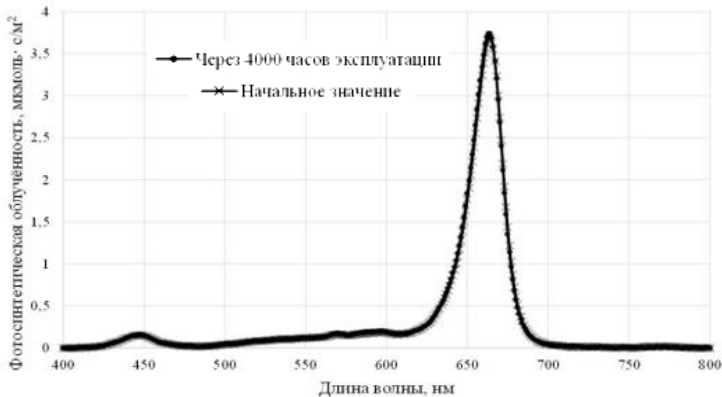


Рис. 2. Спектр излучения облучательных приборов Diora Unit Agro

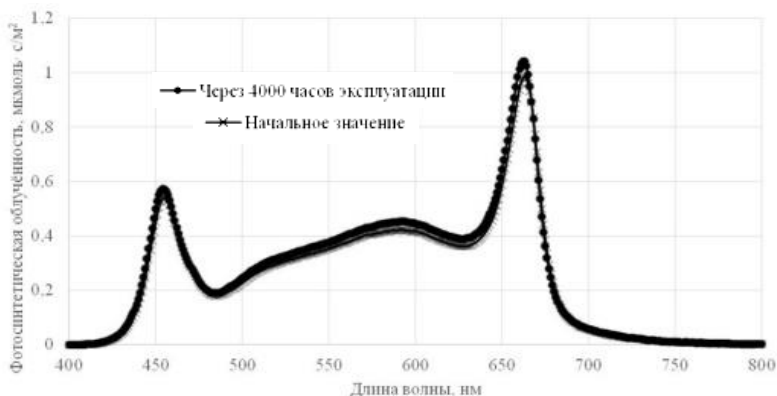


Рис. 3. Спектр излучения облучательных приборов Diora Quadro Agr

По результатам исследовательских испытаний облучательных приборов установлено, что через 4000 часов эксплуатации значение фотосинтетически активной облучённости у ДНаЗ 250 Вт снизилось на 57%, а у светодиодных облучательных приборов Diora Unit Agro и Diora Quadro Agro снижение фотосинтетически активной облучённости не превысило 15%. Для выращивания растений соблюдались нормальные климатические условия: температура окружающей среды (25 ± 3) °С, относительная влажность воздуха (45–80)%, атмосферное давление (630–800) мм рт. ст.

ЛИТЕРАТУРА

1. Тепличная отрасль России – 2023. Кооперация и общение соратников / ООО «ГлавАграрРус» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://glavagronom.ru/articles/teplichnaya-otrasl-rossii-2023-kooperaciya-i-obshchenie-soratinikov> (дата обращения: 09.03.2024).
2. ООО «МОСТ Продакшн» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://reflaks.ru/catalog/natrievye-zerkalnye-lampy-dnaz.html> (дата обращения: 09.03.2024).
3. LEDs for photons, physiology and food / P.M. Pattison, J.Y. Tsao, G.C. Brainard, B. Bugbee // Nature. – 2018. – Vol. 563(7732). – P. 493–500. Doi: 10.1038/s41586-018-0706-x.
4. Andreeva M.V. Estimation of spatial distribution of spectrophotometric characteristics of LED lamps in MacAdam steps / M.V. Andreeva, V.S. Soldatkin, V.I. Tuv // Analysis and Data Processing Systems. – 2022.– No. 3 (87). – P. 75–88. DOI: 10.17212/2782-2001-2022-3-75-88.
5. Солдаткин В.С. Обзор современных светодиодов: для общего освещения, для садоводческого освещения, УФ-диоды для дезинфекции // Электронные средства и системы управления: матер. докладов междунар. науч.-практ. конф. – 2022. – Т. 1. – С. 239–241.

6. Сравнение влияния облучательных приборов на рост и урожайность на примере огурцов сорта Мева F1 / Д.В. Былков, Д.А. Полторацкий, В.С. Солдаткин и др. // Фотоника. – 2023. – Т. 17, № 5. – С. 408–419. DOI: 10.22184/1993-7296.FRos.2023.17.5.408.418.

7. АО «Физтех-Энерго» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://diora.pro> (дата обращения: 09.03.2024).

8. Патент на полезную модель № 209987 U1 Российская Федерация, МПК F21V 33/00, F21S 8/06. светодиодный облучатель для растений: № 2021125227: заявл. 26.08.2021; опубл. 24.03.2022 / Д.А. Полторацкий, Д.В. Былков, В.С. Солдаткин, М.В. Виноградов; заявитель АО «Физтех-Энерго».

УДК 628.8

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СВЕТОДИОДНОГО СВЕТИЛЬНИКА СО ВСТРОЕННЫМ ИНФРАКРАСНЫМ ОБОГРЕВАТЕЛЕМ НАПРАВЛЕННОГО ДЕЙСТВИЯ

***Е.В. Шнайдер, Р.Г. Герасимов, Л.Ш. Юлдашова, магистранты;
В.С. Солдаткин, доцент, к.т.н.***

г. Томск, ТУСУР, каф. РЭТЭМ, ekaterina.v.shnaider@tusur.ru

На Крайнем Севере полярная ночь может достигать 174 суток [1], циркадные ритмы влияют на различные процессы человеческого организма и их поддержание напрямую связано с качеством освещения [2]. Известно, что в нормальных условиях цветовая температура естественного освещения в течение утро–день–вечер изменяется от 1800 до 6500 К. На середину дня цветовая температура естественного освещения составляет 6500 К [3]. Имитация естественного освещения в условиях Крайнего Севера позволит нормализовать циркадные ритмы человека.

Ключевые слова: светильник, циркадные ритмы, светодиоды, обогреватель, характеристики.

Наиболее подходящими искусственными источниками света для имитации естественного освещения являются светодиоды. Теоретический предел световой отдачи СИД белого цвета свечения составляет 370 лм/Вт [4], в настоящее время доступны СИД со световой отдачей порядка 210 лм/Вт [5]. Срок службы СИД составляет порядка 50 000 ч [6]. Для обеспечения комфортных условий труда на производстве важно не только качественное освещение, но и температура окружающей среды. Именно светодиоды за счёт компактности и надёжности позволяют объединить в одном устройстве источник света и устройство обогрева на основе инфракрасного обогревателя [7].

Целью работы является создание светодиодного светильника со встроенным инфракрасным (ИК) обогревателем направленного дей-

ствия для обеспечения циркадных ритмов человека на рабочем месте в условиях Крайнего Севера.

Для достижения поставленной цели создано техническое решение (рис. 1, 2): 1 – арматура для крепления, 2 – устройство электропитания и управления, 3 – ИК-обогреватель направленного действия, 4 – светодиодный модуль.

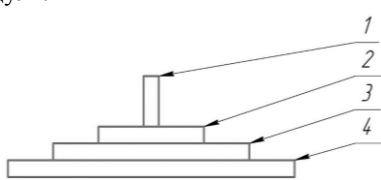


Рис. 1. Схематический вид конструкции светодиодного светильника со встроенным ИК-обогревателем. Вид сбоку

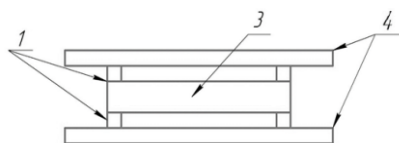


Рис. 2. Схематический вид конструкции светодиодного светильника со встроенным ИК-обогревателем. Вид снизу

Изготовлен макет светодиодного светильника со встроенным ИК-обогревателем.

Заключение. Проведён аналитический обзор и патентный поиск, предложено новое техническое решение создания светодиодного светильника со встроенным ИК-обогревателем, изготовлен макет устройства.

ЛИТЕРАТУРА

1. Полярная ночь [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.kp.ru/russia/polyarnaya-noch/> (дата обращения: 08.03.2024).

2. LEDs must spectrally balance illumination, circadian health, productivity, and energy efficiency. LEDs magazine [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.ledsmagazine.com/lighting-health-wellbeing/article/14199941/ideal-led-lighting-must-balance-multiple-objectives-magazine> (дата обращения: 08.03.2024).

3. От цветовой температуры к цвету освещения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ecoport.ru/ot-tsvetovoy-temperatury-k-tsvetu-osvescheniya/> (дата обращения: 08.03.2024).

4. Thomas W. Maximum spectral luminous efficacy of white light / W. Thomas, Jr. Murphy // Journal of Applied Physics. – 2012. – Vol. 111. – P. 104909.

5. Солдаткин В.С. Обзор современных светодиодов: для общего освещения, для садоводческого освещения, УФ-диоды для дезинфекции // Электрон-

ные средства и системы управления: матер. докладов междунар. науч.-практ. конф. – 2022. – Т. 1. – С. 239–241.

6. Meneghesso G. Recent results on the degradation of white LEDs for lighting / G. Meneghesso, M. Meneghini, E. Zanoni // Journal of Physics D: Applied Physics. – 2010. – Vol. 43, No. 35. – P. 354007–354018.

7. Информационное моделирование светильника светодиодного с ИК-обогревателем / Е.В. Шнайдер, Р.Г. Герасимов, М.Х. Фам, Л.Ш. Юлдашова // Электронные средства и системы управления: матер. докладов междунар. науч.-практ. конф. – 2023. – Т. 1. – С. 273–275.

УДК 616-073.56

ВЛИЯНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ ЛЮМИНОФОРА В ЧИПЕ СВЕТОДИОДА НА НЕРАВНОМЕРНОСТЬ ЦВЕТНОСТИ И СВЕТОВУЮ ОТДАЧУ

Н.В. Амбарникова, аспирант ОМ ИШНПТ, сопр. АО «НИИПП»
Научный руководитель Е.Ф. Полисадова, проф. ОМ ИШНПТ, д.ф.-м.н.
г. Томск, НИ ТПУ

Люминофор YAG:Ce, сформированный в поле высокоэнергетических электронов, сравнен с отечественными аналогами и иностранным образцом. Измерены координаты цветности x , y и яркостные характеристики порошков с помощью спектрорадиометра CS-2000A. При изучении свойств и определении эффективности «жёлтого» люминофора исключено влияние синей составляющей спектра.

Ключевые слова: керамика YAG:Ce, люминофор, координаты цветности.

Разработанная томскими учёными технология формирования YAG-керамики, активированной церием [1], находит применение в светодиодном направлении после измельчения до порошкообразного состояния. В рамках изучения свойств материала исходные компоненты смешивали с разным весовым количеством оксида церия и в ходе анализа керамики определено, что при концентрации Ce_2O_3 0,5% от общего исходного объёма [2] эффективность люминофора значительно выше. Для дальнейших исследований характеристик люминофор ТПУ был сравнен с отечественными аналогами и иностранным образцом.

Эксперимент проводился при помощи спектрорадиометра CS-2000A, входящего в состав лабораторного оборудования АО «НИИПП» (рис. 1).

Образец люминофора 3 возбуждался «синим» светом 4 под углом 45° , пиковая длина волны составляла 451 нм. Отраженный от призмы 2 свет образца попадал в объектив спектрорадиометра 5, после чего

обрабатывался на ПК. Для исключения внешней засветки эксперимент проводился в светонепроницаемом коробе, стенки которого выкрашены в цвет.

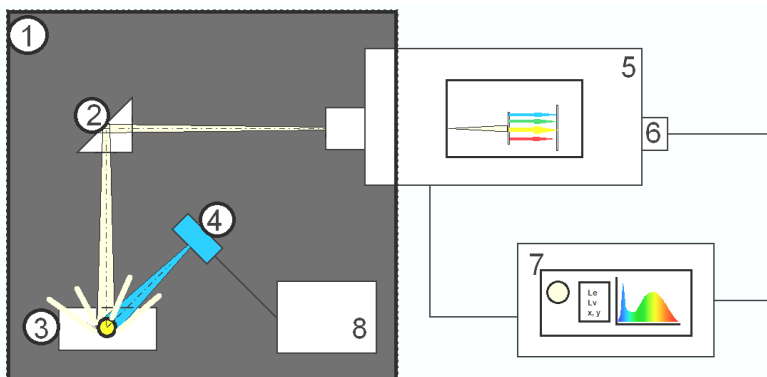


Рис. 1. Блок-схема измерений: 1 – светонепроницаемый короб; 2 – призма отражающая; 3 – образец; 4 – светодиод с узконаправленной линзой; 5 – спектро радиометр CS-2000A; 6 – CCD-камера; 7 – ПК

Осуществлялись измерения спектра свечения люминофора, после при обработке результатов исключалась синяя составляющая светодиода. На рис. 2 приведены данные отраженной энергетической яркости, иностранный образец обозначен «уг 530 2», образец ТПУ – «332» в виде порошка и «332 сег» в виде кусочка керамики, остальные – отечественные аналоги производства АО «НИИ «Платан с заводом при НИИ», АО «Монокристалл» и ЗАО «НПФ «Люминофор».



Рис. 2. Значения яркости энергетической отражённой

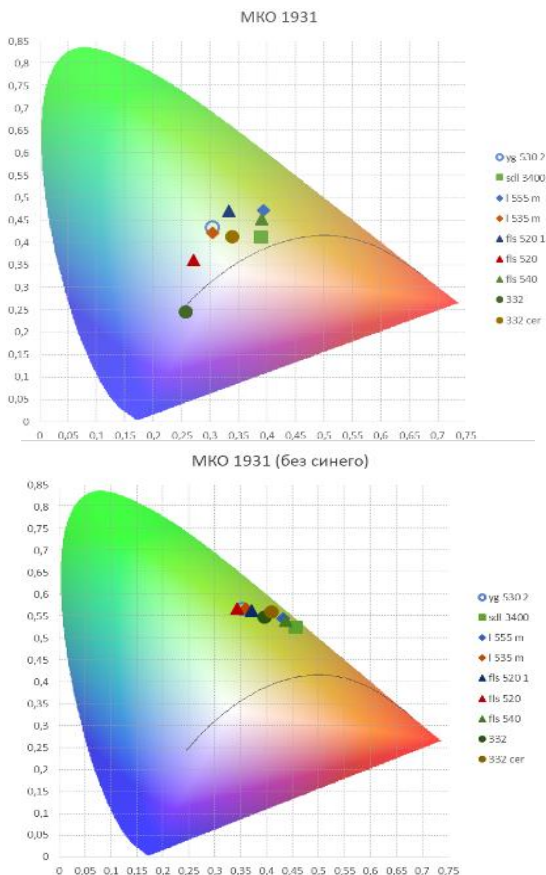


Рис. 3. Расположение образцов люминофора на диаграмме MКО-31

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

ЛИТЕРАТУРА

1. Formation of Luminescing High-Temperature Ceramics upon Exposure to Powerful High-Energy Electron Flux / V.M. Lisitsyn, D.A. Musakhanov, A.V. Ermolaev et al. // Russian Physics Journal. – 2021. – Vol. 63, No. 9. – P. 1615–1621. DOI: 10.1007/s11182-021-02213-9.

2. Рентгенофазовый анализ люминесцентной керамики YAG:Ce, синтезированной радиационным методом / Н.В. Амбарникова, Е.Ф. Полисадова, В.М. Лисицын, Е.В. Домаров // Матер. XIX Междунар. молодежной конф. по люминесценции и лазерной физике, Иркутск, 03–07 июля 2023 г. – Иркутск: Иркут. гос. ун-т, 2023. – С. 19–20.

СИНТЕЗ И ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ СВОЙСТВА $ZnAlGaO_4$ **Н.Д. Чан, аспирант ИШНПТ***Научный руководитель Е.Ф. Полисадова, проф. ИШНПТ, д.ф.-м.н.
г. Томск, НИ ТПУ, nhandatran94@gmail.com*

Шпинель $ZnAlGaO_4$ синтезирована радиационным методом. Изучена катодолюминесценция синтезированной шпинели. Результаты показывают, что образец шпинели $ZnAlGaO_4$ демонстрирует сильное излучение в широком спектральном диапазоне 400–500 нм с максимальным пиком 430 нм.

Ключевые слова: $ZnAlGaO_4$, радиационный синтез, катодолюминесценция.

В работе впервые был синтезирован радиационным методом [1] образец цинк-алюмогаллатной шпинели $ZnAlGaO_4$ из смеси оксидов ZnO (36%), Al_2O_3 (22,6%), Ga_2O_3 (41,4%) в стехиометрическом соотношении. В результате синтеза при облучении высокоэнергетическим потоком электронов с использованием установки УНУ стенд ЭЛВ-6 образуется пористая керамика (рис. 1).

Для определения люминесцентных свойств синтезированных образцов шпинелей были проведены исследования свечения керамики и кинетики затухания люминесценции при облучении ускоренными электронами со средней энергией ~250 кэВ. Результаты исследований представлены на рис. 2.

В спектре катодолюминесценции (КЛ) образца регистрируются полоса на 400–500 нм с максимальным пиком 430 нм и слабая широкая полоса на 680–800 нм с максимумом 710 нм. Кинетика затухания свечения описывается суммой двух экспоненциальных составляющих. Время затухания свечения в полосе 430 нм составляет примерно $\tau_1 \approx 19$ мкс (быстрая компонента), $\tau_2 \approx 78$ мкс (медленная компонента).

Вероятно, в полученном композитном материале присутствует фаза $ZnGa_2O_4$, что определяет люминесцентные свойства керамики. Происхождение полосы излучения на 430 нм может быть связано с переходом Ga-O в правильных октаэдрических позициях бескислородной вакансии в $ZnGa_2O_4$ [2]. В [3] показано наличие однозарядных кислородных вакансий внутри наночастиц $ZnGa_2O_4$, с присутствием которых связано наличие широкого пика в спектре 680–800 нм.

Предложен новый эффективный способ синтеза поликристаллической цинк-алюмогаллатной шпинели $ZnAlGaO_4$. Полученные шпинели $ZnAlGaO_4$ являются перспективным материалом для фотоники, обладают интенсивной люминесценцией в синей области спектра, могут применяться как самоактивированные люминофоры.



Рис. 1. Фотография синтезированных образцов шпинели и распределение частиц в порошках исходных оксидов по объему

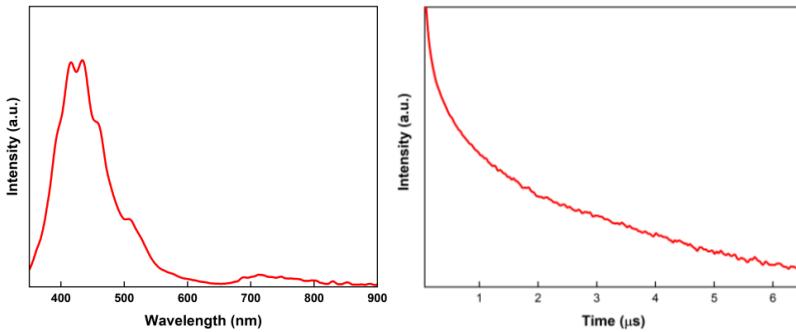
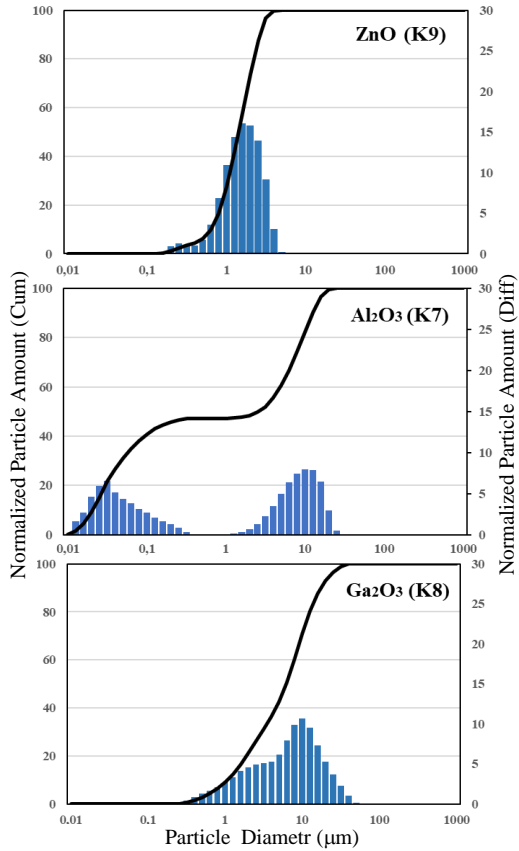


Рис. 2. Спектр катодолуминесценции и кинетика синтезированной керамики ZnAlGaO₄

В работе применялось оборудование ЦКП НОИЦ НМНТ ТПУ для определения гранулометрического состава порошков и фазового состава керамики.

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

ЛИТЕРАТУРА

1. Radiation Synthesis of High-Temperature Wide-Bandgap Ceramics / V. Lisitsyn, A. Tulegenova, M. Golkovski, E. Polissadova, L. Lisitsyna, D. Musakhanov, G. Alpysova // *Micromachines*. – 2023. – Vol. 14, Iss. 12. – P. 2193.

2. Sakoda K. Hydrothermal Synthesis of ZnAlGaO₄ and the Effect of the Post-Heat Treatment on the Enhancement in Crystallinity / K. Sakoda, M. Hirano // *Journal of Ceramic Science and Technology*. – 2015. – Vol. 6, Iss. 1. – P. 9–16.

3. Self-Assembled Catalyst Growth and Optical Properties of Single-Crystalline ZnGa₂O₄ Nanowires / L. Xu, Y. Su, Q. Zhou, S. Li, Y. Chen, Y. Feng // *Crystal Growth & Design*. – 2007. – Vol. 7, Iss. 4. – P. 810–814.

УДК 628.971.6

ПЕЧАТНЫЙ УЗЕЛ ПЛАВУЧЕГО НАВИГАЦИОННОГО ОГНЯ

*В.Н. Пыхтин, Е.Ю. Снизирева, Т.А. Тарасенко, студенты
Научный руководитель В.И. Туев, доцент каф. РЭТЭМ, д.т.н.
г. Томск, ТУСУР*

Были проведены изучение и подготовка методической литературы, анализ и подбор компонентной базы, необходимые для создания макета печатного узла плавучего навигационного огня.

Ключевые слова: светодиод, печатный узел, навигационный огонь.

Разработка печатного узла плавучего навигационного огня на базе микроконтроллера ESP-32 позволит дистанционно управлять навигационными огнями, определять их местоположение, регулировать мощность свечения, менять режим свечения.

Перспективой в решении данной задачи является микроконтроллер ESP-32 с модулем WIFI и Bluetooth.

Разработка программного кода производится на базе Arduino IDE [2].

Ниже представлена принципиальная схема «фотоэлемент + светодиод» (рис. 1).

Данная схема питается через аккумуляторную батарею и регулируется вручную.

В дальнейшем в схему будет добавлен преобразователь напряжения для изменения входного напряжения в диапазоне от 2,1 до 5,5 В при токе нагрузки 150 мА.

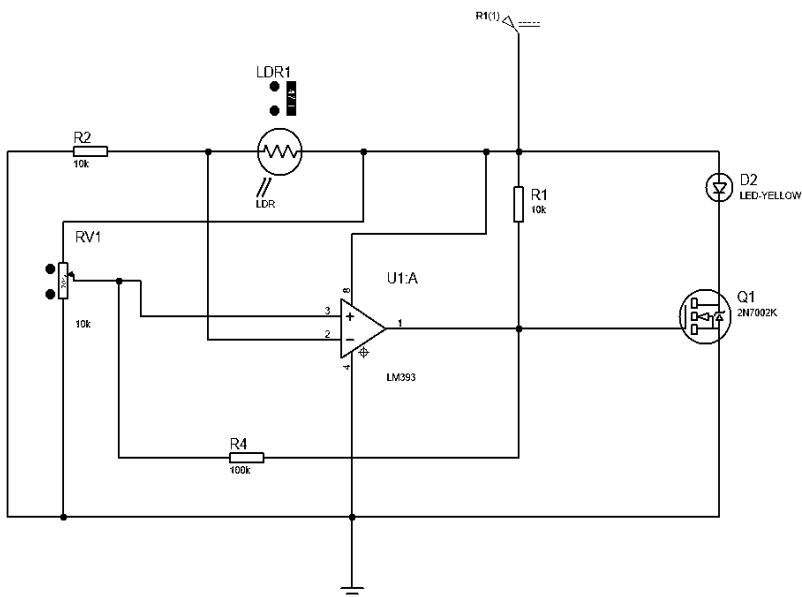


Рис. 1. Принципиальная схема «фотоэлемент + светодиод»

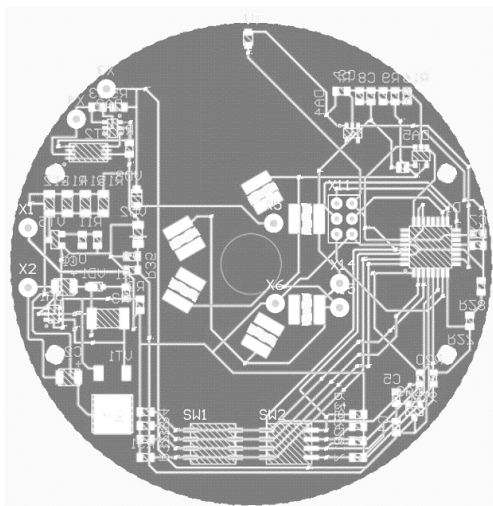


Рис. 2. Вариант печатной платы плавучего навигационного огня

Для регулировки мощности и смены режимов свечения будет использоваться микроконтроллер ESP-32.

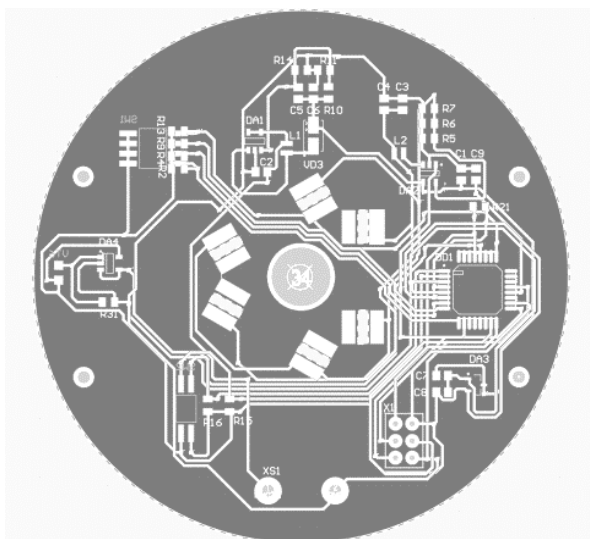


Рис. 3. Вариант печатной платы плавучего навигационного огня

В эксплуатационных рамках была подобрана компонентная база, соответствующая следующим критериям:

- верхнее значение при эксплуатации 40 °С;
- верхнее значение при транспортировании и хранении 50 °С;
- нижнее значение при эксплуатации –15 °С;
- нижнее значение при транспортировании и хранении –50 °С;
- изменение температуры среды от –50 до 50 °С;
- повышенная относительная влажность при 25 °С 100%.

Питание печатного узла предусмотрено от аккумуляторной батареи «Бакен ВЦ-2». Батарея предназначена для питания сигнальных ламп и светосигнальных устройств навигационного ограждения внутренних водных путей. Батарея сертифицирована на соответствие требованиям ГОСТ 12.2.007.12-88 [3].

На основе вышеизложенных схем были разработаны варианты печатных плат плавучего навигационного огня в среде Altium Designer (рис. 2, 3).

В заключение следует отметить, что переход на использование печатных узлов плавучего навигационного огня принесет значительные практические преимущества, такие как:

- снижение затрат на обслуживание навигационных огней, так как печатные узлы не требуют постоянной замены источников питания;

- повышение надежности работы навигационных огней в различных условиях окружающей среды, включая сильные ветры и высокие показатели влажности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Международная научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых учёных «Научная сессия ТУСУР–2024». Общие положения и правила оформления.

2. Программирование устройств на основе модуля ESP32 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://habr.com/ru/companies/epam_systems/articles/522730/, свободный (дата обращения: 10.03.2024).

3. Батарея «Бакен ВЦ-2» (2,6 В, 300 А/ч). Источники электропитания / Аккумуляторы, элементы питания и блоки питания / Блоки питания [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://tdatm.ru/catalog/istochniki_elektroritaniya/akkumulyatory_elementy_pitaniya_i_bloki_pitaniya/bloki_pitaniya/batareya_baken_vts_2_2_6v_300_a_ch.html, свободный (дата обращения: 10.03.2024).

УДК 628.8

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СВЕТОДИОДНОГО СВЕТИЛЬНИКА ПРОМЫШЛЕННОГО

М.А. Афанасьев, аспирант; К.Н. Афонин, доцент каф. РЭТЭМ, к.т.н.; Р.Г. Герасимов, магистрант; А.В. Ермолаев, аспирант;

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

г. Томск, ТУСУР, каф. РЭТЭМ, roman.gerasimov.1999@list.ru

Проведен обзор экспериментальных исследований по изучению влияния температуры на промышленные светильники. Разработано техническое решение по отводу тепла от светодиодной матрицы промышленного светильника.

Ключевые слова: светодиодный светильник, промышленный светильник, техническое решение, светодиод.

Светодиодные светильники промышленные применяются для освещения промышленных территорий большой площади. К промышленным светодиодным светильникам высокой мощности преимущественно относятся прожектора и светильники типа «Колокол». Согласно исследованиям группы компаний «Лайтинг Бизнес Консалтинг», ёмкость рынка Российской Федерации промышленных светодиодных светильников за 2019 г. составила 6 758,8 тыс. шт. на 10 576,0 млн руб.

В светодиоде свет синего цвета генерируется светодиодным кристаллом на основе нитрида галлия и его твёрдых соединений с индием

и алюминием, на светодиодный кристалл нанесена люминофорная композиция на основе оптически прозрачного компаунда и частиц люминофоров. Частицы люминофора поглощают излучение синего цвета и излучают свет в желто-зелёной и красной области оптического спектра. Теоретический предел световой отдачи СИД белого цвета свечения составляет 370 лм/Вт [1], в настоящее время доступны СИД со световой отдачей порядка 210 лм/Вт [2]. Срок службы СИД составляет порядка 50 000 ч [3].

Светодиодные светильники промышленные типа «Колокол» условно можно разделить на светильники, в которых в качестве светодиодных модулей используются светодиодные матрицы и светодиодные модули, выполненные на основе теплопроводных печатных плат со светодиодами [4–6]. В указанных типах конструкций светильников тепло от активной области кристалла отводится через печатную плату светодиодов на корпус светильника, выполняющий функцию радиатора. Нерешённой задачей светодиодных светильников высокой мощности остаётся отвод тепла от люминофорной композиции.

Целью работы является создание способа отвода тепла от люминофорной композиции светодиодного модуля в светодиодном светильнике промышленном.

Известно техническое решение по отводу тепла от светодиодных излучающих элементов в колбе лампы посредством наполнения колбы инертным газом, например гелием [7].

Для достижения поставленной цели создано техническое решение (рис. 1).

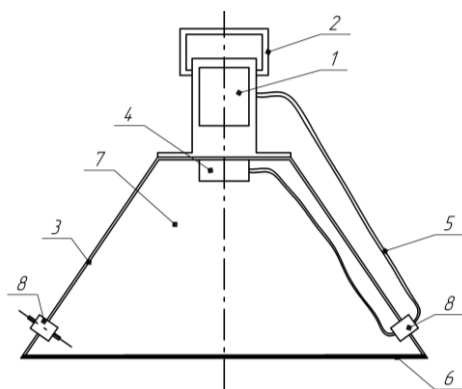


Рис. 1. Схематический вид конструкции светодиодного светильника промышленного: 1 – устройство питания, 2 – кронштейн для крепления светильника, 3 – корпус, 4 – светодиодный модуль, 5 – электрический провод, соединяющий светодиодный модуль с устройством питания, 6 – светопропускающая часть, 7 – газ с высокой теплопроводностью, 8 – герметичные вводы

В среде программирования Ansys проведено моделирование, установлено, что при заполнении отражателя светильника гелием температура светодиодного модуля (107 °С) на 11 °С меньше, чем у прототипа (118 °С).

Заключение. Проведён аналитический обзор и патентный поиск, предложено новое техническое решение создания светодиодного светильника промышленного. Проведено моделирование предложенного технического решения в программе Ansys, установлено, что при заполнении отражателя светильника гелием температура светодиодного модуля (107 °С) на 11 °С меньше, чем у прототипа (118 °С).

Подана заявка на патент на изобретение № 2023130972 от 28.11.2023 «Светодиодный светильник промышленный».

ЛИТЕРАТУРА

1. Thomas W. Maximum spectral luminous efficacy of white light / W. Thomas, Jr. Murphy // *Journal of Applied Physics*. – 2012. – Vol. 111. – P. 104909.

2. Солдаткин В.С. Обзор современных светодиодов: для общего освещения, для садоводческого освещения, УФ-диоды для дезинфекции // *Электронные средства и системы управления: матер. докладов междунар. науч.-практ. конф.* – 2022. – № 1-1. – С. 239–241.

3. Meneghesso G. Recent results on the degradation of white LEDs for lighting / G. Meneghesso, M. Meneghini, E. Zanoni // *Journal of Physics D: Applied Physics*. – 2010. – Vol. 43 (35). – P. 354007–354018.

4. Патент на полезную модель № 201984 U1 Российская Федерация, МПК F21S 8/00. Светодиодный светильник промышленный: № 2020127468: заявл. 18.08.2020: опубл. 26.01.2021 / Д.А. Полторацкий, М.С. Якунин, М.В. Виноградов, В.С. Солдаткин; заявитель Акционерное общество «Физтех-Энерго».

5. Патент на полезную модель № 179132 U1. Российская Федерация, МПК F21S 4/28. Светильник светодиодный промышленный: № 2017143482: заявл. 13.12.2017: опубл. 08.05.2018 / М.М. Криштал, Б.И. Сидлер, С.В. Пчелинцев.

6. Патент на полезную модель № 140367 U1. Российская Федерация, МПК F21S 8/00. Светильник: № 2013129395/07: заявл. 26.06.2013: опубл. 10.05.2014 / И.О. Вельганенко, И.В. Ворошилов; заявитель ООО «Тегас Электрик».

7. Определение температурной зависимости электрических и световых параметров светодиодных элементов в лампе общего назначения / В.С. Солдаткин, К.Н. Афонин, В.С. Каменкова и др. // *Доклады ТУСУР*. – 2017. – Т. 20, № 3. – С. 148–151. DOI: 10.21293/1818-0442-2017-20-3-148-151.

Секция 3

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И СИСТЕМЫ

ПОДСЕКЦИЯ 3.2

РАСПРЕДЕЛЁННЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И СИСТЕМЫ

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

УДК 519.85

К ВОПРОСУ О ВИРТУАЛИЗАЦИИ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ РЕСУРСОВ ЦЕНТРА ОБРАБОТКИ ДАННЫХ

*Н.Ю. Бумажкина, сотрудник
г. Орел, Академия Федеральной службы охраны
Российской Федерации, lev@academ.msk.rsnnet.ru*

Исследован процесс предоставления услуг облачных вычислений с использованием технологии виртуализации вычислительных и телекоммуникационных ресурсов центра обработки данных, определена обобщенная структура данного процесса. Сформулирована обобщенная проблема управления виртуализированными вычислительными и телекоммуникационными ресурсами и обосновано направление исследовательских задач ее решения.

Ключевые слова: виртуализация, центр обработки данных, облачные вычисления, виртуальные машины.

Облачные вычисления (ОВ) являются технологической основой современных методов интеллектуального анализа данных, используемых в системах искусственного интеллекта, и позволяют динамически предоставлять вычислительные и коммуникационные ресурсы (ВКР) центра обработки данных (ЦОД) [1].

Рост спроса на ОВ влечет за собой увеличение числа виртуализированных ВКР ЦОД и требований к условиям соглашения о качестве предоставления услуг ОВ (SLA). В свою очередь, это ведет к масштабированию архитектуры ЦОД, проблемам в управлении и распределении ВКР, а также учету экономических затрат на обеспечение функционирования ЦОД.

В ряде исследований экономической составляющей функционирования ЦОД рассматриваются два основных направления: энергоэффективность реализуемого ЦОД процесса выделения и эксплуатации ВКР и эффективность использования базовых ВКР серверных платформ (СП), таких как утилизация процессорных ядер СП (CPU demand) и утилизация оперативной памяти СП (Memory demand) [2, 3]. В рамках второго направления рассматривается технология виртуализации (ТВ) базовых ВКР СП.

Под виртуализацией ВКР понимается процесс предоставления пользователю необходимых вычислительных мощностей на основе серверной виртуализации. Она позволяет эффективно распределять нагрузку между узлами ЦОД в зависимости от запросов пользователей [1], а также помогает оптимально использовать ВКР серверов и повышать гибкость работы с данными.

В общем виде подход предоставления пользовательских услуг с использованием ТВ представлен на рис. 1.

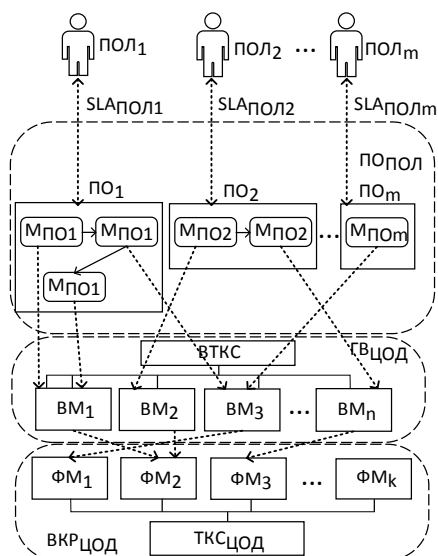


Рис. 1. Принцип динамического распределения ВКР на основе ТВ

Из рис. 1 видно, что базовой концепцией ТВ ВКР является отделение уровня программного обеспечения $ПО_1 - ПО_m$, эксплуатируемого множеством пользователей $ПОЛ_1 - ПОЛ_m$ ЦОД, от уровня физических машин $ФМ_1 - ФМ_k$ СП и телекоммуникационной составляющей ЦОД (ТКС_{ЦОД}) путем формирования на основе этих физических ВКР множества виртуальных машин $ВМ_1 - ВМ_n$, а также виртуализированной ТКС (ВТКС). Каждая ВМ содержит полный стек системного и промежуточного ПО и обеспечивается заданными в ее первоначальной конфигурации виртуализированными ВКР, формируемыми гипервизором $ГВ_{ЦОД}$ первого типа [4]. Мощности множеств ПО, ФМ и ВМ не равны.

Также из рис. 1 видно, что множество $ПО_1 - ПО_m$ рассматривается как совокупность подмножеств $M_{ПО}$, элементами которых являются отдельные модули $ПО_1 - ПО_m$, требующие независимого выделения ВКР, взаимосвязи которых определяют логику функционирования $ПО_1 - ПО_m$. Использование ВМ для запуска разных модулей одного $ПО_m$ определяется текущим значением свободных и занятых виртуализированных ВКР множества $ВМ_1 - ВМ_n$.

Пользователи ПО на физической инфраструктуре ЦОД требуют качественного обслуживания на виртуализированных серверах, определяемого в рамках соглашения SLA, основными показателями которого являются время отклика ПО и пропускная способность ВТКС.

Реализация услуг с использованием ТВ представляется многоуровневой структурой, взаимосвязи компонентов каждого уровня формируются динамически. В рамках обобщенной проблемы управления подобной структурой появляется множество частных проблем, связанных с использованием виртуализированных ВКР. Запуск, приостановка и завершение выполнения ПО влияют на значения этих ресурсов, что может сказываться на изменении требований ВМ к значениям аппаратных ВКР.

В связи с этим актуальными являются исследовательские задачи, обеспечивающие решение проблем динамического перераспределения виртуализированных ВКР узлов ЦОД в зависимости от особенностей текущего или прогнозируемого потока пользовательских запросов и/или условий соглашения SLA [1].

ЛИТЕРАТУРА

1. Бумажкина Н.Ю. К вопросу об использовании технологий живой миграции виртуальных машин в задаче оптимизации ресурсов центра обработки данных / Н.Ю. Бумажкина, И.Н. Захарова, А.Е. Кочкуров // 29-я Междунар. открытая науч. конф. «Современные проблемы информатизации». – Воронеж: Научная книга, 2024. – С. 133–137.
2. Optimizing data-center TCO with scale-out processors / B. Grot, D. Hardy, P. Lofti-Kamran, B. Falsafi, C. Nicopoulos, Y. Sazeindes // IEEE Micro. – 2012. – Vol. 32 (5). – P. 52–63.
3. Total cost of ownership model for data center technology evaluation / Y. Cui, C. Ingalz, T. Gao, A. Heydari // 16th IEEE Intersociety Conference on Thermal and Thermomechanical Phenomena in Electronic Systems (ITherm). – 2017. – P. 112–134.
4. Колчин И.В. Архитектура автономного микрогипервизора реального времени и автоматизированное измерение его временных характеристик / И.В. Колчин, С.Н. Филиппов // Информационно-управляющие системы, (Санкт-Петербург). – 2014. – № 3 (70). – С. 57–67.

УДК 004.5

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ КЭШИРОВАНИЯ СО СТРОГОЙ ГАРАНТИЕЙ СОГЛАСОВАННОСТИ

В.О. Репин, студент

*Научный руководитель А.А. Сидоров, заведующий каф. АОИ
г. Томск, ТУСУР, каф. АОИ, repin.v.422-m1@e.tusur.ru*

Рассматривается разработка инструмента для хранения и доступа к данным. Разрабатываемый инструмент предоставляет отказоустойчивое хранилище кэша со строгой гарантией согласованности.

Ключевые слова: хранилище данных, кэширование, высокая доступность, C++.

В современных информационных системах обрабатывается и хранится большой объем данных. При масштабировании информационной системы с ростом количества пользователей и данных применяются системы кэширования. Например, в популярной на сегодняшний день микросервисной архитектуре кэширование применяют для быстрого доступа к наиболее востребованным данным из персистентной СУБД. Микросервисная модель без кэширования обладает высокой отказоустойчивостью и простотой развертывания. Можно добавлять произвольное количество экземпляров одного и того же сервиса, незаметно для конечного пользователя. Это возможно, так как экземпляры сервиса не хранят разделяемого состояния, все состояние системы хранится в персистентной базе данных.

Кэширование данных в экземпляре сервиса добавляет внутреннее состояние, которое в один момент времени может различаться на разных экземплярах сервиса. В такой модели конечный пользователь может наблюдать несогласованное состояние системы. Такая ситуация допустима для некоторых типов приложений. Например, в социальной сети не критично, если два пользователя будут видеть разную новостную ленту одного и того же сообщества, но будут получать её с минимальной задержкой за счёт кэширования. Но, например, для банковской системы одна и та же операция может быть выполнена только один раз, но это не гарантировано в системе с несогласованным внутренним состоянием.

Существуют разные формальные гарантии согласованности распределенных систем [1]. Линеаризуемость является самой сильной гарантией согласованности, которая позволяет распределенной системе выглядеть снаружи как единое целое. То есть при реализации прикладного программного продукта можно работать с несколькими репликами хранилища как с одним единым хранилищем с определенным уровнем отказоустойчивости.

Существуют следующие решения для кэширования:

- memcached;
- redis;
- memcache;
- dragonfly;
- keydb.

Для их сравнения были выбраны следующие критерии:

- модель согласованности;
- поддерживаемые структуры данных;
- поддерживаемые языки программирования;
- модель развертывания.

Модель согласованности является ключевым критерием, по которому производилось сравнение аналогов. В таблице представлены результаты сравнения.

Все аналоги не документируют модель согласованности, в лучшем случае они гарантируют конечную согласованность, в которой конечный пользователь сможет наблюдать промежуточное состояние системы. Memcache минимизирует окна несогласованности, но не устраняет их. Например, пользователь может прочитать устаревшие данные, если он обращается к реплике, до которой не успел дойти запрос на удаление. Redis гарантирует согласованность, если клиент работает с одной и той же репликой, в иных случаях модель согласованности не задокументирована. На данный момент осуществляется

попытка внедрения алгоритма raft в redis [2] для гарантии линейности, но проект находится на раннем этапе разработки.

Как видно из таблицы, в общем случае лучшим аналогом является Redis. Но все системы были спроектированы для разных целей. Redis является конечным продуктом, который используется как система кэширования или как брокер сообщений, а также как база для очередей задач. Memcached скорее представляет базовый строительный блок для более комплексных систем кэширования. Memcache проектировался как система для ускорения загрузки и работы большой социальной сети, поэтому в нем нет строгих гарантий к модели согласованности, а весь упор сделан на минимизацию взаимодействия с СУБД. По этой же причине memcache поддерживает только один ЯП и имеет сложную архитектуру развертывания.

Сравнение аналогов

	Модель согласованности	Поддерживаемые структуры данных	Поддерживаемые языки программирования	Развертывание
Memcached	Строгая в рамках одного сервера	Ключ-значение	Большинство современных ЯП	Один сервер
Redis	Конечная согласованность, нет задокументированной достоверно модели	Ключ-значение, списки, хэш-таблицы и т.д.	Большинство современных ЯП	Кластер из серверов
Memcache	Конечная согласованность	Ключ-значение	PHP	Кластер из серверов, программа для обнаружения отказов, плагин для СУБД
Dragonfly	Конечная согласованность	Ключ-значение, списки, хэш-таблицы и т.д.		Кластер из серверов
KeyDB	Линеаризуемость с одним лидером, конечная согласованность при отказе лидера	Ключ-значение, списки, хэш-таблицы и т.д.	Go	Кластер из серверов

Разрабатываемая система хранения отличается от аналогов более строгой моделью согласованности. Для достижения линейности был адаптирован алгоритм Raft [3]. Модель развертывания достаточно

проста, она представляет собой клиент-серверную архитектуру. На рис. 1 представлена диаграмма компонентов сервера.

Как видно из рис. 1, сервер состоит из пяти компонентов. Компонент консенсуса отвечает за репликацию и сохранение согласованного состояния на экземпляре сервера.

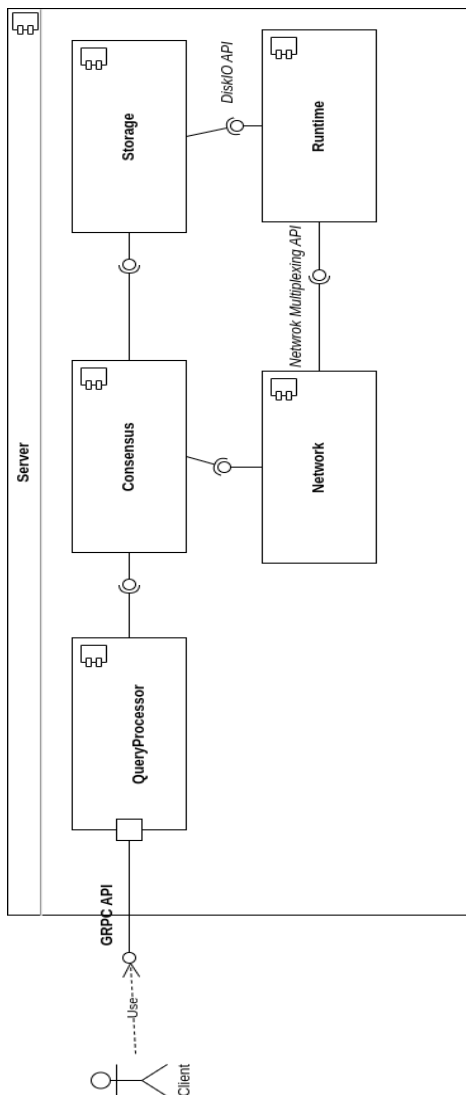


Рис. 1. Диаграмма компонентов сервера

Компонент Network используется компонентом консенсуса для общения с другими репликами, а компонент Storage – за сохранение внутренних данных на жестком диске. Хранение данных на жестком диске необходимо для восстановления узла в случае отказа. Для коммуникации по сети используется библиотека удаленного вызова процедур GRPC.

Для взаимодействия с системой предоставляется набор библиотек и SDK. На данный момент поддерживаются следующие языки программирования: C++ 20, C, Python, C#, Java. На рис. 2 представлена диаграмма компонентов клиентской части.

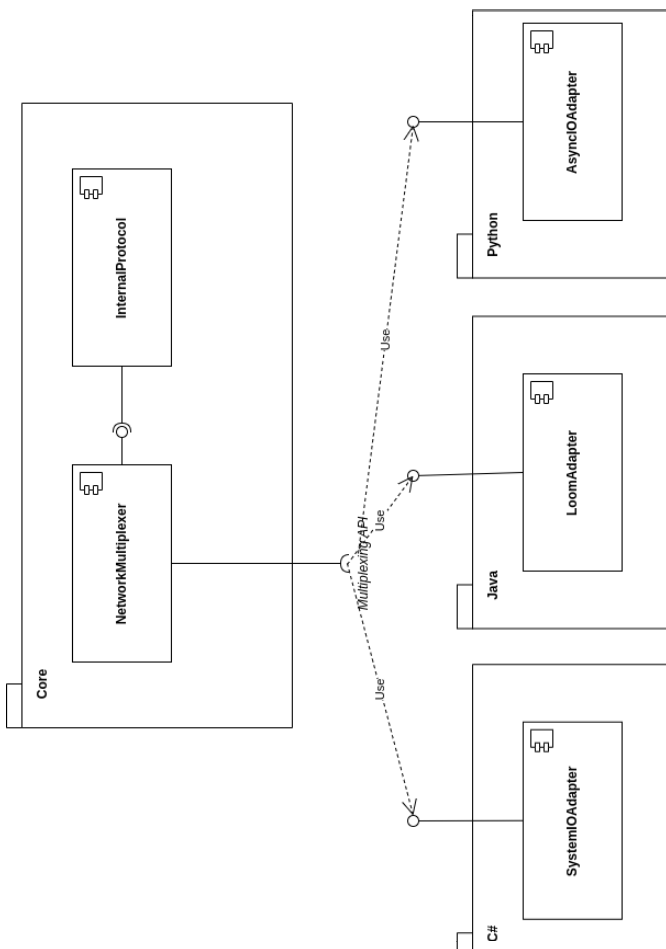


Рис. 2. Архитектура клиентской части

Пакет core содержит основную логику клиента, которая включает в себя работу с протоколом и различные оптимизации. Ресурсы для исполнения кода, такие как мультиплексирование ввода-вывода и потоки операционной системы, предоставляет адаптер языка программирования. Модуль Core предоставляет стабильный ABI [4] на языке программирования C. Предоставляемый ABI используется специализированными средствами адаптера для поддерживаемых языков программирования.

Разработанная программная система позволяет оптимизировать приложения с высокими требованиями к согласованности и отказоустойчивости. Основное преимущество перед аналогами в отсутствие необходимости проектирования и реализации дополнительных компонентов для достижения строгой согласованности компонентов с конечной согласованностью.

ЛИТЕРАТУРА

1. Иерархия моделей согласованности [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://jepson.io/consistency>, свободный (дата обращения: 27.02.2024).
2. Алгоритм Raft в Redis [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://redis.com/blog/redisraft-new-strong-consistency-deployment-option>, свободный (дата обращения: 27.02.2024).
3. Ongaro D. In Search of an Understandable Consensus Algorithm / D. Ongaro, J. Ousterhout [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://raft.github.io/raft.pdf> свободный (дата обращения: 01.03.2024).
4. Drepper U. How to write shared Libraries [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.cs.dartmouth.edu/~sergey/cs258/ABI/UlrichDrepper-How-To-Write-Shared-Libraries.pdf>, свободный (дата обращения: 03.03.2024).

**АВТОМАТИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ
В ТЕХНИКЕ И ОБРАЗОВАНИИ**

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

УДК 004.032.26

**ПРИМЕНЕНИЕ КВАНТИЗИРОВАННОЙ РЕКУРРЕНТНОЙ
НЕЙРОННОЙ СЕТИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ
ИЗМЕРЕНИЯ АТМОСФЕРНОГО ДАВЛЕНИЯ**

А.М. Емельянов, аспирант; Ю.М. Козлова, студентка;
И.С. Надеждин, доцент ОЯТЦ ИЯТШ, к.т.н.
г. Томск, ОЯТЦ ИЯТШ, НИ ТПУ, ame8@tpu.ru

Представлен цифровой фильтр для зашумленного измерительного сигнала давления на базе трехслойной рекуррентной сети структуры Элмана. Нейросетевой фильтр реализован на базе микрокомпьютера МВ 77.07 с применением специализированного для нейровычислений ядра, позволившего повысить быстродействие в 41 раз.

Ключевые слова: искусственная нейронная сеть, зашумленный измерительный сигнал, квантизация нейронной сети.

В настоящее время в связи с развитием микрокомпьютерной техники и технологий алгоритмы цифровой обработки зашумленных измерительных сигналов на базе искусственного интеллекта становятся все более популярными. На сегодняшний день наиболее перспективным подходом является применение искусственных нейронных сетей (ИНС) для подавления шумовой составляющей измерительного сигнала [1].

Для применения данных нейросетевых фильтров в промышленности важно, чтобы нейросетевые алгоритмы обработки измерительных сигналов не вносили дополнительного запаздывания в систему управления, а сама фильтрация происходила в режиме реального времени. Еще одним важным фактором являются вычислительные мощности, которые должны обеспечивать реализацию нейросетевых алгоритмов фильтрации. Наиболее оптимально использовать микрокомпьютеры или микроконтроллеры, которые хоть и менее производи-

тельнее профессиональных компьютеров, но намного более компактное и дешевле, а также имеют больший потенциал для интеграции в измерительный канал с датчиком.

Однако на практике реализация таких нейросетевых фильтров представляет собой нетривиальную задачу из-за ограниченности ресурсов и архитектуры микрокомпьютеров. Одним из способов решения данной проблемы является применение методов квантизации нейронной сети. Квантизация позволяет снизить вычислительную сложность и обеспечить эффективную работу нейросетевых алгоритмов в условиях ограниченных ресурсов [2–4].

Одной из областей промышленности, в которой нейросетевые фильтры могут найти важное применение, является атомная промышленность из-за предъявляемых повышенных требований к безопасности и надежности. Разрабатываемый в работе метод фильтрации предназначен для использования на АЭС в измерительных каналах жидких и газообразных сред с помощью расходомеров на базе сужающих устройств.

В данной работе предлагается метод нейросетевой фильтрации зашумленного измерительного сигнала с применением рекуррентной нейронной сети структуры Элмана. В качестве измерительного сигнала был выбран сигнал атмосферного давления, измеренный с помощью датчика BMP280. Разработанная рекуррентная ИНС Элмана имеет 3 скрытых слоя с 100, 70 и 50 нейронами в скрытых слоях соответственно. ИНС была обучена с применением метода оптимизации Левенберга–Марквардта и с линейной функцией активации нейронов выходного слоя.

Нейросетевой фильтр был реализован в отечественном микрокомпьютере MB 77.07. Выбор данного микрокомпьютера обусловлен наличием двух ядер: основного ARM-ядра и специализированного для нейровычислений NMC-ядра. Особенностью данного микрокомпьютера является отсутствие поддержки плавающей точки в вычислениях на нейроядре, которое поддерживает операции с 16-битовыми целыми числами.

Зашумленный измерительный сигнал, а также веса и смещения обученной ИНС имеют вещественный тип данных, поэтому была проведена их квантизация в целочисленный 16-битный формат, максимальное относительное отклонение квантизации составило $7,47 \cdot 10^{-6} \%$. Операции квантизации и обратной квантизации были реализованы на основном ARM-ядре. Таким образом, удалось добиться распределения вычислительной нагрузки на микрокомпьютер.

Результат подавления шумовой составляющей измерительного сигнала давления при помощи разработанного нейросетевого фильтра и фильтра «скользящее среднее» с окном фильтра в 5 значений представлен на рис. 1.

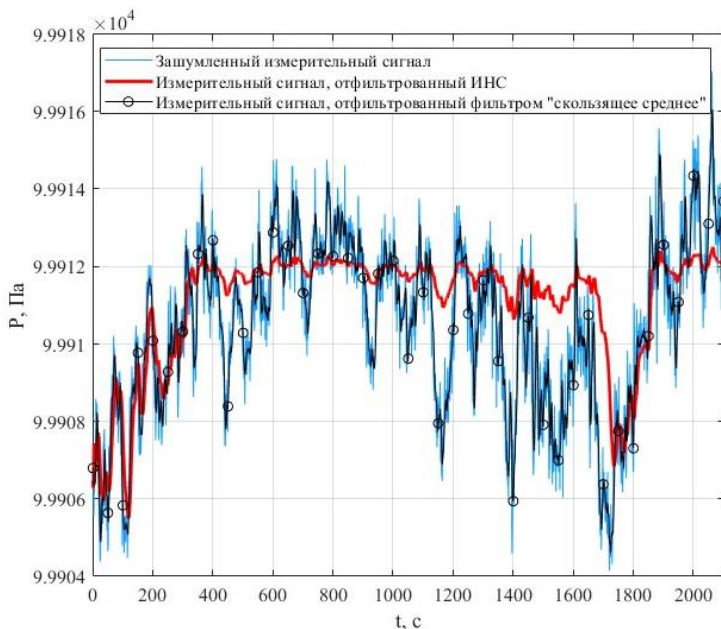


Рис. 1. Результат фильтрации зашумленного измерительного сигнала нейросетевым фильтром

Для оценки перспективности специализированного для нейросетевых вычислений ядра была проведена оценка времени, затраченного на расчеты нейросети на ARM- и NMC-ядрах, которое представлено в таблице.

Результаты исследования быстродействия для различных реализаций ИНС

Тип реализации ИНС	Время расчета ИНС, мс
На ARM-ядре в формате чисел с плавающей точкой	17,847
Квантизация/деквантизация на ARM-ядре, нейровычисления на NMC-ядре	0,432

Как видно из результатов фильтрации, представленных на рис. 1, разработанный нейросетевой фильтр превосходит классические фильтры. Использование специализированного вычислителя для нейросе-

тевых расчетов позволило повысить быстродействие нейросетевого фильтра в 41 раз, при этом необходимо отметить, что большое влияние на время оказали вычисления, необходимые для квантизации.

Заключение. Таким образом, в ходе работы был разработан цифровой фильтр для ослабления шумовой составляющей в измерительном сигнале атмосферного давления на базе трехслойной рекуррентной нейросети структуры Элмана. Разработанный фильтр был реализован на микрокомпьютере МВ 77.07 с использованием специализированного для нейровычислений ядра. Для реализации нейросети в МВ 77.07 была осуществлена квантизация нейронной сети в 16-битный целочисленный формат, максимальное относительное отклонение которой составило $7,47 \cdot 10^{-6}$ %. Использование специализированного для нейровычислений ядра позволило повысить быстродействие в 41 раз.

ЛИТЕРАТУРА

1. Predicting oil flow rate through orifice plate with robust machine learning algorithms / A.R.B. Abad, P.S. Tehrani, M. Naveshki, H. Ghorbani, N. Mohamadian, S. Davoodi, S.K. Aghdam, J. Moghadasi, H. Saberi // Flow Measurement and Instrumentation. – 2021. – Vol. 81. – Article number: 102047.

2. Learning to Quantize Deep Networks by Optimizing Quantization Intervals With Task Loss / S. Jung, C. Son, S. Lee, J. Son, Y. Kwak, J.-J. Han, S.J. Hwang, C. Choi // IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. – 2019.

3. NITI: Training Integer Neural Networks Using Integer-only Arithmetic / M. Wang, S. Rasoulizhad, P. Leong, H.K.H. So // IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems. – 2022. – Vol. 33. – P. 3249–3261.

4. Quantization and Training of Neural Networks for Efficient Integer-Arithmetic-Only Inference / B. Jacob, S. Kligys, B. Chen, M. Zhu, M. Tang, A. Howard, H. Adam, D. Kalenichenko // IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. – 2018. – P. 2704–2713.

УДК 004.032.26, 004.942

КОМБИНИРОВАННАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ЭКСТРАКЦИОННОГО АФФИНАЖА С ПРИМЕНЕНИЕМ НЕЙРОСЕТЕВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

*Ю.М. Козлова, студентка; А.М. Емельянов, аспирант;
И.С. Надеждин, доцент ОЯТЦ ИЯТШ, к.т.н.
г. Томск, НИ ТПУ, ОЯТЦ ИЯТШ, ymk5@tpu.ru*

Представлена комбинированная модель процесса экстракционного аффинажа с применением нейросетевых технологий, а также её проверка на адекватность. Среднеквадратичные отклонения резуль-

татов моделирования от экспериментальных данных не превышают 5,5%.

Ключевые слова: искусственная нейронная сеть, комбинированная модель, экстракционный аффинаж, погрешность моделирования.

Среди актуальных направлений развития управления и оптимизации технологических процессов многие исследователи выделяют применение искусственного интеллекта. Одной из областей интеграции методов искусственного интеллекта является математическое моделирование технологических процессов (ТП) для синтеза оптимальных систем управления.

В настоящее время внимание многих исследователей в этой области направлено на изучение потенциала искусственных нейронных сетей (ИНС). В данном направлении существуют разнообразные подходы применения ИНС, одним из которых является построение комбинированных моделей ТП. При создании комбинированных моделей технологических процессов искусственные нейронные сети используются для определения сложных параметров, которые не могут быть описаны стандартными математическими уравнениями из-за их многофакторной природы [1, 2], в то время как дифференциальные уравнения применяются для описания простых или хорошо изученных процессов, которые соответствуют общепринятым физико-химическим законам. Информационная схема предлагаемой концепции представлена на рис. 1.

В рамках работы [3] ранее была разработана комбинированная модель технологического процесса экстракции целевых компонентов из отработавшего ядерного топлива с применением ИНС. Цель данной работы состоит в проверке адекватности ранее разработанной комбинированной модели экстракции урана.

ИНС используется для вычисления коэффициента распределения урана в зависимости от концентрации урана, азотной кислоты и высаливателей (NaNO_3 и $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$) в водной фазе, концентрации ТБФ в органической фазе и температуры смеси растворов в экстракторе.

Нейросеть была обучена с применением метода оптимизации Левенберга–Марквардта с использованием регуляризации Байеса и имеет конфигурацию с 30 нейронами в первом скрытом слое и 50 нейронами во втором скрытом слое. Результаты вычислений с помощью ИНС имеют максимальное относительное отклонение от экспериментальных данных 0,59%, а среднеквадратичное отклонение – 0,45%. Таким образом, ИНС обладает высокой точностью вычислений и адекватностью. Комбинированная модель, помимо ИНС, включает в себя систему дифференциальных уравнений, представленных в работе [4].

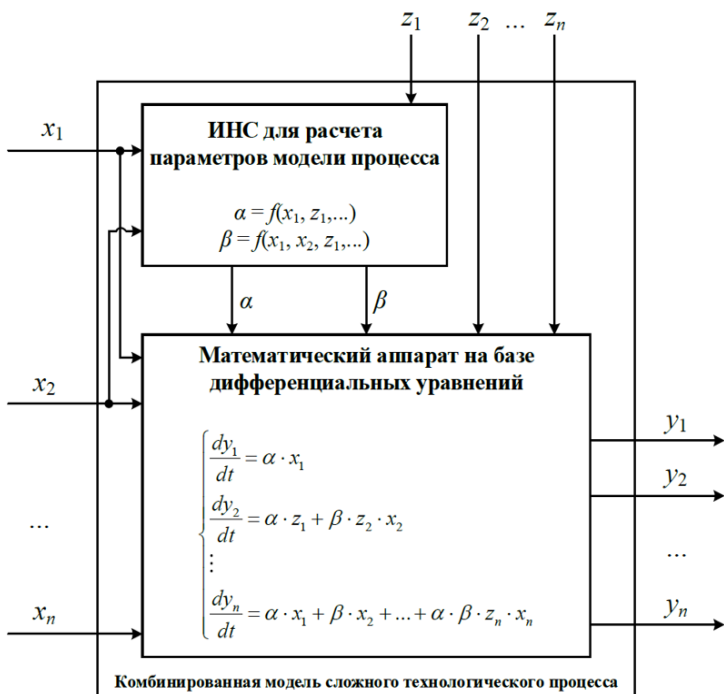


Рис. 1. Информационная схема концепции применения комбинированной модели на базе ИНС для моделирования сложного технологического процесса

В рамках работы была проведена проверка разработанной модели на адекватность с использованием экспериментальных данных, полученных на тестовом аффинажном экстракционном блоке АО «СХК», состоящем из 12 центробежных экстракторов. Среднеквадратичные отклонения (СКО) результатов моделирования от экспериментальных данных экстракции урана представлены в таблице.

Сравнение результатов моделирования экстракции урана с экспериментальными данными

Время моделирования / пробоотбора, ч	Поток	СКО U, %	СКО HNO ₃ , %
13,39	Органическая фаза	3,2	2,9
	Водная фаза	1,1	2,9
20,09	Органическая фаза	5,4	2,7
	Водная фаза	3,9	5,3
04,00	Органическая фаза	3	3,2
	Водная фаза	3,4	2,7

Из полученных данных (см. таблицу) видно, что СКО не превышают 5,5%, что говорит об адекватности разработанной комбинированной модели экстракции и возможности ее дальнейшего использования в работе.

Заключение. Таким образом, в ходе работы была проведена проверка адекватности разработанной комбинированной модели экстракционного аффинажа с применением нейросетевых технологий. СКО результатов моделирования от экспериментальных данных не превышают 5,5 %. Нейросетевое ядро комбинированной модели позволяет учесть многие факторы технологического процесса экстракции и повышает точность моделирования технологического процесса экстракции по сравнению с ранее разработанными математическими моделями.

ЛИТЕРАТУРА

1. A neural network approach to simulating the dynamic extraction process of l-phenylalanine from sodium chloride aqueous solutions by emulsion liquid membrane / Z. Fang, X. Liu, M. Zhang et. al. // Chemical Engineering Research and Design. – 2016. – Vol. 105. – P. 188–199.

2. Khajeh M. Application of cuckoo optimization algorithm–artificial neural network method of zinc oxide nanoparticles–chitosan for extraction of uranium from water samples / M. Khajeh, E. Jahanbin // Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems – 2014. – Vol. 135. – P. 70–75.

3. Емельянов А.М. Математическая модель процесса экстракции с применением нейросетевых технологий / А.М. Емельянов, И.С. Надеждин, С.Н. Ливенцов // Физико-технические проблемы в науке, промышленности и медицине: сб. тезисов докл. XI Междунар. науч.-практ. конф. – Томск: НИ ТПУ. – 2022. – С. 118–119.

4. Горюнов А.Г. Динамическая модель неравновесного многокомпонентного экстракционного процесса в смесительной камере центробежного экстрактора // Научно-технический вестник Поволжья. – 2011. – № 4. – С. 129–132.

УДК 004.94

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ ГРУППЫ КВАДРОКОПТЕРОВ В СРЕДЕ МАРС

А.В. Одинцев, магистрант каф. КСУП;

М.А. Петерс, студент каф. УИ

Научный руководитель М.И. Кочергин, доцент каф. КСУП, к.т.н.

г. Томск, ТУСУР, artem_odintsev@mail.ru

Рассматриваются особенности структуры многоуровневой модели управления квадрокоптером в формате компонентных цепей.

Предлагаются компоненты для управления роем (группой) квадрокоптеров.

Ключевые слова: квадрокоптер, моделирование, среда моделирования МАРС, компонент.

В среде многоуровневого моделирования МАРС имеется возможность автоматизированного и автоматического синтеза оптимальных программ моделирования. Актуальной задачей является разработка компонентов (блоков среды визуального моделирования) для моделирования поведения беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) и их систем управления, координирования при работе в группе (рое).

Метод компонентных цепей. В системе МАРС для организации эксперимента предусмотрены три уровня, или слоя, – объектный (схемный), логический и визуальный, на каждом из которых используется формализм компонентных цепей (КЦ) [1]. На объектном слое осуществляется формализованное представление исследуемого объекта в виде КЦ. Результаты моделирования могут быть представлены в форме графиков. Для создания более реалистичного эксперимента предусмотрены компоненты средств эксперимента [2].

Класс визуальных компонентов имеет открытый характер и может расширяться путем разработки новых моделей визуальных компонентов с помощью языка программирования Visual C++.

Моделирование полёта БПЛА. Выделяются следующие способы моделирования полёта БПЛА:

1. Кинематическая модель. Непрерывная модель движения БПЛА в пространстве на основе его кинематических характеристик (скорость, ускорение, повороты и пр.).

2. Дискретное моделирование. Рассмотрение движения БПЛА на дискретных временных шагах (на сетке).

Структура многоуровневой модели полёта БПЛА предполагает комбинирование обоих вариантов моделирования.

Компоненты для моделирования полёта БПЛА в СМ МАРС. Для моделирования роя объектов предлагается разработать компоненты:

1. Активный компонент БПЛА, который на объектном слое (рис. 1) представляет собой кинематическую модель движения БПЛА:

$$\frac{dx}{dt} = V_x, \frac{dy}{dt} = V_y, \frac{dV_x}{dt} = \frac{F_x}{m}, \frac{dV_y}{dt} = \frac{F_y}{m}.$$

На логическом слое этот компонент представляет собой приёмник значения F_x , F_y – сил, имитирующих работу двигателей, и источник текущих значений скорости и координат (рис. 2).

Указанный компонент моделирует непрерывное поведение БПЛА (кинематическая модель). Для построения модели управления на базе клеточного автомата предлагается разработать соответствующий компонент.

2. Компонент «Клеточный автомат» (рис. 3) принимает на вход координаты объекта и на основе заданной в нём сетки выдаёт дискретное положение объекта (номер клетки – «строку» и «столбец»).

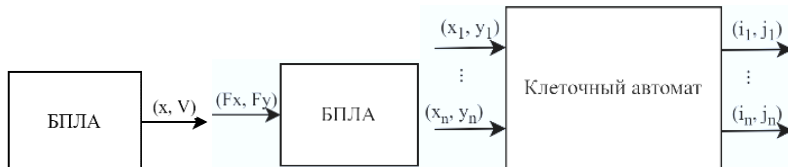


Рис. 1. Вид компонента на С-слое

Рис. 2. Вид компонента на L-слое

Рис. 3. Клеточный автомат на L-слое

Структура многоуровневой модели полёта роя БПЛА. Значения, подаваемые на выходы компонента «Клеточный автомат», далее могут использоваться в компонентной алгоритмической цепи для построения алгоритма управления (рис. 4).

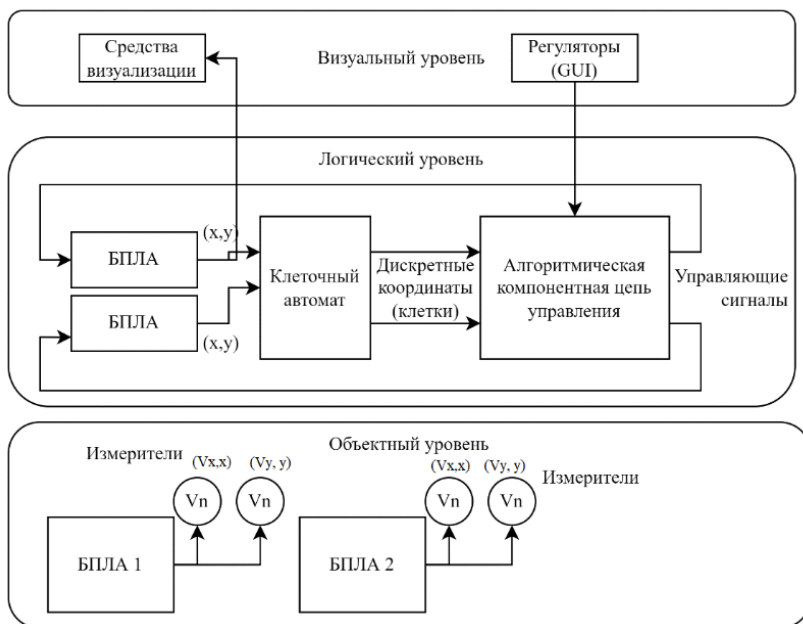


Рис. 4. Обобщённая схема управления роем объектов

Компонентная алгоритмическая цепь для управления объектом представляет собой последовательность блоков, каждый из которых выполняет определенную функцию или операцию.

В контексте моделирования роя объектов компонентная алгоритмическая цепь может использоваться для управления движением объектов в зависимости от их текущего положения, скорости, направления и других параметров. Для ее реализации могут использоваться различные методы и технологии, включая логические операторы, математические модели, нейронные сети и др. Каждый блок в цепи выполняет определенную функцию, а последовательность блоков определяет логику управления объектом. Примеры таких блоков: определение расстояния, направления движения, анализа соседних клеток, выработки оптимального действия и пр.

Заключение. Таким образом, приведен основной компонентный состав для решения основных задач, которые возложены на информационно-логический слой редактора многоуровневого моделирования MAPC.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дмитриев В.М. Матрично-топологический анализ компонентных цепей / В.М. Дмитриев, Т.В. Ганджа, М.И. Кочергин // Вестник Том. гос. ун-та. Управление, вычислительная техника и информатика. – 2023. – № 62. – С. 25–35. DOI: 10.17223/19988605/62/3.
2. Зайченко Т.Н. Организация учебного компьютерного эксперимента в системе многоуровневого моделирования MAPC / Т.Н. Зайченко, В.М. Дмитриев, Т.В. Ганджа // Доклады ТУСУР. – 2023. – Т. 26, № 4. – С. 84–88.

УДК 004.94

ОБЗОР МОДЕЛЕЙ СИСТЕМ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ В СРЕДАХ ВИЗУАЛЬНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Е.С. Петрова, студентка

*Научный руководитель М.И. Кочергин, доцент каф. КСУП, к.т.н.
г. Томск, ТУСУР, elenaspetr@gmail.com*

Проведен анализ научных работ и статей по интеллектуальным системам управления для поиска моделей, на которых будет осуществлено тестирование и отладка компонентов СМ MAPC для построения интеллектуальных систем управления

Ключевые слова: СМ MAPC, интеллектуальное управление.

В настоящее время в среде моделирования МАРС [1] разрабатываются компоненты интеллектуальных систем управления. Для корректной работы компонентов необходимо выполнить их отладку. Исходя из этого, необходимо подобрать готовые модели, которые будут выступать в качестве эталона при верификации модели, а также позволят оценить преимущества и недостатки реализации компонентов в СМ МАРС.

Обзор работ. Далее были проанализированы найденные статьи и результаты занесены в сводную таблицу. Для обобщения выбраны такие критерии, как метод машинного обучения, среда моделирования, объект управления, входные параметры системы управления, выходные переменные системы управления.

Описание ключевых данных статей

Проект	Метод	Среда	Объект управления	Входные переменные	Выходная переменная
1	2	3	4	5	6
Управление беспилотным транспортным средством	Нейронная сеть	Python	Беспилотное транспортное средство	Координаты положения	Угол и скорость
Синтез управляющего устройства ПИД-типа	Программа генетического алгоритма	SimInTech	Искусственный спутник Земли	Данные о результате переходного процесса	Параметры – Кп, Ки и Кд
Построение нечёткого регулятора	Нечёткая логика	SimInTech	Искусственный спутник Земли	Отклонение, скорость, ускорение	Направление угла (\pm , 0)
Построение нечетко-нейронного регулятора	Нечёткая логика	Среда не указана	Насосный агрегат водоотведения	Динамика уровня воды, ожидаемый приток воды, уровень воды	Включенные насосы
Прогнозирование остаточного ресурса насосного оборудования	Нейронная сеть	MatLab	Насосное оборудование	Виброскорости в определенных частотах	Вектор интегральных коэффициентов
Распознавание состояния работы штангового глубинного насоса	Нейронная сеть	Python	Штанговый глубинный насос (ШГН)	Изображения динамограмм с различными отклонениями	Состояние скважинной (ШГН) установки

1	2	3	4	5	6
Управление электроприводом насоса	Нейронная сеть	MatLab	Электропривод	Показатели давления	Отрегулированные насосы
Прогнозирование водопотребления	Нейронная сеть	MatLab	Водопотребление	Забор воды и численность населения	Объём водопотребления
Развитие оперативных методов прогноза конечной нефтеотдачи	Нейронная сеть	Среда не указана	Нефтеотдача	Показатели работы скважины	Объём жидкости и нефти
Управление процессом укладки асфальтобетонной смеси	Нечёткая логика	MatLab & Simulink	Асфальтоукладчик	Входной сигнал системы гидропривода следящей системы	Перемещение выглаживающей плиты
Решение обратной задачи кинематики	Нейронная сеть	MatLab/Python	Трёхзвенный манипулятор	Положение и ориентация конечного узла манипулятора	Конфигурация соединения узлов манипулятора

В рамках дальнейших работ для отладки и тестирования компонентов искусственных нейронных сетей [12] выбрана задача № 1 (управление беспилотным транспортным средством), а для компонентов систем нечёткого логического вывода – задача № 4 (управление насосными агрегатами).

Заключение. Было найдено одиннадцать публикаций на тему интеллектуальных систем управления, а также проведён анализ отобранных интеллектуальных систем управления. В 7 из 11 работ использовались нейросети, в 3 – нечёткая логика, ещё в одной – генетический алгоритм. В 5 из 11 работ модель объекта управления строилась в Matlab / Simulink, в двух – в SimInTech.

ЛИТЕРАТУРА

1. MARC – среда моделирования технических устройств и систем / В.М. Дмитриев, А.В. Шутенков, Т.Н. Зайченко, Т.В. Ганджа. – Томск: В-Спектр, 2011. – 278 с.
2. Дарьина А.Н. Метод нейросетевого управления в реальном времени на основе синтеза функции выбора / А.Н. Дарьина, И.В. Прокопьев // Надежность и качество сложных систем. – 2019. – № 4 (28). – С. 41–49.

3. Параметрический синтез регулятора метаэвристическим алгоритмом в среде SimInTech / Л.А. Михайленко, Д.С. Русин, В.В. Устименко, А.В. Чубарь // Космические аппараты и технологии. – 2020. – № 3 (33). – С. 171–177.
4. Мызникова В.А. Построение нечётких регуляторов для систем управления автономных объектов в среде SimInTech / В.А. Мызникова, В.В. Устименко, А.В. Чубарь // Космические аппараты и технологии. – 2019. – № 1 (27). – С. 22–27.
5. Есилевский В.С. Управление насосными агрегатами К.Н.С. С помощью систем нечетко-нейронного управления / В.С. Есилевский, В.Н. Кузнецов, В.П. Панов // Вестник Воронеж. гос. техн. ун-та. – 2012. – № 9 (8). – С. 12–16.
6. Абраменкова К.Н. Применение нейронных сетей для определения остаточного ресурса безотказной работы насосного оборудования нефтегазовой промышленности / К.Н. Абраменкова, Д.Г. Леонов // Актуальные проблемы нефти и газа. – 2020. – № 1 (28). – С. 1–12.
7. Латыпов Б.М. Совершенствование системы контроля состояния скважинной штанговой глубинной насосной установки на основе нейросетевых технологий / Б.М. Латыпов, В.И. Гумерова // Нефтегазовое дело. – 2022. – № 6 (20). – С. 155–164.
8. Белов А.М. Применение нейронных сетей в электроприводных системах насосных агрегатов / А.М. Белов, М.П. Белов // Международная конференция по мягким вычислениям и измерениям. – 2022. – № 1. – С. 91–94.
9. Салугин А.Н. О применении искусственных нейронных сетей для моделирования водопотребления / А.Н. Салугин, Р.Н. Балкушкин // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. – 2021. – № 1. – С. 70–84.
10. Хусаинов А.Т. Применение инструментария искусственных нейронных сетей для оперативного расчета нефтедобычи // Нефтегазовое дело. – 2013. – № 2 (11). – С. 22–25.
11. Прокопьев А.П. Методы управления технологическими процессами строительства асфальтобетонных покрытий / А.П. Прокопьев, Р.Т. Емельянов, В.И. Иванчура. – Красноярск: СФУ, 2012. – С. 161–174.
12. Управление многозвенными манипуляторами робототехнического комплекса с помощью нейронной сети [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://habr.com/ru/articles/530188/>, свободный (дата обращения: 05.02.2024).
13. Кочергин М.И. Реализация нейронных сетей в методе многоуровневых компонентных цепей // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2023. – Т. 23, № 6. – С. 1162–1170. DOI: 10.17586/2226-1494-2023-23-6-1162-1170.

СИСТЕМА ВИЗУАЛЬНОГО КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ПРОЦЕССА ПЕЧАТИ FDM 3D-ПРИНТЕРА

А.М. Тернов, аспирант

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

г. Томск, ТУСУР, каф. КСУП, am.ternov@gmail.com

Рассматривается реализация прототипа системы визуального контроля качества печати FDM 3D-принтера на основе машинного зрения.

Ключевые слова: 3D-печать, дефекты 3D-печати, FDM 3D-принтер, машинное зрение, нейронная сеть, распознавание объектов, YOLO.

Нередко во время работы FDM 3D-печати возникают проблемы, которые ведут к появлению дефектов на готовой модели. Помимо перерасходов материала, влияющих на итоговую себестоимость изделия, некоторые проблемы во время 3D-печати могут привести к механическим поломкам деталей и узлов 3D-принтера, что может привести к простоям оборудования, увеличению сроков изготовления работ, а также к дополнительным расходам на ремонт оборудования.

Основной задачей данной работы является предотвращение возможных проблем 3D-печати на ранних стадиях без непосредственного наблюдения за процессом оператором принтера путём реализации прототипа системы распознавания дефектов на основе машинного зрения.

Предлагаемый алгоритм модели применяет к изображению нейронную сеть, которая разделяет его на сетку и определяет зоны с обнаруженными дефектами. Модель имеет довольно простую архитектуру, что позволяет легко и быстро развернуть её и интегрировать на различных устройствах, в том числе мобильных и облачных решениях.

Обучение нейронной сети необходимо проводить на хорошей выборке большого объема. При этом для получения достаточно эффективной модели ей также необходимо передавать информацию о местоположении определяемых объектов в виде аннотации изображения. Обучающую выборку можно составить самостоятельно, указав область искомого объекта, либо с использованием автоматической разметки данных, где достаточно проверить точность выделяемых объектов. Была использована дополненная выборка из Roboflow, содержащая около 3 000 аннотированных изображений.

Экспериментальная установка для контроля качества печати состояла из 3D-принтера Flying Bear Ghost 5, позволяющего изготавливать детали размером до 255×210×210 мм, веб-камеры Logitech c270, расположенной на расстоянии 100 мм от центра рабочей области, как показано на рис. 1.

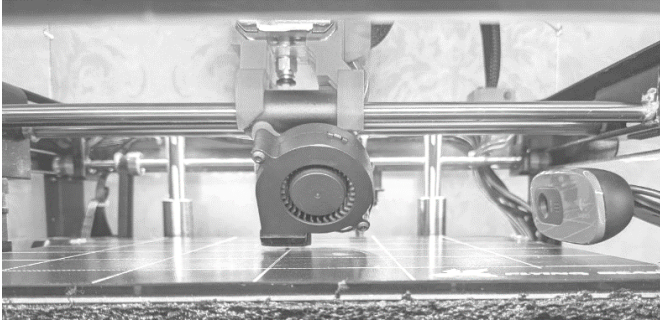


Рис. 1. Вариант установки камеры, вид сбоку

По мере печати рабочая поверхность смещается вниз, что позволяет камере фиксировать верхнюю область печатаемой детали. Изображения, полученные веб-камерой с определённым промежутком времени, сохраняются в папку, синхронизированную с сетевым хранилищем, откуда реализованный алгоритм берёт это изображение для проведения анализа на наличие дефектов. Если на полученном изображении был найден дефект, то оператор 3D-принтера уведомляется путём отправки сообщения в мессенджере для дальнейшего принятия решения о продолжении печати. Также на полученном изображении алгоритм выделяет ограничительной рамкой дефект и обозначает степень уверенности определения. В случае если дефекты не обнаружены на полученном изображении, алгоритм удаляет это изображение и продолжает работу, ожидая новые фотографии, пока время печати детали не закончится.

С результатом распознавания дефектов на изображении можно ознакомиться по рис. 2. Обнаруженный дефект выделен ограничивающей рамкой, а также указан коэффициент уверенности определения.

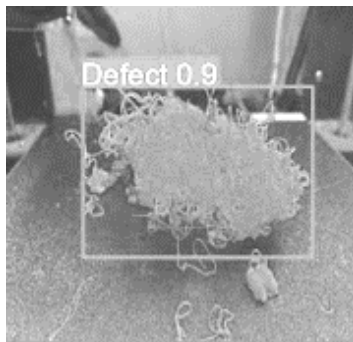


Рис. 2. Пример выходного изображения для алгоритма

Был рассмотрен прототип системы контроля качества процесса FDM 3D-печати при использовании машинного зрения. Для решения поставленной задачи были изучены типовые дефекты 3D-печати, рассмотрены способы контроля над процессом печати, выбрана и обучена модель распознавания объектов на изображении YOLOv8x, разработан модуль распознавания дефектов на полученных с установки изображениях, протестирован прототип системы распознавания объектов. В дальнейшем система может быть улучшена путём реализации определения классификации дефектов, что может быть реализовано путём подготовки расширенных наборов данных для обучения модели, а также выбора более оптимального расположения камеры.

ЛИТЕРАТУРА

1. Проблемы 3D-печати и варианты их решения [Электронный ресурс]. – Устранение причин дефектов и ошибок во время печати: сайт. – URL: <https://cvetmir3d.ru/blog/poleznoe/problemy-3d-pechati-i-varianty-ikh-resheniya-ustranenie-prichin-defektov-i-oshibok-vo-vremya-pechati/> (дата обращения: 15.11.2023).
2. Delli U. Automated process monitoring in 3D printing using supervised machine / U. Delli, S. Chang // *Procedia Manufacturing*. – 2018. – Vol. 46. – P. 865–870.
3. Straub J. Initial work on the characterization of additive manufacturing (3D-printing) using software image analysis // *Machines*. – 2015. – Vol. 3, № 2. – P. 55–71.
4. Алгоритм YOLO простым языком [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://medium.com/nuances-of-programming/алгоритм-yolo-простым-языком-a4e666be4d41> (дата обращения: 17.11.2023).

УДК 004.9

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПРОЦЕССА НА ОСНОВЕ КОГНИТИВНЫХ КАРТ

С.Ф. Царанкин, соискатель института СПИНТех

Научный руководитель Л.Г. Гагарина, д.т.н., проф.

г. Москва, Зеленоград, НИУ МИЭТ, cpintex@yandex.ru

Представлен подход к обработке неполных данных о состоянии объекта управления технологического процесса. Подход основан на включении в модель объекта звеньев с запаздыванием, позволяющих накапливать данные о нескольких измерениях, и последующей обработке полученных результатов с использованием нейронной сети.

Ключевые слова: объект управления, неполные данные, нейронная сеть, поведение объекта.

Производственный процесс является динамической системой, поскольку может быть представлен уравнениями, описывающими изменение во времени переменных состояния (количество сырья, количество произведенной продукции, состояние оборудования). При этом уравнения позволяют описать законы производства, распределения ресурсов, расход материалов и др. Важное значение для решения полученных уравнений имеют начальные условия, позволяющие определить начальное состояние производственного процесса.

Исследование и анализ поведения функций, определенных в уравнениях динамической системы, позволяют получить устойчивые и оптимальные состояния производственного процесса, при которых достигается максимальная эффективность и минимизируются издержки. Кроме того, расчет точек бифуркации, вызванных изменениями в технологических параметрах, спросом на продукцию или другими факторами, дает возможность заранее определить методы адаптации производства к внешним условиям, что, в свою очередь, позволит сохранить эффективность и конкурентоспособность. Таким образом, моделирование производственного процесса является своевременной и актуальной задачей.

В настоящее время для моделирования динамических систем преимущественно используются численные методы, причем выбор конкретного метода определяется степенью сложности рассматриваемой системы и уровнем информативности о ее поведении. Для производственного процесса характерны неопределенность внешних условий, большое количество нелинейных зависимостей между компонентами процессов и систем, слабая формализуемость. С учетом этого для описания производства могут быть использованы когнитивные модели, одной из которых является когнитивная карта.

Когнитивная карта производственного процесса представляет собой граф $G=(E,W)$, где вершинами $E=\{e_1, \dots, e_n\}$ являются производственные факторы, а ребрами $W=(w_{11}, \dots, w_{ij}, \dots, w_{mm})$ – причинно-следственные связи между ними. Таким образом, для моделирования конкретного процесса необходимо:

- 1) определить производственные факторы, оказывающие влияние на состояние процесса [1];
- 2) определить причинно-следственные связи между факторами и их весовой коэффициент [1, 2];
- 3) построить когнитивную карту в виде графа $G=(E,W)$;
- 4) сформировать наиболее вероятные сценарии поведения производственного процесса на основе анализа когнитивной карты.

Вероятность сценария поведения производственного процесса определяется значением весового коэффициента причинно-следст-

венной связи. Чем выше коэффициент, тем наиболее вероятен переход между связанными вершинами при наступлении причинного фактора.

Принято выделять следующие виды причинно-следственных связей:

– положительная, при которой $w_{ij} > 0$ и увеличение/уменьшение значения e_i приводит к увеличению/уменьшению значения e_j ;

– отрицательная, при которой $w_{ij} < 0$ и увеличение/уменьшение значения e_i приводит к уменьшению/увеличению значения e_j ;

– отсутствие связи при $w_{ij} = 0$.

Следовательно, использование когнитивных карт при моделировании производственного процесса позволяет учитывать совокупное влияние различных факторов, что приводит к увеличению точности прогнозирования динамики процесса, повышению эффективности планирования и принимаемых управленческих решений. Кроме того, когнитивная модель производственного процесса позволяет использовать для его управления интеллектуальные технологии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шевнина Ю.С. Метод оценки состояния нелинейной системы на основе логического анализа данных // Известия вузов. Электроника. – 2022. – Т. 27, № 3. – С. 407–415.

2. Шевнина Ю.С. Иерархическая модель нелинейной динамической системы // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. – 2021. – № 8. – С. 135–139.

УДК 004.942.41 + 66.021.3

РЕАЛИЗАЦИЯ МОДЕЛИ ЭКСТРАКТОРА НА ОСНОВЕ РЕАКТОРА ИДЕАЛЬНОГО СМЕШЕНИЯ В СРЕДЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ МАРС

А.О. Ушаков, аспирант ТПУ

г. Томск, ТУСУР, alexander6@mail.ru

Рассматривается реализация математической модели экстрактора в составе экстракционного каскада в среде моделирования МАРС. Приведены основные результаты разработки соответствующего компонента, включая его краткое математическое описание. По результатам проведенных вычислительных экспериментов и исследований предложены потенциальные перспективные направления развития метода компонентных цепей, лежащего в основе МАРС.

Ключевые слова: моделирование, реактор, экстракция, массообмен.

Одной из актуальных проблем в настоящее время является разработка отечественного программного обеспечения и программных комплексов, позволяющих проводить моделирование различных систем и процессов для предприятий атомной отрасли. Среда моделирования (СМ) MAPC, в основе которой лежит использование метода компонентных цепей, является одной из перспективных и позволяет реализовывать математические модели различного типа [1, 2]. В данный момент СМ MAPC находится на этапе дальнейшего совершенствования и развития, одним из необходимых требований которого является расширение библиотеки моделей компонентов широкого спектра оборудования и технологических систем. При достижении положительных результатов в данном направлении СМ MAPC позволит не только осуществлять моделирование реальных объектов промышленных предприятий, но и создать универсальную виртуальную лабораторию для проведения научных и исследовательских практикумов для молодых специалистов.

В настоящей работе предложена реализация с использованием СМ MAPC модели экстрактора типа реактора идеального смешения в составе экстракционного каскада с определенным числом ступеней. Предполагается, что реальный аналог моделируемого компонента представляет собой цилиндрическую емкость с установленной по центральной оси мешалкой, имеющей в наличии по два канала для подвода и отвода веществ, участвующих в экстракционном процессе [3].

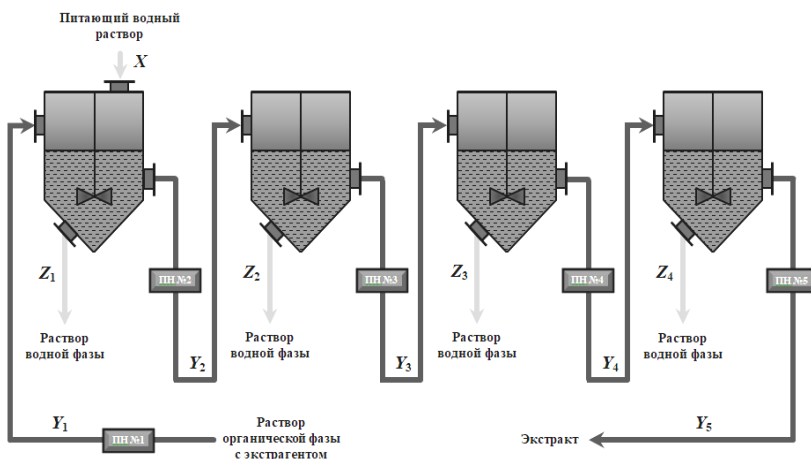


Рис. 1. Эскиз моделируемого компонента в составе экстракционного каскада:
 X, Z_{1-4} – потоки водной фазы; Y_{1-4} – потоки органической фазы;
 ПН№1-5 – пульсационные насосы

В качестве основного процесса, протекающего в рассматриваемом аппарате, выступает экстракция урана в присутствии трибутилфосфата и азотной кислоты, описываемая реакцией $UO_2(NO_3)_2 + 2ТБФ = UO_2(NO_3)_2 \cdot 2ТБФ$. При проведении моделирования экстрактора в СМ MAPC ставилась задача обеспечения контроля таких параметров процесса, как концентрация (C) и расход (Q) водной и органической фаз на входе и выходе как отдельного аппарата, так и всего каскада. Температура и давление были постоянны и имели значения нормальных условий работы.

Для математического описания экстракционного процесса по извлечению урана в органическую фазу была использована модель А.М. Розена [4, 5].

$$\left\{ \begin{array}{l} y = \frac{1}{2} \left(L_0 - \frac{\sqrt{1+8FL_0} - 1}{4F} \right), \\ F = \frac{f_U}{(1+f_H)^2}, \\ f_U = \tilde{k}_U x_U (2x_U + x_{HNO_3})^2, \\ \tilde{k}_U = e^{4,8-5,77(x_{HNO_3}+3x_U)^{0,5}+4,17(x_{HNO_3}+3x_U)-0,712(x_{HNO_3}+3x_U)^{1,5}}, \\ f_H = 0,2x_{HNO_3} (2x_U + x_{HNO_3}), \end{array} \right.$$

где x_U – концентрация урана в водной фазе, моль/л; x_{HNO_3} – концентрация кислоты в водной фазе, моль/л; y – концентрация урана в органической фазе, моль/л; L_0 – исходная концентрация экстрагента, моль/л; \tilde{k}_U – кажущаяся константа распределения урана.

Полученные результаты разработки и реализации рассмотренного компонента позволяют имитировать работу экстракционного аппарата в составе экстракционного каскада и осуществлять регулировку отдельных параметров процесса при постоянном контроле за выходными данными. Существует возможность дальнейшего совершенствования реализованной модели в имеющемся виде с добавлением новых условий эксперимента, включая температуру и давление, а также путем развития МКЦ и разработки отдельных блоков математического описания массообменных процессов в отстойных зонах и потоков между отдельными ступенями каскада.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дмитриев В.М., Ганджа Т.В. Среда многоуровневого компьютерного моделирования химико-технологических систем. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 2017. – 332 с.

2. 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.

3. 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.

4. Розен А.М. Термодинамика экстракционных равновесий уранилнитрата // Атомная энергия. – 1957. – Т. 2, № 5. – С. 445–458.

5. Николотова З.И. Экстракция нейтральными органическими соединениями: Справочник по экстракции / З.И. Николотова, Н.А. Карташова. – М.: Атомиздат, 1976. – 598 с.

УДК 004.05

ВНЕДРЕНИЕ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В УПРАВЛЕНИЕ НОРМАТИВНЫМИ ПРАВОВЫМИ ДОКУМЕНТАМИ УНИВЕРСИТЕТА

К.Е. Зинченко, О.Р. Выборнова, студентки

*Научный руководитель И.А. Лариошина, доцент каф. УИ, к.т.н.
г. Томск, ТУСУР, ksyusha.zinchenko.1977@mail.ru*

Управление локальной нормативной документацией является важной частью организации образовательного процесса в вузе. В современных условиях традиционные методы хранения, управления и обеспечения доступа к локальным нормативным документам могут оказаться недостаточно эффективными. Для оптимизации управленческих и образовательных процессов, а также обеспечения соблюдения требований законодательства необходимо внедрять и использовать новые технологии и методы документооборота.

Ключевые слова: университет, образовательная деятельность, нормативные правовые акты, цифровые технологии.

В последние годы в связи с широким распространением цифровых технологий и их проникновением во многие сферы деятельности человека в Российской Федерации сформировался курс на развитие цифрового общества. Одним из подтверждений тому является Указ Президента Российской Федерации от 09.05.20217 № 203 «О Стратегии развития информационного общества в Российской Федерации на 2017–2030 годы» [1]. Для комплексного внедрения и использования технологий необходимо, чтобы цифровизация охватывала все наиболее значимые аспекты жизни человека и общества, в том числе высшее образование, с целью развития цифровых компетенций новых кадров. В свою очередь, цифровая трансформация высшего образования предполагает внедрение технологий в основные этапы организа-

ции и реализации образовательной деятельности университетов. В данном случае одной из немаловажных областей является сопровождение образовательного процесса локальной нормативной документацией [2].

В данной статье рассмотрены преимущества внедрения цифровых технологий в деятельность по управлению локальными нормативными документами университета, применение которых в том числе необходимо для оптимизации процессов использования документов и работы с ними.

В настоящее время нормативное правовое обеспечение образовательной деятельности высшего учебного заведения, а также его соответствие действующему законодательству РФ пристально контролируется и проверяется государственными органами, в том числе в рамках аккредитаций, мониторингов и других проверок. В то же время деятельность университетов регламентируется довольно обширной совокупностью нормативных актов локального и федерального уровня, последние из которых имеют тенденцию регулярно изменяться, дополняться или утрачивать силу [3]. В указанных условиях процессы актуализации, систематизации и получения доступа к действующим локальным нормативным актам образовательной организации могут быть затруднены. Однако внедрение цифровизации позволяет значительно оптимизировать и упростить управление документацией.

Во-первых, современные цифровые технологии предоставляют возможности автоматизации процессов создания, редактирования, оформления и утверждения документов, что сокращает трудозатраты работников и позволяет им сосредоточиться на сутевой составляющей нормативного акта.

Во-вторых, цифровое хранение документов позволяет создавать электронные базы и системы электронного документооборота, которые предоставляют возможности быстрого поиска и структурирования перечня документации по заданным критериям. Данная возможность особенно актуальна при необходимости обновления большого количества документов. К тому же цифровые базы нормативных документов могут предоставлять доступ работникам и студентам университета к документам из любого места и в любое время.

Следующим преимуществом, также оказывающим положительное воздействие на процесс обновления документов, является возможность отслеживания сроков исполнения или актуальности локальных нормативных актов на предмет использования в них утративших силу федеральных актов. Автоматизированная генерация перечня документов, ссылающихся на нормы того или иного устаревшего акта,

позволяет значительно сократить время и избежать проверки большого количества документов вручную.

Еще одним немаловажным преимуществом внедрения цифровизации следует выделить повышение уровня безопасности документов, так как системы управления документами защищены от неправомерного получения данных третьими лицами и позволяют задать уровень доступа тех или иных пользователей.

Помимо вышеперечисленного, цифровые инструменты могут предоставлять возможности контроля версий, что способствует ускорению анализа изменений и повышению прозрачности в работе над документом.

Таким образом, цифровая трансформация в области управления нормативной документацией вуза предоставляет ряд значимых преимуществ, позволяя повысить эффективность работы, обеспечить быстрый доступ к информации, организовать структурированное и удобное хранение нормативных актов. Помимо этого, цифровые инструменты могут помочь контролировать внесенные в документы изменения и процесс работы с ними ответственных лиц, что повышает прозрачность процесса управления локальными нормативными актами организации. Все вышеперечисленное свидетельствует о целесообразности и необходимости внедрения и использования цифровых технологий в современных условиях.

В результате проведенного анализа можно также предположить, что благодаря развитию цифровых решений в будущем возможно появление более продвинутых аналитических инструментов, а также внедрение в системы управления документами искусственного интеллекта для автоматизации процессов анализа сугубо составляющей нормативных актов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Указ Президента Российской Федерации от 09.05.2017 г. № 203 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/41919>, свободный (дата обращения: 05.03.2024).

2. Цифровая трансформация: экономика, предпринимательство, технологии, инновации, логистика, бизнес-процессы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/tsifrovaya-transformatsiya-vysshego-obrazovaniya-tehnologii-i-tsifrovye-kompetentsii/viewer>, свободный (дата обращения: 05.03.2024).

3. Нормативно-правовое регулирование в сфере образовательной деятельности [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/normativno-pravovoe-regulirovanie-v-sfere-obrazovatelnoy-deyatelnosti/viewer>, свободный (дата обращения: 06.03.2024).

ПОДСЕКЦИЯ 3.4

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ

*Председатель – Ходашинский И.А., проф. каф. КСУП, д.т.н.;
зам. председателя – Сарин К.С., доцент каф. КСУП, к.т.н.*

УДК 004.021

ВАРИАНТЫ МОДИФИКАЦИИ АЛГОРИТМА ЭКСТРЕМУМОВ КЛАССОВ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ НЕЧЕТКИХ КЛАССИФИКАТОРОВ

*М.Б. Бардамова, доцент каф. КСУП
г. Томск, ТУСУР, 722bmb@gmail.com*

Описаны варианты модификации алгоритма генерации структуры нечетких классификаторов, основанного на идее построения термов между экстремальными значениями признаков отдельно взятых классов. Результаты эксперимента показали, что предложенные модификации способствуют повышению точности классификации как на этапе формирования базы правил, так и на этапе оптимизации параметров термов различными метаэвристическими алгоритмами.

Ключевые слова: нечеткий классификатор, алгоритм экстремумов классов, метаэвристические алгоритмы, классификация данных.

Ключевым достоинством систем классификации данных, построенных на базе нечетких правил, является свойство интерпретируемости – т.е. возможность доступно донести до пользователя процесс принятия решений моделью. Однако, чтобы базу правил нечеткого классификатора действительно было легко воспринимать, необходимо соблюсти разумное ограничение количества правил. Получить высокую точность на небольшом числе правил – сложная задача. Одним из методов, позволяющих достичь компромисса между компактностью и точностью, считается вариант применения алгоритма экстремумов классов и непрерывной метаэвристики для последующей настройки параметров термов.

Алгоритм экстремумов классов был создан на кафедре КИБЭВС [1]. Количество правил, формируемых этим алгоритмом, всегда строго равняется количеству классов в данных. Однако использование в качестве исходных данных лишь экстремумов признаков приводит к

формированию довольно грубого обобщения переменных. Для повышения качества требуются средства уточнения построенных термов. Исследования показали, что для такой задачи целесообразно использовать метаэвристические алгоритмы, способные подбирать значения параметров термов, ориентируясь на целевую функцию, основанную на точности [2, 3]. Но на эффективность популяционных алгоритмов оптимизации значительно влияет выбор стартовых точек. Поэтому модификация алгоритма экстремумов классов, способная улучшить качество генерируемых термов, является актуальной задачей. Целью данной работы является проверка эффективности предложенных модификаций алгоритма.

Структура нечеткого классификатора. Правила, используемые в исследуемой версии нечеткого классификатора, можно в общем виде представить следующим образом:

R_i : Если $x_1 \in T_{i1}$, И $x_2 \in T_{i2}$, И ... И $x_p \in T_{ip}$, то класс = c_i ,

где R_i – правило для i -го класса, x_j – j -й признак образца данных x , c_i – метка для обозначения i -го класса, T_{ij} – терм j -го признака в правиле R_i ; $i \in [1, M]$, где C – количество классов, $j \in [1, F]$, F – количество признаков. Вид функций принадлежности для термов задается пользователем перед построением структуры; чаще всего применяются треугольные, трапецевидные и функции Гаусса (рис. 1).

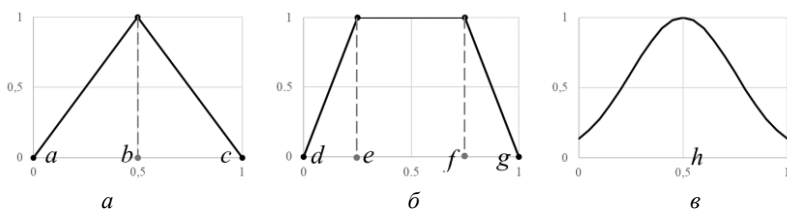


Рис. 1. Различные виды функций принадлежности:
 a – треугольные, b – трапецевидные, v – функции Гаусса

Треугольные функции принадлежности имеют три параметра – координаты вершин терма по оси абсцисс $\theta_{\text{triangle}} = [a; b; c]$. Терм в виде трапеции задается четырьмя параметрами $\theta_{\text{trapezoid}} = [d; e; f; g]$. Для генерации гауссоиды нужно задать два параметра – координату вершины и разброс $\theta_{\text{gaussoid}} = [h; w]$. Создание термов – одна из задач алгоритма генерации структуры.

Описание классического алгоритма экстремумов классов.

Алгоритм состоит из следующей последовательности действий:

Шаг 1. Разбить множество входных данных на группы образцов с одинаковым значением выходной переменной.

Шаг 2. Внутри групп для каждого признака определить максимальное и минимальное значение.

Шаг 3. Построить терм для каждой пары экстремумов таким образом, чтобы целиком покрыть область между ними.

Шаг 4. Составить для каждой группы решающее правило, поместив в консеквентную часть значение выходной переменной образцов, в antecedентную – указатели на созданные термы группы.

Реализация третьего шага различается в зависимости от выбранной функции принадлежности. Так, в случае треугольника параметры термов для j -го признака i -й группы определяются описанным ниже образом:

$$a_i^j = \min(\mathbf{x}_i^j), \quad b_i^j = (\min(\mathbf{x}_i^j) + \max(\mathbf{x}_i^j)) / 2, \quad c_i^j = \max(\mathbf{x}_i^j),$$

где \mathbf{x}_i^j – множество значений j -го признака i -й группы. Параметры трапеций рассчитываются по приведенным далее формулам:

$$d_i^j = \min(\mathbf{x}_i^j), \quad e_i^j = \min(\mathbf{x}_i^j) + 0,2 * (\max(\mathbf{x}_i^j) - \min(\mathbf{x}_i^j)), \\ f_i^j = \min(\mathbf{x}_i^j) + 0,8 * (\max(\mathbf{x}_i^j) - \min(\mathbf{x}_i^j)), \quad g_i^j = \max(\mathbf{x}_i^j).$$

Параметры функций Гаусса задают следующие выражения:

$$h_i^j = (\min(\mathbf{x}_i^j) + \max(\mathbf{x}_i^j)) / 2, \quad w_i^j = (\max(\mathbf{x}_i^j) - \min(\mathbf{x}_i^j)) / 6.$$

Существующие способы определения параметров термов не учитывают особенности распределения данных.

Описание предложенных модификаций. Важным недостатком оригинальных способов вычисления границ термов для треугольных и трапециевидных функций принадлежности является то, что среди данных гарантированно будет как минимум один образец, у которого значение признака будет совпадать со значением одной из пограничных вершин. При вычислении доли принадлежности такой образец гарантированно получит нулевое значение, и будет являться причиной неправильного результата классификации всего образца. Для исправления этого недостатка достаточно немного раздвинуть границы термов. Например, следующим образом при выборе треугольных функций:

$$a_i^j = \min(\mathbf{x}_i^j) - (\max(\mathbf{x}_i^j) - \min(\mathbf{x}_i^j)) / 10, \\ c_i^j = \max(\mathbf{x}_i^j) + (\max(\mathbf{x}_i^j) - \min(\mathbf{x}_i^j)) / 10.$$

Для трапециевидных функций (параметров d и f) принцип аналогичный.

Второй недостаток заключается в неоптимальном способе определения вершин. На практике максимальная доля принадлежности к

множеству достаточно редко находится ровно по центру области допустимых значений. Целесообразно воспользоваться статистиками при определении положений вершин: в случае треугольников и функций Гаусса – медианами или средними значениями, в случае трапеций – первым и третьим квартилем. Для вычисления разброса функций Гаусса стоит применить трехкратное среднеквадратическое отклонение. Таким образом, вторая предложенная модификация заключается в изменении способа расчета вершин b для треугольной функции; e и f для трапеций, а также h и w для функций Гаусса.

Эксперимент. Для исследования влияния изменений на результаты построения нечетких классификаторов был проведен эксперимент на данных из разнообразных задач классификации. Информация о характеристиках данных имеется в источнике – открытом электронном хранилище KEEL [4]. Перечень использованных данных, параметры эксперимента, результаты, итоги сравнений опубликованы в открытом доступе [5]. Метод построения нечеткого классификатора включал генерацию структуры и последующую настройку параметров метаэвристикой. Были опробованы три метаэвристики: алгоритм стаи ласточек, алгоритм серых волков и гибридный алгоритм из «гравитационного поиска» и «прыгающих лягушек».

Заключение. Эксперимент показал, что введенные модификации, основанные на использовании статистической информации, значительно влияют на результаты и этапа генерации термов, и этапа оптимизации параметров. Значение средних рангов по критерию Фридмана у модификаций для треугольников и функций Гаусса оказались ниже ранга исходного алгоритма при сравнении полученных ошибок классификации. Следовательно, эффективность предложенных модификаций алгоритма для данных видов термов подтверждена.

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ, грант № 22-21-00021.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алгоритмы структурной идентификации компактных и точных нечетких систем / И.А. Ходашинский, И.В. Горбунов, К.С. Сарин, С.Р. Субханкулова // Информационные и математические технологии в науке и управлении. – 2016. – № 1. – С. 82–93.
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. DOI: 10.15372/AUT20230308.
3. Метаэвристические методы оптимизации параметров нечетких классификаторов / И.А. Ходашинский, А.Е. Анфилофьев, М.Б. Бардамова и др. //

Информационные и математические технологии в науке и управлении. – 2016. – № 1. – С. 73–81.

4. Standard Classification data sets. Knowledge Extraction based on Evolutionary Learning [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://sci2s.ugr.es/keel/category.php?cat=clas> (дата обращения: 01.02.2024).

5. Bardamova M.B. Results TUSUR Scientific Session 2024 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://clck.ru/39TCXx> (дата обращения: 05.03.2024).

УДК 004.421

НЕЧЕТКИЙ КЛАССИФИКАТОР ИНКРЕМЕНТНОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ МАССОВОЙ НЕПЕРСОНИФИЦИРОВАННОЙ РАССЫЛКИ

Р.Е. Коломников, аспирант каф. КСУП

Научный руководитель К.С. Сарин, доцент, к.т.н.

г. Томск, ТУСУР, kolomnikov0405@gmail.com

Рассматривается нечеткий классификатор инкрементного обучения типа Min-Max, который был обучен и протестирован на наборе spambase с помощью динамической кросс-валидации. Также были получены оценки эффективности классического алгоритма и разработанной модификации для нечеткого классификатора.

Ключевые слова: спам, машинное обучение, нечеткий классификатор.

В последние годы с ростом объемов цифровой коммуникации массовая неперсонифицированная рассылка, более известная как спам, стала значительной проблемой для пользователей и организаций. Спам не только создает неудобства для пользователей, но и нагружает сетевую инфраструктуру, увеличивает расходы на хранение данных и обработку, а также может служить каналом для распространения мошеннических сообщений, вирусов и другого вредоносного ПО. В свете этих вызовов разработка эффективных методов обнаружения и фильтрации спама является критически важной задачей.

Традиционные подходы к обнаружению спама часто опираются на статические правила или подписи, которые могут быстро устаревать из-за постоянно меняющихся стратегий спамеров. Машинное обучение предложило альтернативные решения, способные адаптироваться к новым видам спама, однако многие из них требуют регулярного переобучения на больших объемах данных, что может быть ресурсоемким и непрактичным в реальных условиях [1].

В этой связи нечеткие классификаторы инкрементного обучения представляют собой многообещающий подход к решению проблемы.

Их способность адаптироваться к изменяющимся условиям в реальном времени, обучаясь на каждом новом примере спама, делает их особенно подходящими для борьбы с этим явлением. Ключевым преимуществом нечетких классификаторов является их способность обрабатывать неопределенность и нечеткость в данных, что является характерной чертой спам-сообщений [2].

В данной статье мы представляем модификацию нечеткого классификатора инкрементного обучения, позволяющую обнаруживать массовую неперсонифицированную рассылку. Мы описываем архитектуру классификатора, его алгоритм обучения и методы обработки. Также представлены результаты тестирования на наборах данных *srambase* [3], демонстрирующие эффективность предложенного подхода по сравнению с его классической реализацией.

Целью работы является разработка и исследование нечеткого классификатора инкрементного обучения для обнаружения массовой неперсонифицированной рассылки.

Список задач, используемых для достижения цели:

1. Подготовка наборов данных для построения нечетких классификаторов инкрементного обучения.
2. Построение нечеткого классификатора инкрементного обучения типа *Min-Max* и его разработанной модификации для обнаружения массовой неперсонифицированной рассылки.
3. Сравнение полученных результатов двух построенных нечетких классификаторов инкрементного обучения по точности и числу правил.

Нечеткий классификатор типа *Min-Max*. Нечеткий классификатор использует гипербоксы для определения нечетких множеств в n -мерном пространстве признаков, где каждый гипербокс принадлежит определенному классу. Эти гипербоксы определяются минимальными и максимальными точками с соответствующей функцией принадлежности, определяющей степень соответствия признака гипербоксу [4]. Построение классификатора фактически сводится к созданию гипербоксов одного класса, однако есть 3 основных этапа:

1. *Расширение.* Этап, в котором проверяется, может ли быть расширен существующий гипербокс. За эту проверку отвечает параметр θ – начальное, задаваемое значение максимального размера гипербокса (полупериметр сторон). С приходом нового экземпляра ведется проверка гипербокса одноименного класса с максимальной степенью принадлежности на возможность быть расширенным до данного экземпляра. Если размер не превышает θ , то гипербокс расширяется, иначе создается новый гипербокс на месте экземпляра.

2. *Проверка на перекрытие.* Необходимый шаг для того, чтобы гипербоксы одного класса не перекрывали гипербоксы другого.

3. *Сжатие.* В случае перекрытия сжимаются гипербоксы таким образом, чтобы исключить перекрытие и потерять как можно меньше информации.

Архитектуру нечеткого классификатора типа Min-Max удобнее всего представить в виде трехслойной нейронной сети (рис. 1).

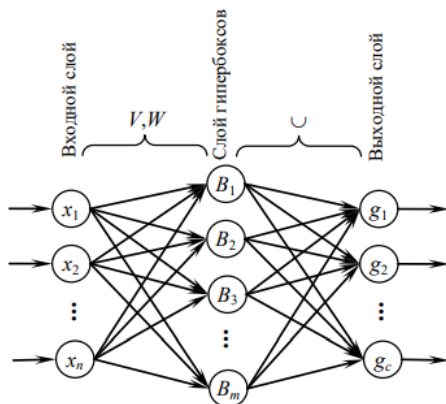


Рис. 1. Трехслойная нейронная сеть, представляющая нечеткий классификатор типа Min-Max

Размер гипербокса задается двумя точками – V – минимальная точка, W – максимальная, B – это множество гипербоксов, g – множество меток классов.

Была разработана модификация процедуры расширения нечеткого классификатора типа Min-Max [5], идея заключается в выборе в качестве потенциальных кандидатов для расширения рассматривать все гипербоксы одного и того же класса, выбирая из них наиболее близкий гипербокс, способный к расширению (с размером меньше θ). В случае отсутствия подходящих кандидатов будет создан новый гипербокс. Такой подход позволяет уменьшить количество мелких гипербоксов, приводящих к формированию большого количества правил.

Тестирование. Тестирование нечеткого классификатора типа Min-Max осуществлялось на наборе данных Spambase из репозитория KEEL, предназначенного для классификации электронной почты на спам и неспам. Данные, используемые в наборе, основаны на реальных электронных письмах с 57 признаками, включая как целочисленные, так и вещественные значения. Признаки включают частоту

встречаемости определенных слов и символов в письмах, а также статистику по последовательностям заглавных букв [3].

Статистический критерий Уилкоксона выявил различия точности классификации на уровне значимости $\alpha = 0,05$ ($p\text{-value} < 0,00001$), на классическом алгоритме точность оказалась выше, однако правил меньше на модифицированном алгоритме.

Оценка эффективности осуществлялась с помощью динамической кросс-валидации, которая позволяет оценить модель поэтапно, по контрольным точкам, десятикратная же кросс-валидация показывает лишь конечный результат. На рис. 2 представлен график точности классификации на каждой из 30 контрольных точек при заданном $\theta = 0,1$ и $\theta = 0,3$.

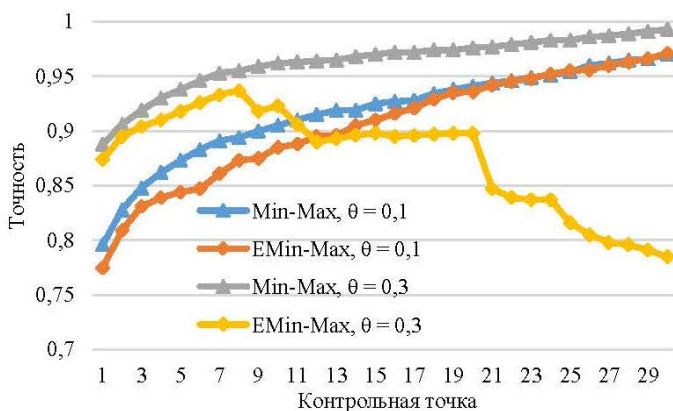


Рис. 2. Точность классификации

Благодаря динамической кросс-валидации видно, что модификация нечеткого классификатора при $\theta = 0,3$ после 20 контрольной точки начала терять точность классификации. Из этого наблюдения можно сделать вывод, что модель переобучилась и стала делать ошибочные предсказания.

На рис. 3 показано количество генерируемых классификаторами правил на каждой контрольной точке.

Точность классификации инкрементного обучения классификатора Min-Max и его модификации показывает высокие результаты в метрике точности классификации. Однако модифицированный алгоритм генерирует меньше правил, что позволяет добиться более высокой скорости обучения и скорости получения результата при прогнозировании.

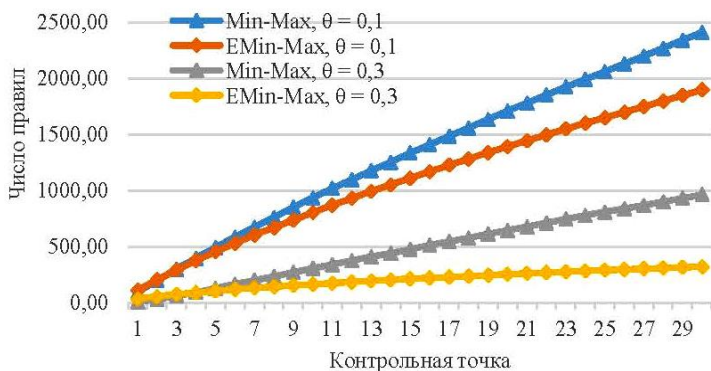


Рис. 3. Число правил

Заключение. В результате проделанной работы были построены классификаторы инкрементного обучения, было проведено сравнение между классическим Min-Max и модификацией на его основе. Классический алгоритм достиг лучшей точности 99,3% при $\theta = 0,3$, а модификация позволила добиться меньшего числа правил при той же θ .

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. Абрамова Е.С. Возможности использования инкрементного обучения нейронной сети / Е.С. Абрамова, А.А. Орлов, К.В. Макаров // Вестник Южно-Уральского гос. ун-та. – Сер.: Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника. – 2021. – Ч. 21. – С. 19–27.
3. Hopkins M. Spambase / M. Hopkins, E. Reeber, G. Forman, J. Suermondt // UCI Machine Learning Repository. – 1999.
4. Simpson P.K. Fuzzy Min-Max Neural Networks-Part 1: Classification // IEEE Transaction on neural networks. – 1992. – Vol. 3, № 5. – P. 776–786.
5. 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». – 2023. – Ч. 2. – С. 159–163.

НЕЧЕТКИЙ КЛАССИФИКАТОР ОБРАБОТКИ ПОТОКОВЫХ ДАННЫХ ДЛЯ РАСПОЗНАВАНИЯ РУКОПИСНЫХ ЦИФР

Р.Е. Коломников, аспирант каф. КСУП

Научный руководитель К.С. Сарин, доцент, к.т.н.

г. Томск, ТУСУР, kolomnikov0405@gmail.com

Рассматривается нечеткий классификатор для обработки потоковых данных, который был обучен на наборе рукописных цифр optdigits, тестирование осуществлялось с помощью динамической кросс-валидации. Сравнение происходило между классификатором типа Min-Max и разработанной для него модификацией.

Ключевые слова: рукописные цифры, нечеткий классификатор, потоковые данные.

В современном мире обработка и анализ потоковых данных становятся все более актуальными задачами в области машинного обучения и искусственного интеллекта. Особое внимание уделяется распознаванию рукописных цифр из-за его широкого применения в банковской сфере, почтовых услугах, образовании и других областях, где необходима автоматизация обработки рукописного текста. Традиционные методы классификации часто сталкиваются с трудностями при работе с потоковыми данными из-за их динамичной природы и необходимости обновления модели в реальном времени. В этой связи нечеткие классификаторы представляют собой обещающее решение благодаря их способности к адаптации и обработке нечеткости и неопределенности данных [1].

В данной статье представлен новый подход к распознаванию рукописных цифр с использованием нечеткого классификатора для обработки потоковых данных. Этот подход объединяет преимущества нечеткой логики и инкрементального обучения, позволяя модели эффективно адаптироваться к новым данным без необходимости переобучения с нуля. Рассматриваются основные принципы построения нечеткого классификатора, его архитектура и механизмы инкрементального обучения, а также демонстрируются результаты тестирования на наборе данных optdigits [2]. Результаты подтверждают высокую точность и эффективность предложенного метода в условиях изменяющихся потоков данных, что открывает новые перспективы для его применения в реальных задачах распознавания рукописного текста.

Целью работы является разработка и исследование нечеткого классификатора обработки потоковых данных для распознавания рукописных цифр.

Выполненные задачи представлены ниже:

1. Подготовлен набор данных для обучения нечеткого классификатора типа Min-Max и его модификации.
2. Обучены нечеткий классификатор и его модификация.
3. Проведено сравнение нечетких классификаторов.

Нечеткий классификатор типа Min-Max. Нечеткий классификатор типа Min-Max является методом машинного обучения, предназначенным для классификации данных в потоковом режиме в условиях неопределенности. Он работает путем создания и адаптации гипербоксов в пространстве признаков, где каждый гипербокс соотносится с определенным классом и представляет собой диапазон значений для классификации объектов. Этот подход позволяет гибко реагировать на изменения в данных, обеспечивая высокую точность классификации за счет динамической корректировки границ классов. Нечеткая логика внутри классификатора учитывает размытость и нечеткость данных, что делает его особенно подходящим для сложных задач, где четкие границы между классами отсутствуют (рис. 1).

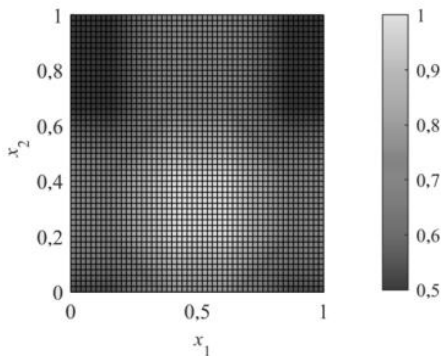


Рис. 1. Функция принадлежности нечеткого отношения в двухмерном пространстве

Для построения классификатора используется 3 основных этапа:

1. Расширение гипербокса. Нужен для того, чтобы понять, может ли пришедший экземпляр данных и ближайший к нему гипербокс того же класса быть расширен.
2. Проверка на перекрытие. Это проверка того, перекрывает ли гипербокс одного класса гипербокс другого класса.
3. Сжатие. Выполняется тогда, когда выполняется второй этап. В таком случае гипербоксы сжимаются таким образом, чтобы исключить перекрытие [3].

Была предложена модификация процедуры расширения нечеткого классификатора типа Min-Max. Она основывается на идее рассмотрения всех гипербоксов одного класса в качестве потенциальных кандидатов для расширения. Затем из них выбирается наиболее близкий гипербокс, который можно расширить при условии, что его размер меньше заданного порога θ (размер гипербокса, задаваемый перед обучением). Если подходящий кандидат не найден, создается новый гипербокс. Это способствует сокращению количества гипербоксов, что помогает предотвратить образование избыточного количества правил [4].

Тестирование. Тестирование нечеткого классификатора типа Min-Max осуществлялось на наборе данных Optdigits из репозитория KEEL, предназначенного для распознавания рукописных цифр. Данные включают в себя цифровые изображения рукописных цифр, извлеченных из предварительно напечатанных форм с использованием программ предварительной обработки, предоставленных Институтом стандартов и технологий США. Набор содержит образцы, предоставленные 43 различными испытуемыми [2].

Исходя из статического критерия Уилкоксона с уровнем значимости $\alpha = 0,05$ ($p\text{-value} < 0,00001$), мы приходим к выводу, что имеются статистически значимые различия в точности между рассматриваемыми классификаторами в пользу модификации, также различия есть и по числу правил, модификация генерирует меньше.

Оценка точности осуществлялась с помощью динамической кросс-валидации, которая позволяет более точно отслеживать точность и число правил во время обучения на каждой контрольной точке в то время, как классическая десятикратная кросс-валидация показывает точность и правила лишь в конце обучения. Сравнение точности классификации показано на рис. 2.

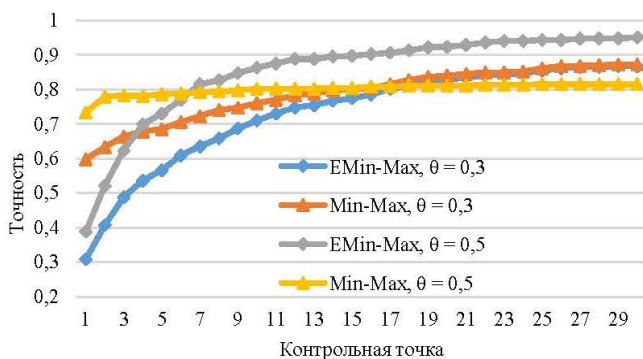


Рис. 2. Точность классификации

Далее мы сравним количество генерируемых правил (рис. 3).

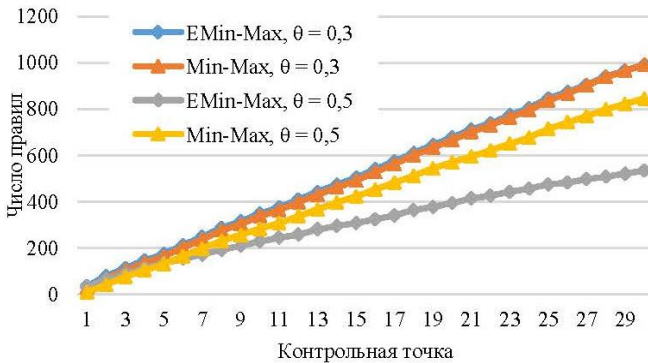


Рис. 3. Число правил

Модификация нечеткого классификатора потоковых данных для распознавания цифр по метрике точности и числу правил показывает лучшие результаты, нежели классический алгоритм. Таким образом это делает его более быстрым для обучения и в получении результатов.

Заключение. В результате проделанной работы были построены классификаторы потоковых данных для распознавания рукописных цифр, было проведено сравнение между классическим Min-Max и модификацией на его основе, которая показала точность 95% и 535 правил при заданном $\theta = 0,5$.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 24-21-00168).

ЛИТЕРАТУРА

1. Sunitha G. Adaptive Trajectory Data Stream Clustering / G. Sunitha, B.R. Devi, B.R. Kumaer et al. // Lecture Notes in Networks and Systems. – 2023. – Vol. 898. – P. 243–252.
2. Alpaydin E. Optical Recognition of Handwritten Digits / E. Alpaydin, C. Kaynak // UCI Machine Learning Repository. – 1998.
3. Simpson P.K. Fuzzy Min-Max Neural Networks-Part 1: Classification // IEEE Transaction on neural networks. – 1992. – Vol. 3, № 5. – P. 776–786.
4. Модифицированный нечеткий классификатор типа Min-Max / P.K. Коломников, К.С. Сарин // Матер. междунар. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых «Научная сессия ТУСУР–2023». – 2023. – Ч. 2. – С. 159–163.

КРАТКИЙ ОБЗОР АЛГОРИТМОВ ИНКРЕМЕНТНОГО ОТБОРА ПРИЗНАКОВ

Н.П. Корышев, аспирант каф. КСУП

Научный руководитель И.А. Ходашинский, проф. каф. КСУП, д.т.н.

г. Томск, ТУСУР, koryshev1997@gmail.com

Представлен краткий обзор применяемых алгоритмов отбора признаков в инкрементном режиме. В обзоре указываются основная классификация алгоритмов, их ключевые особенности.

Ключевые слова: инкрементное обучение, отбор признаков, отбор экземпляров.

Отбор признаков уже несколько десятилетий изучается как эффективная стратегия предварительной обработки данных как в области машинного обучения, так и в области анализа данных. Устранение шумовых и незначимых признаков позволяет, как правило, добиться большей работоспособности модели [1]. Эффективными себя показывают разнообразные методы отбора: и фильтры, и обёртки, и встраиваемые методы [2].

В последние годы также всё большее внимание уделяется онлайн-методам выбора наиболее информативных признаков, хотя количество литературных источников по этой теме по-прежнему невелико. Инкрементные алгоритмы отбора по характеру входных данных делятся на две группы: принимающие поток признаков и принимающие поток данных.

Цель работы – рассмотреть использование алгоритмов отбора признаков в инкрементном режиме.

Алгоритмы отбора с приёмом потока признаков. Большинство опубликованных инкрементных методов отбора относится к этой группе. Они обрабатывают уже размеченные данные, число экземпляров которых не изменяется с течением времени, но изменяется пространство признаков. Алгоритмы данной группы используют преимущественно различные статистические и информационные критерии (например, t -критерий Стьюдента в [3] или взаимная информация на каждом подмножестве признаков [4]). Такие алгоритмы нельзя в полной мере применять для построения интеллектуальных систем на потоке данных, поскольку каждый экземпляр потока данных становится доступным лишь после определённого времени.

Базовая последовательность шагов в данных методах выражается следующим образом [2]:

1. Определить новый признак (группу признаков) из потока признаков.

2. Оценить по выбранному критерию, требуется ли добавление найденных признаков к множеству информативных (будет ли добавление признаков избыточным или же нет).

3. Обновить множество информативных признаков.

4. Повторить шаги с 1-го по 3-й.

Алгоритмы отбора данной группы различаются друг от друга в реализации 2 и 3.

Алгоритмы отбора с приёмом экземпляров данных. Алгоритмы данной группы работают в фиксированном пространстве признаков, но их информативность определяется с течением времени по мере поступления данных.

В работе [5] авторы представляют два алгоритма для решения двух задач онлайн-выбора признаков: обучения с полным вводом, когда обучающейся системе разрешен доступ ко всем признакам, и обучения с частичным вводом, когда с вводом экземпляра данных системе разрешён доступ только к ограниченному числу признаков. В этой работе алгоритмы применяются для обучения персептрона. Обучение выполняется «с учителем»: если классификатор на обучающей выборке ошибается при текущем подмножестве признаков, то параметры персептрона (веса признаков) оптимизируются алгоритмом онлайн-градиентного спуска. Если работоспособность классификатора улучшается, то веса признаков становятся оценкой их важности, и в зависимости от порогового значения отбираются несколько наиболее информативных.

В [6] представлен онлайн-алгоритм выбора признаков на неразмеченных данных. Он использует кластеризационный подход и основан на неотрицательном матричном разложении для представления матриц с отобранными признаками и графовой регуляризации для выявления наиболее информативных признаков и для представления сводки по кластерам (вместо хранения состава всех кластеров).

В [7] авторы пытаются улучшить алгоритм [4], вводя онлайн-алгоритм Geometric Online Adaptation (GOA), результатом выполнения которого является ранжировка признаков по ограниченной мере условной геометрической зависимости. Авторы провели эксперименты и на потоке данных, и на потоке признаков (для сравнения с работой [4]).

Для проведения оценок пространства признаков с поступлением новых данных алгоритмы данной группы применяют регрессионные методы (коэффициенты регрессионных уравнений и выступают оцен-

ками важности признаков). Во всех работах исследователи применяют затем два метода регрессии: лассо и хребтовая. Вторая всегда показывает более перспективные результаты.

Заключение. Авторы инкрементных алгоритмов отбора признаков на потоке данных предпочитают находить по какой-либо метрике важность каждого признака, определённого в исходном пространстве признаков, и выявлять по этим оценкам наиболее информативные. Дальнейшие исследования в этой области связаны с развитием методов регрессии.

ЛИТЕРАТУРА

1. 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.

2. Streaming feature selection algorithms for big data: A survey / N.H. Al-Nuaimi, M.M. Masud, M.A. Serhani, N.M. Zaki // *Applied Computing and Informatics*. – 2022. – Vol. 18, No. 1/2. – P. 113–135.

3. Streaming feature selection using alpha-investing / J. Zhou, D. Foster, R. Stine, L. Ungar // *Proceedings of the eleventh ACM SIGKDD international conference on Knowledge discovery in data mining*. – 2005. – P. 384–393.

4. Toward scalable and accurate online feature selection for big data. / K. Yu, X. Wu, W. Ding, J. Pei // *International Conference on Data Mining*. – 2014. – PP. 660–669.

5. Online feature selection and its applications / J. Wang, P. Zhao, S.C. Hoi, R. Jin // *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*. – 2013. – Vol. 26, No. 3. – P. 698–710.

6. Online unsupervised multi-view feature selection / W. Shao, L. He, C.T. Lu, X. Wei, S.Y. Philip // *2016 IEEE 16th international conference on data mining (ICDM)*. – 2016. – P. 1203–1208.

7. A geometric approach to online streaming feature selection / S.Y. Sekeh, M.R. Ganesh, S. Banerjee, J.J. Corso, A.O. Hero // *arXiv preprint arXiv: 1910.01182*. – 2019.

УДК 51-77

ПРИМЕНЕНИЕ ГРУППИРОВКИ С АЛГОРИТМОМ K-СРЕДНИЕ ПРИ ГЕНЕРАЦИИ БАЗЫ НЕЧЁТКИХ ПРАВИЛ

Р.О. Остапенко, аспирант

*Научный руководитель И.А. Ходашинский, проф. каф. КСУП, д.т.н.
г. Томск, ТУСУР, каф. КСУП, romanOstpub@mail.ru*

Рассматривается применение группировки экземпляров данных вместе с алгоритмом K-средние. Приведено описание эксперимента по генерации базы нечётких правил. Использование группировки

вместе с алгоритмом К-средние показало перспективы применения такого подхода для решения задачи генерации базы нечётких правил.

Ключевые слова: группировка, нечёткий классификатор, кластеризация, К-средние, база правил.

Постановка задачи. База нечётких правил является основным компонентом нечёткого классификатора. Правила формируются на основе разбитой на кластеры таблицы наблюдений. Одним из самых распространённых подходов к кластеризации является алгоритм К-средние [1]. Генерация базы нечётких правил при использовании кластеризации имеет некоторые недостатки. Один из таких недостатков заключается в том, что объекты разных классов могут быть отнесены к одному кластеру. Такая ситуация может возникать на границах кластеров. Отсутствие объектов разных классов в одном кластере исключает учёт характеристик несоответствующих классов при генерации правила. Возникает задача учёта метки класса при кластеризации.

Эксперимент. Предлагается следующее: поисковое пространство разбивается на группы в зависимости от метки класса. Каждая отдельная группа разбивается на кластеры с помощью алгоритма К-средние.

Проведён эксперимент по генерации базы нечётких правил с помощью алгоритма К-средние и с помощью алгоритма К-средние с предварительной группировкой поискового пространства. Наборы данных были взяты из репозитория KEEL [2] (табл. 1).

Таблица 1

Наборы данных

Назв.	Обознач.	Назв.	Обознач.	Назв.	Обознач.
australian	a	iris	irs	texture	txtr
bands	b	magic	mgc	thyroid	thy
cleveland	c	marketing	mrk	twonorm	tw
dermatology	d	movement_libras	m_l	vehicle	v
heart	hrt	optdigits	o	wdbc	w
hepatitis	hpt	ring	r		
ionosphere	iono	segment	s		

Выполнялся только этап генерации базы нечётких правил, после чего были получены результаты точности классификации. Кластеризация выполнялась в течение 300 итераций. Для каждого набора данных было подобрано оптимальное число кластеров в случае без применения группировки, количество совпадает с количеством итоговых правил. При применении группировки каждая группа разбивалась на 3 кластера. Такое число кластеров выбрано исходя из того, что для

многих групп такое число является оптимальным. Для оценки качества использована десятикратная кросс-валидация.

В табл. 2 К – точности классификации, полученные при генерации базы нечётких правил при использовании К-средние, Г+К – точности классификации, полученные при генерации базы нечётких правил при использовании К-средние с предварительной группировкой поискового пространства, Обучение – результаты классификации, полученные на обучающей выборке, Тест – на тестовой, Количество правил – количества правил, полученные при генерации базы правил.

Средние точности классификации, полученные при классификации на разных наборах данных после генерации базы нечётких правил, приведены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты эксперимента

Название	Обучение, %		Тест, %		Количество правил	
	К	Г+К	К	Г+К	К	Г+К
a	78,45	74,8	58,99	57,97	4	12
b	63,78	60,18	65,1	61,74	9	18
c	56,75	51,93	55,92	46,44	5	45
d	77,55	84,7	75,73	84,31	9	30
hrt	71,69	74,24	70,74	74,44	9	18
hpt	84,31	70,51	82,18	69,89	4	16
i	80,5	77,84	80,33	77,48	4	6
irs	86,67	94,07	96,67	95,33	3	12
mgc	75,71	65,33	75,75	65,54	6	10
mrk	23,5	15,52	23,39	15,8	9	81
m_l	34,54	38,77	32,78	40,83	15	45
o	15,75	47,48	15,96	47,03	10	90
r	77,08	49,8	77,32	49,74	3	18
s	63,63	89,11	63,29	88,79	7	63
txtr	59,45	94,89	58,76	94,51	11	99
thy	92,58	93,36	92,58	93,21	3	27
tw	95,74	95,61	95,66	95,49	3	16
v	47,24	62,16	45,76	60,29	8	24
w	92,13	93,99	92,8	94,55	9	24
Ср. значение	67,21	70,23	66,30	69,13	6,89	34,42

Закключение. Чтобы сравнить рассматриваемые подходы, использован статистический критерий Уилкоксона. В данном эксперименте нулевая гипотеза имеет следующую формулировку: результаты, которые получены при использовании различных подходов к генерации базы нечётких правил имеют несущественные отличия. Альтернативная гипотеза сформулирована следующим образом: результаты,

которые получены при использовании различных подходов к генерации базы нечётких правил, имеют существенные отличия. Уровень значимости выбран равным 0,05. На обучающей выборке значение критерия равно 0,658, на тестовой – 0,717, что означает, что результаты имеют только случайные отклонения. При сравнении количества сгенерированных правил значение критерия $< 0,001$, что означает, что имеются существенные различия. Большое количество правил обусловлено тем, что каждая группа разбивается на 3 кластера. На большинстве наборов данных наибольшая точность получена при генерации базы правил при использовании К-средние с группировкой поискового пространства, что показывает перспективы учёта метки класса при генерации базы нечётких правил. Улучшение точности классификации и уменьшение количества правил в перспективе возможно при применении описанного подхода совместно с гибридным алгоритмом «саранчи» [3].

ЛИТЕРАТУРА

1. Xu R. Cluster / R. Xu, D.C. Wunsch // New Jersey. – Hoboken: John Wiley & Sons, Inc., 2009. – 357 p.
2. KEEL – Knowledge Extraction based on Evolutionary Learning [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.keel.es>, свободный (дата обращения: 1.03.2022).
3. Остапенко Р.О. Формирование базы правил нечёткого классификатора с помощью метаэвристического алгоритма «саранчи» / Р.О. Остапенко, И.А. Ходашинский // Доклады ТУСУР. – 2022. – Т. 25, № 2. – С. 31–36.

УДК 007.52

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ МИКРОТВЕРДОСТИ КЕРАМИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛА С ПОМОЩЬЮ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

А.О. Шабунин, студент каф. КСУП;

Д.Д. Скоробогатов, студент каф. АСУ;

А.Е. Резванова, Б.С. Кудряшов, ИФПМ СО РАН

*Научный руководитель А.Н. Пономарев, доцент каф. КСУП, д.ф.-м.н.
г. Томск, ТУСУР, keruiopl@gmail.com*

Разработана нейросетевая модель для прогнозирования микротвердости композитного материала на основе гидроксипатита с добавлением многоатомных углеродных нанотрубок. Этот материал является оптимальным для замены костной ткани в медицине. Процесс разработки имплантатов длительный и затратный, требующий синтеза множества образцов с различным соотношением компонентов. Для ускорения и удешевления этого процесса необходимо раз-

работать программную модель на основе методов машинного обучения. Данная модель анализирует экспериментальные данные и предсказывает механические характеристики материала в зависимости от его состава. Проведен сравнительный анализ методов линейной, полиномиальной и нейросетевой регрессии, что позволяет определить наиболее эффективный подход к прогнозированию характеристик композитного материала.

Ключевые слова: гидроксипатит, многостенные углеродные нанотрубки, нейронная сеть, твердость, регрессия.

В современной медицине стоит проблема недостаточной твердости имплантатов из гидроксипатита (ГА) по сравнению с естественной костной тканью человека [1]. Для улучшения твердости керамических материалов на основе ГА предлагается добавление многостенных углеродных нанотрубок (МУНТ) в их матрицу [2]. Экспериментальное исследование твердости материалов является долгим и трудозатратным процессом, обусловленным необходимостью многократного повторения измерений в широком диапазоне нагрузок. Целью работы является разработка нейросетевой модели, способной предсказывать значения твердости имплантатов в зависимости от заданной нагрузки. Это поможет оптимизировать исследовательский процесс, упростит подбор состава композитного материала, а также позволит повысить его соответствие требованиям к механическим характеристикам и эффективно применять в медицинской практике.

Нейронная сеть представляет собой совокупность нейронов, связанных между собой. Каждый нейрон получает входные сигналы через входные каналы, проходящие через соединения с определенными весами. Эти веса отражают силу связи между нейронами, а пороговое значение определяет активацию нейрона. Результат активации подвергается функции активации, а полученный выходной сигнал является результатом работы нейрона. Для оптимизации активационных функций нейронной сети используется библиотека Keras. Это позволяет изменять параметры сети, обучать её для различных вариантов параметров и сравнивать модели [3].

Для разработки моделей машинного обучения, предсказывающих значения микротвердости керамических материалов на основе ГА с добавками МУНТ при подаваемой на них нагрузке, был использован датасет, основанный на измерениях микротвердости экспериментальных образцов методом Виккерса при различных нагрузках (100, 200, 300 и 500 грамм-сил). В модель подавались следующие входные данные:

– X: Матрица признаков, состоящая из столбцов 'P' (подаваемая нагрузка) и 'Type_of_samples' (тип образца).

– y: Вектор целевой переменной 'HV' (твердость).

Эксперименты проводились на трех типах образцов: чистом ГА, ГА + 0,5 масс.% МУНТ (1), ГА + 0,5 масс.% МУНТ (2). Серии 1 и 2 отличаются пористостью и разной технологией получения. Измерения характеризовались высоким разбросом, вызванным неоднородностью и пористостью материала, а также погрешностями измерений.

При построении регрессионных моделей использовались различные методы, включая нейронные сети, линейную и полиномиальную регрессию. Для реализации первых двух моделей использовалась библиотека scikit-learn. В нейронной сети была использована полносвязная нейронная сеть, построенная с помощью библиотеки Keras. Модель состоит из трех скрытых слоев:

1. Полносвязный слой с 64 нейронами и функцией активации ReLU (Rectified Linear Unit).
2. Полносвязный слой с 32 нейронами и функцией активации ReLU.
3. Выходной полносвязный слой с одним нейроном (без функции активации, так как задача – регрессии).

Результаты точности моделей представлены в таблице. Среднеквадратичная ошибка рассчитывалась относительно обучающей выборки.

Среднеквадратичная ошибка полученных регрессионных моделей

Регрессионная модель	Среднеквадратичная ошибка
Линейная регрессия	74,28
Полиномиальная регрессия	52,38
Нейронная сеть	49,22

Нейронная сеть показала лучшие результаты по сравнению с классическими методами регрессии. Это позволяет сделать вывод о преимуществе использования нейронных сетей в задаче прогнозирования значений микротвердости керамических материалов. В ходе проведенного исследования была проанализирована прогнозная модель, представленная нейронной сетью. В процессе анализа было обнаружено, что нейронная сеть сталкивается с определенными ограничениями.

Следует отметить, что измерения производились только при нескольких уровнях нагрузки и каждое измерение демонстрировало широкий диапазон значений твердости. В рамках моделирования нейронной сетью для каждого образца и каждого уровня нагрузки выбиралось только одно конкретное значение. При таких условиях становится сложно достичь точных прогнозов значений. Для повышения точности прогнозирования необходимо варьировать параметры

нейронной сети и снижать ошибку разрабатываемых моделей, а также возможно увеличение экспериментальных данных для обучения нейронной сети.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИФПМ СО РАН, номер темы FWRW-2022-0002.

ЛИТЕРАТУРА

1. Urea-hydroxyapatite nanohybrids for slow release of nitrogen / N. Kotegoda, C. Sandaruwan, G. Priyadarshana, A. Siriwardhana, U.A. Rathnayake, D.M. Berugoda Arachchige, A.R. Kumarasinghe, D. Dahanayake, V. Karunaratne, G.A.J. Amaratunga // ACS Nano. – 2017. – Vol. 11. – P. 1214–1221.
2. A novel CO₂ utilization technology for the synergistic Co-production of multi-walled carbon nanotubes and syngas / M.S. Challiwala, H.A. Choudhury, D. Wang, M.M. El-Halwagi, E. Weitz, N.O. Elbashir // Sci. Rep. – 2021. – Vol. 1, No. 11. DOI: 10.1038/s41598-021-80986-2.
3. Amari S.-i. Natural gradient works efficiently in learning // Neural Computation. – 1998. – Vol. 10 (2). – P. 251–276.

УДК 004.852

GPU-ИМПЛЕМЕНТАЦИЯ МЕТАЭВРИСТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА ОПТИМИЗАЦИИ «СТЯЯ ПТИЦ» ДЛЯ НЕЧЕТКОГО АППРОКСИМАТОРА НА ПРИМЕРЕ НАБОРА ДАННЫХ РЕШЕНИЯ ОБРАТНОЙ ЗАДАЧИ КИНЕМАТИКИ РОБОРУКИ

М.О. Светлаков, ассистент каф. КСУП

*Научный руководитель И.А. Ходашинский, проф. каф. КСУП, д.т.н.
г. Томск, ТУСУР, svetlakov.m4@gmail.com*

Изучено применение графических процессоров (GPU) для реализации метаэвристического алгоритма оптимизации «стая птиц» в контексте нечетких систем. Использование GPU позволяет значимо ускорить процесс оптимизации алгоритмом «стая птиц» для обеспечения быстрого действия и масштабируемости при работе с большими объемами данных. Это имеет особое значение в случае решения задачи регрессии на наборе данных, связанном с обратной задачей кинематики для роборуки, так как в наборе данных необходимо охватить наибольшее число точек пространства и положений роборуки.

Ключевые слова: GPU, метаэвристический алгоритм, нечеткие системы, обратная задача кинематики, роборука.

Нечеткие системы. Нечеткие системы представляют собой гибкий и интерпретируемый метод машинного обучения. Данные систе-

мы основаны на правилах, включающих в себя лингвистические термины, которые могут задаваться как на основе данных, так и знаний эксперта, таким образом обеспечивая прозрачное и понятное объяснение процесса принятия решений. Структура на основе правил позволяет оценить степень их активации, а в случае классификатора позволяет оценить степень принадлежности объекта к различным классам, что делает процесс вывода более интерпретируемым. Также достаточно простая структура в виде правил обеспечивает быстрое действие процесса вывода. Упомянутые темы интерпретируемости и быстрого действия методов машинного обучения являются крайне актуальными темой в различных областях, включая управление, медицину, финансы, безопасность и др.

Нечеткие системы состоят из базы продукционных правил, оценивающих значение признаков объекта $\mathbf{x} = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ нечеткими терминами следующего вида [1]:

R_j : ЕСЛИ $p_1 \wedge x_1 = T_{1j}$, И $p_2 \wedge x_2 = T_{2j}$, И \dots , И $p_n \wedge x_n = T_{nj}$, ТО $\text{out} = r_j$, где T_{ij} – нечеткое множество (лингвистический терм), характеризующее i -й признак в правиле R_j , $j = 1, \dots, R$, R – количество правил; r_j – индекс класса j -го правила или вещественное значение; p_i – бинарное значение, полученное в результате отбора признаков.

Метаэвристический алгоритм оптимизации «стая птиц». Метаэвристические алгоритмы оптимизации отличаются от традиционных методов оптимизации, таких как градиентный спуск или методы линейного программирования, тем, что не требуют знания аналитической формы целевой функции. Одним из ключевых преимуществ метаэвристических алгоритмов является их способность к обнаружению глобальных оптимумов в сложных многомерных пространствах поиска. Эти алгоритмы обладают высокой степенью параллелизма и могут эффективно исследовать большие объемы данных. В работе для оптимизации параметров нечеткой системы используется алгоритм «стаи птиц», комбинирующий 4 стратегии поиска решения [2, 3]. Данный алгоритм был реализован с использованием Taichi [4], предметно-ориентированного языка, встроенного в Python. У Taichi есть собственный компилятор, ответственный за обработку кода, декорированного с помощью `@ti.kernel`. Ядра Taichi автоматически распараллеливают `for`-циклы во внешней области видимости. Благодаря этому достигается высокая производительность выполнения кода на самом разном аппаратном обеспечении, в том числе на CPU и на GPU. Основная область вычислений процесса оптимизации, которая может дать прирост скорости обучения, – оценка фитнес-функции популяции оптимизируемых векторов-частиц.

Эксперимент. Для проверки реализации были использованы наборы данных решения задачи регрессии из репозитория keel.es [5]. Эксперимент проводился на вычислительной платформе Google Colab, где предоставляется GPU Tesla T4 (16 GB). Для эксперимента использовались гауссовы функции принадлежности, размер популяции, равный 100, число правил, равное 25, и число итерации, равное 500, правила генерировались на основе кластеризации, результаты приведены в табл. 1. В табл. 2 приведены результаты нечеткого аппроксиматора в случае набора данных решения обратной задачи кинематики роборуки. Данный набор данных был собран на основе симулятора роборуки, включая в себя в качестве входных значений различные комбинации значений углов поворота 6 сочленений роборуки $\mathbf{x} = (x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6)$. В качестве выходных значений используются положения (x, y, z) инструмента (tool position), для каждой координаты строится отдельный аппроксиматор.

Таблица 1

**Результаты нечетких аппроксиматоров
на наборах данных репозитория Keel**

Набор данных	Число признаков	Число образцов	Ускорение процесса обучения на GPU, %
california	8	2 0640	64,04
quake	3	2 178	67,72
Ele-2	4	1 056	66,73
house	16	22 784	64,62
elevators	18	16 599	65,42
tic	85	9 822	64,78
pole	26	14 998	70,29

Таблица 2

**Результаты нечеткого аппроксиматора в случае набора
данных решения обратной задачи кинематики роборуки**

Набор данных	Число образцов	Число признаков	Ускорение процесса обучения на GPU, %
InversKin	83 523	6	60,51

Заключение. Изучено применение графических процессоров (GPU) для реализации метаэвристического алгоритма оптимизации «стая птиц» в контексте нечетких систем. Во всех случаях GPU реализация дает прирост скорости оптимизации алгоритмом «стая птиц», для обеспечения быстродействия и масштабируемости при работе с большими объемами данных. Это имеет особое значение в случае решения задачи регрессии на наборе данных, связанном с обратной задачей кинематики для роборуки, так как в наборе данных необходимо охватить наибольшее число точек пространства и положений роборуки.

Работа выполнена при финансовой поддержке в рамках программы «Приоритет 2030».

ЛИТЕРАТУРА

1. A Fuzzy Classifier with Feature Selection Based on the Gravitational Search Algorithm / M. Bardamova, A. Konev, I. Hodashinsky, A. Shelupanov // *Symmetry*. – 2018. – Vol. 10. – P. 609.
2. Светлаков М.О. Отбор признаков для нечеткого классификатора с использованием метаэвристического алгоритма «bird swarm» // Сборник избранных статей научной сессии ТУСУР. – 2021. – № 1. – С. 230–233.
3. Meng X.-B. et al. A new bio-inspired optimisation algorithm: Bird Swarm Algorithm // *Journal of Experimental & Theoretical Artificial Intelligence*. – 2015. – Vol. 28, No. 4. – P. 673–687.
4. Hu Y. et al. Taichi // *ACM Trans. Graph.* – 2019. – Vol. 38, No. 6. – P. 1–16.
5. Alcalá-Fdez J. et al. KEEL: a software tool to assess evolutionary algorithms for data mining problems // *Soft Comput.* – 2008. – Vol. 13, No. 3. – P. 307–318.

УДК 004.852

GPU-ИМПЛЕМЕНТАЦИЯ МОДИФИКАЦИИ ALMMO1 СИСТЕМЫ ТИПА АНГЕЛОВА–ЯГЕРА ДЛЯ ПОТОКОВЫХ ДАННЫХ

М.О. Светлаков, ассистент каф. КСУП

*Научный руководитель И.А. Ходашинский, проф. каф. КСУП, д.т.н.
г. Томск, ТУСУР, svetlakov.m4@gmail.com*

Изучено применение графических процессоров (GPU) для имплементации модификации системы Ангелова–Ягера ALMMo1. Использование GPU позволяет ускорить процесс обработки алгоритмом входящих образцов потоковых данных, уменьшая задержку работы системы для обеспечения быстродействия и масштабируемости.

Ключевые слова: GPU, ALMMo1, системы Ангелова–Ягера, потоковые данные, машинное обучение.

ALMMo1. Модификация системы типа Ангелова–Ягера (AnYa) [1] – система ALMMo1, предложенная в работе [2], использует принципы и механизмы вычислительного фреймворка Empirical Data Analytics (EDA), представленного в работах [3, 4]. ALMMo1 отличается от существующих методов и схем следующим:

1) ALMMo1 использует непараметрические EDA-характеристики – *плотность* и *типичность* данных для раскрытия базовой структуры потоковых данных;

2) структура системы состоит из облаков данных и самообновляющихся выходных локальных моделей, определяемых на основе данных;

3) ALMMo1 также определяет унимодальную функцию принадлежности на основе плотности, разработанную в рамках EDA для системы типа AnYa;

4) данная система может работать как с категориальными, так и непрерывными значениями.

Механизм структурной эволюции и механизм онлайн-мониторинга качества облаков данных системы ALMMo в значительной степени повышает способность справляться со сдвигами и/или дрейфами в структуре потоковых данных.

Пакет Taichi. Алгоритм был реализован с использованием Taichi [5], предметно-ориентированного языка, встроенного в Python. У Taichi есть собственный компилятор, ответственный за обработку кода, декорированного с помощью `@ti.kernel`. Ядра Taichi автоматически распараллеливают `for`-циклы во внешней области видимости. Благодаря этому достигается высокая производительность выполнения кода на самом разном аппаратном обеспечении, в том числе на CPU и на GPU. В отличие от традиционных фреймворков глубокого обучения, где операторы представляют собой простые математические выражения и должны быть объединены на уровне графов для достижения более высокой интенсивности арифметических операций, императивная парадигма Taichi позволяет легко записать большой объем вычислений в одном ядре – мега-ядре. Еще одно преимущество использования Taichi – возможность квантования вычислений (ускорения путем уменьшения битности вычислений и использования специфичных аппаратных инструкций).

Эксперимент. Для проверки реализации были использованы наборы данных решения задачи регрессии из репозитория `keel.es` [6]. Данные наборы интерпретировались как наборы потоковых данных, набор данных перемещивался и обрабатывался в случайном порядке по одному образцу. Эксперимент проводился на вычислительной платформе Google Colab, где предоставляется GPU Tesla T4 (16 GB). Результаты приведены в таблице.

Заключение. Изучено применение графических процессоров (GPU) для имплементации модификации системы Ангелова–Ягера ALMMo1. Использование GPU позволяет ускорить процесс обработки алгоритмом входящих образцов потоковых данных, уменьшая задержку работы системы для обеспечения быстродействия и масштабируемости.

Результаты системы ALMMo1 на наборах данных репозитория Keel

Набор данных	Число признаков	Число образцов	Ускорение процесса обучения на GPU, %
california	8	20 640	3,86
quake	3	2 178	3,72
Ele-2	4	1 056	1,73
house	16	22 784	4,72
elevators	18	16 599	4,06
tic	85	9 822	14,78
pole	26	14 998	10,39

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ, грант № 24-21-00168.

ЛИТЕРАТУРА

1. Angelov P. A new type of simplified fuzzy rule-based system / P. Angelov, R. Yager // International Journal of General Systems. – 2012. – Vol. 41, No. 2. – P. 163–185.
2. Angelov P.P. Autonomous Learning Multimodel Systems From Data Streams / P.P. Angelov, X. Gu, J. Principe // IEEE Trans. Fuzzy Syst. – 2018. – Vol. 26, No. 4. – P. 2213–2224.
3. Angelov P.P. Empirical Fuzzy Sets / P.P. Angelov, X. Gu // Int. J. Intell. Syst. – 2017. – Vol. 33, No. 2. – P. 362–395.
4. Angelov P. Empirical Data Analytics / P.P. Angelov, X. Gu, D. Kangin // Int. J. Intell. Syst. – 2017. – Vol. 32, No. 12. – P. 1261–1284.
5. Hu Y. et al. Taichi // ACM Trans. Graph. – 2019. – Vol. 38, No. 6. – P. 1–16.
6. Alcalá-Fdez J. et al. KEEL: a software tool to assess evolutionary algorithms for data mining problems // Soft Comput. – 2008. – Vol. 13, No. 3. – P. 307–318.

УДК 621.039.5

ГЕНЕТИЧЕСКИЙ АЛГОРИТМ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ПРОЦЕССА ПРОФИЛИРОВАНИЯ АКТИВНОЙ ЗОНЫ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО ЯДЕРНОГО РЕАКТОРА

Н.В. Смольников, аспирант ОЯТЦ

Научный руководитель А.Г. Наймушин, доцент ОЯТЦ, к.ф.-м.н.

г. Томск, НИ ТПУ, nvs38@tpu.ru

Представлен подход к оптимизации процесса профилирования энерговыделения в активной зоне исследовательского ядерного реактора на основе оптимизационного генетического алгоритма.

Ключевые слова: генетический алгоритм, оптимизация, реактор ИРТ-Т, профилирование активной зоны.

Исследовательские ядерные реакторы (ИЯУ) имеют малые размеры активной зоны и обладают большой утечкой нейтронного излучения, что делает такие установки ключевыми инструментами в проведении фундаментальных и прикладных исследований. Однако ввиду малых геометрических размеров и небольшого количества тепловыделяющих сборок (ТВС) такие активные зоны имеют сложную гетерогенную структуру и высокую плотность потока тепла с поверхности тепловыделяющих элементов, что является причиной формирования локальных участков с высокой неравномерностью энерговыделения.

Исследовательский ядерный реактор ИРТ-Т (г. Томск) – реактор бассейнового типа тепловой мощностью 6 МВт, эксплуатируется в режиме частичных перегрузок, что приводит к перераспределению энерговыделения по ТВС от одной топливной компании к другой. Несмотря на то, что эксплуатация реактора сопровождается расчетным моделированием, в прецизионном программном средстве (ПС) MCU-PTR отсутствует возможность систематизации процесса профилирования энерговыделения ввиду многообразия распределения выгорания топлива в активной зоне.

Для оптимизации существующего процесса профилирования, основанного на предположениях о возможном повышении равномерности распределения энерговыделения, предложен генетический алгоритм поиска на основе механизмов наследования, мутации, скрещивания и отбора. В этом случае, информация о нейтронно-физических характеристиках активной зоны кодируется в виде вектора генов (генотип) с фиксированной длиной.

В рамках поставленной задачи генотип включал в себя распределение глубины выгорания топлива, энерговыделения в каждой топливной ячейке, запас реактивности реактора. Параметры каждого генотипа определяются с помощью ранее сформированных ансамблей моделей, предназначенных для прогнозирования нейтронно-физических параметров активной зоны на основе картограммы топливной загрузки.

Оценка рейтинга генотипа осуществляется с помощью разработанной функции многообъектной «приспособленности», принимающей значение в диапазоне от 0 до 1:

$$F(x) = f_1(x) + f_2(x) + \frac{1}{f_3(x)} + \frac{1}{f_4(x)}, \quad (1)$$

где $F(x)$ – функция приспособленности генотипа; $f_1(x)$ – функция максимизации запаса реактивности реактора; $f_2(x)$ – функция максимизации симметрии ТВС; $f_3(x)$ – функция минимизации энергонапряжен-

ности ТВС; $f_4(x)$ – функция минимизации неравномерности между секторами активной зоны.

Каждая из локальных функций оптимизации имеет свои ограничения на диапазон изменения переменных, что позволяет отбирать только те топливные компоновки, которые имеют наивысшее значения функции «приспособленности», а также удовлетворяют установленным пределам.

Таким образом, процесс поиска решения представляет собой цикл, который начинается с формирования исходного поколения с фиксированным числом генотипов. Далее генотипы претерпевают изменения путем скрещивания, мутации, что является источником генерации новых компоновок, для которых происходит оценка «приспособленности». В конце каждого цикла осуществляется отбор генотипов в зависимости от их рейтинга. Как результат формируются топливные картограммы, которые удовлетворяют задаче (1) и классифицируются как оптимальные решения.

Тестирование алгоритма в задачах профилирования производилось на основе реальных топливных загрузок. В таблице представлен результат использования алгоритма. Значение коэффициента «приспособленности» для изначальной топливной загрузки был равен 0,81. Размер популяции имел фиксированный размер и составлял 100 генотипов.

Пример оптимизации топливной загрузки

Глубина выгорания топлива, %				
До оптимизации				
№ ячейки*	6	5	4	3
7	54,17	12,02	15,16	25,11
6	6,99	35,13	58,17	0
5	37,47	Be	Be	45,07
4	48,37	Be	Be	44,65
3	6,9	53,58	34,6	0
2	52,98	17,04	12,98	24,22
После оптимизации				
№ ячейки*	6	5	4	3
7	17,04	25,11	15,16	54,17
6	6,99	35,13	58,17	0
5	37,47	Be	Be	45,07
4	48,37	Be	Be	44,65
3	6,9	53,58	34,6	0
2	12,98	12,02	24,22	52,98

* Нумерация ячеек имеет вид: 7-6, где 7 – номер по вертикали, 6 – номер по горизонтали.

По результатам ряда итерационных тестов было установлено, что алгоритм способен осуществлять поиск возможных решений и отбирать оптимальные состояния. Коэффициент «приспособленности» предложенной компоновки составил 0.93. Найденное решение незначительно отличается от компоновки, которая была выбрана на основе моделирования в ПС MCU-PTR, что позволяет судить о применимости алгоритма для задач оптимизации топливной загрузки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Bae I.H. Calculation of the power peaking factor in a nuclear reactor using support vector regression models // Annals of Nuclear Energy. – 2008. – Vol. 35(12). – P. 2200–2205. – <https://doi.org/10.1016/j.anucene.2008.09.004>
2. Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика. – М.: Высш. шк., 1999. – 479 p.
3. Паклин Н. Бизнес-аналитика: от данных к знаниям: учеб. пособие. – СПб.: Питер, 2013. – 704 с.
4. Chiang L.H. Genetic algorithms combined with discriminant analysis for key variable identification / L.H. Chiang, R.J. Pell // Journal of Process Control. – 2004. – Vol. 14, Iss. 2. – P. 143–155. Elsevier BV. [https://doi.org/10.1016/s0959-1524\(03\)00029-5](https://doi.org/10.1016/s0959-1524(03)00029-5).

УДК 004.032.26

АНАЛИЗ СТАТУСА ГЕНЕРАЦИИ ОПИСАНИЙ ТОВАРОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ НА КИТАЙСКОМ И РУССКОМ ЯЗЫКАХ

*Юаньюань Чжан, аспирантка каф. теоретических основ
информатики ТГУ*

*Научный руководитель В.Г. Спицын, д.т.н., проф.
каф. теоретических основ информатики
г. Томск, НИ ТГУ, vl.gr.sp@gmail.com*

Проанализированы экономические обмены и связи между Китаем и Россией. Они значительно расширились, и количество трансграничных транзакций между двумя странами существенно увеличилось. Существующая модель связей и обмена не может удовлетворить спрос.

Ключевые слова: нейронная сеть, описание продукта.

В настоящее время веб-сайты электронной коммерции и поисковые системы контролируют основные источники трафика электронной коммерции, и вопрос о том, как быстро и точно создать высококачественный контент страницы с подробной информацией о продукте, стал огромной проблемой. Традиционные методы ручного редактирования больше не могут удовлетворять потребностям такого мас-

штаба, поэтому необходимо использовать передовые технические средства, такие как искусственный интеллект, большие данные и т.д., чтобы реализовать автоматическую генерацию содержимого страницы с подробной информацией о продукте.

Трудности. Между китайским и русским языками существует большое различие. По этой причине описания товаров, составленные продавцами в двух странах в соответствии с их собственными привычками, зачастую семантически непонятны покупателям в другой стране. Существуют большие различия в группах потребителей, потребительской культуре и рыночной среде, с которыми сталкиваются трансграничные транзакции электронной коммерции между Китаем и Россией [1]. Это не способствует созданию благоприятной рыночной среды для трансграничной электронной коммерции, особенно из-за культурных различий. Например, онлайн-магазин «TradeEase-товары из Китая» не добился успеха из-за плохой коренизации в России.

Следовательно, необходима локализованная модель генерации описания продукта, чтобы китайцы могли вводить название продукта и характеристики для генерации описания продукта, семантически понятного российскому потребителю, и наоборот.

Существующие методы. На данный момент существует несколько аналогичных приложений и сервисов, которые могут генерировать описания продуктов на нескольких языках. Эти приложения обычно основаны на технологиях обработки естественного языка и машинного перевода. Некоторые возможные продукты и услуги включают:

1. *Инструменты машинного перевода.* Например, Google предоставляет программный интерфейс перевода, который позволяет разработчикам интегрировать его в свои собственные приложения, что позволяет создавать двуязычные описания продуктов.

2. *Инструменты генерации естественного языка (NLG).* Например, разработчики могут использовать такие модели, как ChatGPT, для создания пользовательских инструментов генерации описаний продуктов, поддерживающих многоязычные описания [2].

3. *Подключаемые модули платформы электронной коммерции.* Некоторые платформы электронной коммерции и системы управления контентом (CMS) предоставляют подключаемые модули или расширения, которые могут помочь онлайн-продавцам создавать многоязычные описания товаров, например Aliexpress.

4. *Платформа обработки естественного языка.* Некоторые поставщики облачных услуг (такие, как AWS, Azure, Alibaba Cloud) могут предоставлять услуги обработки естественного языка, включая перевод и генерацию.

Качество и эксплуатационные характеристики этих продуктов и услуг могут варьироваться от поставщика к поставщику и от технологии к технологии.

Существующие алгоритмы:

1. Seq2Seq. Генерация текста основана на глубоком обучении, обычно используется модель Seq2Seq (кодер-декодер).

2. LSTM. Основная идея характеризуется накоплением распределения вероятностей, и когда накопленное значение превышает установленное пороговое значение p , последующая вероятность устанавливается равной 0.

3. M2M-100. M2M-100, выпущенный Facebook, представляет собой модель многоязычного поколения с возможностью работы более чем на 100 языках. Модель можно использовать для задач генерации многоязычного текста, включая краткое изложение текста, перевод, генерацию диалогов и т.д. [3].

4. CLIP. Основным принципом CLIP является сравнительное обучение, которое позволяет модели научиться различать положительные и отрицательные образцы. Text encoder – это модель на основе трансформера, поэтому описание продукта может быть улучшено на основе отзывов о продукте.

Заключение. Существуют две основные идеи текущей модели генерации описания продукта. Первая заключается в том, что переводчик переводит описание продукта, сгенерированное на языке ввода пользователем, на язык поставщика продукта. Недостатком этого метода является то, что сгенерированное переводчиком описание продукта не соответствует действительности и культурному фону изучаемого языка. Другой способ заключается в использовании общей модели генерации текста. Недостатком этого метода является то, что при отсутствии базы данных описания конкретного продукта качество сгенерированного описания продукта очень низкое.

ЛИТЕРАТУРА

1. 一带一路”背景下中俄跨境电商发展的 机遇、挑战与对策 / 姜岩, 郭连成, 刘慧//欧亚经济 (Возможности, вызовы и контрмеры для развития трансграничной электронной торговли между Китаем и Россией в контексте «Пояса и пути») / Цзян Янь, Го Ляньчэн, Лю Хуэй // Евразийская экономика. – 2021. – № 4. – С. 102–124.

2. Онлайн-генератор описаний товаров нейросетью (ИИ) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://tools.pixelplus.ru/optimization/onlayn-generator-opisaniy-tovarov> (дата обращения: 10.03.2024).

3. M2M-100: 多语言翻译模型 (Модель многоязыкового перевода) // Johnson7788 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://zhuanlan.zhihu.com/p/368226087>, свободный (дата обращения: 03.03.2024).

СБОР НАБОРА ДАННЫХ ДЛЯ ЗАДАЧИ ПРОДЛЁННОЙ АУТЕНТИФИКАЦИИ ПО ДИНАМИКЕ ДВИЖЕНИЯ ЗРАЧКОВ

С.А. Давыденко, аспирант каф. КИБЭВС

г. Томск, ТУСУР, sergun_dav@mail.ru

Выполнен сбор набора данных для выполнения продлённой аутентификации по динамике движения зрачков. Составлен список заданий для выполнения пользователями, собраны данные о движении взгляда, выделены ключевые особенности каждого из пользователей.

Ключевые слова: продлённая аутентификация, биометрия, динамика движения зрачков.

Продлённая аутентификация позволяет выполнять проверку личности пользователя не только при входе в систему, но и в течение всего сеанса. Для того чтобы выполнять такую аутентификацию, необходимо предварительно создать модель поведения пользователя при работе с повседневными задачами. Целью данной работы является сбор набора данных, позволяющего создать модель для продлённой аутентификации по динамике движения зрачков.

В большинстве случаев для сбора данных о взгляде человека на экран исследователи обращаются к помощи специализированных устройств для отслеживания траектории движения глаз. В случае отсутствия такого устройства альтернативой могут выступать веб-камера и специальные программы. GazePointer – программа, позволяющая управлять курсором при помощи взгляда. Перед использованием необходимо выполнить инициализацию головы человека и откалибровать взгляд с помощью точек на белом фоне [1–4]. После этого на экране с помощью специального указателя будет отображаться предполагаемая точка, на которую смотрит человек, или же можно выбрать режим управления курсором. Пример работы программы показан на рис. 1.



Рис. 1. Работа GazePointer

Для сохранения данных о перемещении курсора была создана программа на языке C#, после нажатия кнопки в файл с шагом 1 мс записываются координаты X и Y (получаются через метод `Cursor.Position`) и Unix время.

Для итогового эксперимента было собрано 9 человек возрастом от 13 до 22 лет: 3 с голубыми глазами, 3 с зелёными и 3 с карими, 4 мужчины и 5 женщин. После калибровки `GazePointer` на пользователя, его просили выполнить три задания: чтение [1–4] отрывка из поэмы «Охота на Снарка» Льюиса Кэрролла в течение полутора минут; просмотр слайд-шоу [4] в течение 1 мин 35 с с переключением фото раз в 5 с (при подборе изображений на просмотр учитывалась яркость картинок, поскольку она напрямую влияет на ширину зрачка); просмотр научно-популярного видеоролика на YouTube-канале `Vsause` длиной 7 мин 13 с (разрешение ролика: 720 p, также у него были включены субтитры на русском языке).

Перед тем как перейти к вычислению необходимых параметров, необходимо выполнить предварительную обработку данных:

1. Перейти к формату времени, в котором эксперимент начинается с 0 с.
2. С помощью разностей расстояний и времени вычислить скорости по координатам X и Y , а также общую скорость.
3. С помощью разностей скоростей и времени вычислить ускорение по координатам X и Y , а также общее ускорение.
4. С помощью разностей ускорений и времени вычислить рывок по координатам X и Y , а также общий рывок.

После того как выполнена предварительная обработка, необходимо приступить непосредственно к вычислению признаков. Поскольку расчёты признаков выполняются в пределах временного окна, необходимо создать отдельную таблицу, содержащую данные в этом временном промежутке. После этого можно приступать к вычислению значений признаков и добавлять их в список.

Для расчётов стандартных отклонений средних значений различных характеристик использовалась библиотека `numpy`, для расчёта локальных экстремумов – функция `argrelextrema()` из библиотеки `scipy`.

Также как признаки были рассчитаны: количество значений тангенсов в соответствующем октанте окружности и затем разделено на общее количество наблюдений в периоде (соответственно, на количество записей во временном окне), отношение количества разностей тангенсов в разных четвертях окружности к общему количеству наблюдений в периоде, отношение разности максимального и минимального значения к рабочей области координаты X .

Путём экспериментов было выяснено, что рабочая область варьируется от координат (0;0) до (1535;863), поэтому деление выполнялось именно на это число. Также для получения признаков выполнялось деление длины фрагмента с определённым условием (например, скорость по координате X меньше нуля) на общую длину окна. Следует отметить, что при расчёте значений некоторых признаков может возникнуть ситуация, в которой при использовании формулы требуется делить на ноль.

Практика показывает, что, как правило, такие ситуации возникают, когда не происходило движения по одной из координат (а именно такие случаи и вызывают деление на ноль). Поскольку в дальнейшем для классификации значения признаков должны быть выражены численно, было принято решение о замене 0 (в случае попытки деления на него) на очень маленькое число, что позволит получить результаты, отражающие характерные всплески значений и при этом избежать от бесконечностей.

После того как все признаки рассчитаны и внесены в список, в него также добавляется класс рассматриваемого пользователя (это поможет в дальнейшем выполнять преобразования набора данных для изменения номинальной классификации на бинарную классификацию). Затем итоговый список вносится в таблицу признаков, список очищается, цикл начинается заново до тех пор, пока не будет выполнен расчёт признаков для каждого окна.

Заключение. В результате данной работы был сформирован набор данных для продлённой аутентификации по динамике движения зрачков. Набор данных был составлен для 9 пользователей, для каждого пользователя выделяется 40 признаков.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках базовой части государственного задания ТУСУРа на 2023–2025 гг. (проект № FEWM-2023-0015).

ЛИТЕРАТУРА

1. Eberz S. et al. 28 blinks later: Tackling practical challenges of eye movement biometrics // Proceedings of the 2019 ACM SIGSAC Conference on Computer and Communications Security. – 2019. – P. 1187–1199.
2. George A. A score level fusion method for eye movement biometrics / A. George, A. Routray // Pattern Recognition Letters. – 2016. – Vol. 82. – P. 207–215.
3. Griffith H. et al. GazeBase, a large-scale, multi-stimulus, longitudinal eye movement dataset // Scientific Data. – 2021. – Vol. 8, No. 1. – P. 184.
4. Eberz S. et al. Evaluating behavioral biometrics for continuous authentication: Challenges and metrics // Proceedings of the 2017 ACM on Asia conference on computer and communications security. – 2017. – P. 386–399.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ УСТНОЙ РЕЧИ И НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОСТОЯНИЯ АЛКОГОЛЬНОГО ОПЬЯНЕНИЯ

П.Ю. Лаптев, С.А. Литовкин, техники ЦК НТИ

«Технологии доверенного взаимодействия», ИСИБ

*Научный руководитель Е.Ю. Костюченко, доцент каф. КИБЭВС, к.т.н.
г. Томск, ТУСУР, pavel.laptev.87@gmail.com*

Описывается процесс создания анализатора устной речи на основе искусственной нейронной сети VGG16 для решения задачи определения состояния алкогольного опьянения. Результатом работы стал построенный и обученный анализатор, имеющий показатели по метрикам F-меры и UAR равными 0,82 и 0,81 при 10-кратной кросс-валидации.

Ключевые слова: искусственный интеллект, нейронные сети, VGG16, анализ речи.

В данной работе использовался собственный набор данных, состоящий из 340 аудиозаписей (поAug) [1]. Также набор данных был искусственно увеличен с помощью замедления и ускорения записей на 10%, вследствие чего размер набора данных стал равным 1 020 аудиозаписей (Aug).

Из используемого набора данных была отобрана специальная тестовая выборка (Orig), а также на основе этой тестовой выборки создана дополнительная тестовая выборка путём изменения тона записей (Pitch). В каждой из тестовых выборок находится 60 аудиозаписей, по 30 на каждое из состояний. Повышение тона производилось вручную с помощью специального ПО для обработки аудио Audacity. Все аудиозаписи, что использовались в тестовой выборке, не имели агентированного аналога в обучающей выборке для гарантии независимости данных. Также стоит отметить, что в тестовых выборках присутствуют записи от каждого из дикторов, для оценивания качества распознавания по каждому из них.

Соотношения дикторов в наборе данных представлено на рис. 1.

В качестве анализатора использовалась искусственная нейронная сеть глубокого обучения VGG16 [2] с собственными полносвязными слоями для выявления состояния диктора. Всего было обучено 12 вариаций модели нейронной сети в соответствии с разнообразием входных данных: спектрограммы (Spects), мел-кепстральные коэффициенты (MFCC), мел-спектрограммы (Mel-spects). Каждый из вида входных данных был создан в двух вариациях размера – 256×256 и

512×512 пикселей, а также как на основе исходного набора данных, так и на основе искусственно расширенного набора данных. Обучение моделей происходило на протяжении 200 эпох с использованием адаптивного градиентного оптимизатора Adagrad и функцией потерь среднеквадратической ошибки (MSE), для определения состояния опьянения в диапазоне от 0 до 1.

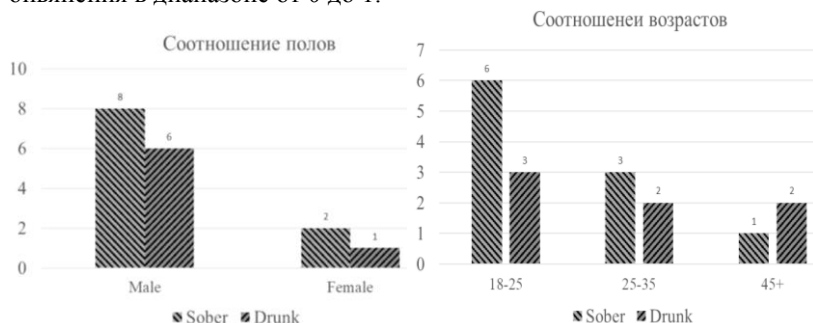


Рис. 1. Соотношения полов и возрастов дикторов

По результатам тестирования моделей на тестовых выборках было выявлено, что наименьшими показателями MSE для состояния алкогольного опьянения, а также одними из лучших показателей метрик F-меры и UAR, равными соответственно 0,74 и 0,79, обладает модель, обученная на мел-спектрограммах размера 512×512 расширенного набора данных.

Помимо тестирования на специальной выборке, также была проведена 10-кратная кросс-валидация для каждой модели, результаты которой показаны в таблице.

Результаты 10-кратной кросс-валидации

			MSE			F-мера	UAR	
			Test-GT	Sober-GT	Drunk-GT			
Specs	256×256	noAug	0,1473	0,1374	0,1613	0,78	0,79	
		Aug	0,1283	0,1045	0,1563	0,82	0,80	
	512×512	noAug	0,2358	0,1214	0,1947	0,79	0,82	
		Aug	0,1378	0,1147	0,1707	0,82	0,83	
MFCC	256×256	noAug	0,2142	0,1850	0,2560	0,65	0,70	
		Aug	0,1664	0,1303	0,2178	0,77	0,77	
	512×512	noAug	0,2898	0,1627	0,3719	0,62	0,68	
		Aug	0,2031	0,1481	0,2816	0,74	0,75	
	Mel-spects	256×256	noAug	0,1541	0,1209	0,2015	0,76	0,77
			Aug	0,1532	0,1260	0,2066	0,77	0,79
512×512		noAug	0,1247	0,1061	0,1513	0,79	0,79	
		Aug	0,1550	0,1748	0,1560	0,81	0,82	

Лучшими результатами обладают две модели – обученные на спектрограммах и мел-спектрограммах размера 512×512 расширенного набор данных. При этом при проверке с помощью теста Манна-Уитни не было выявлено статистической значимости между результатами кросс-валидации данных моделей, а, следовательно, предпочтение было отдано модели, обученной на мел-спектрограммах, поскольку значение MSE для состояния алкогольного опьянения является одним из самых наименьших, как и показатели метрик F-меры и UAR являются одними из самых лучших. Такой выбор может гарантировать наименьшую вероятность возникновения ошибок второго рода, а также высокую точность анализа речи.

При сравнении полученных результатов с другими работами в данной области было выявлено, что обученная модель превосходит точность определения алкогольного состояния модели ADLAIА [3] на 0,15 по метрике UAR.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Минобрнауки России, госзаказ на 2023–2025 гг., проект № FEWM-2023-0015 (ТУСУР).

ЛИТЕРАТУРА

1. Лаптев П.Ю. Определение состояния алкогольного опьянения с помощью искусственного интеллекта на основании устной речи / П.Ю. Лаптев, С.А. Литовкин // Сб. избр. статей «Научной сессии ТУСУР–2023». – Томск: ТУСУР, В-Спектр (ИП В.М. Бочкарева), 2023. – Ч. 2. – С. 192–195.
2. Jiang Z.P. et al. An improved VGG16 model for pneumonia image classification // Applied Sciences. – 2021. – Vol. 11, No. 23. – P. 11185.
3. Bonela A.A. et al. Audio-based Deep Learning Algorithm to Identify Alcohol Inebriation (ADLAIА) // Alcohol. – 2023. – Vol. 109. – P. 49–54.

ПОДСЕКЦИЯ 3.5

МОЛОДЕЖНЫЕ ИННОВАЦИОННЫЕ НАУЧНЫЕ И НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ПРОЕКТЫ

Председатель – Костина М.А., доцент каф. УИ, к.т.н.;
зам. председателя – Нариманова Г.Н., зав. каф. УИ,
декан ФИТ, к.ф.-м.н.

УДК 53.087.9

СОЗДАНИЕ ПРОТОТИПА ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА РОБОТОТЕХНИЧЕСКОЙ СЕНСОРИКИ

С.О. Рубцов, К.В. Матвеев, студенты каф. УИ

Научный руководитель М.Е. Антипин, доцент каф. УИ, к.ф.-м.н.
Проект ГПО УИ-2005. Разработка учебной лаборатории
робототехнической сенсорики
г. Томск, ТУСУР, setarimov@gmail.com

Представлен процесс создания прототипа лабораторного стенда робототехнической сенсорики для студенческого группового проекта с использованием компьютерного моделирования и аддитивных технологий. Созданный в кратчайшие сроки прототип позволил проверить кинематику лабораторного стенда.

Ключевые слова: компьютерное моделирование, аддитивные технологии, робототехника, датчики.

Для тестирования и подтверждения концепций при разработке инновационных проектов зачастую необходимо создание прототипов конечных изделий. Особенно актуальна эта проблема при разработке проектов в условиях ограниченных ресурсов и времени. Для решения данной проблемы при разработке стенда робототехнической сенсорики и использованы компьютерное моделирование, станки с ЧПУ и аддитивные технологии [1].

Далее представлены процесс и результаты изготовления деталей по предварительно созданной цифровой модели лабораторного стенда робототехнической сенсорики, показанной на рис. 1.

Изготовление деталей. Создание деталей производилось по ранее смоделированной модели стенда.

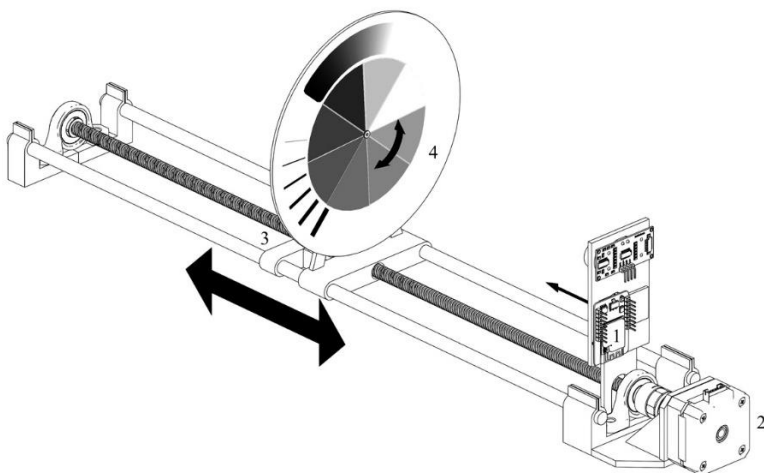


Рис. 1. Предварительно разработанная 3D-модель станда

В силу большой длительности 3D-печати, для уменьшения времени на создание деталей они были разделены на две группы:

1. Объёмные – пригодные для изготовления на 3D-принтере.
2. Планарные – плоские, пригодные для изготовления на лазерном станке.

На рис. 2 показан процесс конвертации моделей деталей в файл инструкций для 3D-принтера в программе UltiMaker Cura [2]. В дальнейшем преобразованные файлы загружаются на 3D-принтер для печати.

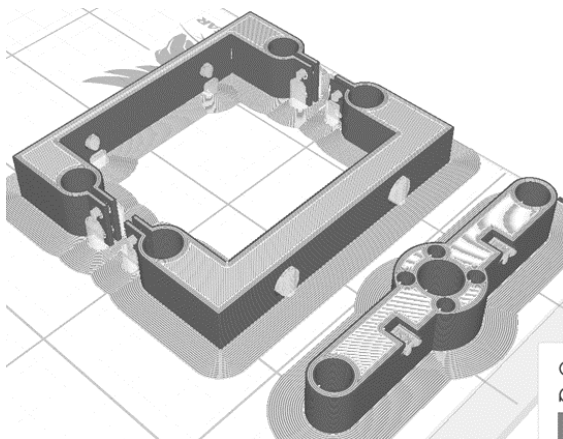


Рис. 2. Процесс разбиения детали на слои

Планарные детали были преобразованы в чертежный формат DXF и вырезаны из фанеры на станке для лазерной резки.

Сборка прототипа. Полученные детали были собраны в прототип стенда вместе с ходовым винтом, шаговым двигателем и драйвером для управления. Испытания полученного прототипа показали, что конструкция успешно преобразует вращательное движение двигателя в линейное перемещение каретки, необходимое для выполнения лабораторных работ на будущем стенде. Также в ходе сборки выявлены недостатки в конструкции держателей металлических стержней, обеспечивающих линейное перемещение каретки. Полученный прототип показан на рис. 3.

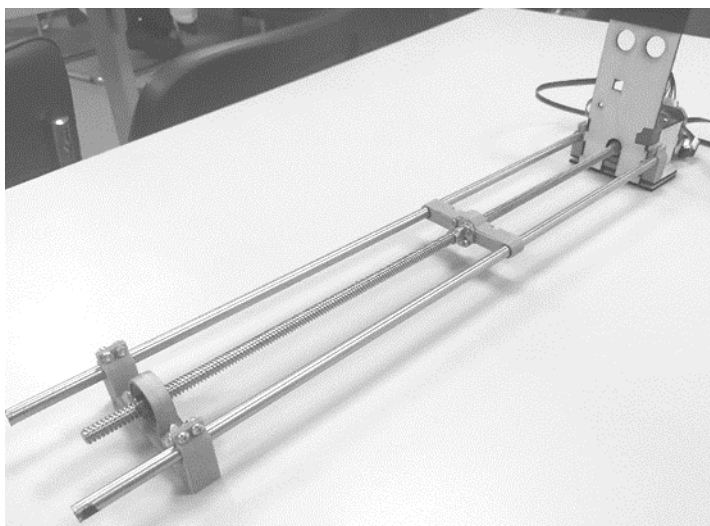


Рис. 3. Собраный прототип стенда

Заключение. Использование компьютерного моделирования и аддитивных технологий позволило в кратчайшие сроки собрать прототип стенда робототехнической сенсорики в рамках проекта ГПО, выявить несущественные недостатки и успешно испытать его кинематику.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бугаев И.В. Роль компьютерного моделирования в аддитивных технологиях // МНИЖ. – СПб., 2016. – № 5. – С. 64–66.
2. Сбоева И.А. Техпроцесс 3D-печати / И.А. Сбоева, Ю.Н. Бородин // StudNet. – 2021. – № 1 [Электронный ресурс]. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/tehprotsess-3d-pechatii> (дата обращения: 10.03.2024).

РАЗРАБОТКА И ВНЕДРЕНИЕ СИСТЕМЫ МОТИВАЦИИ УЧЕНИКОВ В ДЕТСКОЙ ШКОЛЕ ПРОГРАММИРОВАНИЯ RUBIUS ACADEMY JUNIOR

М.А. Вершинин, студент каф. УИ

*Научный руководитель Н.Н. Арцемович, ст. преп. каф. УИ
г. Томск, ТУСУР, wolker2015@gmail.com*

Рассматривается разработка системы мотивации учеников детской школы программирования Rubius Academy Junior с использованием внутренней валюты RubiCoin для поощрения их активности и успеваемости.

Ключевые слова: система мотивации, образовательные технологии, обучение программированию, внутренняя валюта, детская школа программирования, веб-приложение.

В современном образовательном процессе большую роль играет мотивация учеников к обучению [1], особенно в сложной и динамично развивающейся сфере программирования. С появлением новых технологий и методик обучения возникает потребность в инновационных подходах к мотивации учащихся [2]. В этом контексте школа программирования Rubius Academy Junior предприняла шаги по разработке и внедрению системы мотивации учеников с использованием игровых элементов и внутренней валюты RubiCoin.

Цель разработки и внедрения данной системы мотивации заключается в создании среды, которая стимулирует учебный интерес и вовлеченность учеников через применение игровых механик [3] и виртуальной валюты.

Задачи системы основаны на повышении мотивации к обучению путем наград за достижения и активное участие в учебных проектах, а также на формировании положительного отношения к программированию. Система технически реализована в виде веб-приложения [4] и предназначена для автоматизации процесса начисления внутренней валюты и облегчения обмена наград, что делает обучение интерактивным и эффективным.

Система строится на начислении внутренней валюты (RubiCoin) за разнообразные достижения учеников. Это включает успешное выполнение учебных заданий, активное участие в проектах, посещаемость и взаимодействие в школьной жизни. RubiCoins могут быть использованы для получения внутренней атрибутики, специальных курсов, полезных гаджетов или партнерской продукции (рис. 1).

Механизм работы системы подразумевает автоматическое начисление валюты через веб-платформу, где каждое действие имеет свой эквивалент в RubiCoins и базируется на следующих принципах:

1. Начисление RubiCoins за:
 - посещение занятий: [5 RubiCoins];
 - выполнение домашних заданий: [5–10 RubiCoins];
 - защиту промежуточных проектов: [10–20 RubiCoins];
 - ответы на вопросы во время урока: [1–5 RubiCoin];
 - помощь одноклассникам: [2 RubiCoin].
2. Использование и обмен RubiCoins на:
 - внутреннюю атрибутику школы: [20–400 RubiCoins];
 - доступ к специальным курсам: [100–300 RubiCoins];
 - партнерские продукты: [20–250 RubiCoins];
 - полезные гаджеты: [50–500 RubiCoins].

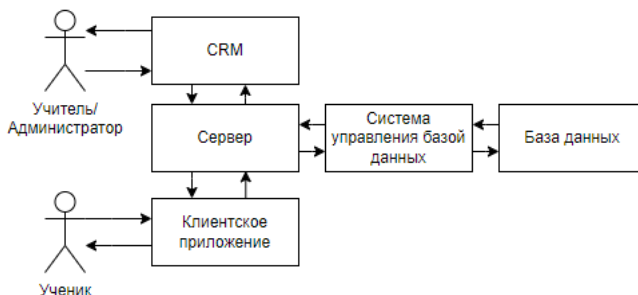


Рис. 1. Взаимодействие пользователей с системой

Начисление RubiCoins происходит автоматически через 1 день после выставления преподавателем всех отметок по пройденному уроку в уже имеющейся образовательной CRM-системе AXKED.

Списание RubiCoins происходит через веб-интерфейс самого веб-приложения системы мотивации в разделе «Магазин». Веб-интерфейс позволяет отслеживать свою успеваемость и начисления RubiCoins.

Все таблицы хранятся в базе данных, к которой подключено веб-приложение системы мотивации.

Пример фрагмента таблицы начислений RubiCoins

ID ученика	Имя ученика	Действие	Дата	Начисленные RubiCoins
1	Иванов И.	Сдача домашнего задания	2024-02-07	10
3	Лобов И.	Помощь однокласснику	2024-02-08	2

Для реализации системы были выбраны следующие технологии:

- Python – основной язык разработки.
- HTML/CSS/JavaScript – набор языков для разработки клиентской стороны веб-приложения.

- Vue.js – фреймворк для создания пользовательской части.
- Django – свободный фреймворк для разработки серверной части веб-приложения на языке Python.
- PostgreSQL – свободная объектно-реляционная система управления базами данных.
- Redis – резидентная система управления базами данных класса NoSQL, работает со структурами данных «ключ – значение».
- FastVPS – хостинг для развертывания веб-приложения.

Вывод. Представленная система имеет хорошие перспективы для стимуляции интереса к обучению и побуждения к более активной работе на уроках. При хороших показателях внутри компании можно развивать проект как самостоятельный продукт на рынке образовательных технологий в сегменте B2B, предлагая его для встраивания в свои процессы другим образовательным учреждениям.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шляпникова О.А. Мотивация образовательной деятельности. – Ярославль: ЯрГУ, 2014. – 124 с.
2. Руденко А.И. Инновационные методы обучения и их роль в повышении мотивации школьников / А.И. Руденко, А.А. Николаева. – Казань: Казан. педагогический журнал. – 2021. – № 3. – 3 с.
3. Геймификация в образовании: что это, плюсы и минусы, технологии, примеры, виды // Президентская Академия РАНХиГС [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.ranepa.ru/blog/obrazovanie-i-samorazvitie/geymifikasiya-v-obrazovanii-chto-eto-plyusy-i-minusy-tehnologii-primery-vidy/>, свободный (дата обращения: 07.02.2024).
4. Давган Г.В. Разработка web-приложения для системы контроля успеваемости студентов на основе языков HTML, PHP, SQL. – СПб.: Гос. ун-т мор. и реч. ф-та им. адм. С.О. Макарова, 2021. – 9 с.

УДК 629.7.08

РАЗРАБОТКА СПОСОБА ОРГАНИЗАЦИИ АВТОНОМНОГО ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ

М.А. Желавский, С.Д. Ковалев, студенты каф. эксплуатации и управления аэрокосмическими системами

*Научный руководитель В.И. Тимофеев, доцент каф. эксплуатации и управления аэрокосмическими системами, к.т.н.
г. Санкт-Петербург, ГУАП, aerospace1@guap.ru*

Представлен способ организации функционирования автономных систем на основе беспилотных летательных аппаратов с применением автоматизированных станций базирования – дронопортов.

Отличием данного способа от существующих является возможность включения в состав системы беспилотных летательных аппаратов различных типов, что достигается за счет применения технологии бесконтактного заряда. В то же время реализация данного способа менее ресурсоемка по сравнению с используемыми в настоящее время конструктивными решениями.

Ключевые слова: беспилотный летательный аппарат, дронопорт, дрон, автономная система, бесконтактный заряд.

В настоящее время развитие авиационных комплексов на основе беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) является одной из актуальных задач отечественной промышленности. Это объясняется высоким потенциалом их применения для решения широкого круга прикладных инженерных и народнохозяйственных задач [1]. Для оптимального функционирования БПЛА при выполнении полетного задания необходима развитая цифровая инфраструктура, включающая в себя канал управления БПЛА, аппаратуру приема и обработки информации, станции заряда и технического обслуживания, рабочее место оператора БПЛА. Повышение уровня автономности таких систем за счет исключения человека-оператора ведет к увеличению показателей экономической эффективности [2].

Одной из концепций создания автономных систем на базе БПЛА является применение так называемых дронопортов. Дронопорт – это автоматизированная станция базирования БПЛА, обладающая автономной инфраструктурой. Различают транспортные дронопорты, на которых осуществляется обмен грузами между станцией и БПЛА; информационные – на которых проходит обмен информацией, и универсальные – на которых может производиться обмен грузами, информацией и зарядка источников питания БПЛА [3]. Именно последний тип станций является ключевым звеном в организации автономной системы на базе БПЛА. Такие дронопорты за рубежом изготавливает американская компания «SkyDio». В России эту нишу заняли стартап-проекты «Hive», «Эри». Стоит отметить, что данные дронопорты могут работать только с БПЛА мультироторного типа собственного производства.

Подготовка БПЛА к полету с использованием дронопортов такого типа реализуется следующим образом: 1) дрон приземляется на специальную площадку; перемещается внутрь дронопорта; 2) с помощью роботизированного манипулятора осуществляется замена аккумуляторной батареи (АКБ) БПЛА на батарею, находящуюся в зарядном слоте; 3) БПЛА перемещается на взлетную площадку и продолжает выполнение задания.

Недостатком такого способа является высокая сложность конструкции за счет применения роботизированного манипулятора, что приводит к невозможности унификации дронпорта и к повышению затрат на его разработку, производство и эксплуатацию. Задачей, решаемой в рамках данной работы, является разработка способа, основанного на применении бесконтактного заряда, лишенного данного недостатка.

Для разработки и последующей реализации способа предлагается оснастить БПЛА авиационного комплекса модулем бесконтактного заряда (рис. 1), который может быть установлен снаружи БПЛА или интегрирован внутрь. Он должен состоять из катушки, преобразующей энергию электромагнитного поля, и системы контроля электропитания.



Рис. 1. Модуль бесконтактной зарядки в наружном исполнении

В дронпорт вместо роботизированного манипулятора помещается зарядная катушка с блоком преобразователей, который обеспечивает постоянство заданных характеристик сети. Энергия передается в модуль БПЛА с использованием принципа электромагнитной индукции [4]. Такой подход позволит за счет увеличения габаритов дронпорта осуществлять зарядку нескольких БПЛА различных типов от разных производителей, что, в свою очередь, позволит увеличить гибкость проектирования автономных систем.

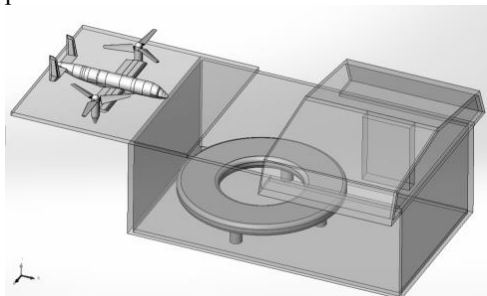


Рис. 2. Концепт дронпорта с технологией бесконтактного заряда

Выводы. Таким образом, применение технологии бесконтактно-го заряда позволяет унифицировать дронопорты и удешевить их производство. За счет снижения в конструкции станции подвижных частей увеличивается надежность изделия. Созданные 3D-модели объекта дронопорта используются в качестве рабочей основы для дальнейших исследований. Использование авиационной частоты тока 400 Гц позволяет улучшить характеристики станции. Перспективой развития данного направления является также повышение эффективности бесконтактного заряда.

ЛИТЕРАТУРА

1. Желавский М.А. Концепция создания системы оперативного экологического мониторинга атмосферного воздуха современного мегаполиса на основе перспективной беспилотной авиационной системы (на примере Санкт-Петербурга) / М.А. Желавский, М.Г. Дерюжов // Молодежь. Техника. Космос: Труды XV Общерос. молодёжной науч.-техн. конф.: в 4 т., СПб., 20–24 марта 2023 г. – СПб.: Балт. гос. техн. ун-т «Военмех», 2023. – С. 11–16.

2. На московских стройках планируют создавать дронопорты [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://stroj.mos.ru/news/na-moskovskikh-stroikakh-planiruiut-sozdavat-dronoporty?from=cl>, свободный (дата обращения: 05.03.2024).

3. Дронопорты – наше будущее и новый серьезный рынок. Что о нем известно? [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://vc.ru/future/140488-dronoporty-nashe-budushchee-i-novyy-sereznyy-gynok-cto-o-nem-izvestno>, свободный (дата обращения: 06.03.2024).

4. Бесконтактный способ заряда аккумуляторной батареи беспилотного летательного аппарата / Е.Б. Королева, М.В. Михайлов, А.С. Соловьев, А.М. Рогов, Д.Я. Монастырский // Сборник статей II Междунар. науч.-практ. конф. – Пенза, 2022. – С. 30–33.

УДК 621.396.41

МОДЕЛИРОВАНИЕ СХЕМЫ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ПЕРЕДАТЧИКА ДЛЯ УСТРОЙСТВА ДИАГНОСТИКИ НОСОВЫХ ПАЗУХ В СРЕДЕ LTSPICE

Д.А. Лузгин, м.н.с. НИИ кардиологии Томского НИМЦ;

А.И. Солдатов, проф. ОЭИ НИ ТПУ, д.т.н.

г. Томск, ТПУ, luzgin-dima99@yandex.ru

Представлены результаты моделирования ультразвукового передатчика в среде LTspice. Описан процесс измерения параметров пьезоэлектрического преобразователя для составления эквивалентной схемы преобразователя. Приведены результаты симуляции.

Ключевые слова: ультразвуковой преобразователь, передатчик, LTspice, эквивалентная схема.

В ходе разработки ультразвукового передатчика для устройства диагностики носовых пазух возникла потребность в моделировании электрической схемы. В процессе разработки выяснилось, что большинство современных пакетов моделирования электрических схем не имеют готовой модели пьезоэлектрического преобразователя. В данной работе будет рассмотрен способ моделирование передатчика с использованием эквивалентной электрической схемы ультразвукового передатчика.

Моделирование ультразвукового преобразователя. Для моделирования электрической схемы передатчика использована эквивалентная схема пьезоэлектрического преобразователя Баттерворта-Ван-Дейка, представленная на рис. 1.

В схеме, представленной на рис. 1, конденсатор C_1 определяет собственную ёмкость пластины, R_1 моделирует затраты мощности на колебания, C_2 – статическая ёмкость преобразователя, L_1 замещает массу преобразователя. Параметры для эквивалентной модели можно получить, измерив АЧХ преобразователя. Для данного исследования была измерена АЧХ ультразвукового преобразователя «Константа п111-1,25-К20».

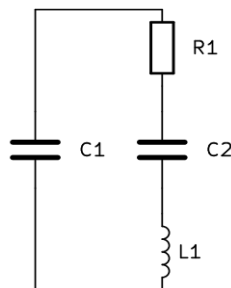


Рис. 1. Эквивалентная электрическая схема пьезоэлектрического преобразователя

Результаты измерения показаны на рис. 2. На основе измеренных данных определены частота последовательного резонанса f_s , равная 1,258 МГц, и импеданс на этой частоте Z_s , равный 26 Ом. Также определена частота параллельного резонанса f_p , которая равна 1,819 МГц, и импеданс Z_p , равный 74 Ом.

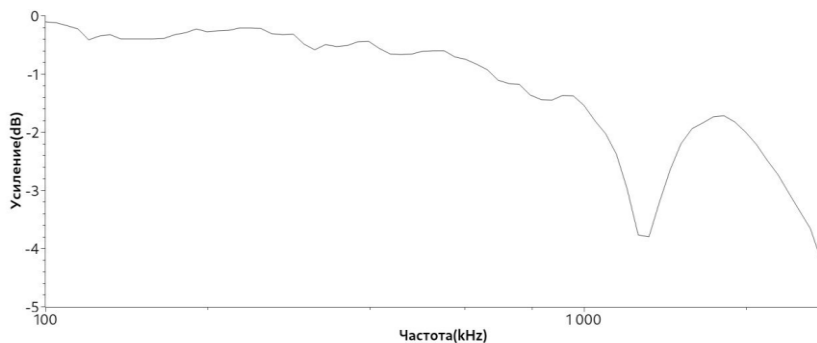


Рис. 2. Результаты измерения датчика

На основе полученных измерений можно вычислить номиналы для эквивалентной цепи по формулам [2]:

$$C_1 = \sqrt{\frac{(Z_s)^2(\omega_p^2 - \omega_s^2) + \sqrt{(2\omega_p^2 Z_s Z_p)^2 + (Z_s)^4(\omega_p^2 - \omega_s^2)^2}}{2(\omega_p^2 Z_s Z_p)^2}} = 1,925 \text{ нФ},$$

$$R_1 = \sqrt{\frac{(Z_s)^2}{1 - (C_1 \omega_s Z_s)^2}} = 31,02 \text{ Ом}, \quad C_2 = C_1 \left[\left(\frac{\omega_p}{\omega_s} \right)^2 - 1 \right] = 2,09 \text{ нФ},$$

$$L_1 = \frac{1}{C_2 \omega_s^2} = 7,6 \text{ мкГн}.$$

Схема передатчика приведена на рис. 3. Передатчик состоит из двухтактного преобразователя, выполненного на MOSFET-транзисторах. Транзисторы $Q1$ и $M3$ ускоряют процесс перезаряда затворных ёмкостей $M1$ и $M2$. $R3$ и $R6$ разделяют путь заряда и разряда ёмкости преобразователя, что позволяет уменьшить сквозные токи при переключении выходного каскада.

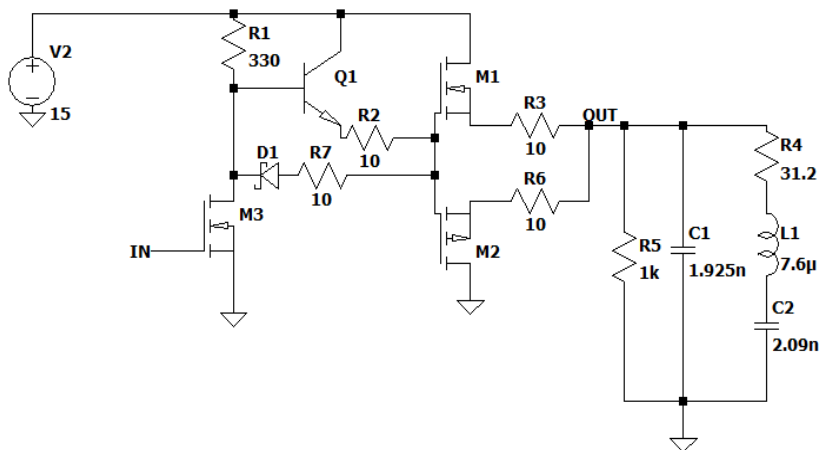


Рис. 3. Схема ультразвукового передатчика

На рис. 4 приведены результаты моделирования схемы при появлении паузы на входе длительностью 200 нс. На выходе генерировался импульс по завершении которого наблюдалась осцилляция частотой 1,25 МГц, что соответствует частоте излучения пьезоэлектрического преобразователя.

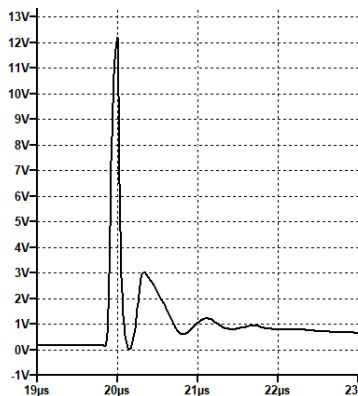


Рис 4. Напряжение на выходе схемы

Закключение. Использование эквивалентной схемы преобразователя Баттерворта–Ван-Дейка, позволило провести моделирование электрических параметров схемы передатчика и оценить величину выходных параметров.

ЛИТЕРАТУРА

1. Исаев И.А. Математическое моделирование ультразвукового передатчика подводной связи / И.А. Исаев, Л.А. Исаева // Математическое моделирование, компьютерный и натурный эксперимент в естественных науках. – 2022. – № 4. – С. 37–40.
2. Queirós R.C. Single-mode piezoelectric ultrasonic transducer equivalent circuit parameter calculations and optimization using experimental data / R.C. Queirós, P.S. Girão, A. Serra // IMEKO TC4 Symp. – 2005. – Vol. 2. – P. 468–471.

УДК 621.317

РАЗРАБОТКА УСИЛИТЕЛЬНОГО КАСКАДА УСТРОЙСТВА ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ОСТЕОПОРОЗА

К.В. Сергеев, аспирант ИШНКБ НИ ТПУ;

А.И. Солдатов, проф. ТУСУРа

Научный руководитель А.И. Солдатов, проф. каф. VII, д.т.н.

г. Томск, ТУСУР, kvs26@tpu.ru

Описан процесс разработки усилительного каскада для ультразвукового устройства для диагностики остеопороза, приведена структурная схема устройства, а также описан нынешний этап разработки с приведением схемы разработанного узла прибора.

Ключевые слова: остеопороз, ультразвуковая диагностика, ультразвуковой датчик, денситометрия, сумматор на операционном усилителе.

В России, как и во всем мире, проблема остеопороза широко распространена, и если раньше заболеванию были подвержены в основном люди старше 50 лет, то с каждым годом заболевание молодеет [1]. Одним из способов борьбы с данным заболеванием является ежегодная диагностика, для осуществления которой необходимо наличие соответствующего оборудования. Таким прибором может стать отечественный ультразвуковой денситометр для диагностики остеопороза, работа над которым ведется в настоящее время.

Ранее нами была разработана структурная (рис. 1) и принципиальная схема устройства для диагностики остеопороза, был собран первый опытный прототип на макетной плате и получены первые результаты измерений, о которых было рассказано в рамках научно-практической конференции «Электронные средства и системы управления» [2].



Рис. 1. Структурная схема устройства

При тестировании данного опытного образца были обнаружены существенные ограничения по быстродействию, в частности, АЦП микроконтроллера ATmega328 и сам микроконтроллер, которые работают на частоте 20 МГц. Для улучшения быстродействия схемы было решено использовать внешний АЦП, чтобы не нагружать оперативную память микроконтроллера, а также в качестве микроконтроллера использовать STM32F103C8T6, который работает на тактовой частоте 72 МГц. Также была обнаружена проблема стабильности питания схемы. Учитывая это, была разработана новая принципиальная схема усилительного каскада (рис. 2).

В качестве усилительного каскада было принято решение взять схему сумматора на операционном усилителе. По первому каналу будет проходить сигнал с приемника ультразвукового сигнала, а второй канал будет подавать на операционный усилитель постоянное напряжение.

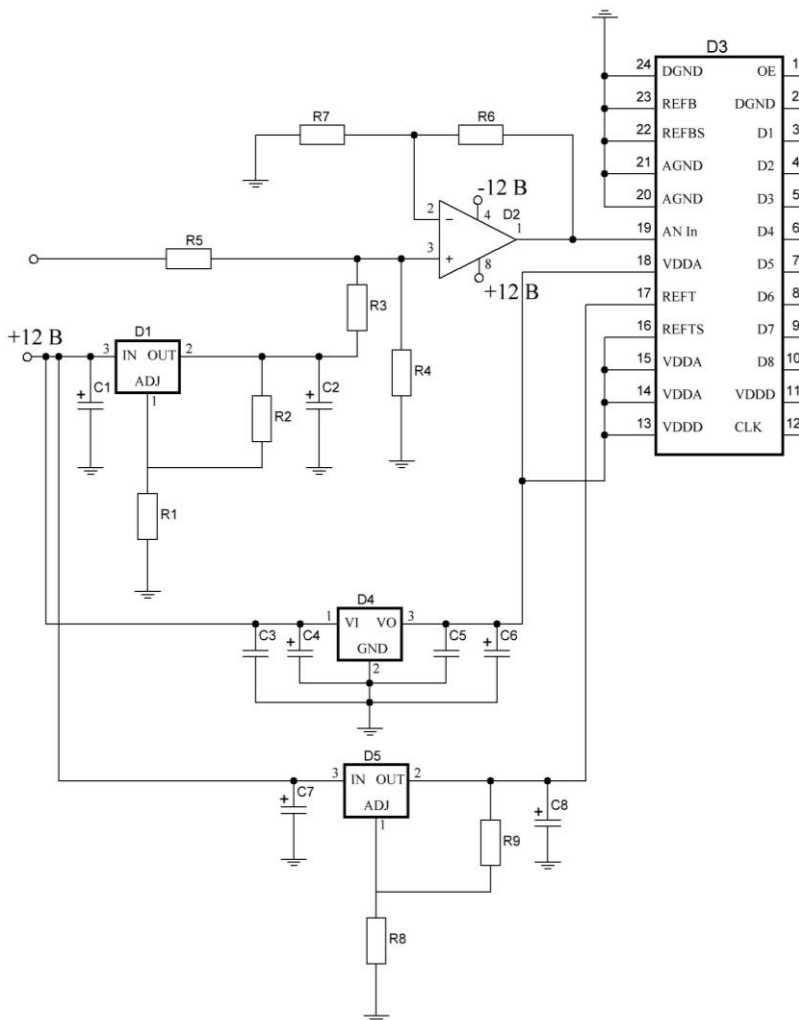


Рис. 2. Принципиальная схема усилительного каскада

Данное решение было принято для недопущения попадания отрицательной полуволны на внешний АЦП, а также для более точного детектирования полезного сигнала. Результатом работы данного каскада является усиление переменной составляющей с ультразвукового датчика и прибавление к данному сигналу постоянной составляющей, что позволит обрабатывать обе полуволны переменного сигнала.

Для питания усилительных каскадов, АЦП и микроконтроллера используются линейные стабилизаторы напряжения. С помощью линейного стабилизатора LF50CDT-TR с фиксированным типом выхода на уровне 5 В обеспечивается питание схемы внешнего АЦП. С помощью линейного стабилизатора HN1117-ADJ [3] с регулируемым типом выхода обеспечивается постоянная составляющая на входе сумматора на уровне 2,5 В, а также 4 В подается на опорное напряжение АЦП. В качестве операционного усилителя был выбран двухканальный малошумящий NE5532P [4]. Выбор был сделан в его пользу исходя из его быстродействия. Частота единичного усиления данного операционного усилителя равна 10 МГц, а частота ультразвукового сигнала, которую мы планируем использовать в приборе, лежит в диапазоне от 100 до 500 кГц. АЦП выбирался также исходя из принципа быстродействия, поэтому мы используем 8-разрядный АЦП с параллельным выходом MS5510, максимальная частота работы которого равняется 20 МГц.

Электронная схема первого опытного образца монтируется на печатной плате, которая была разработана с помощью САПР программы KiCad. На рис. 3 можно увидеть 3D-модель печатной платы усилительного каскада.

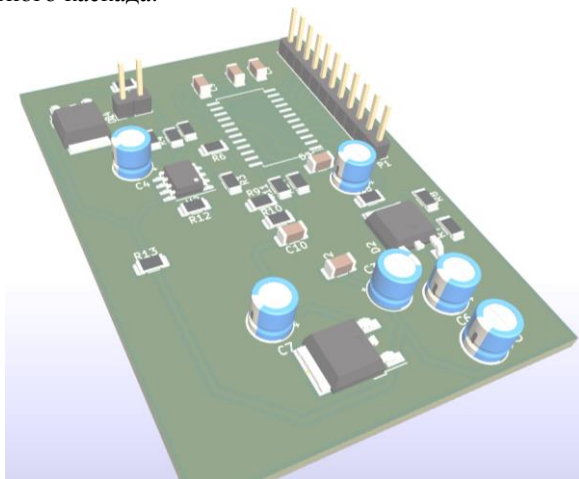


Рис. 3. Печатная плата усилительного каскада

При настройке печатной платы макетного образца на вход усилительного каскада был подан синусоидальный сигнал частотой 200 кГц и амплитудой 0,2 В. На выходе был получен сигнал амплитудой 2 В, что позволяет нам говорить о корректной работе усилительного каскада (рис. 4).



Рис. 4. Осциллограмма сигнала на выходе сумматора

Данный сигнал поступает на АЦП, который, обрабатывая его, передает на микроконтроллер STM32. На сегодняшний день уже написана программа работы АЦП, который работает корректно. Следующим этапом разработки макета ультразвукового прибора для диагностики остеопороза является разработка и сбор схемы буферного усилителя.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сергеев К.В. Технические методы диагностики остеопороза / К.В. Сергеев, А.И. Солдатов // *Фундаментальные и прикладные исследования в области естественнонаучных и технических дисциплин.* – Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова, 2022. – С. 127–132.
2. Солдатов А.И. Ультразвуковой прибор для диагностики остеопороза / А.И. Солдатов, К.В. Сергеев // *Электронные средства и системы управления.* – Томск: В-Спектр, ТУСУР, 2022. – С. 100–102.
3. Low drop linear voltage regulators HV1117-xx Datasheet [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://doc.platan.ru/pdf/datasheets/hottech/HN1117-xxx.pdf>, свободный (дата обращения: 05.03.2024).
4. NE5532x, SA5532x Dual Low-Noise Operational Amplifiers [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://static.chipdip.ru/lib/238/DOC012238401.pdf>, свободный. (дата обращения: 05.03.2024).

ПОДСЕКЦИЯ 3.6

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

*Председатель – Зариковская Н.В., доцент каф. АОИ,
ген. директор ООО «АльдераСофт», к.ф.-м.н.;*
*зам. председателя – Колотаев И.В., ст. разработчик
ООО «Синкретис»*

УДК 004.4

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ДЛЯ РЕГИСТРАЦИИ И КОНТРОЛЯ ПАТЕНТОВ

Р.Е. Богачев, студент каф. АОИ

*Научный руководитель Н.В. Зариковская, доцент каф. АОИ, к.т.н.
г. Томск, ТУСУР*

Описаны стек технологий, а также архитектура, используемые в системе. Анализируются преимущества языка программирования Python и его фреймворка Django в контексте разработки систем управления патентами. Особое внимание уделяется архитектурным решениям, таким как использование шлюза API, корпоративная шина данных и сервиса интеграции, обеспечивающих эффективную интеграцию с внешними системами.

Ключевые слова: разработка, проектирование, архитектура, веб-системы, технологии, микросервисная архитектура, серверное программирование.

В мире постоянных инноваций и интенсивного научного прогресса, охрана интеллектуальной собственности становится ключевым аспектом для компаний и индивидуальных изобретателей. Патенты как юридические документы обеспечивают авторские права на изобретения и технологии, требуя тщательной регистрации и последующего контроля. Однако процесс регистрации и контроля патентов не всегда прост и быстр. Он требует соблюдения определенных правил, форм и сроков, а также взаимодействия с различными организациями и экспертами, которые проверяют патентоспособность [1].

В рамках данной работы рассматривается процесс разработки веб-системы для регистрации и контроля патентов, которая представ-

ляет собой конструктор форм и функционал по приему и обработке пользовательских заполненных заявлений на патент. Система позволяет администраторам создавать и редактировать формы заявок на патент в соответствии с установленными нормами, а пользователям – заполнять и отправлять их в электронном виде. Система также обрабатывает полученные заявки: проверяет их на корректность и полноту, а также связывается с соответствующими органами и экспертами для дальнейшего рассмотрения и вынесения решения по патенту.

Для разработки серверной части системы по регистрации и контролю патентов необходимо выбрать подходящий язык программирования и фреймворк, которые обеспечат высокую производительность, надежность, безопасность и удобство разработки. Существует множество языков программирования, которые могут быть использованы для создания веб-приложений, таких как Java, C#, PHP, Ruby, JavaScript, Python и др. [2]. Каждый из них имеет свои преимущества и недостатки, а также различные фреймворки, которые предоставляют готовые решения для часто встречающихся задач, таких как работа с базами данных, шаблонизация, аутентификация, валидация, тестирование и развертки.

Для данной системы был выбран язык программирования Python, который является одним из самых популярных и востребованных языков в сфере веб-разработки. Python обладает рядом преимуществ, таких как простота, читаемость, гибкость, портативность и богатая стандартная библиотека. Python позволяет писать компактный, выразительный и легко поддерживаемый код, а также легко интегрироваться с другими языками и технологиями [3].

В качестве фреймворка для Python был выбран Django, который является одним из самых мощных и надежных фреймворков для веб-разработки [4]. Разработка системы началась ещё в 2017 г., когда Django уже был достаточно зрелым и стабильным фреймворком, который использовался многими известными компаниями и проектами, такими как Instagram, Pinterest, Disqus, Mozilla и др. [5]. В то время Django был на версии 1.11, которая была долгосрочной версией поддержки (LTS) и обеспечивала безопасность и совместимость до 2020 г. Django следует принципу «батарейки в комплекте» [6], т.е. предоставляет все необходимые компоненты для создания полноценного веб-приложения, такие как ORM, административная панель, формы, кэширование, сессии, безопасность и многое другое. Django позволяет писать чистый, модульный и расширяемый код, а также легко масштабировать и оптимизировать приложение.

Архитектура приложения для регистрации и контроля патентов строится с учетом необходимости интеграции с множеством внешних систем, таких как системы управления данными (MDM), корпоративные ресурсы и сервисы. Это требует гибкой и масштабируемой архитектуры, способной поддерживать высокий уровень взаимодействия и обмена данными. Основой такой архитектуры является использование корпоративной шины данных, которая обеспечивает централизованный поток информации между различными сервисами и компонентами системы [7]. Шина данных позволяет стандартизировать коммуникацию и обеспечивает надежную и безопасную передачу данных. Диаграмма архитектуры представлена на рис. 1.

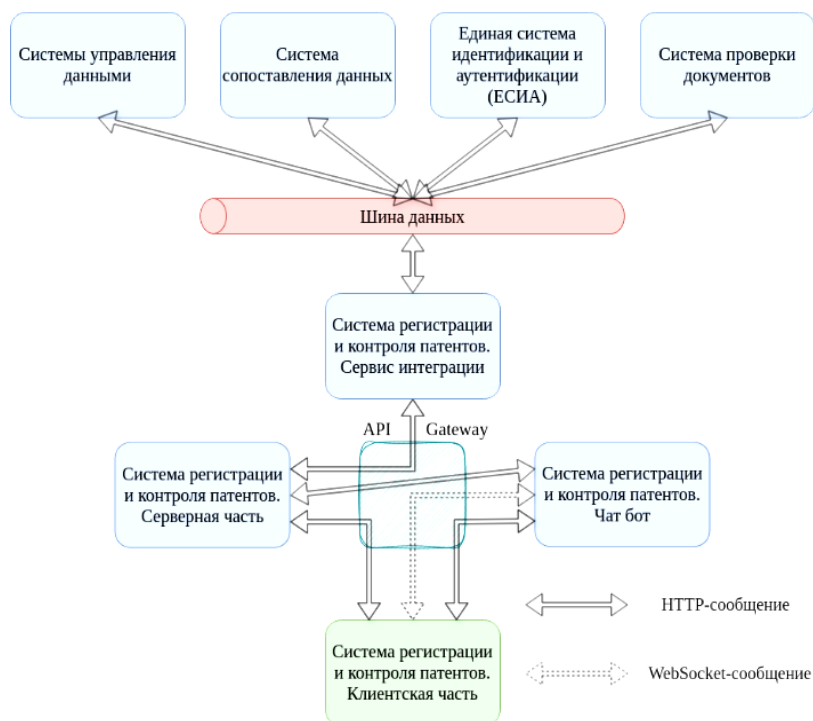


Рис. 1. Архитектура системы

В предложенном архитектурном решении можно выделить несколько интересных аспектов. В первую очередь, все внутренние запросы между сервисами проходят через шлюз API (API Gateway), который предоставляет единую точку входа для взаимодействия различ-

ных сервисов. Эта служба осуществляет контроль трафика, а также предоставляет функционал мониторинга, аналитики трафика, кеширования и ограничения доступа [8].

Во-вторых, следует отметить наличие отдельного сервиса, ответственного за интеграцию с внешними системами. Сервис интеграции занимается получением данных из различных источников, таких как регистрационные органы (ЕСИА), системы управления данными (MDM) и другие корпоративные системы. Его функциональность включает не только извлечение нужной информации, но и ее преобразование в формат, совместимый с нашей системой, обеспечивая плавную интеграцию и синхронизацию данных.

Кроме того, система включает в себя чат-бот, содержащий документацию и заранее подготовленные ответы на часто задаваемые вопросы. Также присутствуют алгоритмы распознавания пользовательских вопросов с целью соотнесения их с существующими ответами. Клиентская часть предоставляет пользователям графический интерфейс для взаимодействия с системой, обеспечивая удобный доступ и использование функционала.

В заключение необходимо подчеркнуть, что процесс создания системы для учета и управления патентами влечет за собой ряд сложностей и перспектив. В условиях стремительной цифровой трансформации и возрастающего спроса на цифровые сервисы, выбор подходящих технологических решений становится решающим для обеспечения устойчивости, безопасности и масштабируемости системы. Python, с его простотой, мощными возможностями и обширной библиотекой, выступает как превосходный инструмент для таких задач, а фреймворк Django предоставляет стабильную платформу для разработки защищенных и легко поддерживаемых приложений. Грамотно разработанная архитектура, ориентированная на интеграцию и надежность, является залогом создания устойчивой и адаптируемой системы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Процедура патентования [Электронный ресурс]. – URL: <https://intels.ru/stati/procedura-patentovaniya/> (дата обращения: 07.03.2024).
2. Введение в серверную часть [Электронный ресурс]. – URL: https://developer.mozilla.org/ru/docs/Learn/Server-side/First_steps/Introduction/ (дата обращения: 08.03.2024).
3. Python [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.python.org/> (дата обращения: 08.03.2024).
4. Django [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.djangoproject.com/> (дата обращения: 08.03.2024).
5. Who uses Django? [Электронный ресурс]. – URL: <https://stackshare.io/django/> (дата обращения: 08.03.2024).

6. Batteries Included Philosophy [Электронный ресурс]. – URL: <https://peps.python.org/pep-0206/#batteries-included-philosophy/> (дата обращения: 08.03.2024).

7. Что такое ESB (корпоративная сервисная шина)? [Электронный ресурс]. – URL: <https://aws.amazon.com/ru/what-is/enterprise-service-bus/> (дата обращения: 08.03.2024).

8. API Gateway [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.nginx.com/learn/api-gateway/> (дата обращения: 08.03.2024).

УДК 519.6

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ РАСЧЕТОВ МОЛЕКУЛЯРНОЙ ДИНАМИКИ

Д.В. Мамонтов, м.н.с. РНОМЦ НИ ТГУ

г. Томск, ТГУ, orevaore@mail.tsu.ru

Написан код, позволяющий проводить расчёты молекулярной динамики с большим набором возможностей. Разработанная программа показывает высокую точность вычислений и является очень гибкой.

Ключевые слова: программное обеспечение, молекулярная динамика, математическое моделирование.

Необходимость разработки собственной программы для расчётов молекулярной динамики появилась из-за постоянно повышающихся требований к программе и возможностям её тонкой и гибкой настройки. На данном этапе приложение является консольным, но, возможно, в дальнейшем обретёт графическую оболочку. В основе математической модели лежит классическая механика твердых частиц. Основопологающими уравнениями являются уравнения движения тел, записанных в виде (1):

$$M_i \frac{dv_i}{dt} = - \sum_{j=1}^{n_i} \sum_{k=1}^{n_i} \text{grad} U, \quad \frac{dx_i}{dt} = v_i. \quad (1)$$

Здесь M – полная, суммарная масса i -ой молекулы, v – её скорость, U – потенциал взаимодействия, который может быть выбран в зависимости от задачи, атомов, из которых состоят молекулы, и т.д. (к примеру, в некоторых задачах необходимо использование внутримолекулярных связеориентированных потенциалов вроде REBO), \mathbf{r} – радиус вектор центра масс молекулы. Кроме этого, в молекулярной динамике важную роль могут играть повороты молекул. Учёт вращения тел определяется из (2):

$$\frac{d\mathbf{K}_i}{dt} = M. \quad (2)$$

Здесь \mathbf{K}_i – вектор кинетического момента i -й молекулярной конструкции. Стоит отметить, что для описания положения тела в пространстве (поворотов) не используются ни углы Эйлера, ни кватернионы вращения, соответственно, сложностей, которые они несут, удаётся избежать. Добавляя к этим уравнениям начальные условия и некоторые вспомогательные расчёты, получим задачу Коши.

Кроме стандартных межмолекулярных взаимодействий и внутримолекулярных сил, заставляющих атомы в молекулах совершать колебания, в программе также учтены Кулоновские взаимодействия, взаимодействия с электромагнитными полями, дипольные рассеивания, вывод погрешности разных типов и многое другое. При этом программа является гибкой и устойчивой к изменениям. Есть инструменты для дополнительных исследований, возможность «заморозить» молекулу, изменить параметры потенциалов, их форму, задать любое количество одинаковых или различающихся стандартных или неизвестных молекул из любых атомов, инструмент для поворота начального поворота тел и др. Кроме того, молекула может проводить и расчёты траекторий полёта космических тел, если выбрать силовое гравитационное поле и соответствующие размерности.

Программа написана на языке C++, и скорость её работы зависит от поставленной задачи, количества обрабатываемых атомов, потенциалов, величины выбранного шага по времени и множества других факторов.

```

Количество одинаковых молекул  2
Начальные скорости
0      10      0
0      -10     0

Начальные вращения
0      0      0
0      0      0

Величины полей
Наличие зарядов:

Собственные магнитные моменты:
Проверьте пожалуйста emf.parameters
Число шагов по времени = 1000000
Величина шага = 1e-06

```

12%

Рис. 1. Пример консольного вывода информации

На рис. 1 показан консольный вывод вспомогательной информации о работе программы, для того чтобы пользователь мог в удобном виде проверить правильность введенных данных, а также увидеть прогресс выполнения программы. При этом координаты всех атомов в молекуле и информация о том, между какими атомами есть химические связи, помещаются в отдельные .txt файлы с заранее заданными названиями в корень программы либо по директории, указанной пользователем.

Программа разбита на отдельные концептуальные блоки и устойчива к изменениям. На данный момент результаты работы программы выводятся в .txt файлы, в которых выводятся погрешности вычислений, информация по каждой отдельной молекуле: положение центр масс, поворот и многое другое. Вывод результатов также можно настроить, к примеру, дополнительно вывести положение атомов в любые моменты времени.

Предыдущая версия этой программы зарегистрирована в [1] и на данный момент является подпрограммой для настоящей, которая носит глобальный характер и является общей. В данный момент программа используется для получения научных результатов, в [2] более подробно описана основная математическая модель, используемая в программе.

Таким образом, было разработано программное обеспечение для проведения молекулярно-динамических расчётов с высокой точностью и гибкостью, позволяющее учитывать большое число эффектов, в том числе и довольно тонких квантовых эффектов.

Исследования проведены при поддержке РНФ № 19-71-10049.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сви-во о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2 2022684766. FulleCont 1.0: Динамика фуллера в наноконтейнере / М.А. Бубенчиков, А.С. Челнокова. – Заявка № 2022684500. Дата поступления 13 декабря 2022 г. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 16 декабря 2022 г.
2. Состояние фуллера C60 в двухкомпонентной смеси газов / В.И. Бородин, М.А. Бубенчиков, А.М. Бубенчиков, Д.В. Мамонтов, С.В. Тимченко // Вестник Том. гос. ун-та. Математика и механика. – 2024. – № 87. – С. 59– 72. DOI: 10.17223/19988621/87/6.

АДАПТАЦИЯ 3D-ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ WEBASSEMBLY

С.А. Толкачев, Б.А. Смородин, студенты каф. АСУ

Научный руководитель В.В. Романенко, зав. каф. АСУ, к.т.н.

Проект ГПО АСУ-2306. Легковесный 3D-движок для игр и программ

г. Томск, ТУСУР, tolkachev.s.431-2@e.tusur.ru

Представлены описание и промежуточные результаты реализации кроссплатформенного графического движка для игр и программ. Рассматривается выбор технологий для реализации проекта с учётом поставленных требований.

Ключевые слова: OpenGL, 3D, C++, кроссплатформенность, wasm, emscripten, llvm

Внедрение приложений в веб-пространство становится все более актуальным в современной разработке программного обеспечения. Разрабатываемый движок [1] создаётся на языке C++, использует систему сборки CMake и графический API OpenGL [2]. Основным требованием к движку являются кроссплатформенность и портативность. Из этого следует необходимость его адаптации для браузеров. Адаптация программ для WebAssembly [3] предоставляет возможность запуска трехмерных приложений непосредственно в веб-браузере, открывая двери для широкого круга пользователей.

Для выполнения кода в браузере можно использовать такие инструменты, как JavaScript и WebAssembly. В связи с тем, что код проекта написан на языке C++, а сам проект требует высокой скорости работы, было решено использовать WebAssembly. Это формат байт-кода виртуальной машины в браузере для исполнения с наибольшей возможной производительностью, близкой к нативной. Эта концепция похожа на LLVM IR, поэтому для компиляции C++ кода в формат WASM написано несколько инструментов с использованием LLVM [4]. Рассмотрим один из них – Emscripten [5]. Это набор инструментов и библиотек для компиляции в формат WASM и работы с API браузера: звуком, рендером, вводом и т.д.

Из особенностей рендера в браузере необходимо отметить тот факт, что в качестве графического API используется WebGL. Этот API имеет практически полную совместимость с некоторыми стандартами OpenGL ES, однако для явного указания совместимости с нужной версией API можно воспользоваться следующими параметрами компиляции Emscripten: «-sUSE_WEBGL2=1 -sFULL_ES3=1». Emscripten также включает в себя адаптированные версии библиотек, например SDL2, который можно включить следующим параметром компиля-

ции: «-sUSE_SDL=2». Адаптированная версия представляет собой обёртку над штатными функциями вызовов API браузеров. Работа с файловой системой в Emscripten имеет свои особенности. Сразу после компиляции у нас нет доступа до файловой системы на сервере для загрузки статических ресурсов. Самым простым способом статически внедрить файлы в сборку – это использовать предзагрузку файла следующим параметром для каждого файла: «--preload-file <входной_путь>@<выходной_путь>».

Необходимые параметры для сборки проекта в Emscripten выносятся в условную конструкцию CMake, чтобы применять их только в случае компиляции под браузер. На рис. 1 приведены требуемые для нашего проекта параметры.

```
if (EMSCRIPTEN)
  include(${CMAKE_BINARY_DIR}/generators/conan_toolchain.cmake)
  set (CMAKE_CXX_FLAGS "${CMAKE_CXX_FLAGS} -ferror-limit=100 -sMAXIMUM_MEMORY=1gb")
  set (CMAKE_CXX_FLAGS "${CMAKE_CXX_FLAGS} -sMIN_WEBGL_VERSION=2 -sUSE_WEBGL2=1 -sUSE_SDL=2")
  set (CMAKE_CXX_FLAGS "${CMAKE_CXX_FLAGS} -sFULL_ES3=1 -soffscreen_framebuffer=1")
  set (CMAKE_CXX_FLAGS "${CMAKE_CXX_FLAGS} --preload-file ${CMAKE_BINARY_DIR}/textures@textures")
  set (CMAKE_CXX_FLAGS "${CMAKE_CXX_FLAGS} --preload-file ${CMAKE_BINARY_DIR}/shaders@shaders")
  set (CMAKE_CXX_FLAGS "${CMAKE_CXX_FLAGS} --preload-file ${CMAKE_BINARY_DIR}/fonts@fonts")
  set (CMAKE_CXX_FLAGS "${CMAKE_CXX_FLAGS} --preload-file ${CMAKE_BINARY_DIR}/model.glb@/")
  set (CMAKE_CXX_FLAGS "${CMAKE_CXX_FLAGS} -sASSERTIONS -gsource-map")
  add_definitions(-D_EMSCRIPTEN_)
endif ()
```

Рис. 1. Параметры компиляции Emscripten

Для облегчения управления зависимостями был внедрён пакетный менеджер Conan [6]. В паре с CMake этот инструмент самостоятельно подготавливает зависимости для указанной платформы сборки с нужной конфигурацией и экспортирует нужные параметры в систему сборки.

В адаптации для Emscripten нуждается и код проекта. Каждый цикл 3D-кадра обязан выполняться внутри статической функции, объявленной в «emscripten_set_main_loop» или, при наличии аргумента (тип void*), в «emscripten_set_main_loop_arg». Отправка кадра в браузер осуществляется функцией «emscripten_webgl_commit_frame».

Незначительно изменив архитектуру движка для соответствия требованиям статического цикла, получен полностью рабочий 3D-проект для веб-браузера. На рис. 2 приведен результат работы программы.

Таким образом, 3D-движок для игр и программ был успешно адаптирован и скомпилирован для работы в браузере посредством технологии WebAssembly. Получившееся приложение способно работать во всех современных браузерах как на компьютере, так и на мобильных устройствах.



Рис. 2. Работающий в браузере проект

ЛИТЕРАТУРА

1. Пасько Д.Н. Современные игровые движки // Инновационная наука. – 2016. – № 2-3. – С. 127–130.
2. Сычёв Н.Д., Жигалов И.Е. использование возможностей API OpenGL 4.1 при разработке игрового движка // Информационные технологии в науке и производстве: матер. VI Всерос. молодежной науч.-техн. конф. – Омск: ОмГТУ, 2019. – С. 119–124.
3. Specifications – WebAssembly [Электронный ресурс]: WebAssembly. – URL: <https://webassembly.org/specs> (дата обращения: 05.03.2024).
4. About – LLVM documentation [Электронный ресурс]: The LLVM Compiler Infrastructure Project. – URL: <https://llvm.org/docs> (дата обращения: 05.03.2024).
5. Emscripten Documentation [Электронный ресурс]: Emscripten. – URL: <https://emscripten.org/docs/index.html> (дата обращения: 05.03.2024).
6. Conan 2 Documentation [Электронный ресурс]: Conan 2.0: C and C++ Open Source Package Manager. – URL: <https://docs.conan.io/2> (дата обращения: 06.03.2024).

ПОДСЕКЦИЯ 3.7

ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ СРЕДСТВА АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ, УПРАВЛЕНИЯ И ОБРАБОТКИ ДАННЫХ

*Председатель – Хабибулина Н.Ю., декан ФВС,
доцент каф. КСУП, к.т.н.;*
зам. председателя – Потапова Е.А., ст. преп. каф. КСУП

УДК 004.031.4

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРСПЕКТИВНЫХ МЕТОДОВ ПОСТРОЕНИЯ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ СИСТЕМ ДЛЯ ОБРАБОТКИ БИОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ

А.Д. Бариева, студентка каф. РТС

*Научный руководитель А.В. Уланов, ст. преп. каф. РТС, к.т.н.
г. Казань, КНИТУ-КАИ им. А.Н. Туполева, aliya.barieva.01@mail.ru*

Рассматриваются перспективные методы построения распределенных систем для анализа биоэлектрических сигналов, а также возможности реализации алгоритмов обработки ЭКГ на Python.

Ключевые слова: распределённые системы, обработка биоэлектрических сигналов, Docker, Kubernetes, микросервисная архитектура.

Современные исследования в области биомедицинской инженерии активно развиваются в направлении создания портативных устройств для мониторинга биоэлектрических сигналов, в частности, ЭКГ и ЧСС. Важным аспектом эффективности таких устройств является разработка надежных алгоритмов для обработки сигналов и распределенных систем, позволяющих обрабатывать данные в реальном времени. Применение контейнерных решений вроде Docker и Kubernetes, а также микросервисной архитектуры значительно увеличивает гибкость и масштабируемость таких систем.

Контейнеризация приложений и их оркестрация сегодня являются ключевыми компонентами в разработке и развёртывании распределённых систем. Docker и Kubernetes – две наиболее популярные технологии в этой области.

Docker – это платформа для разработки, доставки и запуска приложений в контейнерах. Контейнеры Docker упаковывают код, ран-

таймы, системные инструменты, системные библиотеки и настройки в один стандартизированный блок, обеспечивая быстрое и надёжное развёртывание приложений [1].

Kubernetes (K8s) – это открытая система для автоматизации развёртывания, масштабирования и управления контейнеризированными приложениями [2]. Она позволяет работать с кластерами контейнеров, распределяя между ними ресурсы и управляя их жизненным циклом.

Анализ, приведенный в таблице, позволяет понять, что Docker и Kubernetes дополняют друг друга: Docker предоставляет инструменты для упаковки и развёртывания контейнеров, в то время как Kubernetes эффективно управляет их жизненным циклом в более крупных масштабах.

Результаты анализа Docker и Kubernetes

Функциональность	Docker	Kubernetes
Основное назначение	Создание и управление одиночными контейнерами	Оркестрация контейнеров в больших масштабах
Управление контейнерами	В основном локальное управление	Кластерное управление с автоматизацией задач
Масштабирование	Ограниченное, вручную	Автоматическое, с поддержкой масштабирования
Сетевые возможности	Простые сетевые конфигурации	Сложные сетевые настройки и сервисы обнаружения
Устойчивость к сбоям	Ограниченная поддержка	Высокая устойчивость, самовосстановление
Интеграция	Локальная разработка и CI/CD	Глубокая интеграция с CI/CD, облаками и хранилищами данных

Микросервисная архитектура позволяет создавать системы, состоящие из независимых компонентов, что облегчает их разработку, тестирование и масштабирование. Этот подход идеально подходит для обработки биоэлектрических сигналов, так как позволяет легко интегрировать новые алгоритмы и методы анализа без необходимости перестраивать всю систему с нуля.

Python зарекомендовал себя как мощный инструмент для научных исследований и разработки в области биоинформатики и медицинской информатики. Библиотеки, такие как NumPy, SciPy и matplotlib, предоставляют широкие возможности для анализа и визуализации данных. Разработка алгоритмов для обработки ЭКГ-сигналов включает в себя фильтрацию шума, детектирование R-пиков, анализ вариабельности ЧСС и диагностику аритмий.

Одним из основных этапов обработки ЭКГ является детектирование QRS-комплексов, которое позволяет определить частоту сердечных сокращений. Для этого часто используется алгоритм Пана–Томпкинса, который включает в себя фильтрацию сигнала, детектирование пороговых значений и поиск R-пиков. Библиотека BioSPPy предоставляет инструменты для предварительной обработки сигналов ЭКГ, включая фильтрацию, а также модули для детектирования QRS-комплексов и других характеристик ЭКГ [3].

Другой популярный метод – это использование вейвлет-преобразований для анализа нестационарных сигналов ЭКГ. Вейвлет-преобразование позволяет выделить временные и частотные характеристики сигнала, что особенно полезно при анализе сложных биоэлектрических данных. Реализация вейвлет-преобразований в Python может быть выполнена с помощью библиотеки PyWavelets [4].

Анализ variability сердечного ритма (HRV) также является важной областью применения алгоритмов обработки ЭКГ. HRV отражает влияние автономной нервной системы на сердечный ритм и может использоваться для оценки стресса, усталости и других состояний здоровья. Для расчета HRV можно использовать библиотеку HRV-analysis, которая предоставляет широкий спектр методов анализа, включая временные, частотные и нелинейные параметры [5].

Разработка распределенных систем для обработки биоэлектрических сигналов требует комплексного подхода, включающего применение современных технологий и алгоритмов. Использование контейнерных решений и микросервисной архитектуры обеспечивает гибкость, масштабируемость и надежность таких систем. Python и его библиотеки предлагают мощные инструменты для разработки алгоритмов обработки биоэлектрических сигналов, открывая новые возможности для мониторинга и диагностики в области биомедицины.

ЛИТЕРАТУРА

1. Docker Docs: документация [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.docker.com/> (дата обращения: 09.03.2024).
2. Kubernetes: офиц. сайт [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://kubernetes.io/> (дата обращения: 09.03.2024).
3. BioSPPy: Biosignal Processing in Python / C. Carreiras, A.P. Alves, A. Lourenço, F. Canento, H. Silva, A. Fred. – 2015.
4. PyWavelets: A Python package for wavelet analysis / G. Lee, R. Gommers, F. Waselewski, K. Wohlfahrt, A. O’Leary. – 2019.
5. Software for advanced HRV analysis / J.-P. Niskanen, M.P. Tarvainen, P.O. Ranta-Aho, P.A. Karjalainen // Computer Methods and Programs in Biomedicine. – 2004. – Vol. 76, No. 1. – P. 73–81.

ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА «ВИРТУАЛЬНЫЙ СОБЕСЕДНИК» ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ТЕХНИЧЕСКОЙ ПОДДЕРЖКИ ПРЕДПРИЯТИЯ АО «ТОМСКНИПИНЕФТЬ»

Ю.Н. Кобзарь, студент

*Научный руководитель Н.Ю. Хабибулина, доцент каф. КСУП, к.т.н.
г. Томск, ТУСУР, каф. КСУП, urakobzar2001@yandex.ru*

Рассматривается разработка веб-приложения для автоматизации технической поддержки предприятия АО «ТомскНИПИнефть». Веб-приложение представляет собой чат-бот, который или выдает необходимую информацию по теме, или формирует заявку в техническую поддержку.

Ключевые слова: веб-приложение, техническая поддержка, чат-бот, виртуальный собеседник, формирование заявок.

Целью данной работы является разработка системы кнопочного виртуального собеседника без применения искусственного интеллекта для организации АО «ТомскНИПИнефть».

Для достижения цели **поставлены следующие задачи:**

- исследовать предметную область;
- определить требования к системе и средства реализации;
- разработать проект и реализовать программное обеспечение для автоматического получения ответа на технический вопрос, оформления и отслеживания выполнения заявки по вопросу в случае отсутствия готового ответа, совершения операций над базой данных через пользовательский интерфейс;
- провести тестирование разработанного программного обеспечения на тестовых данных.

Для реализации серверной части веб-приложения разработка произведена на платформе ASP.NET Core 6 [1], так как данная платформа имеет долгосрочную поддержку. Языком программирования данной платформы является C#. Для создания и управления базой данных использована платформа Entity Framework Core [2]. Entity Framework Core используется для отображения данных на реальные объекты, т.е. при работе с базой данных разработчик оперирует не таблицами и индексами базы данных, он оперирует объектом, через который обращается к базе данных. В качестве системы управления базами данных использовано программное обеспечение PostgreSQL [3].

Для осуществления изменения веб-страницы без перехода или её обновления использованы язык программирования JavaScript [4] и библиотека jQuery [5]. Через подход AJAX, который необходим для

построения интерактивных пользовательских интерфейсов, и библиотеку jQuery, которая включает в себя реализацию данного подхода, реализована связь с контроллером. Такая технология позволяет гибко изменять внешний вид веб-страницы. Для задания необходимого стиля веб-страницы использован формальный язык описания внешнего вида CSS [4].

Функциональные возможности приложения:

- находить нужную информацию с помощью диалога с системой;
- оформлять с помощью диалога с системой заявку по проблеме с возможностью загрузки файлов;
- отправлять заявку на почту сотрудникам ответственной группы для обработки;
- настраивать взаимосвязь между приложением и ответственной за него группой с помощью кабинета администратора;
- настраивать взаимосвязь между ответственной группой и входящим в нее пользователем с помощью кабинета администратора;
- создавать ответы на типовые вопросы по программному обеспечению с помощью кабинета администратора;
- отслеживать, редактировать и удалять заявки из базы данных с помощью кабинета администратора;
- осуществлять ролевую модель.

На рис. 1 представлено начальное окно выбора необходимого программного обеспечения, на рис. 2 представлено окно выбора темы по выбранному ранее программному обеспечению, на рис. 3 представлено окно выдачи ответа пользователю по выбранной им теме ранее. На рисунках видна кнопка «Назад», позволяющая вернуть на окно ранее.

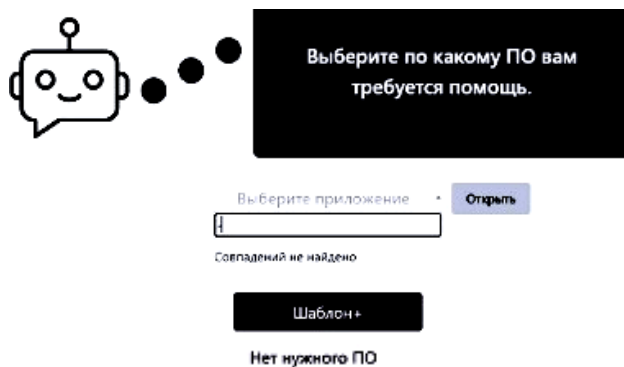


Рис. 1. Выбор программного обеспечения в собеседнике



Рис. 2. Выбор интересующей темы по программному обеспечению

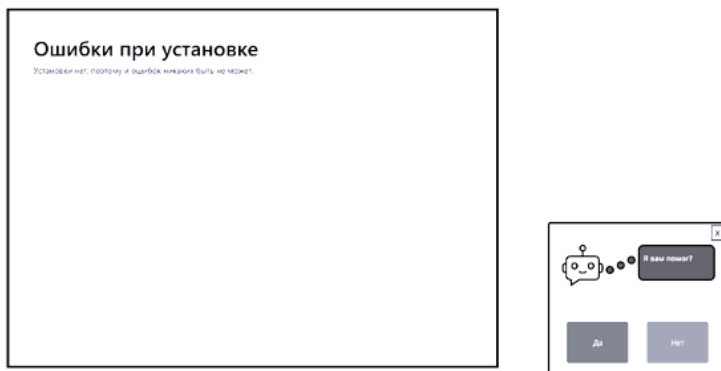


Рис. 3. Выдача ответа по интересующей теме

Заключение. В результате разработки системы виртуального собеседника у службы технической поддержки повысится эффективность взаимодействия с пользователями, уменьшится количество ручного распределения заявок для их отработки, уменьшится количество итераций для уточнения службой поддержки проблемы пользователя.

ЛИТЕРАТУРА

1. Документация по ASP.NET [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://learn.microsoft.com/ru-ru/aspnet/core/?view=aspnetcore-6.0> (дата обращения: 14.05.2023).
2. Документация по Entity Framework Core [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://learn.microsoft.com/ru-ru/ef/core/> (дата обращения: 03.05.2023).
3. Официальный сайт приложения PostgreSQL [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.postgresql.org/> (дата обращения: 03.05.2023).
4. Фельке-Моррис Т. Большая книга веб-дизайна. – М.: Эксмо, 2012. – 608 с.
5. Официальный сайт программной библиотеки JQuery [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://jquery.com/> (дата обращения: 03.05.2023).

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ МИКРОТВЕРДОСТИ КЕРАМИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛА МЕТОДАМИ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

В.В. Ковалев, Д.Д. Скоробогатов, студенты каф. АСУ;

А.Е. Резванова, Б.С. Кудряшов, ИФПМ СО РАН

*Научный руководитель А.Н. Пономарев, доцент каф. КСУП, к.ф.-м.н.
г. Томск, ТУСУР, kovalev85291@gmail.com*

Проведен анализ экспериментальных данных твердости материалов при различных нагрузках, использованы разнообразные методы машинного обучения для прогнозирования промежуточных данных твердости, проведено сравнение эффективности различных методов и выбран наиболее эффективный подход для прогнозирования.

Ключевые слова: гидроксипатит, углеродные нанотрубки, твердость, машинное обучение, регрессионные модели.

В современном мире исследования в области прогнозирования механических свойств материалов играют важную роль в различных индустриях, таких как производство, инженерия и наука материалов. Особое внимание уделяется прогнозированию промежуточных данных твердости материалов на основе экспериментальных данных при различных нагрузках. Это имеет большое значение для оптимизации производственных процессов, повышения качества продукции и минимизации издержек.

Целью исследования является разработка и сравнение различных методов прогнозирования промежуточных данных твердости материалов, полученных при нагрузках 100, 200, 300 и 500 гс. Необходимо провести анализ экспериментальных данных твердости материалов при различных нагрузках, использовать разнообразные методы машинного обучения для прогнозирования промежуточных данных твердости, сравнить эффективность различных методов и выбрать наиболее эффективный подход для прогнозирования.

В моделях были использованы различные методы машинного обучения для решения задачи регрессии, где требуется предсказать значения твердости материала на основе типа образца и нагрузки, подаваемых на него. Анализируя возможные варианты, были рассмотрены методы, такие как линейная регрессия, полиномиальная регрессия, случайный лес решений и AdaBoostRegressor.

Для реализации моделей использовалась библиотека scikit-learn [1].

Пример спрогнозированных значений твердости приведен на рис. 1.

В таблице представлены результаты точности моделей, где среднеквадратичная ошибка была рассчитана на основе данных обучающей выборки.

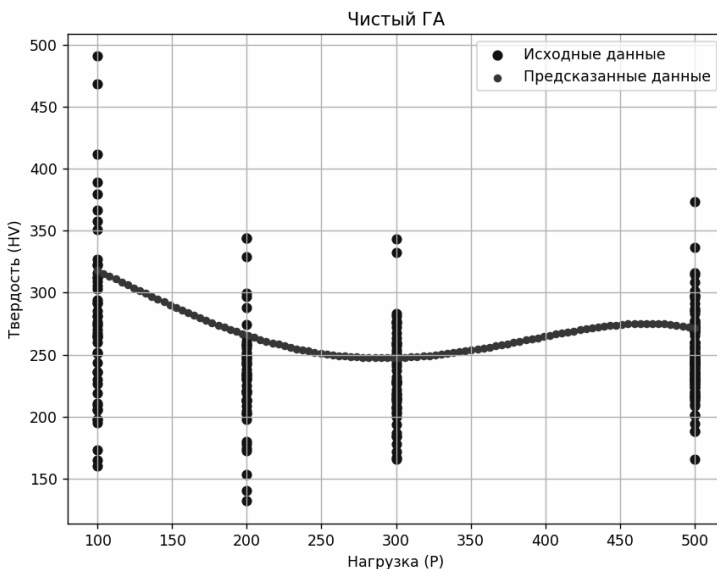


Рис. 1. График сравнения спрогнозированных данных методом полиномиальной регрессии с экспериментальными для чистого ГА

Среднеквадратичная ошибка полученных регрессионных моделей

Регрессионная модель	Среднеквадратичная ошибка
Линейная регрессия	62,58
Полиномиальная регрессия	59,20
Случайный лес решений	59,20
AdaBoostRegressor	59,84

Закключение. В ходе исследования были изучены различные подходы машинного обучения, такие как линейная регрессия, случайный лес решений, регрессоры, полиномиальная регрессия и AdaBoostRegressor. Целью было выбрать оптимальный метод прогнозирования твердости при различных уровнях нагрузки на керамический материал на основе гидроксиапатита с добавками многостенных углеродных нанотрубок.

В результате изучения было выявлено, что наилучшими моделями для этой задачи являются полиномиальная регрессия и случайный лес решений.

Важно отметить, что поскольку измерения происходили лишь при нескольких значениях нагрузки и каждое измерение имело большой диапазон полученных значений твердости, модели регрессии для

каждого типа образца и каждой нагрузки выберут лишь одно определенное значение. При таких условиях невозможно получить точные предсказания значений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Scikit-learn [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://scikit-learn.org/stable/> (дата обращения: 07.03.2024).

УДК 004.94

АНАЛИЗ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ МИКРОТВЕРДОСТИ КЕРАМИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛА

В.Ю. Погудин, студент каф. КСУП;

Д.Д. Скоробогатов, студент каф. АСУ;

А.Е. Резванова, Б.С. Кудряшов, ИФПМ СО РАН

*Научный руководитель А.Н. Пономарев, доцент каф. КСУП, к.ф.-м.н.
г. Томск, ТУСУР, pogudin.vova@bk.ru*

Спрогнозированы значения микротвердости керамических материалов на основе гидроксипатита с добавлением многостенных углеродных нанотрубок различными методами машинного обучения при помощи библиотек на языке Python. Произведено сравнение результатов.

Ключевые слова: гидроксипатит, углеродные нанотрубки, твердость, машинное обучение, регрессионные модели, нейронные сети.

Создание керамических материалов с оптимальными характеристиками из гидроксипатита (ГА) с добавлением многостенных углеродных нанотрубок (МУНТ) очень затратно по времени и ресурсам, поскольку необходимо создавать большое количество образцов с разным соотношением ГА и МУНТ для дальнейшего исследования механических свойств, а это довольно долгий и трудоёмкий процесс, включающий в себя множество аспектов. Для оптимизации прогнозирования физических свойств образцов можно применить методы машинного обучения.

Работа направлена на создание моделей машинного обучения, предсказывающих значения микротвердости керамических материалов на основе ГА, а также с добавками МУНТ, по подаваемой на них нагрузке. Датасет, на котором обучались модели, основан на данных измерения твердости экспериментальных образцов методом Виккерса при нагрузках 100, 200, 300 и 500 грамм-сил. Измерения производились на трех типах образцов: чистом ГА, ГА + 0,5 масс.% МУНТ (1), ГА + 0,5 масс.% МУНТ (2). Серии 1 и 2 отличаются пористостью и разной технологией получения. На каждую нагрузку приходилось

множество измерений. Полученные значения твердости имеют высокий разброс, что связано с неоднородностью и пористостью материала, а также погрешностями измерения.

На вход моделей подавался тип образца и подаваемая на него нагрузка. Поскольку на выходе необходимо спрогнозировать значения твердости, это является задачей регрессии. При создании регрессионной модели были проанализированы несколько методов машинного обучения, а именно: линейная регрессия, полиномиальная регрессия, random forest regressor (случайный лес решений), ada boost regressor, xgboost regressor (методы бустинга деревьев решений), а также нейронная сеть.

Для реализации первых 4 моделей использовалась библиотека scikit-learn [1]. Для второго метода бустинга библиотека xgboost [2]. Нейронная сеть была создана с помощью keras [3].

Пример спрогнозированных значений твердости показан на рис. 1.

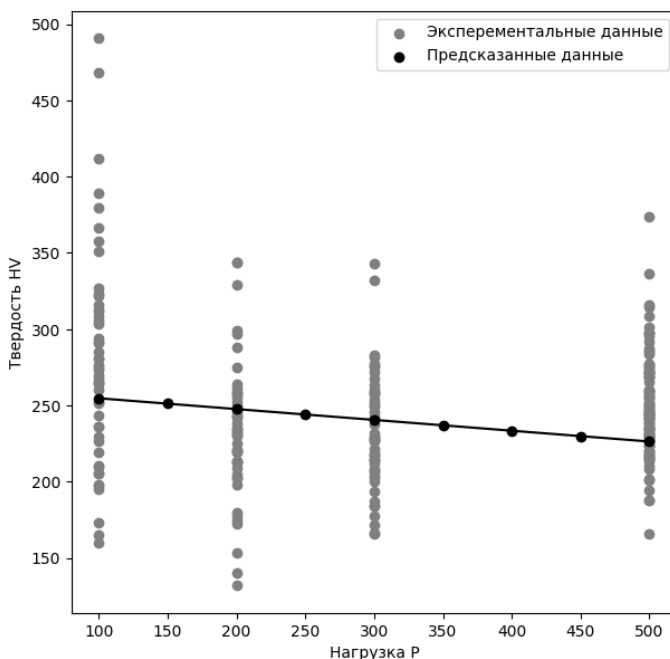


Рис. 1. График сравнения спрогнозированных данных методом линейной регрессии с экспериментальными для чистого ГА

Результаты точности моделей представлены в таблице. Средне-квадратичная ошибка рассчитывалась относительно обучающей выборки.

Среднеквадратичная ошибка полученных регрессионных моделей

Регрессионная модель	Среднеквадратичная ошибка
Линейная регрессия	55,399
Полиномиальная регрессия	49,504
Случайный лес решений	48,975
AdaBoostRegressor	49,819
XGBRegressor	48,965
Нейронная сеть	50,615

По результату прогнозирования случайный лес для промежуточных значений нагрузки предсказывал одинаковые значения твердости, что и для экспериментальных. Это происходило вследствие того, что дерево присваивало определенное значение твердости определенному диапазону значений нагрузки. Данная свойство мешает точному прогнозированию результатов, делая данный метод неподходящим для прогнозирования микротвердости. То же касается методов бустинга, которые также основаны на деревьях решений.

Заключение. В результате были проанализированы различные методы машинного обучения, такие как линейная регрессия, полиномиальная регрессия, random forest regressor, ada boost regressor, xgbregressor, а также регрессор на основе нейронной сети. В результате анализа было выявлено, что наиболее оптимальными регрессионными моделями являются полиномиальная регрессия и нейронная сеть. Модели случайного леса и бустинга, соответственно, в данном случае не способны предсказывать твердость при промежуточных значениях нагрузки вследствие особенности их работы.

Важно отметить, что поскольку измерения происходили лишь при нескольких значениях нагрузки и каждое измерение имело большой диапазон полученных значений твердости, модели регрессии для каждого типа образца и каждой нагрузки выберут лишь одно определенное значение. При таких условиях невозможно получить точные предсказания значений.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИФПМ СО РАН, номер темы FWRW-2022-0002.

ЛИТЕРАТУРА

1. Scikit-learn [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://scikit-learn.org/stable/> (дата обращения: 07.03.2024).
2. XGBoost [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://neerc.ifmo.ru/wiki/index.php?title=XGBoost> (дата обращения: 07.03.2024).
3. Keras: Deep Learning for humans [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://keras.io/> (дата обращения: 07.03.2024).

ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ХРАНЕНИЯ КОНСТРУКТОРСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ С ПРИМЕНЕНИЕМ АЛГОРИТМОВ КОМБИНАТОРНОЙ ГЕНЕРАЦИИ

А.В. Токарева, м.н.с. ЛАТИДС, каф. КСУП

г. Томск, ТУСУР, alinagrinkevich@yandex.ru

При создании сложных технических комплексов каждое комплектующее обязательно обеспечивается конструкторской документацией. Большой объем информации важно хранить централизованно с единой системой реквизитов. Когда в производстве задействовано несколько исполнителей, данный вопрос требует решения с помощью специализированного программного обеспечения. Приведен принцип хранения информации с применением модифицированного метода идентификации и прослеживаемости изделий с использованием комбинаторной генерации на основе деревьев И/ИЛИ.

Ключевые слова: алгоритмы комбинаторной генерации, хранение данных, деревья И/ИЛИ, конструкторская документация.

Конструкторская документация (КД) неизбежно сопровождает сложное техническое изделие на всех этапах жизненного цикла. Существующие системы автоматизированного проектирования позволяют решать большой спектр задач, связанных с проектированием, контролем качества документации, их систематизацией. Однако на практике при создании сложных технических комплексов (например, в ракетно-космической, машиностроительной отрасли) возникает проблема хранения КД, так как в реализации может быть задействовано несколько предприятий, научно-исследовательских центров, конструкторских бюро.

В связи с этим требуется разработка программного обеспечения, позволяющего автоматизировать процесс хранения текущей и архивной конструкторской документации с единым информационным хранилищем.

Целью данного исследования является разработка принципа хранения конструкторской документации для сложных технических изделий, основанного на модифицированном методе идентификации сложных технических изделий с применением алгоритмов комбинаторной генерации. Приведена абстрактная модель процесса хранения конструкторской документации с использованием деревьев И/ИЛИ.

Данные, собираемые в архив конструкторской документации, должны обеспечиваться единством информационного пространства и быть отделены от финансово-экономических, кадровых данных. Это позволяет получать оперативный доступ к тем документам, от кото-

рых напрямую зависит процесс производства сложного технического изделия.

С новыми технологиями стало актуальным использование электронного архива, основными задачами которого являются автоматизация процесса импорта документов, оперативный поиск, получение документов по запросу на основании прав доступа [1]. Однако для таких технических комплексов, которые имеют долгий цикл разработки и производства, а также большое количество взаимодействующих предприятий-исполнителей, оптимальным решением будет использование единого архива, который минимизирует проблему децентрализации и отсутствия единства реквизитов КД.

Для создания архива конструкторской документации предлагается использовать модифицированный метод идентификации и прослеживаемости сложных технических изделий на основе комбинаторной генерации и деревьев И/ИЛИ с учётом специфики процесса хранения архивных данных.

Деревья И/ИЛИ, описанные в работе [2], подразумевают под собой древовидную структуру представления множества, которая содержит узлы двух типов: И-узел и ИЛИ-узел. Алгоритмы комбинаторной генерации, в свою очередь, обеспечивают действия с множеством объектов, такие как ранжирование, генерация нескольких элементов.

Суть модифицированного метода идентификации и прослеживаемости с использованием алгоритмов комбинаторной генерации на основе деревьев И/ИЛИ заключается в создании справочника-классификатора для определённого множества с выделением прав третьим лицам на внесение информации о комплектующих изделия. С помощью алгоритма Rank можно создать идентификационный номер изделия, используя обратный алгоритм Unrank, получить описание конкретного варианта.

Применяя данный метод для реализации процесса хранения, можно соотнести КД с конкретным комплектующим, при этом декомпозировать весь комплекс документов на основании предприятий-исполнителей. Исходя из полученной декомпозиции, выделить ряд комплектующих, которые обеспечены пакетом КД, при этом сами документы разделить на характеристики. Пример модели представлен на рис. 1.

Хранение конструкторской документации – это важный процесс для любого предприятия, производящего сложные технические комплексы. Зачастую большой объём таких документов не централизован из-за того, что в производстве задействовано несколько предприятий-

исполнителей. Предложенный принцип хранения документов на основе алгоритмов комбинаторной генерации и деревьев И/ИЛИ решает ряд задач: единая система идентификации, выделение доступа к прослеживаемости документов, оперативный поиск. Данный принцип в дальнейшем можно использовать для информационно-управляющих систем.

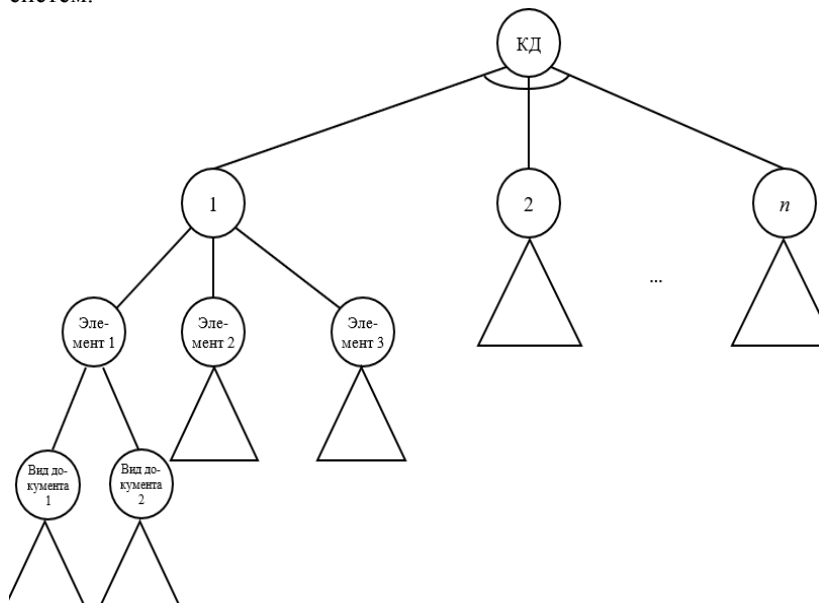


Рис. 1. Представление конструкторской документации

Работа выполнена в рамках гранта Российского научного фонда (проект № 22-71-10052).

ЛИТЕРАТУРА

1. Черепанов Н.В. Применение и развитие системы электронного архива конструкторской, технологической и технической информации для хранения и использования электронных документов машиностроительного предприятия и его правовое обеспечение // *Инновации и инвестиции*. – 2021. – № 9. – С. 78–82.
2. Кручинин В.В.. Методы, алгоритмы и программное обеспечение комбинаторной генерации: дис. ... д-ра техн. наук. – 2010. – 163 с.

РАЗРАБОТКА УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА ПО ИЗУЧЕНИЮ РОБОТА-МАНИПУЛЯТОРА

***К.В. Васильев, студент; Н.Ю. Хабибулина, доцент каф. КСУП
г. Томск, ТУСУР, каф. КСУП, kornil.vasilev@bk.ru***

Представлены результаты разработки учебно-методического комплекса лабораторных работ по изучению работы и способам управления роботом-манипулятором на основе коллаборативного робота CS63.

Ключевые слова: робот-манипулятор, лабораторная работа.

Разрабатываемый проект включает в себя исследование возможностей коллаборативного робота CS63 [1] от компании ELITE ROBOTS [2], а также создание учебного комплекса для изучения и управления модели. Робот CS63 имеет компактные размеры, что делает его идеальным для использования в учебных аудиториях для обучения студентов.

В ходе работы студенты смогут научиться создавать функциональные 3D-модели роботов-манипуляторов, которые уже на этапе проектирования в САПР можно будет двигать. После создания данных моделей они будут переданы в математическую среду, в которой уже будет осуществляться полноценное программирование и управление роботом.

Коротко представим каждую из лабораторных работ.

1. Цель работы – изучение программной системы автоматического проектирования, построение отдельных деталей робота, их сборка и дальнейшая передача в математическую среду.

2. Цель работы – изучение математического программного приложения. Распаковка построенной модели робота CS63, её настройка, проверка и создание отдельного окна интерфейса для работы с роботом.

3. Цель работы – математическое моделирование робота. Формирование управляемых параметров, вывод значений параметров в интерфейс управления в качестве итоговых значений нахождения захватов на фланце робота. В описании математических моделей механических роботов широкое применение получило ДХ-представление, разработанное Денавитом и Хартенбергом.

Результаты, полученные в конце выполнения лабораторных работ, представлены на рис. 1, 2.

В процессе выполнения создана 3D-модель с использованием программной САПР.

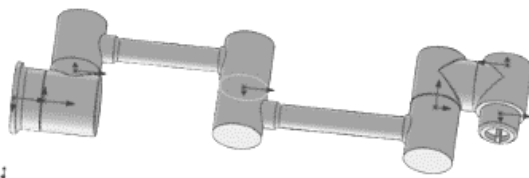


Рис. 1. Модель коллаборативного робота-манипулятора CS63, выполненная в САПР по результатам первой лабораторной работы

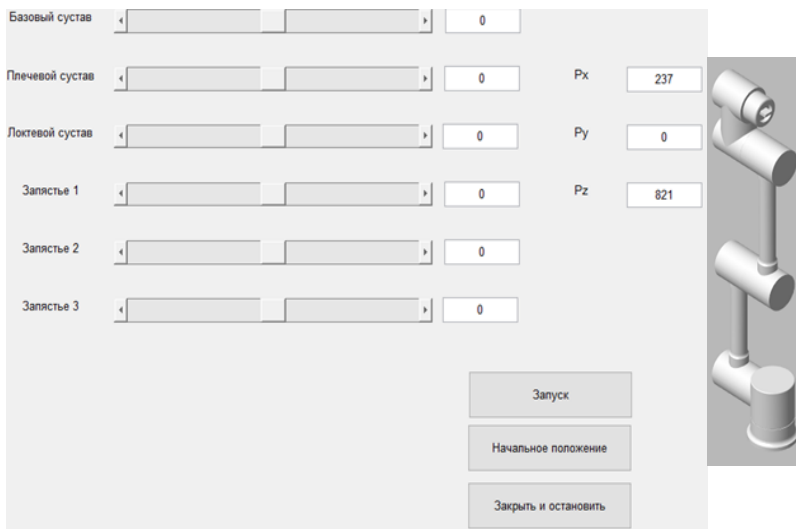


Рис. 2. Панель управления робота CS63 по результатам второй и третьей лабораторных работ

Далее данная модель передана в математическую среду. Разработан GUI-интерфейс, который позволяет интерактивно управлять созданной моделью. Разработан учебно-методический комплект для выполнения лабораторных работ по изучению принципов управления коллаборативных роботов. Данный комплект планируется использовать в курсе «Основы робототехники» для технических специальностей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Коллаборативный робот CS63. Основная страница робота [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.eliterobots.com/products/cs63-robot/> (дата обращения: 03.03.2024).

2. Компания ELITE ROBOTS. Главный сайт компании [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.eliterobots.com> (дата обращения: 03.03.2024).

АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ДЕШИФРИРОВАНИЕ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ С ПРИМЕНЕНИЕМ НЕЙРОСЕТЕВЫХ МОДЕЛЕЙ

*М.С. Еременко, А.Д. Элешкевич, инженеры-программисты
г. Томск, АО «ТомскНИПИнефть», EremenkoMS@tomsknpi.ru*

Поднимается проблема автоматизации дешифрирования данных дистанционного зондирования Земли. Для решения этой проблемы предлагается подход, основанный на обучении нейронной сети. В качестве результатов работы приведен пример решения задачи распознавания контуров водных объектов. Для решения производственных задач предлагается рассмотреть возможность интеграции разработанного алгоритма с настольной геоинформационной системой QGIS путем создания модуля.

Ключевые слова: нейронная сеть, данные дистанционного зондирования Земли, геоинформационные системы.

В процессе разработки и эксплуатации месторождений нефтяной и газовой индустрии возникает потребность в обработке данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) для различных задач экологического мониторинга, строительного контроля, геодезических и картографических работ, а также многих других. Классический способ обработки данных ДЗЗ представляет собой ручную обработку, недостатком такого способа является низкая скорость обработки данных, а также влияние человеческого фактора при обработке большого объема данных. Основным способом увеличения скорости обработки большого массива данных ДЗЗ при ручном распознавании является привлечение большего числа сотрудников к этому процессу, что негативно сказывается на целесообразности самого процесса обработки данных. Не исключена также возможность отказа от обработки актуальных данных ДЗЗ в пользу более старых, возможно, уже неактуальных данных ДЗЗ, но при этом ранее обработанных.

Альтернативными способами по обработке данных были алгоритмы, построенные на «классическом» математическом аппарате, использующие вероятностные распределения, матрицы и вектора Фишера, различные спектральные плотности и уравнения [2–4]. Однако, результаты обработки данных ДЗЗ такими способами не давали высокой точности. В связи с появлением и развитием в начале 2010-х гг. сверточных нейросетевых алгоритмов, которые из года в год превосходили модели на основе «классического» математического аппарата [5], вопрос автоматизации процесса дешифрирования данных ДЗЗ приобрел большую актуальность.

Описание эксперимента. В качестве опытного эксперимента по применению нейросетевых моделей на практике для обработки данных ДЗЗ нами была рассмотрена задача по распознаванию и созданию вектор-слоя водных объектов по данным съемки с БПЛА.

В качестве нейросети для эксперимента была выбрана модель U-net с функцией активации сигмоид, число эпох обучения было равно 15, соотношение обучающей и тестовой выборки было 80 и 20% соответственно, в качестве метрики ошибки была ошибка Дайса. Общая площадь данных для исследования составила 300 км².

Результаты. В результате обучения нейросети была достигнута ошибка по вышеуказанной метрике в 5%, на рис. 2 представлены наглядные результаты работы нейросети (справа), а также сравнения с желаемым результатом (по центру) и исходное изображение (слева).

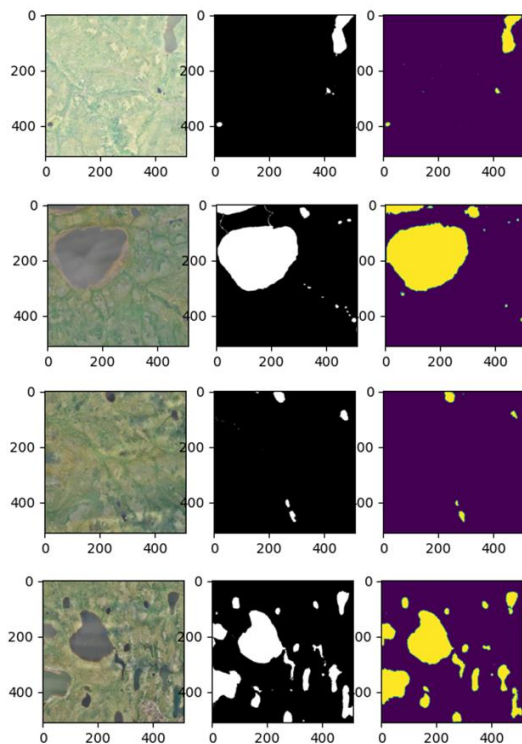


Рис. 1. Результаты обученной нейросети

Заключение. В результате проведенного эксперимента можно сказать, что достигнутый порог ошибки в 5% и визуальный осмотр

результатов нейросети свидетельствуют о высокой степени автоматизации процесса дешифрирования водных объектов. Таким образом, технология распознавания данных ДЗЗ при помощи нейросетевых моделей при дальнейшем развитии и применении в других задачах дешифрирования может показать хороший результат, что позволит существенно сократить трудозатраты и ускорить обработку большого массива данных ДЗЗ.

Для дальнейшего применения в производственных задачах обученную нейросеть можно интегрировать в геоинформационную систему, например QGIS. Такое решение позволит пользователям, не знакомым с устройством работы нейросетей, применять готовые модели. В данный момент производится техническая реализация представленного решения путём создания модуля для QGIS.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ковин Р.В. Геоинформационные системы: учеб. пособие / Р.В. Ковин, Н.Г. Марков. – Томск: Изд-во Том. политехн. ун-та, 2008. – 175 с.

2. Рылов С.А. Алгоритм спектрально-текстурной классификации спутниковых изображений с использованием частичного обучения // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2019. – Т. 4, № 1. – С. 37-43. DOI: 10.33764/2618-981X-2019-4-1-37-43.

3. Шеломенцева И.Г. Обзор базовых алгоритмов классификации в задаче распознавания изображений анализов мокроты, окрашенной по методу Циля–Нильсена // Актуальные проблемы современной науки в 21 веке: сб. матер. XIV Междунар. науч.-практ. конф., Махачкала, 31 августа 2017 г. – Махачкала: ООО «Апробация», 2017. – С. 18–21.

4. Алгоритмы поиска и классификации изображений линейных объектов на космоснимках / И.Н. Кандоба, В.Б. Костоусов, К.В. Костоусов, Д.С. Перевалов // Математические методы распознавания образов. – 2009. – Т. 14, № 1. – С. 536–539.

5. Бычков А.Г. Использование сверточных нейросетей для классификации изображений / А.Г. Бычков, Т.В. Киселева, Е.В. Маслова // Вестник Сибирского гос. индустр. ун-та. – 2023. – № 1(43). – С. 39–49. DOI: 10.57070/2304-4497-2023-1(43)-39-49.

Секция 6

ЭКОЛОГИЯ И МОНИТОРИНГ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ. БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

*Председатель – Карташев А.Г., проф. каф. РЭТЭМ, д.б.н.;
зам. председателя – Денисова Т.В., доцент каф. РЭТЭМ, к.б.н.*

УДК 502.31

ПРИМЕНЕНИЕ ФИЗИЧЕСКОЙ ВЕЛИЧИНЫ «УГОЛ ЕСТЕСТВЕННОГО ОТКОСА» В ИССЛЕДОВАНИЯХ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ *А.Д. Бирюкова, ученица спецкласса; Е.И. Вологжанина, преп. математики ЦДДО* *г. Томск, ТУСУР, nn.alexandra.143@gmail.compochta*

Приведены результаты эксперимента по определению угла естественного откоса сыпучих веществ; обобщены примеры использования получаемых результатов в исследованиях окружающей среды.

Ключевые слова: угол естественного откоса, окружающая среда.

Угол естественного откоса (φ) необходимо знать при разработке природоохранных мероприятий, проектировании сооружений защиты грунтов от эрозионных и оползневых разрушений в природных и техногенных средах, проектировании укрепительных конструкций и сооружений, а также при транспортировке и хранении сельхозпродукции [1]. По углам естественного откоса определяются максимально допустимые углы откосов уступов и бортов карьеров, насыпей, отвалов и штабелей, транспортных лент, допустимые объемы и массы сельхозпродукции в бункерах и хранилищах.

В разных источниках информации приведены разные значения φ для одного и того же материала. Это объясняется различными методами измерения φ , различными условиями измерения и различными

свойствами подобных материалов (например, разная влажность сыпучего материала влияет на значение φ). Целью исследования является выявление и определение наиболее простых, а из простых наиболее точного способа расчета угла естественного откоса сыпучих веществ.

Так как исследование проводилось в зимнее время – грунтовые образцы не представлялось возможным подготовить, поэтому объектом исследования стали доступные сыпучие вещества: рис круглозерный, рис длиннозерный, гречка, манка, овёс, семена укропа, хвоя ели, спички.

Гипотеза: для быстрого определения угла естественного откоса сыпучего материала имеются простые методы, можно применять «легкий» математический аппарат.

В результате исследования [2–8, 13] было обнаружено, что в источниках не встречаются значения φ для семян укропа, хвои и спичек. Проанализировав доступную информацию, остановились на четырех способах расчета угла естественного откоса.

1. Измерили несколько раз диаметр конуса d штангенциркулем. Вычислили радиус по формуле $r = d/2$. Из формулы объема конуса вычислили высоту воронки $h = 3V/(3,14 \times r^2)$. Вычислили $\operatorname{tg}\varphi = h/r$. По таблице тангенсов нашли угол φ .

2. Измерили d . Вычислили радиус $r = d/2$. Измерили высоту горки h . Вычислили $\operatorname{tg}\varphi = h/r$. По таблице нашли угол φ .

3. Измерили d . Вычислили r . Измерили длину наклона горки l . Вычислили $\cos\varphi = r/l$. По таблице нашли угол φ .

4. Измерили d . Вычислили радиус $r = d/2$. Измерили h . По теореме Пифагора вычислили длину наклона горки l . Вычислили $\cos\varphi = r/l$. По таблице косинусов нашли угол φ .

Результаты расчетов представляем в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

Материал	Способ расчета			
	№ 1, градус	№ 2, градус	№ 3, градус	№ 4, градус
Рис круглозер.	45	33–34	20–21	32–33
Рис длиннозер.	37–38	31–32	15–16	31–32
Гречка	39–40	27–28	28–29	27–28
Манка	41	34–35	35–36	34–35
Овёс	29–30	25	22–23	25
Укроп сем.	29–30	30–31	20–21	30–31
Спички	41	39–40	43–44	39–40
Хвоя ели	51–52	42–43	50–51	42–43

Значения ϕ круглозерного и длиннозерного риса, гречки, манки и овса подобны значениям, представленным в источниках информации [2–8]. Значения ϕ укропа, спичек и хвои ели сравнить с данными других авторов не удалось ввиду отсутствия таковых.

Проанализировав результаты, можно сделать вывод: для практического применения математического аппарата необходимо использовать несколько способов и затем выбрать менее трудоемкий, но более точный. В нашем случае – способ 2: он включает в себя простой эксперимент и «лёгкий» математический аппарат и может быть использован при экспресс-определении ϕ , на знании значения которого решаются серьёзные инженерные задачи.

В проекте проведено обобщение областей применения ϕ в сфере взаимодействия человека с окружающей средой. Представляем их в табл. 2.

Таблица 2

Практическое применение знания значений угла естественного откоса

Отрасль	Угол естественного откоса (применение с точки зрения взаимодействия человека с окружающей средой)	Источники
Горная промышленность и разработка карьеров	Определяет наибольшую крутизну плоских откосов земляных сооружений, траншей и котлованов, устраиваемых без креплений. При естественной крутизне откосов обеспечивается устойчивость земляных насыпей и выемок, что содействует предотвращению оползней на угольных отвалах и как следствие минимизирует экологический ущерб	9, 10, 11, 12
Сельское хозяйство	Важен при обращении и хранении сельскохозяйственной продукции, влияет на конструкцию силосов, бункеров; содействует предотвращению ущерба от потери продукции, и как следствие минимизирует отрицательное влияние на окружающее пространство	9, 6
Строительство	Важен для проектирования откосов, насыпей, подпорных стенок, траншей для прокладки труб, дамб и плотин; помогает инженерам понять стабильность почвы, камней и других сыпучих материалов, чтобы предотвратить оползни или обрушения	9,
Геотехническая инженерия, строительство дорог, геология	Важен при геотехнических исследованиях, особенно при оценке устойчивости склонов, насыпей и естественных форм рельефа, при формировании и строительстве склонов и насыпей; помогает определить вероятность оползней и безопасно спроектировать конструкции на склонах; важен для оценки и мониторинга песчаных дюн и гранулированных формаций	9, 13

Как одну из значимых особенностей сыпучих материалов исследователи выделяют «устойчивость» горки, которая является максимальной, если формировать насыпь, соблюдая (не превышая и не занижая) угол естественного откоса сыпучего материала.

В результате проведенных экспериментальных исследований рассчитаны величины φ для сыпучих материалов, значение φ для которых редко или почти не встречается в источниках информации: семена укропа ($\varphi = 21\text{--}30$ град), хвоя ели ($\varphi = 43\text{--}51$ град), спички ($\varphi = 40\text{--}43$ град).

Полученные значения могут применяться при проектировании транспортеров, систем хранения и переработки этих материалов.

Таким образом, знание значений углов естественного откоса сыпучих веществ грунтов и сельхозпродукции позволяет разрабатывать и применять меры по предотвращению экологических катастроф (оползни, загрязнение окружающей среды, «потерянная» с/х продукция и пр.).

ЛИТЕРАТУРА

1. Дружакина О.П. Устойчивость грунтовых массивов: учеб.-метод. пособие / сост. О.П. Дружакина, К.В. Гаврилова. – Ижевск: Изд-во Удмуртского ун-та. – 2012. – 68 с.

2. Угол естественного откоса. – URL: <https://studfile.net/preview/7011908/page:5/> (дата обращения: 24.02.2024).

3. Лосик А.С. Конические горки / А.С. Лосик, Г. Червень. – Беларусь, 2018. – 7 с. [Электронный ресурс]. – URL: http://nauka-it.ru/attachments/article/4217/lusik_26_12_2018_marafon.pdf (дата обращения: 24.02.2024).

4. Щевровский А.В. Исследовательский проект: Сыпучая горка. – 2019 [Электронный ресурс]. – URL: <https://nsportal.ru/ap/library/drugoe/2021/07/01/proektno-issledovatel'skaya-rabota-sypuchaya-gorka> (дата обращения: 24.02.2024).

5. Шопин И.А. Исследование параметров образования конуса при насыпании нелипких гранулированных материалов // Лучшие научные исследования студентов и учащихся: сб. статей IV Междунар. науч.-практ. конф., Пенза, 15 авг. 2023 г. – Пенза: Наука и Просвещение (ИП Гуляев Г.Ю.), 2023. – С. 8–13 [Электронный ресурс]. – URL: https://elibrary.ru/download/elibrary_54304466_46336953.pdf (дата обращения: 24.02.2024).

6. Угол естественного откоса зерна [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.grainsilo.ru/grain-technology-update/angle-of-repose-of-grain.html> (дата обращения: 24.02.2024).

7. Нормы технологического проектирования мельничных предприятий. – М., 1991 [Электронный ресурс]. – URL: https://www.standartov.ru/norma_doc/9/9792/ (дата обращения: 24.02.2024).

8. Плотность насыпная – нормативный объемный вес, угол естественного откоса в градусах, коэффициенты трения по бетону и по стали основных сыпучих материалов: инженерный справочник [Электронный ресурс]. – URL: <https://dpva.ru/Guide/GuidePhysics/GuidePhysicsDensity/PlotnostUgolOtkosaTreniyaSypuchihMaterialov/> (дата обращения: 24.02.2024).

9. Material Nesting Expert. Angel of Repose [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.materialtestingexpert.com/aggregate/angle-of-repose> (дата обращения: 24.02.2024).

10. СНиП 2.05.07–91* [Электронный ресурс]. – URL: https://pzhproekt.ru/ntsis/Snip/Pril/2-05-07-91_06pr.htm (дата обращения: 24.02.2024).

11. Угол естественного откоса. Буровые установки [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.drillings.su/ugol-otkosa.html> (дата обращения: 24.02.2024).

12. Мухина А.С. Геоэкологическое обоснование рекультивации внешних отвалов при разработке угольных месторождений Кузбасса: дис. ... канд. техн. наук. 25.00.64. – СПб., 2022. – 174 с.

13. A review on the angle of repose of granular materials / M. Hamzah, Beakawi Al-Hashemi, Omar S. Baghabra Al-Amoudi // Powder Technology 330. – 2018. – P. 397–417 [Электронный ресурс]. – Available from: https://www.researchgate.net/publication/323441895_A_review_on_the_angle_of_repose_of_granular_materials (дата обращения: 06.03.2024).

УДК 504.054

СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОДОЕМОВ И АТМОСФЕРЫ В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

А.С. Липчинская, студентка каф. менеджмента

*Научный руководитель М.Г. Сидоренко, ст. преп. каф. менеджмента
г. Томск, ТУСУР, marina.g.sidorenko@tusur.ru*

Рассмотрены причины загрязнений атмосферы и водоемов. Проведен анализ динамики показателей экологического мониторинга в России при помощи статистических методов.

Ключевые слова: экология, мониторинг окружающей среды, выбросы в атмосферу, загрязнение водоёмов.

Современное общество сталкивается с серьёзными экологическими проблемами, которые негативно влияют на человека и на окружающую среду. Для предотвращения дальнейших экологических катастроф необходимо проводить мониторинг окружающей среды и анализ данных, полученных при мониторинге. Наблюдение за экологией позволяет людям получить информацию о состоянии природных ресурсов, атмосферы, различных водоёмов и т.д.

Воздух и вода – одни из самых главных ресурсов окружающей среды, требующие постоянного контроля за количеством загрязнений. Загрязнение атмосферы может привести к серьёзным экологическим проблемам. Выбросы от промышленных предприятий и выбросы выхлопных газов от автомобилей наносят значительный ущерб окружа-

ющей среде, в результате чего происходит изменение климата, ухудшение здоровья людей и разрушение озонового слоя. Поэтому важно контролировать количество выбросов, загрязняющих атмосферу.

Загрязнение воды также может привести к серьёзным последствиям для окружающей среды. Предприятия, не занимающиеся очисткой своих промышленных стоков или нерационально использующие водные ресурсы, являются основными источниками загрязнения вод. Значительное влияние также оказывают отходы жизнедеятельности человека. Мониторинг качества воды имеет огромное значение для сохранения экосистем, предотвращения отравления питьевой воды и поддержания биологического разнообразия [1].

Официальные данные Росстата об объёме сброса загрязнённых сточных вод, а также количестве выбросов загрязняющих атмосферу веществ стационарными и передвижными источниками можно найти в открытом доступе [2]. Показатели загрязнения, представленные в табл. 1, можно использовать для анализа динамики загрязнения окружающей среды.

Таблица 1

Объём загрязнений сточных вод и атмосферы в Российской Федерации

Годы	Объём сброса загрязнённых сточных вод (млрд куб. м)	Выбросы загрязняющих атмосферу веществ стационарными и передвижными источниками (тыс. т)
2015	14,4	31 269
2016	14,7	31 617
2017	13,6	32 068
2018	13,1	32 327
2019	12,6	22 735
2020	11,8	22 228
2021	11,6	22 300
2022	11,3	22 205

Для анализа временных рядов данных, полученных в результате экологического мониторинга, можно использовать формулы средних показателей рядов динамики. Наиболее подходящими в данном случае являются показатели среднего абсолютного прироста $\bar{\Delta}$ и среднего темпа прироста $\bar{T}_{\text{пр}}$

$$\bar{\Delta} = (y_n - y_1) / (n - 1); \quad \bar{T}_{\text{пр}} = \left(n\sqrt[n]{(y_n / y_1)} - 1 \right) \cdot 100\%,$$

где y_1 и y_n – значение уровня динамического ряда в первый и последний моменты времени; n – число уровней ряда.

В табл. 2 приведены рассчитанные среднегодовые показатели для данных экологического мониторинга с 2015 по 2022 г. Можно отме-

тить снижение объема сброса загрязненных сточных вод в размере 0,44 млрд куб. м в среднегодовом исчислении, что составляет 3,4% от уровня предыдущего года. Рассчитанные данные, характеризующие динамику атмосферных выбросов, также свидетельствуют о среднегодовом снижении на 1294,86 тыс. т. В процентном отношении ежегодно выбросы в атмосферу в России сокращались на 4,77%. Снижение объема сброса загрязнений имеет положительную динамику, с каждым годом в бассейны отдельных рек и морей попадает все меньше сточных вод, которые загрязняют воду. Загрязнение атмосферы также имеет положительную динамику.

Таблица 2

**Средние показатели для данных экологического мониторинга
в Российской Федерации, 2015–2022 гг.**

	Средний абсолютный прирост	Средний темп прироста, %
Выбросы загрязняющих атмосферу веществ стационарными и передвижными источниками	-1294,86 тыс. т	-4,77
Объем сброса загрязнённых сточных вод	-0,44 млрд куб. м	-3,40

Мониторинг окружающей среды предоставляет возможность людям учитывать и анализировать информацию о различных видах загрязнений. Систематическое наблюдение с последующим анализом данных о размерах выбросов обеспечивает возможность оперативного реагирования на экологические проблемы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кривошеева К.Д. Организация мониторинга окружающей среды на территории области Калининградским центром по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды // Дни науки: матер. межвуз. науч.-техн. конф. студентов и курсантов на базе ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет», Калининград, 02–15 апреля 2018 г. – Калининград: Калининградский гос. техн. ун-т, 2018. – С. 331–334.

2. Окружающая среда [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://rosstat.gov.ru/folder/1119>, свободный (дата обращения: 10.02.2024).

**МОНИТОРИНГ ВОДНЫХ ОХОТНИЧЬИХ УГОДИЙ
МОЖГИНСКОГО ЛЕСНИЧЕСТВА
УДМУРТСКОЙ РЕСПУБЛИКИ**

М.В. Якимов, ст. преп. каф. лесоустройства и экологии;

В.Ю. Якимова, ст. преп. каф. кормления и разведения

с/х животных; А.А. Носков, студент

г. Ижевск, УдГАУ, mikhailyackimov@yandex.ru

Проведён мониторинг водных охотничьих угодий Можгинского охотничьего хозяйства Удмуртской Республики. Проанализированы основные водные объекты: реки, пруды, озёра.

Ключевые слова: мониторинг, анализ, водные охотничьи угодья, реки, пруды.

Водные охотничьи угодья представлены в основном искусственными прудами (56 га, 0,1%) (табл. 1). Это относительно хорошие места для гнездования водоплавающих птиц, обитания бобра, ондатры, норки. Строительство прудов – самый эффективный биотехнический приём для увеличения численности этих видов охотничьих животных. Названия деревень, где располагаются пруды, и площадь прудов представлены в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

**Озера и пруды, расположенные на территории
Можгинского охотничьего хозяйства**

№ п/п	Местоположение пруда	Площадь, га
1	Малый Пязял	11
2	Рядом с д. Ключи	2
3	Рядом с д. Александрово	1,4
4	Русский Пычас	5
5	Сыррез	4
6	Подгорная	1
7	Мельниково	10
8	Большая Пудга	13
9	Сюга-Какси	7,2
10	Сюгаил	1,4
Итого:		56

На территории хозяйства имеется развитая гидрографическая сеть, обилие рек и ручьёв, это позволяет считать одним из направлений ведения Можгинского охотничьего хозяйства охоту на водоплавающую дичь. Названия и протяженность крупных рек представлены в табл. 2.

Таблица 2
**Протяженность рек, протекающих по территории
 Можгинского охотничьего хозяйства**

№ п/п	Название реки	Протяженность, км
1	Вала	52,4
2	Пычас	37,1
3	Сюгаилка	5,6
4	Боринка	12,6
5	Уленвайка	13,8
6	Лоллезка	10,8
7	Сюзяшурка	9,0
8	Пазялка	6,2
9	Тлоинка	9,9
10	Сюга	10,0
11	Бобинка	7,4

Река Вала протекает через всю территорию с юга на север. Имеет протяжённость по территории охотничьего хозяйства 52,4 км и играет существенную роль в ведении Можгинского охотничьего хозяйства. Вала является магистралью для весенне-осенних миграций водно-болотных птиц. В пойменных угодьях р. Вала сосредоточены лучшие угодья для обитания лося, зайца-беляка в хозяйстве.

Река Пычас – правый приток р. Вала. Река Пычас – вторая по значимости река в Можгинском охотничьем хозяйстве. Протекает по всему хозяйству с северо-востока на юго-запад, протяженность 37,1 км.

Река Вала является самой полноводной рекой в Можгинском охотничьем хозяйстве. Общая протяжённость рек составляет 174,8 км.

Водные угодья являются важной частью для жизни, развития и воспроизводства охотничьих ресурсов. Водные угодья улучшают общий класс бонитета охотничьих угодий и позволяют охотиться на зайцев, глухарей, лосей, медведей, хищных животных [1–6].

ЛИТЕРАТУРА

1. Якимов М.В. Оценка охотничьего хозяйства в части Вавожского лесничества Удмуртской Республики / М.В. Якимов, К.Г. Меркушев // Агротехнологии XXI века: стратегия развития, технологии и инновации: матер. Всерос. науч.-практ. конф., Пермь, 08–10 ноября 2022 г., Перм. гос. аграрно-технологический ун-т им. акад. Д.Н. Прянишникова. – Пермь: Изд-во «От и До», 2022. – С. 120–123.

2. Якимов М.В. Лось – основной объект охоты в Удмуртской Республике / М.В. Якимов, В.Ю. Якимова, О.А. Ивченко // Матер. XXIII Всерос. науч.-практ. конф. молодых ученых, аспирантов и студентов (с междунар. участием), посвященной памяти первого Президента Республики (Саха) Якутия

М.Е. Николаева, Якутск, 26–28 октября 2023 г. – Якутск: Изд. дом СВФУ, 2023. – С. 248–252.

3. Охота на глухаря в Удмуртской Республике / М.В. Якимов, В.Ю. Якимова, Д.Я. Евдокимов, А.Е. Перминова // Матер. XXIII Всерос. науч.-практ. конф. молодых ученых, аспирантов и студентов (с междунар. участием), посвященной памяти первого Президента Республики (Саха) Якутия М.Е. Николаева, Якутск, 26–28 октября 2023 г. – Якутск: Изд. дом СВФУ, 2023. – С. 245–248.

4. Динамика популяции зайца-беляка в Якшур-Бодьинском районе Удмуртской Республики / А.А. Ширококов, А.А. Носков, М.В. Якимов, В.Ю. Якимова // Биоразнообразие, состояние и динамика природных и антропогенных экосистем России: сб. матер. III Всерос. науч.-практ. конф., Комсомольск-на-Амуре, 15 декабря 2023 г. – Комсомольск-на-Амуре: Амурский гуманитарно-педагогический гос. ун-т, 2023. – С. 308–313.

5. Охота на бурого медведя в Удмуртской Республике / М.В. Якимов, В.Ю. Якимова, М.В. Зяпаева и др. // Матер. XXIII Всерос. науч.-практ. конф. молодых ученых, аспирантов и студентов (с междунар. участием), посвященной памяти первого Президента Республики (Саха) Якутия М.Е. Николаева, Якутск, 26–28 октября 2023 г. – Якутск: Изд. дом СВФУ, 2023. – С. 255–259.

6. Охота на хищных животных в Удмуртской Республике / М.В. Якимов, В.Ю. Якимова, М.В. Зяпаева и др. // Матер. XXIII Всерос. науч.-практ. конф. молодых ученых, аспирантов и студентов (с междунар. участием), посвященной памяти первого Президента Республики (Саха) Якутия М.Е. Николаева, Якутск, 26–28 октября 2023 г. – Якутск: Изд. дом СВФУ, 2023. – С. 252–255.

УДК 639.125.1(470.51)

МОНИТОРИНГ ЛЕСНЫХ ЗЕМЕЛЬ ДЛЯ РАЗВЕДЕНИЯ ГЛУХАРЯ

М.В. Якимов, ст. преп. каф. лесоустройства и экологии;

В.Ю. Якимова, ст. преп. каф. кормления и разведения

с/х животных; А.А. Носков, студент

г. Ижевск, УдГАУ, mikhailyackimov@yandex.ru

Рассмотрены лесные участки Можгинского охотничьего хозяйства Удмуртской Республики. Изучена биология жизни глухаря. Разведаны места глухариных токов. Проведена оценка качества охотничьих угодий и запроектированы биотехнические мероприятия для глухаря.

Ключевые слова: мониторинг, охотничьи угодья, глухарь, биология, биотехния, глухариный ток.

Глухарь – самая крупная и красивая птица среди охотничьих ресурсов в Удмуртской Республике. Численность популяции невысока и

ежегодно падает. Самый азартный, увлекательный и лучший способ охоты в весенний период – подкрадывание во время тока глухаря [1].

Цель – провести мониторинг и оценку качества охотничьих угодий и спроектировать биотехнические мероприятия для повышения качества жизни глухаря.

Задачи: изучить биологию жизни глухаря, дать оценку охотничьих угодий по бонитировочной шкале для глухаря, изучить места тока глухаря, спроектировать биотехнические мероприятия для глухаря.

Глухарь – типично лесная птица. В разные времена года перелетает на небольшие расстояния в наиболее богатые кормом места. Летом и осенью это леса с обилием различных ягодников (костяника, черника, брусника, клюква). В сентябре посещает старые осинники, где склевывает начинающие желтеть листья. Зиму проводит в сосновых насаждениях, питаясь исключительно сосновой хвоей. Здесь же, как правило, остается весной на токование. Весной и осенью для пополнения запаса гастролитов в желудке вылетает на «искусственные» галечники – железнородожные насыпи и автомобильные дороги.

Лучшие угодья для глухаря – старые сосняки – занимают в хозяйстве всего 3,0% территории. Поэтому качество угодий в целом оценено как плохое, IV бонитет (59,2%). Оптимальная плотность 23,7 гол./тыс. га, численность 852 птицы. Фактическая плотность 4,6 гол./тыс. га и численность – 165 птиц.

Основной причиной низкой численности глухаря, кроме плохого качества угодий, можно считать антропогенный фактор: беспокойство во время гнездования, вырубка спелых сосняков, особенно на токовищах, браконьерский отстрел на токах и лесных дорогах [2, 3]. А также климатические факторы особенно холодная и дождливая погода во время вылупления птенцов.

Основным мероприятием для сохранения этого вида охотничьих птиц является поиск, инвентаризация и охрана глухариных токов. В 2023 г. учтено 8 токов, отмечено 38 птиц (самцов и самок) (таблица). Работу по поиску и учёту глухариных токов необходимо продолжить. Для этого можно использовать картосхему типов охотничьих угодий с расположением старых сосновых насаждений. Также собирать информацию от местных охотников и лесников и вести поиск силами штатных работников хозяйства. После того как ток обнаружен, проводится его обследование с заполнением карточки тока. В карточке указывается: номер квартала и выдела, площадь тока, состав, возраст насаждения, количество поющих петухов и перевиденных глухарок.

Информация о глухариных токах направляется в Управление охраны фауны Удмуртской Республики и Министерство лесного хо-

зйства УР для внесения изменений в лесохозяйственную документацию о выделении особо защитных участков леса вокруг глухаринных токов.

Размещение глухаринных токов

Номер тока	Количество токующих птиц				Местонахождение тока			Площадь тока (га)
	Всего	в том числе			Участковое лесничество	Квартал	Выдел	
		Поющих петухов	Молчунов	Самок				
1	2	1	1	-	Сюгинское	23	21	0,2
2	7	5	1	1	Сюгинское	140	5	0,5
3	3	2	-	1	Сюгинское	38	21	0,3
4	7	3	2	2	Пычаское	44	22	0,1
5	6	3	1	2	Пычаское	61	4	0,1
6	7	3	2	2	Пычаское	77	14,15	0,3
7	5	3	1	1	Пычаское	82	5	0,9
8	3	1	1	1	Пычаское	105	11	0,1
Всего:	38	21	9	10				2,5

Создание искусственных галечников и порхалищ для боровой дичи – самый распространенный биотехнический прием. Нормативы, разработанные ЦНИЛ Главохоты (1986 г.), для боровой дичи: 1 галечник на 8 тыс. га и пять порхалищ на 1 тыс. га свойственных угодий.

Самый простой способ закладки порхалищ и галечников – это прокладка минерализованных полос в местах концентрации птиц. Для выполнения этой работы необходим трактор с плугом и/или бульдозер. Такие полосы эффективны и в плане профилактики распространения и борьбы с лесными пожарами.

Для обустройства стационарного галечника используется или сруб размером 1,5×1,5 м и высотой 50–70 см, или две старые тракторные покрышки (этот вариант более долговечен). После постройки галечник два года оставляют открытым. Когда птицы привыкают собираться в этом месте гальку, устанавливают над галечником крышу. Она позволяет увеличить время посещения птицами галечника до декабря.

Обслуживание галечников несложное: не реже одного раза в год удаляется различный мусор, и галька перекапывается. Рекомендуем обустройство восьми таких галечников в местах расположения глухаринных токов. 23, 38, 140-й кварталы Сюгинского участкового лесничества, 44, 61, 77, 82, 105-й кварталы Пычаского участкового лесничества. Добывается глухарей в хозяйстве немного, до двух весной на токах и до десяти осенью.

ЛИТЕРАТУРА

1. Охота на глухаря в Удмуртской Республике / М.В. Якимов, В.Ю. Якимова, Д.Я. Евдокимов, А.Е. Перминова // Матер. XXIII Всерос. науч.-практ. конф. молодых ученых, аспирантов и студентов (с междунар. участием), посвященной памяти первого Президента Республики (Саха) Якутия М.Е. Николаева, Якутск, 26–28 октября 2023 г. – Якутск: Изд. дом СВФУ, 2023. – С. 245–248.
2. Исаев А.П. Влияние хозяйственной деятельности человека на численность тетеревиных птиц Якутии // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2018. – № 12-2. – С. 272–276.
3. Савченко И.А. Антропогенные воздействия в период токовой активности глухаря (*Tetrao urogallus* L.) // Вестник КрасГАУ. – 2009. – № 5 (32). – С. 90–93.

УДК 639.125.2(470.51)

МОНИТОРИНГ И ОЦЕНКА ОХОТНИЧЬИХ УГОДИЙ ДЛЯ ТЕТЕРЕВА В УДМУРТСКОЙ РЕСПУБЛИКЕ

М.В. Якимов, ст. преп. каф. лесоустройства и экологии;

В.Ю. Якимова, ст. преп. каф. кормления и разведения

с/х животных; А.А. Носков, студент

г. Ижевск, УдГАУ, mikhailyackimov@yandex.ru

Изучены вопросы, связанные с биологией жизни тетеревов, изучены типичные места обитания тетеревов. Дана оценка качества охотничьих угодий и запроектированы биотехнические мероприятия для поддержания и увеличения численности тетеревов.

Ключевые слова: мониторинг, биология, оценка, охотничьи угодья, тетерев, биотехнические мероприятия.

Среди множества видов использования лесов актуальным является использование лесов в сфере охотничьего хозяйства. В Удмуртской Республике активно ведётся охотничье хозяйство. Здесь можно поохотиться на глухарей, зайцев, лосей, медведей, хищных животных [1–5].

Задачи:

- изучить биологию жизни тетерева;
- оценить охотничьи угодья для тетерева;
- разведать основные места обитания тетеревов и места их токов;
- предложить биотехнические мероприятия.

В отличие от глухаря, тетерева населяют более открытые угодья, леса, сменяющиеся полями, лиственные молодняки, поляны, луговины, редколесья. В таких открытых местах тетерева собираются на токовище. Зимой, питаясь березовыми почками, предпочитают старые

березняки. Весной и осенью, для пополнения запаса гастролитов в желудке вылетают на «галечники» – минерализованные полосы, размытые склоны оврагов, речные берега, железнодорожные насыпи, автомобильные дороги.

Около 20% территории Можгинского охотничьего хозяйства занято старыми березняками (11 500 га). Качество таких лесов для тетерева оценивается как «хорошее» III бонитет (113,0%). Оптимальная плотность 113,0 гол./тыс. га, численность 4505 птицы. Фактическая плотность в 2013 г. 75,2 гол./тыс. га и численность – 3 000 птиц немного меньше оптимальной. Наблюдается рост численности тетерева в последние годы.

Основные места обитания, как и токования тетеревов, располагаются на востоке у деревень: Русский Пычас, Подгорное, Чурашур, Лесной, Мельниково, Минчегурт, Петухово. Как и для глухаря, для сохранения тетерева очень важно проведение учета и охраны мест токования. В 2012 г. учтено 18 тетеревиных токов и 207 токующих птиц.

Лимитирующими факторами, сдерживающими рост численности тетерева в хозяйстве, можно считать: гибель птиц во время сенокосения и уборки зерновых, беспокойство во время гнездования, браконьерский отстрел на токах и с использованием автомототехники, холодную и дождливую погоду во время вылупления птенцов, морозную и малоснежную зиму, а также гибель от различных хищников, прежде всего лисицы, бродячих собак, ворон и воронов.

Нормативы изъятия для тетерева, как и для глухаря, не устанавливаются. Но всё же рекомендуем придерживаться определённого порядка охоты. При численности по хозяйству 3 000 птиц можно изъять до 900 тетеревов (30%), а «на току» – 20–30 косачей. Тетерев, наряду с рябчиками и утками, – основной вид пернатой дичи в Можгинском охотничьем хозяйстве, но осваивается пока очень плохо. Осенью добывается от 15 до 30 птиц, весенняя охота не проводится. Проведение охоты на тетерева с обслуживанием охотников, весенней на токах, летней с легавыми собаками, осенней с «чучелами», может стать для бюджета хозяйства одной из важных статей дохода.

Как и для глухаря, создание искусственных галечников и порхалищ для тетерева – самый распространенный биотехнический прием. Для Можгинского охотничьего хозяйства можно предложить устраивать галечники для тетерева недалеко от постоянных мест токования.

Кормовые поля, засеваемые для кабана и медведя, охотно посещаются тетеревами даже в зимний период, если в посевах есть пшеница и овес. Норматив для боровой дичи: один гектар кормовых полей на 1 тыс. га собственных угодий. Для Можгинского хозяйства

это 40 га посевов кормовых полей. Можгинскому обществу охотников необходимо увеличить площади засеваемых кормовых полей в два раза. В таком случае поля сельскохозяйственных предприятий, занятые зерновыми культурами, наряду с посевами охотничьего хозяйства, могут обеспечить тетеревов кормами в летне-осенний период.

ЛИТЕРАТУРА

1. Якимов М.В. Оценка охотничьего хозяйства в части Вавожского лесничества Удмуртской Республики / М.В. Якимов, К.Г. Меркушев // Агротехнологии XXI века: стратегия развития, технологии и инновации: матер. Всерос. науч.-практ. конф., Пермь, 08–10 ноября 2022 г., Пермский гос. аграрно-технологический ун-т им. акад. Д.Н. Прянишникова. – Пермь: Изд-во «От и До», 2022. – С. 120–123.

2. Якимов М.В. Лось – основной объект охоты в Удмуртской Республике / М.В. Якимов, В.Ю. Якимова, О.А. Ивченко // Матер. XXIII Всерос. науч.-практ. конф. молодых ученых, аспирантов и студентов (с междунар. участием), посвященной памяти первого Президента Республики (Саха) Якутия М.Е. Николаева, Якутск, 26–28 октября 2023 г. – Якутск: Изд. дом СВФУ, 2023. – С. 248–252.

3. Охота на глухаря в Удмуртской Республике / М.В. Якимов, В.Ю. Якимова, Д.Я. Евдокимов, А.Е. Перминова // Матер. XXIII Всерос. науч.-практ. конф. молодых ученых, аспирантов и студентов (с междунар. участием), посвященной памяти первого Президента Республики (Саха) Якутия М.Е. Николаева, Якутск, 26–28 октября 2023 г. – Якутск: Изд. дом СВФУ, 2023. – С. 245–248.

4. Динамика популяции зайца-беляка в Якшур-Бодьинском районе Удмуртской Республики / А.А. Ширококов, А.А. Носков, М.В. Якимов, В.Ю. Якимова // Биоразнообразии, состоянии и динамика природных и антропогенных экосистем России: сборник матер. III Всерос. науч.-практ. конф., Комсомольск-на-Амуре, 15 декабря 2023 г. – Комсомольск-на-Амуре: Амурский гуманитарно-педагогический гос. ун-т, 2023. – С. 308–313.

5. Охота на бурого медведя в Удмуртской Республике / М.В. Якимов, В.Ю. Якимова, М.В. Зяпаева и др. // Матер. XXIII Всерос. науч.-практ. конф. молодых ученых, аспирантов и студентов (с междунар. участием), посвященной памяти первого Президента Республики (Саха) Якутия М.Е. Николаева, Якутск, 26–28 октября 2023 г. – Якутск: Изд. дом СВФУ, 2023. – С. 255–259.

6. Охота на хищных животных в Удмуртской Республике / М.В. Якимов, В.Ю. Якимова, М.В. Зяпаева и др. // Матер. XXIII Всерос. науч.-практ. конф. молодых ученых, аспирантов и студентов (с междунар. участием), посвященной памяти первого Президента Республики (Саха) Якутия М.Е. Николаева, Якутск, 26–28 октября 2023 г. – Якутск: Изд. дом СВФУ, 2023. – С. 252–255.

СТРУКТУРА УЧЕБНОЙ МОТИВАЦИИ СТУДЕНТОВ ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

Е.С. Яшков, студент

Научный руководитель Н.Н. Несмелова, доцент каф. РЭТЭМ, к.б.н.

г. Томск, ТУСУР, nnnkbn@yandex.ru

Приведены результаты изучения структуры учебно-профессиональной мотивации студентов кафедры РЭТЭМ. Выделены наиболее значимые мотивационные факторы, связанные с актуальными потребностями студентов. Сформулированы рекомендации по учету этих факторов в образовательном процессе.

Ключевые слова: студенты, учебно-профессиональная мотивация, мотивационная структура, факторы мотивации, ведущие потребности, способы управления мотивацией, образовательный процесс.

Мотивация – ключевой фактор, который определяет успех и достижения в жизни современных студентов. Взаимодействие с различными видами активности, будь то учёба, работа, социальные контакты или личное развитие, требует постоянной мотивации. Успешные студенты обладают внутренней мотивацией, чтобы стремиться к личностному росту и достижению поставленных целей.

В последние годы преподаватели высшей школы отмечают снижение уровня мотивации первокурсников, что отрицательно сказывается на результатах обучения, поскольку формирование и развитие профессиональных компетенций невозможно без достаточного уровня учебно-профессиональной мотивации [1].

Актуальность исследования учебно-профессиональной мотивации студентов технического вуза обусловлена необходимостью повышения качества образования и ростом потребности государства в таких специалистах. Мотивация является ключевым фактором, определяющим успех студентов в учебе и будущей профессиональной деятельности, ее изучение позволяет выявить факторы, влияющие на учебную активность, и разработать эффективные методы и приемы обучения, способствующие повышению мотивации и достижению лучших результатов в учебе. Исследователи отмечают существенное изменение структуры учебно-профессиональной мотивации у современных студентов [2], что подтверждает актуальность изучения этого вопроса.

Целью данной работы стало изучение особенностей учебной мотивации студентов кафедры РЭТЭМ.

В исследовании приняли участие 53 студента. Для изучения структуры мотивации был использован тест «Мотивационный профиль» [3], в основу которого положено сопоставление значимости мотивационных факторов в ситуациях, связанных с профессиональной деятельностью. Для мотивационных профилей студентов оказалось характерно значительное индивидуальное разнообразие. Результаты статистической обработки полученных данных приведены в таблице.

Ранжирование факторов мотивации по средним значениям показало, что на первом месте у студентов материальное вознаграждение. Сильным мотивирующим фактором для студентов является возможность принимать участие в конкурсах на повышенные стипендии, или в конкурсах с денежными призами, а также на получение грантовой поддержки.

Следующим по значимости является фактор структуры, связанный с потребностью в четком структурировании деятельности, руководстве, понимании правил и требований к работе, а также необходимости информации о соответствии результатов работы заданным критериям. Учитывая значимость этого фактора, преподавателям следует четко формулировать критерии оценивания студенческих работ, чаще давать обратную связь по результатам выполненных заданий.

Описательные статистики факторов мотивации студентов

Факторы мотивации	Среднее значение	Мин.	Макс.	Стандартное отклонение
1. Вознаграждение	40,30	3	77	13,13
2. Комфорт	33,74	16	52	7,19
3. Определенность	36,21	4	77	13,35
4. Социальные связи	25,72	0	48	8,35
5. Прочные отношения	25,83	4	40	6,89
6. Признание	29,38	19	45	5,23
7. Большие цели	29,36	17	43	5,45
8. Власть	23,30	5	38	7,94
9. Разнообразие	27,28	3	68	10,32
10. Креативность	27,68	8	46	8,38
11. Совершенствование	32,25	20	51	5,88
12. Востребованность	30,77	7	43	6,68

На третьем месте находится фактор комфорта, связанный с потребностью в хороших условиях труда и благоприятной обстановке на рабочем месте, на четвертом месте – фактор совершенствования, связанный с высшей человеческой потребностью в самоактуализации,

личностном и профессиональном развитии. Участие студентов в культурной, спортивной, научной и общественной жизни университета тесно связано с мотивами востребованности, признания и целей.

Таким образом, полученные результаты позволяют сформулировать рекомендации по повышению учебно-профессиональной мотивации студентов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Рогова В.А. Исследование активационных факторов абитуриентов инженерно-технических направлений подготовки и специальностей // Российский журнал менеджмента. – 2020. – Т. 7, № 4. – С. 81–85.

2. Пожидаева Е.В. Мотивация людей к получению высшего образования // Телескоп. – 2023. – № 2. – С. 150–155.

3. Ричи Ш. Управление мотивацией: учеб. пособие для вузов / Ш. Ричи, П. Мартин. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2004. – 399 с.

УДК 303.722.22

ВЛИЯЕТ ЛИ ГЕНДЕР НА ФОРМИРОВАНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ КУЛЬТУРЫ ЛИЧНОСТИ

Н.Д. Меркулов, студент

Научный руководитель Н.Н. Несмелова, доцент каф. РЭТЭМ, к.б.н.

г. Томск, ТУСУР, каф. РЭТЭМ, nikolai.merkulov2000@yandex.ru

Представлен факторный анализ результатов исследования формирования экологического сознания обучающихся 8–11 классов, рассмотрен вопрос о влиянии гендерной принадлежности старшеклассников на отношение к экологическим проблемам.

Ключевые слова: гендер, демографическая характеристика, факторный анализ, экологическое сознание.

Исследования о влиянии социально-демографических характеристик человека на формирование экологической культуры личности проводят для разработки программ развития. В ходе эмпирических исследований социологов влияние гендерной характеристики на экологическое сознание и поведение разных слоев населения выявлено. Ученые отмечают более высокий уровень осознания женщинами проблем охраны окружающей среды, они активны в применении экологических практик в быту, формируют проэкологический семейный уклад. В XX–XXI вв. роль женщин и подростков в общественных движениях в защиту природы возрастает, возникает «эффект Греты» (Гунберг) [1–5].

Гендерные различия проявления экологической культуры выявлены в выборках взрослых респондентов, однако актуальным является

вопрос о трансформации отношения к экологическим проблемам на стадии становления личности в старшем подростковом возрасте с учетом гендерной принадлежности.

Целью данной работы является исследование значимости гендерных отличий при формировании экологического сознания как основы экологической культуры личности обучающихся 8–11-х классов.

Методика работы базируется на социологических исследованиях российских ученых в 2010–2020-х гг. В феврале 2023 г. проведено анкетирование 311 учеников старших классов школ Томской области: 163 юношей и 148 девушек. Результаты обработаны методом факторного анализа, что позволяет найти имплицитные связи наблюдаемых социальных явлений. В исследовании демографические свойства старшеклассников рассматривались как часть входящего потока, преобразуемого в образовательной среде («черный ящик») [6].

Таблица включает 14 переменных (П): 1 – значимость экологических проблем, 2 – интерес к ним, 3 – обсуждение, 4 – источник информации, 5 – возраст понимания, 6 – информация об экологических мероприятиях в школе, 7 – информация об экологических мероприятиях вне школы, 8 – участие в экологических мероприятиях вне школы, 9 – острота экологических проблем, 10 – приоритеты экологической политики, 11 – ответственность, 12 – значимость личного участия, 13 – готовность личного вклада, 14 – личный вклад в решение экологических проблем.

Результаты факторного анализа (вращение варимакс)

П	Фактор 1			Фактор 2			Фактор 3			Фактор 4		
	ПВ	Ю	Д	ПВ	Ю	Д	ПВ	Ю	Д	ПВ	Ю	Д
1	0,24	0,07	0,19	-0,34	0,07	-0,53	0,42	0,72	0,15	0,29	0,15	0,4
2	0,63	0,55	0,69	0,02	0,06	0,09	0,03	0,16	-0,07	0,12	0,3	-0,06
3	0,59	0,57	0,6	0,13	0,1	0,03	0,09	-0,0	0,0	-0,12	-0,24	0,1
4	0,26	0,37	0,25	0,16	0,29	-0,2	0,43	0,14	-0,39	0,02	-0,09	0,28
5	0,26	0,25	0,4	0,48	0,35	0,33	-0,26	-0,38	0,2	-0,22	-0,03	-0,23
6	0,06	0,1	0,09	0,78	0,78	0,69	0,09	-0,06	0,07	0,15	-0,09	0,3
7	0,15	0,13	0,17	0,64	0,73	0,68	0,1	0,04	-0,09	0,32	0,13	0,23
8	0,36	0,31	0,4	0,57	0,59	0,6	0,18	0,15	0,1	0,23	0,12	0,14
9	0,39	0,39	0,2	-0,19	-0,39	-0,03	-0,58	-0,22	0,74	0,13	0,47	0,03
10	0,01	0,06	0,02	-0,04	-0,02	0,00	0,67	0,67	-0,72	-0,11	-0,22	-0,08
11	-0,06	-0,16	0,02	0,08	0,08	0,36	-0,06	0,04	-0,2	0,73	0,75	0,6
12	0,09	0,01	0,05	0,24	0,48	0,16	-0,08	-0,09	0,12	0,69	0,47	0,8
13	0,78	0,77	0,77	0,14	0,2	0,02	0,02	0,1	0,12	0,11	0,01	0,12
14	0,76	0,8	0,76	0,21	0,07	0,2	-0,04	-0,04	0,08	-0,05	-0,11	0,04

Эксплораторный факторный анализ (вращение варимакс) всех первичных переменных полной выборки (ПВ) респондентов выявил четыре фактора, влияющих на формирование экологической культуры обучающихся, представленных в таблице. Также в таблице представлены результаты факторного анализа ответов юношей (Ю) и ответов девушек (Д).

Первый фактор определяют переменные с высокой нагрузкой 2, 3, 13, 14, которые демонстрируют взаимосвязь внутренней готовности к действию с наличием соответствующей социальной среды и инфраструктуры, в которой интерес и желание будут поддержаны социальным окружением. Структура первого фактора устойчива, составляющие фактор переменные сохраняют высокое значение при факторном анализе выборок «юноши», «девушки». С помощью t-критерия Стьюдента проверили нулевую гипотезу об отсутствии различий по первому фактору между юношами и девушками. Так как уровень значимости равен 0,0002, то нулевая гипотеза опровергнута, гендерная принадлежность влияет на сформированность экологического сознания подростка.

Анализ «ящика с усами» (рис. 1) позволяет увидеть разницу сформированности экологического сознания, так как среднее значение фактора по выборке юношей составило $-0,2$, а у девушек $-0,2$.

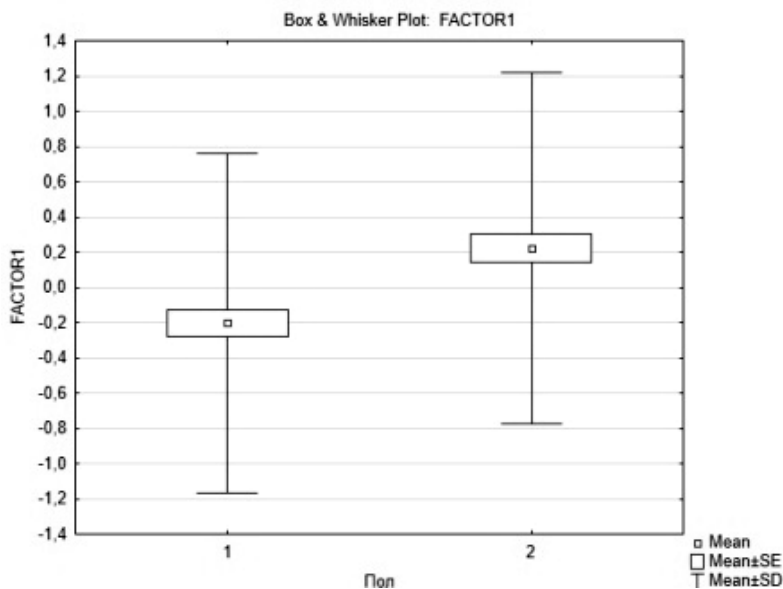


Рис. 1. Коробчатая диаграмма

Таким образом, факторный анализ результатов исследования сформированности экологического сознания старшеклассника показывает стабильность структуры первого фактора. В исследовании выявлены различия в формировании экологического сознания (основы экологической культуры личности) юношей и девушек.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лобанов В.Г. Гендерные особенности экологического мировоззрения студентов вузов различного профиля / В.Г. Лобанов, В.Ф. Репин, В.С. Софьин // Теоретические и прикладные аспекты современной науки. – 2015. – № 7-9. – С. 84–87.
2. Широкалова Г.С. Гендер как фактор экологической культуры // Динамика социальной трансформации российского общества: региональные аспекты: матер. V Тюменского междунар. соц. форума, Тюмень, 05–06 октября 2017 г. – Тюмень: ТюмГУ, 2017. – С. 333–340.
3. Доброхлеб В.Г. Методология исследования гендерных особенностей повседневных экологических практик населения России / В.Г. Доброхлеб, М.П. Пискалова-Паркер // Научное обозрение. – Сер. 1: Экономика и право. – 2019. – № 3-4. – С. 5–24.
4. Ефанова О.А. Гендерное измерение межличностных отношений как фактор формирования экологического поведения / О.А. Ефанова, М.П. Пискалова-Паркер, А.П. Чернова // Коллоквиум-журнал. – 2020. – № 9-4 (61). – С. 31–34.
5. Саллех А. Экофеминистская стратегия. Политика сохранения жизни на Земле // Дискурс-Пи. – 2022. – Т. 19, № 1. – С. 62–83.
6. Меркулов Н.Д. Модель «черного ящика» в исследовании процесса формирования экологической культуры старшеклассников // Научная сессия ТУСУР–2023: матер. междунар. науч.-техн. конф. (19.05.2022): – Ч. 3. – Томск, 2023. – С. 267–270.

УДК 57.084

БИОДЕГРАДАЦИЯ ПОЛИСТИРОЛА МУЧНЫМИ ЧЕРВЯМИ

Е.В. Бувич, студент каф. РЭТЭМ

*Научный руководитель А.П. Шкарупо, ст. преп. каф. РЭТЭМ
г. Томск, ТУСУР, univcrhb66@mail.ru, davidbuevich@mail.ru*

Рассматривается способность к биодegradации полистирола мучными червями. Большое количество использования продукции из полистирола приводит к колоссальному накоплению отходов синтетического полимера. А мучные черви имеют потенциал к экологически чистому способу переработки полистирола.

Ключевые слова: мучные черви, переработка.

Цель работы – выявление наиболее эффективного метода переработки полистирола мучными червями для дальнейшего развития экспериментов по способности к биодegradации мучными червями полистирола.

Актуальность данной работы состоит в выявлении наиболее эффективного и экологически чистого метода переработки синтетических полимеров, влияющих на решение глобальной экологической проблемы.

Научная новизна исследования заключается в определении наиболее оптимальных условий для переработки полистирола мучными червями, позволяющих переработать больший объем полимера за меньшее время.

Для экспериментального исследования используются мучные черви «*Tenebrio molitor*», являющиеся личиночной стадией большого мучного хрущака. Также использовались куски пенопласта общей массой 1,13 г и куски пенополистирола общей массой 2,35 г. Пенопласт и пенополистирол были предварительно взвешены в условиях лаборатории. Далее они были размещены в три пронумерованных контейнера, куда в дальнейшем к ним были добавлены мучные черви в количестве 45 особей на контейнер. На протяжении всего времени проведения эксперимента каждый день проводился осмотр внешнего состояния кусков пенопласта и пенополистирола. Каждое изменение фиксировалось для дальнейшего выяснения, какой вид полистирола мучные черви перерабатывают активнее всего. Также каждый день велся учет погибших или окуклившихся особей, которые заменялись на живых для того, чтобы не изменялось контрольное число мучных червей и не влияло на результат эксперимента.

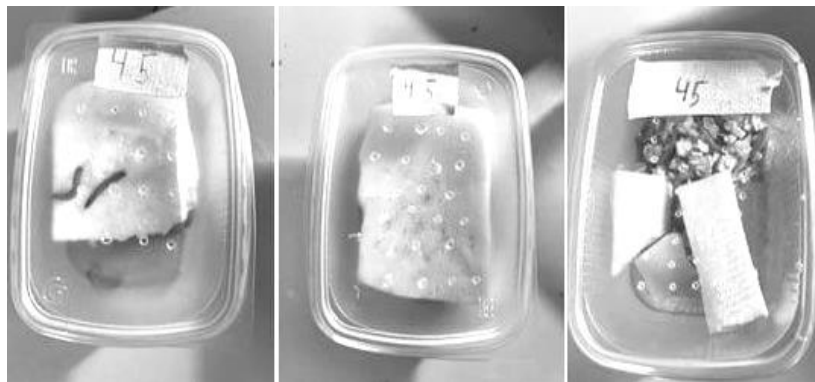


Рис. 1. Контейнеры 1–3, слева направо

По истечении времени проведения эксперимента, особи в каждом контейнере были подсчитаны с учетом всех случаев смерти и перехода в куколку. Далее было произведено контрольное взвешивание кусков пенопласта и пенополистирола. Общая масса кусков пенопласта была равна 0,99 г, а общая масса кусков пенополистирола была равна 2,28 г.



Рис. 2. Мучной червь в пенополистироле

В ходе эксперимента были получены следующие данные: общая масса кусков пенопласта уменьшилась на 0,14 г, а общая масса кусков пенополистирола уменьшилась на 0,07 г. Также в ходе заключительного пересчета особей в контейнере было выяснено, что под конец эксперимента из 135 активных мучных червей осталось 107 червей.

На основе проведенного эксперимента было сделано заключение, что переработка полистирола при помощи мучных червей реальна. Скорость переработки полимера напрямую зависит от количества мучных червей и плотности перерабатываемого полистирола.

Таким образом, цель исследования в опыте была достигнута. В статье был рассмотрен эксперимент по биодegradации полистирола мучными червями и получено подтверждение о способности к переработке.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шах А.А. Биологическое разложение пластмасс: всесторонний обзор / А.А. Шах, Ф. Хасан, А. Хамид, С. Ахмед // Биотехнология. – 2008. – Vol. 26. – P. 246–265.
2. Дансо Д. Пластмассы: экологические и биотехнологические взгляды на микробную деградацию / Д. Дансо, Дж. Чоу, В.Р. Стрейт // Appl Environ Microbiol. – 2019. – Vol. 85. – P. e01095-19.
3. Биодegradация и минерализация полистирола мучными червями, поедающими пластик. – Ч. 2: Роль кишечных микроорганизмов / Ян Дж, Ву ВМ, Чжао Дж, Й. Сун, Л. Гао, Р. Ян, Л. Цзян // Environ Sci Technol. – 2015. – № 49. – P. 12087–12093.
4. Микробиологическая деградация ударопрочного полистирола (HIPS) / А.Дж. Мохан, В.К. Сехар, Т. Бхаскар, К.М. Нампутири // Биоресурс Технол. – 2016. – Vol. 213. – P. 204–207.

УДК 581.5

МЕТОДЫ СТРАТИФИКАЦИИ СЕМЯН МИКРОЗЕЛЕНИ МОРКОВИ

И.И. Досузева, студентка каф. РЭТЭМ

*Научный руководитель Е.Г. Незнамова, к.б.н., доцент каф. РЭТЭМ
г. Томск, TUSUR, univerh66@mail.ru, ingadosuzeva@gmail.com*

Рассматриваются различные методы стратификации семян микрозелени моркови. Большое количество в мелких семенах эфирных масел и достаточно крепкая оболочка препятствует быстрой всхожести ростков. А неравномерное созревание семян влияет на всхожесть, составляющую у моркови не более 50%.

Ключевые слова: урожай, семена, микрозелень, морковь.

Цель работы – выявление наиболее эффективного метода стратификации семян микрозелени моркови для выращивания овощных культур в условиях лабораторного модельного эксперимента.

Актуальность данной работы состоит в необходимости выявления наиболее эффективного метода проращивания семян микрозелени моркови, влияющего на всхожесть, рост и развитие культуры.

Научная новизна исследования заключается в определении наиболее оптимальных для выращивания микрозелени моркови методов стратификации, позволяющих получать урожай в более короткие сроки.

Для экспериментального исследования используются семена микрозелени моркови «*Daucus cfrota L.*». Растения высаживали по 20 шт. в вегетационные сосуды с перфорированным дном (для стока излишков поливной воды). Объем сосудов составляет 330 мл. Кон-

тейнеры после высевания семян закрывали крышками для предотвращения испарения влаги [2]. Длительность светового периода – 14 ч, темного – 10 ч поддерживалась с помощью автоматического таймера.



Рис. 1. Процесс высаживания моркови

Контейнеры были наполнены торфяным брикетированным субстратом, в составе которого верховой и переходной торф и вермикулит.

Схема модельного лабораторного эксперимента:

– *вариант 1* – 20 шт. семян, замоченных на 10 мин в спиртовом растворе (40%), а после промытых под проточной водой, высадили в почву;

– *вариант 2* – 20 шт. семян, замоченных на 15 мин в растворе 3% перекиси водорода, а после промытых под проточной водой, высадили в почву.

– *вариант 3* – 20 шт. семян, замоченных на 10 мин в горячей воде с температурой 50–55 градусов, после высадили в почву;

– *вариант 4* – 20 шт. «контрольных» семян, без какой-либо обработки высадили в почву.

Семена высадили в грунт на глубину 1–2 см. Опыт проводился при температуре окружающей среды $+18 \pm 1$ °С.

По ГОСТу, через 10 сут с момента высаживания, всхожесть моркови, предварительно обработанной раствором 3% перекиси водорода,

да, была наилучшей, а вымоченные в кипятке семена дали отрицательную всхожесть.



Рис. 2. Проросшие семена моркови на 7 сут

На основе проведенного эксперимента было сделано заключение, что метод замачивания семян в растворе 3% перекиси водорода, является наиболее эффективным по сравнению со всеми остальными. Предварительная обработка семян раствором 3% перекиси водорода наиболее благоприятно воздействует на всхожесть микрорезелени моркови (*Daucus cfrota L.*), благодаря ему урожай можно получать в кратчайшие сроки и с минимальными затратами.

Таким образом, цель исследования в опыте была достигнута. В статье были рассмотрены различные методы стратификации семян микрорезелени моркови при выращивании ее в домашних условиях и выбран наиболее эффективный.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кондратенко Е.П. Опыт выращивания микрозелени семейства Brassicaceae / Е.П. Кондратенко, Т.А. Мирошина, С.Н. Витязь // Вестник Алтайского гос. аграрного ун-та. – 2022. – № 7. – С. 19–24.
2. AGRI FARMING. Новости овощей [Электронный ресурс]. – <https://www.agrifarming.in>
3. Microgreens as a Component of Space Life Support Systems: A Cornucopia of Functional Food / М.С. Kyriacou, S. De Pascale, A. Kyrtzis et al. // Front. Plant Sci. – 2017. – P. 1587.
4. Weber C.F. Microgreen Farming and Nutrition: A Discovery-Based Laboratory Module to Cultivate Biological and Information Literacy in Undergraduates // The American Biology Teacher. – 2017. – Vol. 79 (5). – P. 375–386.

УДК 58.035.4

ВЛИЯНИЕ СПЕКТРАЛЬНОГО СОСТАВА ИСКУССТВЕННОГО ОСВЕЩЕНИЯ НА ОКРАСКУ ДЕКОРАТИВНЫХ РАСТЕНИЙ

А.О. Студенкова, студентка, каф. РЭТЭМ

Научный руководитель Е.Г. Незнамова, доцент каф. РЭТЭМ, к.б.н.

*Проект ГПО РЭТЭМ-2002. Создание резистентных агросистем
малого объема*

г. Томск, ТУСУР, studenkovaana@yandex.ru

Изучено влияние спектрального состава искусственного освещения на окраску декоративных растений на примере рода *Coleus* сорта *Wizard*. Для этого использовалось несколько экземпляров растений и осветительная установка со светодиодным освещением визуальное белого и фиолетового светового спектра.

Ключевые слова: спектральный состав, искусственное освещение, декоративные растения рода Колеус, антоцианы.

Все организмы на Земле подвержены влиянию различных факторов. Один из таких – ультрафиолетовое излучение Солнца. Для точного понимания его влияния на биологические процессы растений необходимо изучить особенности светового спектра света и области его применения в искусственных условиях.

Эти знания позволят наиболее качественно использовать все возможности роста растений и выработки в них различных пигментов, которые способны защищать цитоплазму растений от вредного воздействия солнечного излучения, а также от влияния холода и кислых газов, выделяемых промышленными предприятиями.

Растения имеют свойство поглощать только красный и синий оттенки света. Различные длины волн света, а соответственно и его цвета стимулируют различные биологические процессы.

В ходе теоретического исследования этих влияний удалось сделать вывод, что выбор спектрального состава освещения зависит от того, какую стадию развития проходит растение. Для молодых растений лучше использовать красный и инфракрасный свет, а для зрелых – синий и фиолетовый. Это поможет обеспечить оптимальное развитие растения и повысить его урожайность. Важно отметить, что использование только синего и фиолетового света для освещения растений может быть недостаточным. Растениям также необходим красный и инфракрасный свет для фотосинтеза и роста [1].

Лампы полного спектра улучшают цвет зелени, ускоряют цветение и завязь плодов, приятны человеческому глазу и способны полностью заменить солнечный свет. Белый спектральный свет включает все длины волн, присущие солнечному спектру.

В качестве объекта исследования было выбрано декоративное растение рода Колеус сорта *Wizard*. Оно терпимо к жаре и недостатку влаги. Высота не превышает 35 сантиметров. Имеет листья средних размеров с резными краями, их центральная часть окрашена в светло-бордовый цвет, а края – в нежный цвет молодой зелени. При недостаточной освещенности может терять оттенки красного [2].

В ходе эксперимента была использована специальная установка с двумя различными спектрами света.

Первая группа растений находилась под комбинированным спектром из преобладающих красных с добавлением синих и белых светодиодов. В совокупности эти цвета формируют фиолетовое свечение.

Вторая группа была подвержена влиянию светодиодов белого цвета.

Для полива использовалась отстоянная водопроводная вода без добавления удобрений и прочих возможных добавок. Полив осуществлялся через 3–4 дня.

Длительность эксперимента составила 27 дней. В течение этого времени растения меняли свой внешний вид.

Значительная часть листьев всех экземпляров поменяла свой окрас, прибавила в пышности и количестве листьев, высота увеличилась в среднем на 5 сантиметров. У одного из образцов начался процесс цветения (под фиолетовым светом).

В частности, в процессе эксперимента были получены результаты, изложенные далее.

Под лучами фиолетового света:

- произошли изменения цвета пятен на листьях от светло-бордового до темного сине-бордового;
- цвет стал более насыщенным и ярким;
- увеличилась площадь поверхности листа, занимаемая бордовым цветом. Если в начале эксперимента зеленый «бортик» на по-

верхности листа при измерении достигал полутора сантиметров, то к концу это значение достигло лишь 1–2 мм;

- высота растения увеличилась на 7–8 см. Большинство приведенных изменений связано с увеличением интенсивности выработки растением красно-фиолетовых пигментов – антоцианов.

Под лучами белого света:

- произошли незначительные изменения площади окраски в центре листьев с зеленого до насыщенного бордового цвета;

- листья стали более крупными и плотными;

- высота растения увеличилась на 3 см.

В результате проведенного исследования было выяснено, что спектральный состав искусственного освещения имеет значительное влияние на окраску и биологические процессы декоративных растений рода Колеус. Декоративные растения выращиваются в продовольственных или хозяйственных целях. Вещества, входящие в состав растений, в данном случае антоцианы, имеют пользу для человека и для самих растений. Они способствуют повышению адаптации растений к световым условиям, повышая его декоративность, что имеет эстетическое значение для людей.

Проведенный эксперимент показал, каким образом и в какой степени выражается влияние спектрального состава искусственного освещения на декоративные растения на примере ростков Колеуса.

ЛИТЕРАТУРА

1. Влияние спектра света на рост растений. [Электронный ресурс]: сайт «ЛедРус» – светодиодное освещение. – URL: <https://clck.ru/37J2qU> (дата обращения: 30.11.2023).

2. Колеус визард – О цветах [Электронный ресурс]: сайт «О цветах». – URL: <https://clck.ru/37f8zN> (дата обращения: 20.12.2023).

УДК 58.07

ИЗМЕНЕНИЕ СОСТАВА ПИГМЕНТОВ РАСТЕНИЙ НА ТЕРРИТОРИЯХ РАЗЛИВА ДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА В РАЙОНЕ НОРИЛЬСКА

*С.П. Задорожных, студентка; Н.Н. Терещенко, проф. каф. РЭТЭМ,
д.б.н.; Ю.В. Савиных, проф., д.х.н., в.н.с. ИХН СО РАН*

*Проект ГПО РЭТЭМ-2204. Разработка технологии биоремедиации
техногенно-нарушенных земель*

г. Томск, ТУСУР, каф. РЭТЭМ, Sony473949@mail.ru

Исследована флора на территории разлива дизельного топлива в окрестностях Норильска, а также дан анализ влияния загрязнения

на состав пигментов фотосинтеза в растениях. Проведённые исследования показали, что устойчивость к загрязнению нефтепродуктами исследованных видов растений возрастает в ряду осока <злаки <полевой хвощ <ива <мох.

Ключевые слова: дизельное топливо, растения, хлорофиллы, каротиноиды.

29 мая 2020 г. в окрестностях г. Норильска произошло катастрофическое крупномасштабное событие: разлив дизельного топлива в результате разгерметизации резервуара на ТЭЦ-3 в районе Кайеркан. Эта масштабная утечка нефтепродуктов, являющаяся одной из самых крупных в истории арктической зоны, представляла собой огромную угрозу для экосистемы Северного Ледовитого океана. В результате утечки более 21,1 тыс. тонн топлива разлились далеко за пределы промышленной зоны. Приблизительно 6,3 тыс. тонн попали в грунт и 15,4 тыс. тонн в р. Амбарная и её истоки, а также многие ручьи, связанные с рекой [1]. Через два месяца после аварии экспедицией ИХН СО РАН (Институт химии нефти Сибирского отделения Российской академии наук) были отобраны образцы растений с областей разлива дизельного топлива и фоновых территорий. Целью данного исследования было определение содержания в листьях отобранных растений пигментов–хлорофиллов и каротиноидов.

В организм растения загрязняющие вещества могут попадать путем адсорбции листьями углеводородов (УВ) нефти из воздуха или из нефтезагрязненной почвы. Воздействие нефтяного загрязнения на жизнедеятельность растений носит неоднозначный характер. В ряде работ показано, что загрязнение почвы нефтью и нефтепродуктами приводит к замедлению роста и развития растений [2, 3]. В то же время некоторыми исследователями отмечалось гормоноподобное воздействие нефти на растения, обуславливающее деформацию физиологических процессов и ускорение прохождения растением отдельных фаз [4]. Установлено, что решающее значение имеют степень загрязнения почвы и физико-химические характеристики самой почвы. Так, при проращивании семян овса на воде с добавкой нефти наблюдалось физиологическое воздействие, обусловившее 15%-е ускорение роста растений по сравнению с контролем, а при проращивании растений непосредственно на нефтезагрязненной почве было отмечено угнетающее воздействие (на 52% ниже контроля), что может быть связано с высокими концентрациями нефтепродуктов в почве, а также с ухудшением структуры почвы [5].

Объектами исследования являлись растения, собранные с мест разлива дизельного топлива (руч. Надежденский, р. Далдыкан, р. Амбарная, истоки р. Пясины).

Исследовали следующие растения: *Equisetum arvense*, *Salix vitaminalis*, *Deschampsia cespitosa*, *Campyllum stellatum*, *Climacium dendroides*, *Carex aquatilis*.

Экстракция пигментов из сухой массы листьев проводилась этанолом в соответствии со следующей методикой. Навеску растений 0,2 г помещали в фарфоровую ступку, добавляли 0,1 г песка, 0,1 г мела и 3–4 см³ этанола. Смесь перетирали, полученный экстракт отфильтровывали на фильтре Шота. Экстракцию проводили несколько раз до получения бесцветного раствора. Объединенный экстракт переносили в мерную колбу на 25 мл, добавляя этанол до метки. Концентрации пигментов определяли методом спектрофотометрии на приборе СФ-56 по формулам «Wintermans, DeMots, 1965».

Лабораторные исследования показали, что полевой хвощ не реагирует на нефтяное загрязнение. Содержание в листьях пигментов фотосинтеза в хвоще, произрастающем на загрязненной почве, остается примерно на том же уровне, что и у растений на чистом фоне.

Наиболее чувствительными к нефтяному загрязнению оказались осока и злаки. У осоки значительно снижается содержание в листьях как хлорофиллов, так и каротиноидов по сравнению с аналогичными показателями у контрольных растений (на чистом фоне). При этом сумма хлорофиллов снижается на 31% по сравнению с фоновыми значениями, а каротиноидов – на 35%. У злаков сумма хлорофиллов в листьях снизилась на 53%, а каротиноидов – на 52%.

Наиболее устойчивыми растениями оказались ива и мох. У ивы наблюдается увеличение содержания суммы хлорофиллов на 117%, а каротиноидов – на 66%. Мох оказался самым устойчивым растением. Сумма хлорофиллов увеличилась на 189%, а каротиноидов – на целых 220%. Следовательно, нефтяное загрязнение стимулирует выработку пигментов фотосинтеза в таких видах растений, как ива и мох.

Эксперименты по влиянию нефтепродуктов в почве на содержание фотосинтезирующих пигментов в листьях растений продемонстрировали неодинаковое воздействие углеводородов на различные виды растений. Среди исследованных видов наиболее устойчивыми к нефтяному загрязнению являются *Climacium dendroides* и *Salix vitaminalis*.

ЛИТЕРАТУРА

1. Разлив дизельного топлива в Норильске [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/> (дата обращения: 07.03.2024).
2. Вельков В.В. Биоремедиация: принципы, проблемы, подходы // Биотехнология. – 1995. – № 3-4. – С. 20–27.

3. Киреева Н.А. Рост и развитие растений яровой пшеницы на нефтезагрязненных почвах и при биоремедиации / Н.А. Киреева, А.М. Мифтахова, Г.М. Салахова // *Агрохимия*. – 2006. – № 1. – С. 89–90.

4. Прогнозирование возникновения чрезвычайных ситуаций на объектах нефтегазового комплекса и ликвидация последствий аварийных разливов нефтепродуктов в арктических климатических условиях / Н.А. Махутов, М.П. Лебедев, А.М. Большаков и др. // *Арктика: экология и экономика*. – 2016. – Т. 24, № 4. – С. 90–99.

5. Кабиров Р.Р. Разработка и исследование многокомпонентной тест-системы для оценки токсичности почвенного покрова городской территории / Р.Р. Кабиров, А.Р. Сагитова, Н.В. Суханова // *Экология*. – 1997. – № 6. – С. 408–411.

Секция 8

POSTGRADUATE AND MASTER STUDENTS' RESEARCH IN ELECTRONICS AND CONTROL SYSTEMS

Председатель – Покровская Е.М., зав. каф. ИЯ, доцент, к.филос.н.;
зам. председателя – Шнит Е.И., доцент каф. ИЯ;
Соболевская О.В., ст. преп. каф. ИЯ;
Таванова Э.Б., ст. преп. каф. ИЯ

UDC 004.716

IMPLEMENTATION OF THE CCSDS PROTOCOL IN CUBESAT COMMUNICATION SYSTEMS

I.T. Chikwanha, M.Sc. student at the Advanced School of Engineering;
K. Pashchenko, Ph.D. student at the Department of Design
of Units and Components for Radioelectronic Systems
Tomsk, TUSUR, chikwanha.i.923-m@e.tusur.ru

This article examines the integration of the Consultative Committee for Space Data Systems (CCSDS) protocol into CubeSat communication systems, aiming to enhance the reliability and efficiency of data transmission in the space environment. The study evaluates the key features of the protocol including advanced error correction and optimized bandwidth use, which are crucial for maintaining robust communication links between CubeSats and the ground control stations.

Keywords: SDR, CCSDS, USRP, CubeSat

Cube satellites (CubeSats) have become pivotal in space exploration and communication systems. CubeSats are a class of small satellites with a standard size and a form factor of 10-cm cubes. They offer a cost-effective way to explore new technologies, demonstrate capabilities, and conduct scientific research designed for data gathering and technology testing for space missions [1, 2]. However, the vast space environment presents

unique challenges in data transmission, necessitating the need of robust communication protocols.

One of the solutions to enhance reliability and efficiency of data transmission in space is to integrate the Consultative Committee for Space Data Systems (CCSDS) protocol into CubeSat communication systems. Fig. 1 shows the CCSDS protocol packet which contains headers, user data, and the Reed Solomon code. This protocol includes a set of standards created for space data and communication systems, providing error correction, data compression, and packet-based telecommunications. Its application in CubeSats can significantly improve data integrity and transmission efficiency [3, 4].

The aim of this paper is to explore and demonstrate practical implementation and effectiveness of the CCSDS protocol within the CubeSat communication systems.

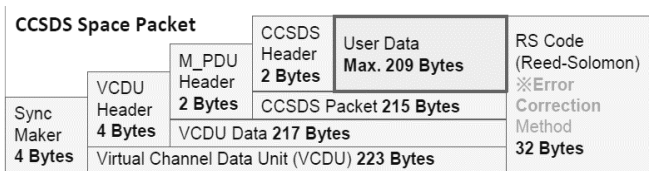


Fig. 1. CCSDS Protocol Packet

Implementation of the CCSDS Protocol in CubeSat communication. We integrated the CCSDS protocol using the GNU Radio Companion software connected to the USRP Ettus B210 Software Defined Radio (SDR) for transmission. Figure 2 shows the USRP Ettus B210 SDR connected via a Universal Serial Bus (USB) to GNU Radio Companion and an antenna connected via the transmission port. The approach included implementing error correction through the Solomon Reed mechanism, thus ensuring a high level of data transmission reliability that is crucial for success of CubeSat missions [4, 5].

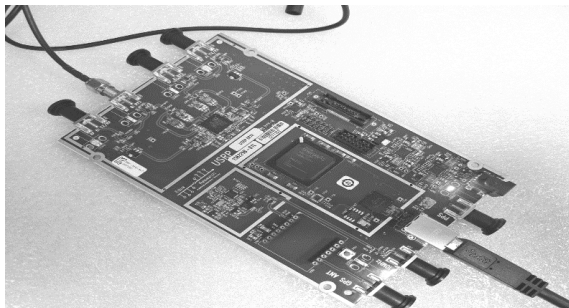


Fig. 2. USRP Ettus B210 SDR

The CCSDS protocol was integrated into GNU Radio Companion as an out-of-tree module, offering telemetry decoders for satellites transmitting telemetry and payload data on Amateur radio bands.

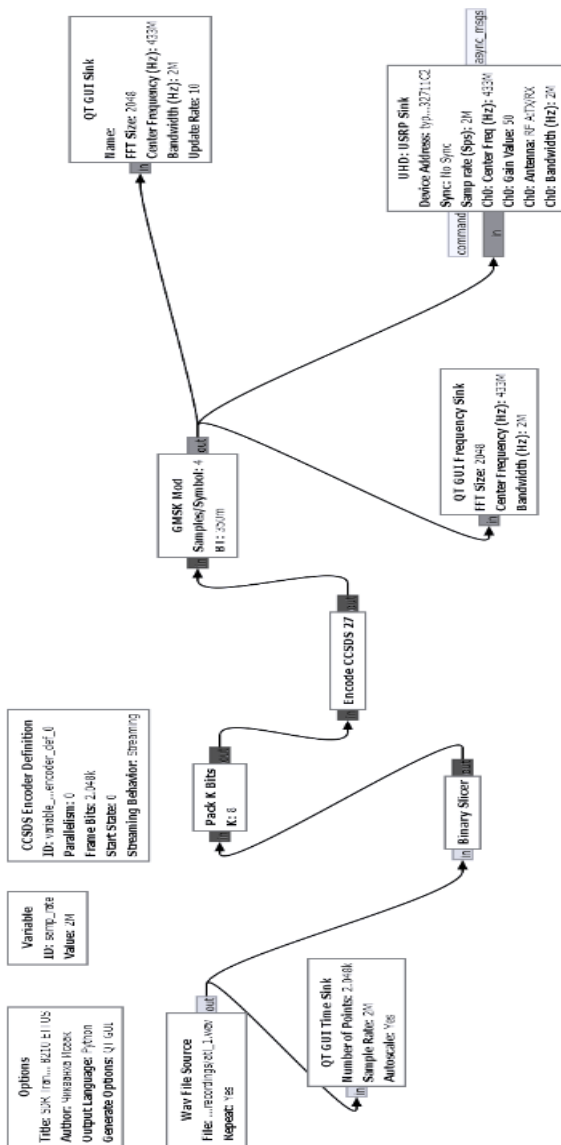


Fig. 3. CCSDS Protocol signal transmitted by USRP Ettus B210 SDR

The integration of the CCSDS protocol in CubeSat communication systems represents a significant progress in small satellite communications. Figure 3 shows the integration of an Encode CCSDS 2 block which applied a convolutional encoding scheme with a constraint length of 7 and a code rate of 1/2, effectively doubling the length of the data stream. This redundancy helps in correcting errors that can occur during the transmission through space or other noisy environments. By improving data reliability and transmission efficiency, the CCSDS protocol ensures the success of CubeSat missions, contributing to the broader field of space exploration and research.

REFERENCE

1. Towards Wireless Ranging and Synchronization Using CubeSat Software-Defined Radio Subsystems / M. Gardill, D. Pearson, J. Scharnagl, K. Schilling // 2023 IEEE Space Hardware and Radio Conference, Las Vegas, NV, USA, 2023. – P. 16–19. DOI: 10.1109/SHaRC56958.2023.10046143.
2. Design of an adaptive CubeSat transmitter for achieving optimum signal-to-noise ratio (SNR) / F. Jaswar, A. Rahman, H. Mohammad, Y. Ahmad // Materials Science and Engineering: report. scientific-practical conf. (IOP: Havelsat). – 2017. – Vol. 270, No. 1. – P. 2–3. DOI: 10.1088/1757-899X/270/1/012016.
3. High-Efficiency Polarizer Reflectarray Antennas for Data Transmission Links from a CubeSat / E. Martínez-de-Rioja, D. Martínez-de-Rioja, R. López-Sáez, I. Linares, J.A. Encinar // Electronics. – 2021. – Vol. 10 (15). – 1802. – <https://doi.org/10.3390/electronics10151802>.
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. USRP B210 Ettus Research. Products [Electronic resource]: website of the Ettus Research Group LLC company. – URL: <http://www.ettus.com/product> (Accessed: 14.12.2023).

UDC 004.942

TOOLS FOR CONNECTING THE MARS SIMULATION ENVIRONMENT WITH LOCAL AND NETWORK DATABASES

*N.M. Dubinin, PhD student, junior researcher, assistant of the Department of Computer Systems in Management and Design
Scientific supervisor T.V. Ganja, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Computer Systems in Management and Design
Tomsk, TUSUR, nikita.d@inbox.ru*

The article discusses developing the components of database queries. The author has developed «database», «Select» and «Update» components of basic database queries to ensure automatic parameterization of

computer models of technical objects and cyclic archiving of parameters of technical objects.

Keywords: method of component circuits, methods of system analysis, databases, database queries, Select query, Update query, multi-level computer model.

At the moment, there are no ready-made components in computer modeling programs that implement the logic of database queries. Our aim is to develop an appropriate module to ensure automatic parameterization of computer models of technical objects and cyclic archiving of parameters of technical objects. It can be presented in the form of a number of components, the main tasks of which are to establish connections with databases and perform arbitrary queries.

The results of such queries can be used to parameterize computer models of technical objects, and they can also be automatically inserted into certain places in the generated technical documents. For example, the database may contain such parameters of technical objects as values of resistance, voltage, current, capacitance, inductance, etc. To parameterize automatically the multi-level components of technical object models, the database query components and the component of the database itself were created [1].

Database component. The formal language is used to form a logical level model of a multi-level computer model [2]. It includes a nonterminal symbol, which can be decomposed into its constituent symbols according to the rule of formal grammar. It is also used to insert information into specific places in documents from various databases of the alphabet of the formal language figure.

Due to the fact that the information received from the database can be presented in the form of numeric and string values, the nonterminal symbol *⟨Ответ⟩* consists of the symbol *⟨Текст⟩*. Accordingly, the information can be part of the original nonterminal symbol *⟨Документ⟩* [3].

To connect to databases that can be located and store files on both local and remote servers, the «Database» component was created. It implements methods and algorithms for accessing both remote database management systems and database management systems that use files as data storage (Oracle Database, PostgreSQL, MS Access, MySQL, MS SQL, etc.).

The «Database» component has two connections: «Request» and «Response». The «Request» input connection is intended to receive a request to the database, and the «Response» output connection is intended to send a response to the component that has sent the request to the database. The

«Database» component has its own properties, such as a window for setting values.

The properties of the database component can be as follows:

1. Component name. The component on the diagram can be renamed, depending on the constructed model.
2. Label visibility. It accepts either True or False.
3. Driver. In this line, the user needs to specify the driver depending on what type of database they will interact with.
4. Server address. This line indicates the Address of the server where the database is deployed and functioning.
5. Port. It specifies the port of the server where the database is created.
6. Database. It specifies the name of the database file to connect.
7. User. It is the name of the account by which the user connects to the server where the database is stored.
8. Password. It connects the user to the server.
9. Table. It is the name of the database table with which the component will interact and send or request data [2].

Select component. The Select query is used to select or extract data from one or more tables. This query can be used to simultaneously extract all rows from a database table or to extract only those rows that satisfy a certain condition or combination of conditions [4].

To select or retrieve data from one or more tables in a database, the «Select» component was developed. The component has four connections: «Request», «Response», «Parameter», and «Status». The «Request» output connection is intended to send a request to the database. The «Response» input connection is intended to receive a response from the database to a sent request. The «Parameter» input connection is designed to send a column from the database. The «Status» input connection is designed to send the desired table from the database.

Update component. In databases, updating data means changing values in already filled table cells. Databases have the ability to change values in a group of rows and all rows of a particular table. In each individual row of the table, the user can also make various changes to any of the cells. All of these changes to the database can be made using an «Update» query.

The «Update» component has five connections. The «Request» output connection is intended to send a request to the database. The input connection «Row number» is necessary to connect a digital display on which the value corresponding to the row number in the database table will be set. The «Column Number» input connection is used to connect a digital display, which will display a value corresponding to the column number in the database table. The «Value» input connection is designed to send a value

from the object level to a cell in a database table. The «Launch» input connection is intended to launch a request.

Conclusion. To provide automatic parameterization of computer models of technical objects and cyclic archiving of parameters of technical objects, database query components and components of the database itself were developed. The main tasks of the developed components are to establish connections to databases and perform arbitrary queries. The results of such queries can be used to parameterize computer models of technical objects, and they can also be automatically inserted into certain places in generated technical documents.

REFERENCES

1. SQL queries for updating data [Electronic resource]. – URL: <https://spacebase.ru/library/sql/zaprosyi-sql-dlya-obnovleniya-dannyix-update> (Accessed: November 30, 2023).
2. MARS – environment for modeling technical devices and systems / V.M. Dmitriev, A.V. Shutenkov, T.N. Zaichenko, T.V. Gandzha. – Tomsk: V-Spekt, 2011. – 277 p.
3. Dmitriev V.M. Environment for multi-level computer modeling of chemical-technological systems / V.M. Dmitriev, T.V. Gandzha. – Tomsk: National Research Tomsk State University, 2017. – 332 p.
4. Gandzha T.V. Tasks and architecture of the subsystem for documenting research in the multi-level modeling environment MARS / T.V. Gandzha, S.A. Panov // Reports of the Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics. – 2011. – No. 2-2 (24). – PP. 334–338.

UDC 004.89

AUTHORSHIP ATTRIBUTION OF TEXTS CREATED BY GPT-3.5 AND GPT-4 MODELS

A.M. Fedotova, Ph.D. student of the Department of Information System Security; A.S. Romanov, Ph.D. in Engineering Sciences, Associate Professor of the Department of Complex Information Security of Computer Systems

Tomsk, TUSUR, afedotowaaa@gmail.com

The paper delves into the challenges of classifying artificially produced texts for authorship attribution. The dataset comprises texts generated by GPT-3.5 and GPT-4, derived from VK users' comments. Employing fastText for the experiments, the study uncovers a decrease in classification accuracy with an increase in the number of authors, underscoring the difficulty of differentiation among a broader author base. Remarkably, data generated by GPT-4 exhibited higher classification accuracy compared to that by GPT-3.5, albeit with increased variability. This sug-

gests the heightened sensitivity of generative models to the characteristics of the dataset and the diversity of writing styles. Furthermore, the research indicates that integration of artificial texts into the classification process introduces complexities, which leads to a notable drop in accuracy for larger author groups while exerting a negligible effect on smaller ones.

Keywords: machine learning, fastText, generative models, authorship attribution.

The task of authorship attribution of texts, including artificially generated ones, is of paramount importance for several reasons. Firstly, as artificial intelligence (AI) models like GPT-3.5 and GPT-4 [1, 2] become more sophisticated, distinguishing between human and AI-generated content becomes increasingly challenging. This challenge raises concerns in areas such as misinformation, copyright infringement, and academic integrity, where the ability to accurately identify the source of a text can have significant legal and ethical implications. Secondly, the proliferation of AI-generated texts in digital communication complicates the preservation of authenticity and accountability online. Without effective methods that determine authorship, the integrity of information shared on social media, news outlets, and academic publications could be compromised, leading to a loss of trust among users and readers.

Datasets. To study the influence of integration of texts created by generative models including GPT-3.5 and GPT-4 to original dataset of VK comments [3], we created a dataset with generative texts samples. Note that there exist models like GigaChat and YandexGPT 2 aimed at similar tasks with Russian texts. However, their use was deemed impractical due to restrictions imposed by the developers on content themes. These models cannot generate texts with profanity, even if it is legal, and face other thematic limitations that affect the processing of their content.

To ensure that the generated texts were suitable for further analysis, the generation process adhered to specific rules:

1. Only texts with 50 or more characters served as training samples.
2. Only Russian-language texts were used.
3. Emoticons in generated samples were allowed only if present in the original texts.
4. No alteration of the author's writing style was permitted (e.g., correcting spelling and punctuation errors).

This approach yielded a dataset of 200 authors, each with 10 or more texts. This dataset can facilitate experiments aimed at distinguishing authorship between humans and generative models, identifying authorship in generated texts, and comparing original authors with their generated 'clones' [4, 5].

Table 1

Main characteristics of the dataset		
	GPT-3.5	GPT-4
Number of authors	100	100
Number of texts	1742	5000
Number of symbols	455 690	559 640
Number of sentences	4448	5392

Experimental setup. Building on the derived conclusions, we conducted two experiments. These experiments focused on the classification of generated comments and further complication of the task by integrating artificial texts generated by GPT-3.5 and GPT-4 into the original datasets. All experiments were performed using machine learning method, in particular, fastText model with the following parameters: the learning rate of 0.8, the number of epochs of 100, the WordNgram count of 1, and the dimension of 500. Additionally, a 5-fold cross-validation procedure was applied to minimize variance in evaluations. The results are presented in Table 2.

Table 2

Experimental results				
Number of authors	GPT-3.5	GPT-4	Original texts + generated (GPT-3.5)	Original texts+ generated (GPT-4)
			Accuracy, %	
2	93.2±4.4	95.3±7.2	90.0±1.2	91.9 ±3.3
5	81.7±2.9	84.2±6.1	84.2±2.2	85.1 ±5.0
10	75.3±4.7	77.4±4.9	64.1±3.5	65.7±3.6
20	63.4±4.6	66.6±3.8	52.4±2.3	55.8±3.2

In the experiment, we used the comments generated by GPT-3.5 and GPT-4 models. The results demonstrate that as the number of authors increases, the classification accuracy systematically decreases for both datasets. For the experimental setup from 2 to 20 authors, the classification accuracy dropped from 93.2% to 52.8%, underscoring the complexity of classification with a larger number of authors.

Discussion. Working with data generated by GPT-4, fastText exhibited higher classification accuracy compared to GPT-3.5 in all experiments. However, the higher standard deviations observed with GPT-4 also suggest its potential sensitivity to dataset characteristics and variability in writing styles.

The use of artificial texts complicated the classification process. The greatest loss in accuracy was recorded in experiments involving 20 classes.

For smaller number of authors, 2 and 5 classes, losses did not exceed 8% compared to the results obtained without using generated samples.

Conclusion. When selecting a method for text author identification, researchers should consider the volume of texts, the number of samples in the dataset, and the nature of texts. In addition, specific challenges of the problem should be acknowledged. The most significant limitation for addressing real-world tasks is the lack of training data. However, the minimum data volume required for the methodology can be reduced. The fewer the number of author candidates, the higher the accuracy of authorship attribution methods.

REFERENCES

1. Balkus S.V. Improving short text classification with augmented data using GPT-3 / S.V. Balkus, D. Yan // Natural Language Engineering. – 2022. – PP. 1–30.
2. Mayer C.W.F. Prompt text classifications with transformer models! An exemplary introduction to prompt-based learning with large language models / C.W.F. Mayer, S. Ludwig, S. Brandt // Journal of Research on Technology in Education. – 2023. – Vol. 55, No. 1. – PP. 125–141.
3. Authorship attribution of social media and literary Russian-language texts using machine learning methods and feature selection / A. Fedotova, A. Romanov, A. Kurtukova, A. Shelupanov // Future Internet. – 2021. – Vol. 14, No. 1. – P. 4.
4. Uchendu A. Authorship attribution for neural text generation / A. Uchendu, T. Le, K. Shu, D. Lee // Proceedings of the 2020 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing (EMNLP). – 2020. – PP. 8384–8395.
5. Pratanwanich N. Who wrote this? Textual modeling with authorship attribution in big data / N. Pratanwanich, P. Lio // 2014 IEEE International Conference on Data Mining Workshop. – IEEE, 2014. – PP. 645–652.

UDC 004.934.2

REVIEW OF METHODS FOR DETERMINING THE FUNDAMENTAL FREQUENCY

N.S. Repyuk, postgraduate student of the Department of Complex Information Security of Computer Systems; M.N. Chumerin, student of the Department of Complex Information Security of Computer Systems
Scientific supervisor A.A. Konev, Associate Professor of the Department of Complex Information Security of Computer Systems,
Candidate of Technical Sciences
Tomsk, TUSUR, rms@fb.tusur.ru

This article provides an overview of methods for determining the fundamental frequency. Five methods are considered: RAPT, YIN, WIPE', IRAPT, MSI, Halcyon, and a method based on a mathematical model of the human auditory system.

Keywords: fundamental frequency, speech signal, accuracy, error.

Many modern automated information systems include the use of speech technologies. Therefore, it is important to improve the speech recognition process. One of the key parameters of speech signals is the fundamental frequency, which refers to the frequency of the vocal cord vibrations when uttering audio signals. There are many methods for calculating the fundamental frequency. It is important to choose a method that could be further implemented into the software package for recognizing continuous speech. This package is necessary to study the parameters of speech signals.

The purpose of this work is to analyze existing methods for determining the fundamental frequency and choose a method for further research. All methods under consideration are designed for monoacoustic signals. To compare algorithms, we rely on their accuracy estimated by two indicators: the gross pitch error (GPE) and the mean fine pitch error (MFPE).

Classical algorithms that estimate the fundamental frequency include RAPT [1], YIN [2], and SWIPE' [3]. Their popularity is explained by the low percentage of gross errors and the availability of freely distributed versions. However, they have limitations. The main limitation is caused by the underlying periodic (stationary) signal model, which implies an exact repetition of the fundamental period and does not allow changing this period during the analyzed frame [4].

I. S. Azarov, M.I. Vashkevich, and A.A. Petrovsky proposed a new approach [4], which uses lowering the sampling frequency (to 6 kHz). This way, the instantaneous frequency of each harmonic from the lower part of the spectrum (up to 3 kHz) is estimated. This is enough to get the exact value of the fundamental frequency. They offered two versions: IRAPT1, which does not specify the fundamental frequency, and IRAPT2, which specifies the frequency. In their work, the researchers also compared classical methods and their versions of IRAPT. They proved that the accuracy of estimations decreases more slowly with an increase in the rate of change of the proposed algorithm compared to RAPT, YIN, and SWIPE'. The GPE is equal to 1.625% for the male voice and 3.777% for the female voice, and the MFPE is equal to 1.608% for the male voice and 0.977% for the female voice.

S.S. Kharchenko, I.A. Kryuchkov, and R.V. Meshcheryakov proposed an MSI algorithm based on the allocation of well-established visually evoked potentials based on the multidimensional synchronization index [5]. The definition of the fundamental frequency for female speakers turned out to be more precise than in the classical methods of RAPT, YIN, and SWIPE', as well as in IRAPT 1 and 2. This is due to the extremely low sensitivity of the algorithm to data selection. However, the proposed ap-

proach has disadvantages related to the evaluation of the CHAT for male speakers. The GPE is 0.912% for the male voice and 1.697% for the female voice, and the MFPE is 1.731% for the male voice and 2.113% for the female voice.

The authors in [6] proposed a method for estimating the fundamental frequency by representing a speech signal by a sinusoidal model with instantaneous parameters. Their algorithm provides the following sequence of steps: decomposition of the signal into subband components, determination of instantaneous parameters of the sinusoidal model of subpolar signals, calculation of the function of formation of candidates for the fundamental period, and search for a local contour of the fundamental frequency. The GPE is 0.743% for the male voice and 3.6% for the female voice, and the MFPE is 1.268% for the male voice and 1.039% for the female voice.

A.A. Konev in his dissertation describes a unique algorithm for determining the fundamental frequency by modifying a mathematical model of the human auditory system [7]. At the same time, the author's definition of the fundamental frequency is suitable for both male and female speakers. Note that in his algorithm, the fundamental frequency jumps do not affect the reliability of segmentation into vocalized and non-vocalized areas in the speech signal. The error in measuring the fundamental frequency is 0.6%. Table compares the above methods [1–7].

Algorithm indicators

Algorithm	Algorithm indicators (%)	
	Male voices	Female voices
RAPT	3.687	6.068
YIN	3.184	3.960
SWIPE'	0.756	4.273
IRAPT 1	1.625	3.777
MSI	0.912	1.697
Halcyon	0.743	3.600
A method based on a mathematical model of the human auditory system (Konev's method)	The error of determination is no more than 0.6%.	

The following conclusions can be drawn from the study:

1. The considered methods for determining the fundamental frequency are dictator-dependent. For female speakers, the percentage of errors is higher than for males. In the software package, it is necessary to take into account the peculiarities of the voice of both sexes, which is why it is worth choosing a method that is not dictator-dependent.
2. Most of the methods do not involve working with a noisy signal, but only with a signal recorded in ideal conditions without noise. In the

future software package, it is necessary to introduce a method that will least depend on the noise of the speech signal.

Based on the results of the analysis, the method proposed by A.A. Konev was chosen to determine the fundamental frequency. This method for estimating the frequency of the main tone will be implemented in the software package being developed for continuous speech recognition.

REFERENCES

1. Talkin D. A Robust Algorithm for Pitch Tracking (RAPT) // *Speech Coding and Synthesis*. – 1995.
2. Cheveigne A. YIN, a fundamental frequency estimator for speech and music / A. Cheveigne, H. Kawahara // *The Journal of the Acoustical Society of America*. – 2002. – Vol. 111 (4). – P. 1917–1930.
3. Camacho A. A sawtooth waveform inspired pitch estimator for speech and music / A. Camacho, J. G. Harris // *The Journal of the Acoustical Society of America*. – 2008. – Vol. 124 (3). – P. 1638–1652.
4. Azarov I.S. Algorithm for estimating the instantaneous frequency of the fundamental tone of a speech signal / I.S. Azarov, M.I. Vashkevich, A.A. Petrovsky // *Digital signal processing*. – Moscow, 2012. – Vol. 4. – P. 49–57.
5. Kharchenko S.S. Determination of the pitch frequency of a speech signal based on the multidimensional synchronization index / S.S. Kharchenko, I.A. Kryuchkov, R.V. Meshcheryakov // *Speech Technology*. – 2021. – Vol. 3-4. – P. 17–28.
6. Vashkevich M.I. Estimation of the instantaneous pitch frequency of a speech signal based on multi-speed processing / M.I. Vashkevich, I.S. Azarov, A.A. Petrovsky // *Speech Technology*. – 2018. – Vol. 1-2. – P. 12–24.
7. Konev A.A. Model and algorithms for analysis and segmentation of a speech signal: abstract of the dissertation of the Candidate of Technical Sciences. – Tomsk, 2007. – 20 p.

UDC 378.14

INVESTIGATING THE IMPACT OF IMAGE SIZE ON THE EFFECTIVENESS OF OBJECT DETECTION USING THE YOLO NEURAL NETWORK

V.I. Weber, Ph.D. student of the Department of Radio Engineering Systems

*Scientific adviser V.Yu. Kupritz, Candidate of Engineering Sciences
Tomsk, TUSUR, vladweber00@gmail.com*

The article investigates the operation of the YOLO neural network that depends on the size of the input image. The data for training the neural network were taken from open sources. The task of this study is to im-

prove the accuracy of UAV detection. The results provide recommendations on the minimum input image size for YOLOv8. We investigated this neural network for different numbers of neurons and for different input image sizes. These results provide an increase in the probability of correct detection of objects in the image.

Keywords: image recognition, object detection, YOLO neural network, optical image, training database, input image compression.

Object detection and recognition are one of the tasks of computer vision, which is used in detection systems around the world. With the help of an object detection system, it is possible to determine what is in the image or video, as well as the coordinates of the object in the image. There are two approaches to solving the object detection task:

1. One-stage algorithms are algorithms that detect and classify objects in an image using a single model or method.
2. Two-stage algorithms are algorithms that, at the first stage, detect objects in an image using a single model or method, and at the second stage, all detected objects are fed to the neural network for classifying objects in the image [1].

The most common algorithms are based on a one-stage image processing method (YOLO, SSD, and RetinaNet [1]). YOLO is the most common architecture used for object detection. YOLOv5 and YOLOv8 from Ultralytics are very popular and are used in industry. Figure 1 shows the graphs that compare YOLO models of different generations trained on the COCO database [2]. Thus, in this study, we focus on the architecture of the YOLOv8 neural network, since it is currently the most popular version.

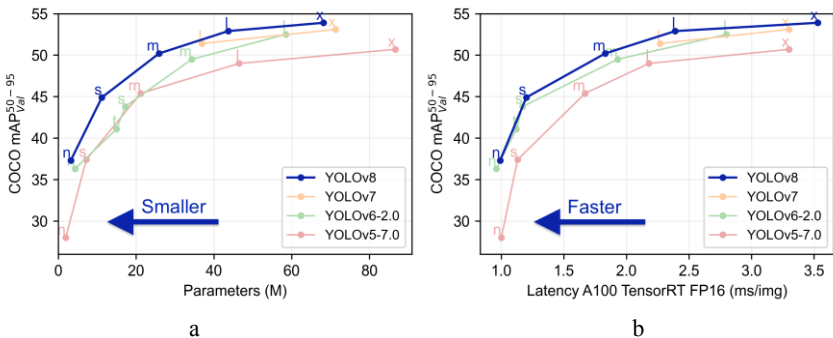


Fig. 1. Comparison of Yolo models of different versions

The abscissa axis in Fig. 1, *a* shows the number of trained parameters in millions. The abscissa axis in Fig. 1, *b* shows the speed of the models in

ms/image. The COCO mAP50-95 (mean average precision) metric is depicted along the ordinate axis. COCO mAP uses a 101-point interpolated definition of AP (average precision) for calculations. For COCO, the AP is the average value for several IoUs (intersections over a union). The mAP50-95 metric corresponds to the average AP for the IoU level from 0.5 to 0.95 with a step size of 0.05 [3]. The IoU measures the overlap between two areas. This metrics is used to determine the percentage of overlap between the predicted location area of an object and its actual location area.

In addition to the version of the YOLO neural network, there are variations in the size of this neural network, namely, nano, small, medium, large, and extra-large. Due to the limited computing resources (the training was conducted on an RTX 3060 12Gb graphics card), we studied four types of YOLOv8 network: nano (n), small (s), medium (m), and large (L). Table 1 shows the characteristics of the YOLOv8 of various sizes [2]. Table 2 shows the parameters of YOLO trained neural networks for UAV detection. The aim of this study is to improve the accuracy of UAV detection. This task was chosen based on the contract with the customer.

Table 1

Features of YOLOv8 of various sizes

Model	Size (pixels)	mAP 50-95	Speed CPU ONNX(ms)	params(M)
YOLOv8n	640	37.3	80.4	3.2
YOLOv8s	640	44.9	128.4	11.2
YOLOv8m	640	50.2	234.7	25.9
YOLOv8l	640	52.9	375.2	43.7
YOLOv8x	640	53.9	479.1	68.2

Table 2

Characteristics of the developed YOLOv8 of various sizes

	YOLOv8n	YOLOv8s	YOLOv8m	YOLOv8l
mAP 50	0.973	0.972	0.96	0.969
mAP 50-95	0.62837	0.63362	0.62878	0.63116

The network was evaluated under the following restrictions:

1. Only the true positive result that correctly captured the object was taken into account at the network output (we did not take false positives, since there were a small number of them).

2. The assessment was based on the confidence metric. YOLO models define two types of metrics: a confidence box and a confidence class.

3. If a neural network selected one object twice, then the detection that had the greatest confidence was considered.

A confidence box is a measure of how confident the model is that the bounding box contains the object of interest. It combines the assessment of objectness (the model's confidence that the box contains an object) with the IoUs between the predicted bounding rectangle and the basic truth.

A confidence class is an expression of how confident the model is that the detected object belongs to a certain class. This calculation involves taking the conditional probability of a class, provided that the object has been detected ($\text{Pr}(\text{Class}_i|\text{Object})$), and multiplying it by an estimate of objectness and IoU. The confidence indicator that YOLOv8 outputs is a combination of these two confidence levels, which allows it to balance between the degree of confidence that the box contains an object and the degree of confidence in which class this object belongs to.

The following describes the image dimensions before and after compression:

– Resolution of image 1 before compression is 3000*1688, resolution after 2x compression is 1500*844, resolution after 4x compression is 750*422, and resolution after 8x compression is 375*211.

– Resolution of image 2 before compression is 6016*3384, resolution after 2x compression is 3008*1692, resolution after 4x compression is 1504*846, resolution after 8x compression is 752*423, resolution after 16x compression is 376*212, and resolution after 32x compression is 188*106.

The degree of image compression is demonstrated in Figs. 2, 3. Figs. 2, 3, *a* show the image without compression. Figs. 2, 3, *b* show the image with maximum compression. In test images 1 and 2, the original object sizes were 67*49 and 691*437 pixels, respectively.

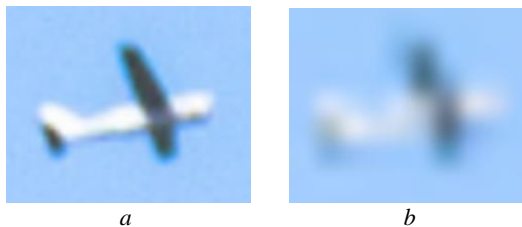


Fig. 2. Compression of test image 1 by 8 times



Fig. 3. Compression of test image 2 by 32 times

Figs. 4, 5 show the results of the work of neural network models.

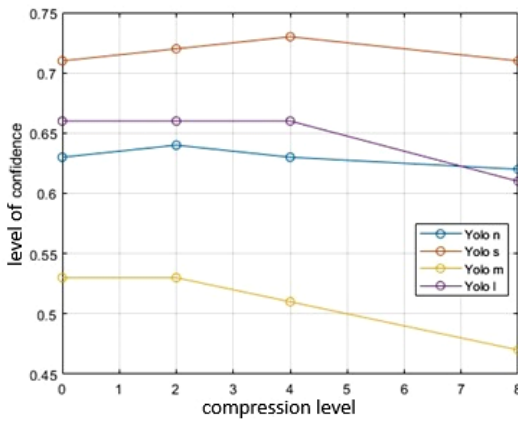


Fig. 4. Dependence of the confidence value on the image resolution for test image 1

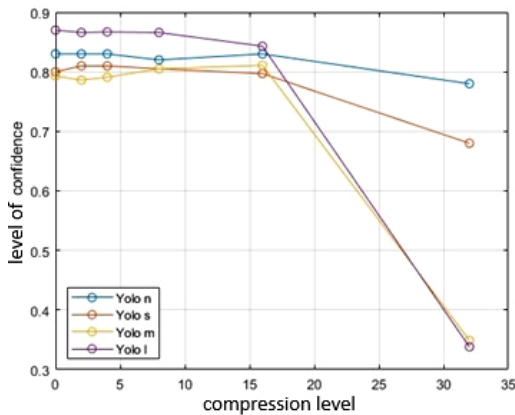


Fig. 5. Dependence of the confidence value on the image resolution for test image 2

Figure 4 shows that compression at the beginning had almost no effect on the results of the work, but starting with compression x4, a decline in the confidence metric is visible. The YOLO short model exhibited the best results. Figure 5 shows that starting with the compression of x8, the confidence metric decreased. The YOLO large model exhibited the best results. Such results may be related to the fact that the obtained resolutions are almost equal to each other and are close to the level of compression within the model.

Thus, we studied the effectiveness of neural network models depending on the degree of compression of the input image. As a result of the study of the YOLOv8 neural network with a various number of trainable parameters, the following was obtained:

- the neural network with a large number of training parameters could identify objects with very low resolution (with high image compression);
- the learning potential of the neural network with a large number of parameters was greater than the others;
- the confidence metrics were the best for YOLOv8 L and s;
- the number of false positives (capture of a non-existent object) was the highest for YOLOv8 s.

In conclusion, we can say that in the absence of restrictions on computing resources, the best result in solving the problem of UAV detection and recognition was obtained using the YOLOv8 L neural network.

REFERENCES

1. Cole A. Artificial intelligence and computer vision. Real projects in Python, Keras and TensorFlow / A. Cole, S. Ganju, M. Kazam. – St. Petersburg, 2023. – 624 p.
2. GitHub [Electronic resource]. – Ultralytics. – Access mode: <https://github.com/ultralytics/ultralytics> (Access: 11.15.2023).
3. Data Science Stack Exchange [Electronic resource] What does the notation $mAP@[.5:.95]$ mean? – Access mode: <https://datascience.stackexchange.com/questions/16797/what-does-the-notation-map-5-95-mean> (Access: 11.15.2023).

СОДЕРЖАНИЕ

Секция 2 ЭЛЕКТРОНИКА И ПРИБОРОСТРОЕНИЕ

Подсекция 2.5

ОПТИЧЕСКИЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, НАНОФОТОНИКА И ОПТОЭЛЕКТРОНИКА

Председатель – Шарангович С.Н., проф. аф. СВЧиКР, к.ф.-м.н.;
зам. председателя – Перин А.С., доцент каф. СВЧиКР, к.т.н.

- Д.Р. Плотников, В.А. Шардаков, Ю.А. Алтухов,
Д.М. Чубаров, В.О. Долгирев, С.Н. Шарангович*
Исследование процесса формирования и дифракции света
на отражательных многослойных неоднородных голографических
дифракционных структурах в фотополимеризующихся композициях 31
- А.А. Шейнбергер, М.С. Цехановская, Ю.С. Жидик*
Реализация и исследование коллимирующей оптической системы
на основе волоконных сферических микролинз
для бесконтактных оптических соединителей 35
- Д.О. Удовенко, В.О. Долгирев, Д.С. Растрьгин, С.Н. Шарангович*
Преобразование селективных характеристик чирпированных
мультиплексированных трехслойных голографических
дифракционных структур в ФПМ-ЖК..... 38

Подсекция 2.6

ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ СОВМЕСТИМОСТЬ

Председатель – Заблоцкий А.М., зав. каф. СВЧиКР, д.т.н.;
зам. председателя – Белоусов А.О., доцент каф. ТУ, к.т.н.

- Т.Ф. Данг, А.Ф. Алхадж Хасан*
Графический интерфейс программы для оценки излучаемой эмиссии
от печатных плат с модальным резервированием 42
- М.Т. Нгуен, А.Ф. Алхадж Хасан*
Программный модуль для упрощения процесса моделирования
рупорной антенны проводной сеткой в системе TALGAT 46
- В.И. Варварин, И.И. Николаев*
СВЧ-зонды для измерения уровней помехоэмиссии
от печатных плат в ближней зоне 51
- Н.Ю. Шайманов*
Сравнение эффективности видов фильтрации
для метода валидации выделением особенностей 54

Н.Ю. Шайманов	
Программное обеспечение для расчета параметров линий передачи	56
С.В. Смирнов	
Программный модуль для аналитической оценки эффективности экранирования многослойных структур из металлов и композитных материалов	60
П.П. Снетков, И.Е. Сагиева	
Алгоритм автоматического выбора оптимальной сегментации дуги как параметр моделирования линий передачи	63
В.В. Торопов	
О моделировании антенных решеток с применением принципов пространственной декомпозиции	67
В.И. Варварин, И.И. Николаев	
Обзор аналитических моделей для расчета параметров эквивалентных схем замещения планарных катушек индуктивности	71
А.О. Зайков	
Анализ резонансных частот экранирующих корпусов на основе моностатической эффективной площади рассеяния	74
Н.Д. Одиванов, В.В. Пичугин	
Ослабление сверхширокополосного импульса в двух-диапазонном полосно-заграждающем фильтре	77
М.С. Мурманский	
Анализ характеристик двух связанных линий передачи в виде спирали	80
С.В. Власов	
Влияние заземленных защитных трасс на помехоподавляющие свойства двух дифференциальных пар	82
С.Р. Морозов, С.В. Власов	
Анализ характеристик дифференциальных пар с модальным резервированием	85

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.

М.Х. Фам, В.С. Солдаткин	
Проектирование светодиодного облучателя для сельскохозяйственных птиц	89
Д.В. Былков, Д.А. Полторацкий, А.О. Лазарева, В.С. Солдаткин	
Срок службы облучательных приборов для выращивания растений	91
Е.В. Шнайдер, Р.Г. Герасимов, Л.Ш. Юдашова, В.С. Солдаткин	
Проектирование светодиодного светильника со встроенным инфракрасным обогревателем направленного действия	94
Н.В. Амбарникова	
Влияние концентрации люминофора в чипе светодиода на неравномерность цветности и световую отдачу	96

Н.Д. Чан	
Синтез и люминесцентные свойства $ZnAlGaO_4$	99
В.Н. Пыхтин, Е.Ю. Снигирева, Т.А. Тарасенко	
Печатный узел плавучего навигационного огня	101
М.А. Афанасьев, К.Н. Афонин, Р.Г. Герасимов,	
А.В. Ермолаев, В.С. Солдаткин	
Проектирование светодиодного светильника промышленного	104

Секция 3

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И СИСТЕМЫ

Подсекция 3.2

РАСПРЕДЕЛЁННЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И СИСТЕМЫ

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

Н.Ю. Бумажкина

К вопросу о виртуализации вычислительных
и телекоммуникационных ресурсов центра обработки данных

В.О. Репин

Разработка системы кэширования
со строгой гарантией согласованности

Подсекция 3.3

АВТОМАТИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ В ТЕХНИКЕ И ОБРАЗОВАНИИ

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

А.М. Емельянов, Ю.М. Козлова, И.С. Надеждин

Применение квантизированной рекуррентной нейронной сети
для повышения точности измерения атмосферного давления

Ю.М. Козлова, А.М. Емельянов, И.С. Надеждин

Комбинированная модель процесса экстракционного аффинажа
с применением нейросетевых технологий

А.В. Одицев, М.А. Петерс

Моделирование движения группы квадрокоптеров в среде МАРС

Е.С. Петрова

Обзор моделей систем интеллектуального управления
в средах визуального моделирования

А.М. Тернов

Система визуального контроля качества процесса печати
FDM 3D-принтера

С.Ф. Царанкин	
Моделирование производственного процесса на основе когнитивных карт	131
А.О. Ушаков	
Реализация модели экстрактора на основе реактора идеального смешения в среде моделирования MAPC	133
К.Е. Зинченко, О.Р. Выборнова	
Внедрение цифровых технологий в управление нормативными правовыми документами университета	136

Подсекция 3.4

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ

Председатель – Ходашинский И.А., проф. каф. КСУП, д.т.н.;
зам. председателя – Сарин К.С., доцент каф. КСУП, к.т.н.

М.Б. Бардамова	
Варианты модификации алгоритма экстремумов классов для построения нечетких классификаторов	139
Р.Е. Коломников	
Нечеткий классификатор инкрементного обучения для обнаружения массовой неперсонифицированной рассылки	143
Р.Е. Коломников	
Нечеткий классификатор обработки потоковых данных для распознавания рукописных цифр	148
Н.П. Корышев	
Краткий обзор алгоритмов инкрементного отбора признаков	152
Р.О. Остапенко	
Применение группировки с алгоритмом K-средние при генерации базы нечётких правил	154
А.О. Шабунин, Д.Д. Скоробогатов, А.Е. Резванова, Б.С. Кудряшов	
Прогнозирование микротвердости керамического материала с помощью нейронных сетей	157
М.О. Светлаков	
GPU-impleментация метаэвристического алгоритма оптимизации «стая птиц» для нечеткого аппроксиматора на примере набора данных решения обратной задачи кинематики роборуки	160
М.О. Светлаков	
GPU-impleментация модификации ALMMo1 системы типа Ангелова–Ягера для потоковых данных	163
Н.В. Смольников	
Генетический алгоритм для Оптимизации процесса профилирования активной зоны исследовательского ядерного реактора	165
Юаньюань Чжан	
Анализ статуса генерации описаний товаров с применением нейронных сетей на китайском и русском языках	168

С.А. Давыденко

Сбор набора данных для задачи продлённой аутентификации
по динамике движения зрачков 171

П.Ю. Лаптев, С.А. Литовкин

Использование параметров устной речи и нейронных сетей
для определения состояния алкогольного опьянения 174

Подсекция 3.5

**МОЛОДЕЖНЫЕ ИННОВАЦИОННЫЕ НАУЧНЫЕ
И НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ПРОЕКТЫ**

Председатель – Костина М.А., доцент каф. УИ, к.т.н.;
зам. председателя – Нариманова Г.Н., зав. каф. УИ, декан ФИТ, к.ф.-м.н.

С.О. Рубцов, К.В. Матвеев

Создание прототипа лабораторного стенда
робототехнической сенсорики 177

М.А. Вершинин

Разработка и внедрение системы мотивации учеников
в детской школе программирования Rubius Academy Junior 180

М.А. Желавский, С.Д. Ковалев

Разработка способа организации автономного функционирования
беспилотных летательных аппаратов различных типов 182

Д.А. Лузгин, А.И. Солдатов

Моделирование схемы ультразвукового передатчика
для устройства диагностики носовых пазух в среде LTspice 185

К.В. Сергеев, А.И. Солдатов

Разработка усилительного каскада устройства
для диагностики остеопороза 188

Подсекция 3.6

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

Председатель – Зариковская Н.В., доцент каф. АОИ,
ген. директор ООО «АльдераСофт», к.ф.-м.н.;
зам. председателя – Колотаев И.В., ст. разработчик
ООО «Синкретис»

Р.Е. Богачев

Разработка системы для регистрации и контроля патентов..... 193

Д.В. Мамонтов

Разработка программного обеспечения
для расчетов молекулярной динамики..... 197

С.А. Толкачев, Б.А. Смородин

Адаптация 3D-приложения для WebAssembly..... 200

Подсекция 3.7

ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ СРЕДСТВА АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ, УПРАВЛЕНИЯ И ОБРАБОТКИ ДАННЫХ

Председатель – Хабибулина Н.Ю., декан ФВС, доцент каф. КСУП, к.т.н.;
зам. председателя – Потапова Е.А., ст. преп. каф. КСУП

А.Д. Бариева

Исследование перспективных методов построения
распределенных систем для обработки биоэлектрических сигналов.....203

Ю.Н. Кобзарь

Информационная система «Виртуальный собеседник»
для автоматизации технической поддержки предприятия
АО «ТомскНИПИнефть»206

В.В. Ковалев, Д.Д. Скоробогатов, А.Е. Резванова, Б.С. Кудряшов

Прогнозирование микротвердости керамического материала
методами машинного обучения.....209

В.Ю. Погудин, Д.Д. Скоробогатов, А.Е. Резванова, Б.С. Кудряшов

Анализ методов машинного обучения для прогнозирования
микротвердости керамического материала211

А.В. Токарева

Организация процесса хранения конструкторской документации
с применением алгоритмов комбинаторной генерации214

К.В. Васильев, Н.Ю. Хабибулина

Разработка учебно-методического комплекса
по изучению робота-манипулятора.....217

М.С. Еременко, А.Д. Элешкевич

Автоматизированное дешифрирование данных дистанционного
зондирования Земли с применением нейросетевых моделей219

Секция 6

ЭКОЛОГИЯ И МОНИТОРИНГ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ. БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Председатель – Карташев А.Г., проф. каф. РЭТЭМ, д.б.н.;
зам. председателя – Денисова Т.В., доцент каф. РЭТЭМ, к.б.н.

А.Д. Бирюкова, Е.И. Вологжанина

Применение физической величины «угол естественного откоса»
в исследованиях окружающей среды.....222

А.С. Липчинская

Статистический анализ показателей загрязнения водоемов
и атмосферы в Российской Федерации226

М.В. Якимов, В.Ю. Якимова, А.А. Носков	
Мониторинг водных охотничьих угодий Можгинского лесничества Удмуртской Республики	229
М.В. Якимов, В.Ю. Якимова, А.А. Носков	
Мониторинг лесных земель для разведения глухаря	231
М.В. Якимов, В.Ю. Якимова, А.А. Носков	
Мониторинг и оценка охотничьих угодий для тетерева в Удмуртской Республике.....	234
Е.С. Яшков	
Структура учебной мотивации студентов технического университета.....	237
Н.Д. Меркулов	
Влияет ли гендер на формирование экологической культуры личности .	239
Е.В. Буевич	
Биодegradация полистирола мучными червями	242
И.И. Досуужева	
Методы стратификации семян микрорезелени моркови	245
А.О. Студенкова	
Влияние спектрального состава искусственного освещения на окраску декоративных растений.....	248
С.П. Задоржных, Н.Н. Терещенко, Ю.В. Савиных	
Изменение состава пигментов растений на территориях разлива дизельного топлива в районе Норильска.....	250

Секция 8

POSTGRADUATE AND MASTER STUDENTS' RESEARCH IN ELECTRONICS AND CONTROL SYSTEMS

Председатель – Покровская Е.М., зав. каф. ИЯ, доцент, к.филос.н.;

зам. председателя – Шпит Е.И., доцент каф. ИЯ;

Соболевская О.В., ст. преп. каф. ИЯ;

Таванова Э.Б., ст. преп. каф. ИЯ

I.T. Chikwanha, K. Pashchenko	
Implementation of the CCSDS protocol in CubeSat Communication Systems.....	254
N.M. Dubinin	
Tools for Connecting the MARS Simulation environment with local and Network Databases	257
A.M. Fedotova, A.S. Romanov	
Authorship attribution of Texts Created by GPT-3.5 and GPT-4 models.....	260
N.S. Repyuk, M.N. Chumerin	
Review of methods for determining the fundamental frequency	263
V.I. Weber	
Investigating the Impact of image size on the effectiveness of object detection using the YOLO neural network	266

Научное издание

Сборник избранных статей научной сессии ТУСУР

**По материалам
международной научно-технической конференции
студентов, аспирантов и молодых ученых
«Научная сессия ТУСУР–2024»**

15–17 мая 2024 г., г. Томск

В трех частях

Часть 2

Корректор – **В.Г. Лихачева**
Верстка **В.М. Бочкаревой**

Сдано на верстку 20.05.2024. Подписано к печати 25.06.2024.
Формат 60×84¹/₁₆. Печать трафаретная. Печ. л. 17,5
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