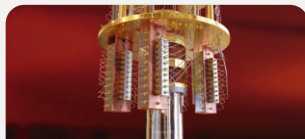




Радиотехнический
факультет



Факультет
электронной техники



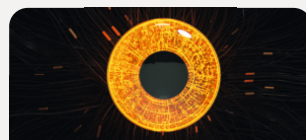
Радиоконструкторский
факультет



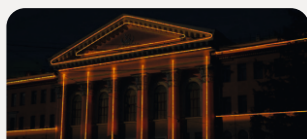
Факультет систем
управления



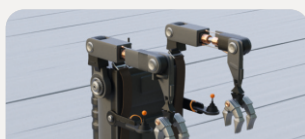
Экономический
факультет



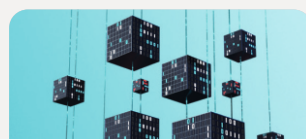
Факультет
вычислительных
систем



Юридический
факультет



Факультет
инновационных
технологий



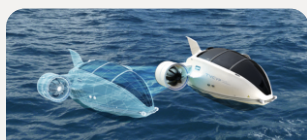
Факультет
безопасности



Гуманитарный
факультет



Заочный и вечерний
факультет



Электронное
приборостроение и
системы связи (ПИШ)

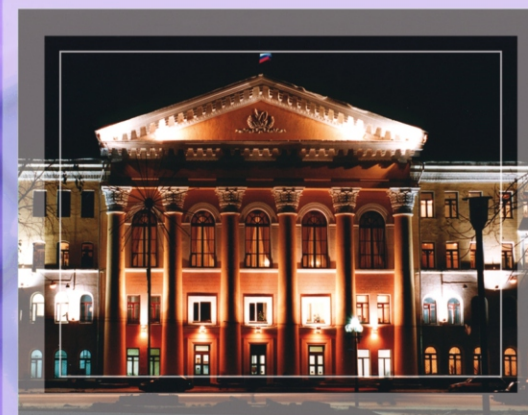


Факультет
дистанционного
обучения

Больше
информации о
магистратуре в
TUSUR на
официальном
сайте
magistrant.tusur.ru



Сборник избранных статей научной сессии TUSUR



ПО МАТЕРИАЛАМ МЕЖДУНАРОДНОЙ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ
СТУДЕНТОВ, АСПИРАНТОВ
И МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ
«НАУЧНАЯ СЕССИЯ TUSUR–2023»

г. Томск, 17–19 мая 2023 г.
(в трех частях)

ЧАСТЬ 2

г. Томск

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное 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–2023»**

17–19 мая 2023 г., г. Томск

В трех частях

Часть 2

ТУСУР
В-Спектр
Томск, 2023

УДК 621.37/.39+681.518 (063)

ББК 32.84я431+32.988я431

С 23

С 23 Сборник избранных статей научной сессии ТУСУР, Томск, 17–19 мая 2023 г.: в 3 ч. – Томск: ТУСУР (заказчик); В-Спектр (ИП Бочкарева В.М., исполнитель), 2023. – Ч. 2. – 330 с.

ISBN 978-5-902958-09-3

ISBN 978-5-902958-10-9 (Ч. 1)

ISBN 978-5-902958-11-6 (Ч. 2)

ISBN 978-5-902958-12-3 (Ч. 3)

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

УДК 621.37/.39+681.518 (063)

ББК 32.84я431+32.988я431

ISBN 978-5-902958-09-3

ISBN 978-5-902958-11-6 (Ч. 2)

© ТУСУР, 2023

Сборник избранных статей научной сессии ТУСУР

**по материалам
международной научно-технической конференции
студентов, аспирантов и молодых ученых
«Научная сессия ТУСУР–2023», 17–19 мая 2023 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 ТУСУР, 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 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. акад. 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, д.соц.н.;
- Оскирко В.О., н.с. лаборатории прикладной электроники ИСЭ СО РАН, технический директор ООО «Прикладная электроника», к.т.н.;
- Покровская Е.М., зав. каф. ИЯ ТУСУРа, к.филос.н.;
- Разинкин В.П., проф. каф. ТОР, декан факультета радиотехники и электроники, Новосибирский государственный технический университет, д.т.н., г. Новосибирск (по согласованию);
- Рожников Е.В., зав. каф. ТОР ТУСУРа, к.т.н.;
- Ромакина О.М., доцент каф. информатики и компьютерных технологий Санкт-Петербургского горного университета, к.ф.-м.н., г. Санкт-Петербург (по согласованию);
- Ромашко Р.В., член-корреспондент РАН, директор ИАПУ ДВО РАН, проф. ДВФУ, д.ф.-м.н., г. Владивосток (по согласованию);
- Семенов Э.В., проф. каф. РСС ТУСУРа, д.т.н.;
- Сенченко П.В., проректор по учебной работе ТУСУРа, доцент каф. АОИ, к.т.н.;
- Сулова Т.И., декан ГФ ТУСУРа, д.ф.н., проф.;
- Титов В.С., проф. каф. вычислительной техники Юго-Западного государственного университета, д.т.н., 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 киберфизических систем и управления института компьютерных наук и технологий Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого, к.т.н., г. Санкт-Петербург (по согласованию);
- Чжан Е.А., зам. директора 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.;
- Шостак А.С., проф. каф. КИПР ТУСУРа, д.т.н.;

- Шурыгин Ю.А., директор департамента управления и стратегического развития ТУСУРа, зав. каф. КСУП, д.т.н., проф.;
- Issakov V., professor at University Otto-von-Guericke Magdeburg, Germany (по согласованию);
- Caratelli D., PhD, professor of the Department of Electrical Engineering (Eindhoven University of Technology), technical director of the company «The Antenna Company Nederland B.V.» (по согласованию);
- Krozer V., professor at Goethe University, Frankfurt am Main (по согласованию).

ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ

- Лощилов А.Г. – председатель Организационного комитета, проректор по научной работе и инновациям ТУСУРа, зав. каф. КУДР, к.т.н.;
- Медовник А.В. – заместитель председателя Организационного комитета, начальник научного управления, д.т.н.;
- Байгулова Т.А., председатель Студенческого научного сообщества «Система», аспирант каф. УИ;
- Боберь 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., зав. аспирантурой, ОАиД, к.т.н.;
- Михальченко Т.С., техник отдела набора и распределения студентов;
- Покровская Е.М., зав. каф. ИЯ, к.филос.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 – 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 – Шостак Аркадий Степанович, проф. каф. КИПР, д.т.н.; зам. председателя – Озёркин Денис Витальевич, декан РКФ, к.т.н.*

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

Подсекция 1.4. Видеоинформационные технологии. *Председатель – Курячий Михаил Иванович, доцент каф. ТУ, к.т.н.; зам. председателя – Каменский Андрей Викторович, доцент каф. ТУ, к.т.н.*

Подсекция 1.5. Инфокоммуникационные технологии и системы широкополосного беспроводного доступа. *Председатель – Рогожников Евгений Васильевич, зав. каф. ТОР, к.т.н.; зам. председателя – Дмитриев Эдгар Михайлович, ассистент каф. ТОР.*

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

Подсекция 1.7. Интеллектуальные системы проектирования технических устройств. *Председатель – 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 наноэлектронных средств. *Председатель – 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 – Лоцилов Антон Геннадьевич, проректор по НРИИ, зав. каф. КУДР, к.т.н.; зам. председателя – Бомбизов Александр Александрович, начальник СКБ «Смена», к.т.н.*

Подсекция 2.3. Физическая и плазменная электроника. *Председатель – 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 – Семенов Валерий Дмитриевич, проф. каф. ПрЭ, к.т.н.; зам. председателя – Оскирко Владимир Олегович, научный сотрудник 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 – Шарангович Сергей Николаевич, проф. каф. СВЧМКР, к.ф.-м.н.; зам. председателя – Перин Антон Сергеевич, доцент каф. СВЧМКР, к.т.н.*

Подсекция 2.6. Электромагнитная совместимость. *Председатель – Заболоцкий Александр Михайлович, зав. каф. СВЧМКР, д.т.н.; зам. председателя – Белоусов Антон Олегович, доцент каф. ТУ, к.т.н.*

Подсекция 2.7. Светодиоды и светотехнические устройства. *Председатель – 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 – Катаев Михаил Юрьевич, проф. каф. АСУ, д.т.н.; зам. председателя – Суханов Александр Яковлевич, доцент каф. АСУ, к.т.н.*

Подсекция 3.2. Распределённые информационные технологии и системы. *Председатель – 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 – Дмитриев Вячеслав Михайлович, проф. каф. КСУП, д.т.н.; зам. председателя – Ганджа Тарас Викторович, проф. каф. КСУП, д.т.н.*

Подсекция 3.4. Вычислительный интеллект. *Председатель – 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 – 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, старший разработчик ООО «Синкретис».*

Подсекция 3.7. Инструментальные средства поддержки автоматизированного проектирования и управления. *Председатель – Хабибулина Надежда Юрьевна, декан ФВС, доцент каф. КСУП, к.т.н.; зам. председателя – Потапова Евгения Андореевна, ст. преподаватель каф. КСУП.*

Секция 4. Информационная безопасность

Подсекция 4.1. Методы и системы защиты информации. Информационная безопасность. *Председатель – 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 – Голиков Александр Михайлович, доцент каф. РТС, к.т.н.*

Подсекция 4.3. Экономическая безопасность. *Председатель – Кузьмина Елена Александровна, директор Международной цифровой академии, 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 – Мицель Артур Александрович, проф. каф. АСУ, д.т.н.; зам. председателя – Грибанова Екатерина Борисовна, доцент каф. АСУ, к.т.н.*

Подсекция 5.2. Информационные системы в экономике. *Председатель – 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 – Васильковская Наталья Борисовна, доцент каф. экономики, к.э.н.; зам. председателя – Цибулькикова Валерия Юрьевна, зав. каф. экономики, к.э.н.*

Подсекция 5.4. Проектный менеджмент и его использование в цифровой экономике. *Председатель – 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 – Орлова Вера Вениаминовна, зав. каф. ФиС, директор НОЦ «СГТ», д.соц.н.; зам. председателя – Корнющенко-Ермолаева Наталия Сергеевна, ст. преподаватель каф. ФиС.*

Подсекция 5.6. Актуальные проблемы социальной работы в современном обществе. *Председатель – 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 – Мельникова Валентина Григорьевна, доцент, зав. каф. ИГПиПОИД, к.ю.н.; зам. председателя – Часовских Кристина Виктовна, ст. преп. 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 – Карташев Александр Георгиевич, проф. каф. РЭТЭМ, д.б.н.; зам. председателя – Денисова Татьяна Владимировна, доцент каф. РЭТЭМ, к.б.н.*

Секция 7. Открытия. Творчество. Проекты. (Секция для школьников). *Председатель – Куприянов Евгений Александрович, директор Центра по работе с талантливой молодежью ТУСУРа; зам. председателя – Михальченко Татьяна Сергеевна, специалист по работе с молодежью ОПиРШ) УНН.*

Секция 8. Postgraduate and Master Students' Research in Electronics and Control Systems. *Председатель – Покровская Елена Михайловна, зав. каф. ИЯ, доцент, к.филос.н.; зам. председателя – Шпит Елена Ирисметовна, ст. преп. каф. ИЯ, Соболевская Ольга Владимировна, ст. преп. каф. ИЯ, Таванова Эльвира Борисовна, ст. преп. 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 – 2.5).

2 часть – 2-я секция (подсекции 2.6, 2.7); 3-я секция (подсекции 3.1 – 3.7);
6-я секция.

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

7-я секция издана отдельным сборником.

Генеральный спонсор конференции – АО «ИнфоТеКС»



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

+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 1600 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 помощью него 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 – помогать 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.

Спонсор конференции – АО «НПФ «Микран»



АО «НПФ «Микран»
634041, г. Томск,
проспект Кирова, д. 51 д

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.

Спонсор конференции – ООО «50ом Технолоджиз»

50ohm Technologies

ООО «50ом Технолоджиз»
info@50ohm.tech
https://50ohm.tech/ru
634045, г. Томск

☎ 7-923-408-04-08
f 50ohmTechRus
in company/50ohm-technologies-llc

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 разрабатывает 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 схемотехнического 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.

Секция 2
ЭЛЕКТРОНИКА
И ПРИБОРОСТРОЕНИЕ

(стр. 17 – 107)

Секция 3
ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
И СИСТЕМЫ

(стр. 108 – 275)

Секция 6
ЭКОЛОГИЯ И МОНИТОРИНГ
ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ.
БЕЗОПАСНОСТЬ
ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

(стр. 276 – 320)

Секция 2

ЭЛЕКТРОНИКА И ПРИБОРОСТРОЕНИЕ

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 621.396

КОНИЧЕСКАЯ РУПОРНАЯ АНТЕННА, РАЗРЕЖЕННАЯ С ПОМОЩЬЮ СОЕДИНЁННОЙ АППРОКСИМАЦИИ ОПТИМАЛЬНОЙ ТОКОВОЙ СЕТКОЙ

М.Т. Нгуен, аспирант каф. ТУ;

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

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

Рассмотрено применение соединённой аппроксимации оптимальной токовой сеткой (САОТС) при моделировании и проектировании разреженных антенн на примере конической рупорной антенны по сравнению с обычной АОТС. Сравнение результатов, полученных этими и другими подходами, показало хорошую согласованность. Выявлено, что относительно метода конечных разностей во временной области, применение АОТС и САОТС способно дать приемлемые результаты с меньшими вычислительными затратами и меньшей массой антенн. Показано, что затраты при САОТС немного больше, чем при АОТС, но трудность изготовления и уровень боковых лепестков меньше.

Ключевые слова: метод моментов, коническая рупорная антенна, проводная сетка, разреженные антенны, аппроксимация оптимальной токовой сеткой.

Моделирование является одним из основных этапов проектирования антенн, способствующим получению оптимального конечного продукта с меньшими затратами. В ходе моделирования важно уменьшать затраты памяти и времени. Это зависит от используемого численного метода для решения электромагнитных задач [1]. Например, метод моментов (МоМ) часто превосходит остальные методы в требуемых затратах при сохранении точности результатов [2].

МоМ не прекращая развивается из-за простоты его алгоритма. Это позволяет предлагать на его основе новые подходы к моделированию антенн, один из которых представлен в [3]. Этот подход можно использовать для уменьшения вычислительных затрат за счёт аппроксимации поверхности проводящей структуры антенн проводной сеткой. Между тем он лежит в основе подхода, предложенного в [4] для моделирования разреженных антенн, под названием аппроксимации оптимальной токовой сеткой (АОТС). Кроме того, АОТС модифицировался также в [4], а полученный подход, названный соединённой АОТС (САОТС), сохраняет физические соединения проводов сетки, не разрывая пути тока в антенне, что уменьшает технические трудности при изготовлении разреженных антенн по сравнению с АОТС. САОТС использовалась только при моделировании простых структур антенн. Поэтому для её проверки и дальнейшего развития необходимо применять её к антеннам со сложными конструктивными поверхностями. Цель данной работы – верифицировать подход САОТС и оценить эффективность его работы на примере конической рупорной антенны.

Для достижения цели работы, сначала моделировалась с помощью АОТС коническая рупорная антенна из [5], изометрический вид которой представлен на рис. 1, *а*. Параметры антенны: диаметр регулярной части $d = 30$ мм, максимальный диаметр нерегулярной части $D = 61,76$ мм, высота регулярной части $l_1 = 31,25$ мм, высота нерегулярной части $l_2 = 12$ мм. Для возбуждения антенны использовался отрезок провода длиной $l_d = 0,36\lambda$, размещенный в центре пересечения регулярной и нерегулярной частей антенны. Радиус всех проводов сетки принят равным $0,1$ мм. Общее количество проводов, используемых для аппроксимации поверхности антенны, $N = 3600$. На рис. 1, *б* представлена структура антенны, аппроксимированной проводной сеткой с помощью подхода из работы [3] (далее – исходная структура).

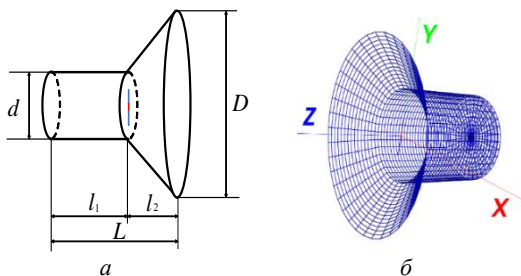


Рис. 1. Изометрический вид конической рупорной антенны (*а*) [5] и проводная сетка антенны по подходу [3] (*б*)

Диаграмма направленности (ДН) антенны, рассчитанная на частоте 8 ГГц, для исходной структуры сравнивалась с полученной методом конечных разностей во временной области (МКРВО) в работе [5]. Коэффициенты усиления (КУ) антенны вычислялись в плоскостях E и H (рис. 2). Затрачиваемое время на моделирование по подходу [3] составило 34,9 с, что в 1,15 раза быстрее, чем по МКРВО [5].

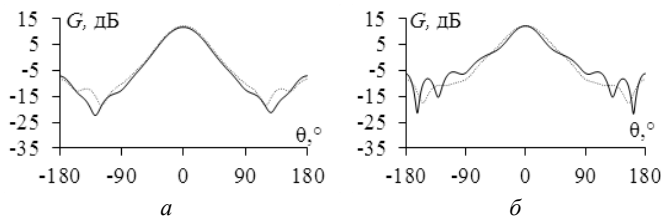


Рис. 2. ДН антенны для исходной (...) при [3] и при МКРВО [5] (—) в E (a) и H (б) плоскостях

Далее с помощью АОТС получена ДН направленности разреженной антенны. Здесь элементы матрицы тока нормировались относительно максимального модуля тока в проводах сетки [4]. Значения коэффициента, используемого при нормировке и называемого допуском удаления элемента сетки (ДУЭС), выбраны здесь в качестве примера 6 и 10%. Полученные разреженные антенны представлены на рис. 3, а, б, а количество их проводов $N_s = 2846$ при 6% и 2362 при 10%. ДН для разреженной антенны, используя АОТС при ДУЭС = 6 и 10% и при МКРВО из [5], сравнивались в плоскостях E и H (рис. 4).

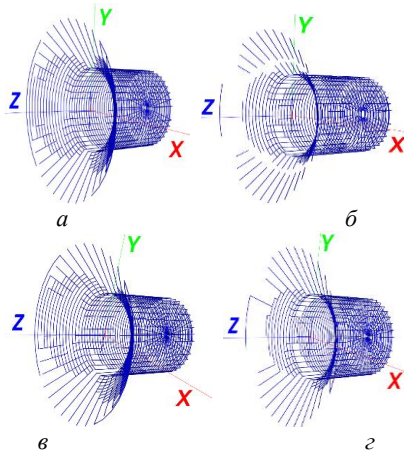


Рис. 3. Разреженные антенны при АОТС 6% (a) и 10% (б) и при САОТС 6% (в) и 10% (г)

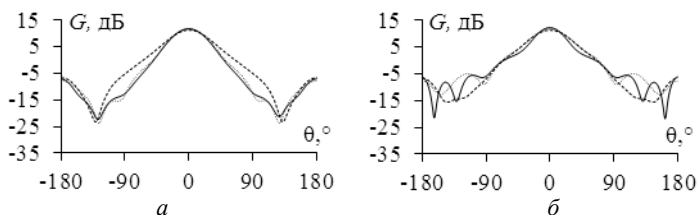


Рис. 4. ДН для разреженной антенны при АОТС 6% (...) и 10% (---) и при МКРВО в [5] (—) в E (а) и H (б) плоскостях

Видно, что с увеличением ДУЭС увеличивается расхождение результатов, но излучение в основном направлении остаётся приемлемым. Заметно, что уровень боковых лепестков для разреженной структуры при ДУЭС = 6% меньше, чем при МКРВО из [5]. В результате применения АОТС при ДУЭС 6 и 10% масса антенны уменьшилась в $(N/N_s) = 1,26$ и $1,52$ раза, память в $(N/N_s)^2 = 1,60$ и $2,32$ раза, а время на решения СЛАУ (здесь методом Гаусса) в $(N/N_s)^3 = 2,02$ и $3,54$ раза, соответственно. Затрачиваемое время на моделирование по АОТС при ДУЭС 6 и 10% составило 22,04 и 13,93 с, что в 1,81 и 2,87 раза быстрее, чем по МКРВО [5], соответственно.

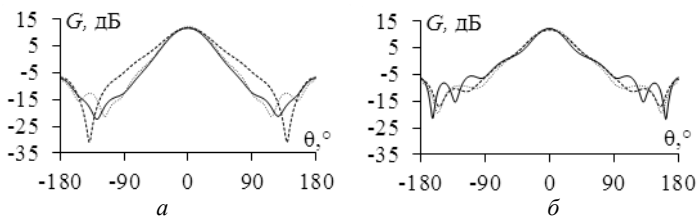


Рис. 5. ДН для разреженной антенны при САОТС 6% (...) и 10% (---) и при МКРВО [5] (—) в E (а) и H (б) плоскостях

Затем, используя САОТС, получены разреженные антенны при ДУЭС 6 и 10% (см. рис. 3, в и г) с количеством их проводов $N_s = 2916$ при 6% и 2502 при 10%. Их ДН в плоскостях E и H сравнивались с полученной при МКРВО из [5] (рис. 5). Для наглядности сравнены результаты, полученные при АОТС и САОТС (рис. 6). Видно, что расхождение результатов от МКРВО с увеличением ДУЭС при САОТС меньше, чем при АОТС. В результате применения САОТС при ДУЭС 6 и 10% масса антенны уменьшилась в $(N/N_s) = 1,26$ и $1,44$ раза, память в $(N/N_s)^2 = 1,52$ и $2,07$ раза, а время в $(N/N_s)^3 = 1,88$ и $2,98$ раза соответственно. Затрачиваемое время на моделирование по САОТС при ДУЭС 6 и 10% составило 22,44 и 15,85 с, что в 1,78 и 2,52 раза быстрее, чем по МКРВО [5], соответственно. Заметно, что уровень боковых лепестков, а также уровень нулей ДН для разреженных

антенн при САОТС меньше (до 10 дБ), чем при АОТС, с сохранением приемлемости результатов с увеличением ДУЭС, что даёт САОТС преимущество над АОТС по точности результатов моделирования и лёгкости изготовления.

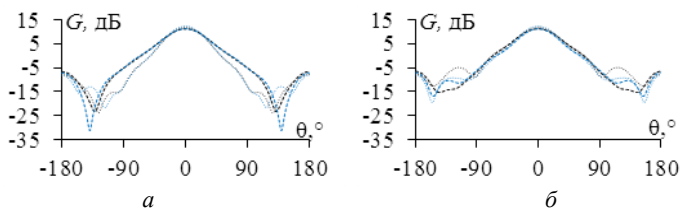


Рис. 6. ДН для разреженной антенны при АОТС 6% (---) и 10% (--) и при САОТС 6% (—) и 10% (—) в E (а) и H (б) плоскостях

Таким образом, в данной работе показана эффективность САОТС при моделировании разреженных антенн, по сравнению с АОТС, на примере конической рупорной антенны. Результаты, полученные этими подходами, сравнивались с полученными, используя МКРВО, и аппроксимацией поверхности проводящей структуры антенн проводной сеткой. Получена хорошая согласованность. Выявлено, что применения АОТС и САОТС способны дать приемлемые результаты с меньшими вычислительными затратами и меньшей массой антенн. Показано, что затраты при САОТС немного больше, чем при АОТС. Но при этом трудность изготовления и уровень боковых лепестков и нулей ДН меньше, чем при АОТС.

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

ЛИТЕРАТУРА

1. Газизов Т.Р. Система компьютерного моделирования сложных структур проводников и диэлектриков // Матер. Всерос. науч.-практ. конф., посвященной 40-летию ТУСУРа, 2–4 октября 2002 г. – Томск: ТУСУР. – Т. 1. – С. 126–128.
2. Харрингтон Р.Ф. Применение матричных методов к задачам теории поля // Труды Института инженеров по электронике и радиотехнике. – 1967. – № 2. – С. 5–19.
3. Alhaj Hasan A. On wire-grid representation for modeling symmetrical antenna elements / A. Alhaj Hasan, D.V. Klyukin, A.A. Kvasnikov, M.E. Komnatov, S.P. Kuksenkov // Symmetry. – 2022. – Vol. 14(7). – P. 1354.
4. Alhaj Hasan A. Wire-grid and sparse MoM antennas: past evolution, present implementation and future possibilities / A. Alhaj Hasan, D.V. Klyukin, A.A. Kvasnikov, M.E. Komnatov, S.P. Kuksenkov // Symmetry. – 2023. – Vol. 15(2). – P. 378.
5. Shamshad F. Simulation comparison between HFSS and CST for design of conical horn antenna / F. Shamshad, M. Amin // Journal of Expert Systems (JES). – 2012. – Vol. 1(4). – PP. 84–90.

ЭКВИВАЛЕНТНАЯ ПРОВОДНАЯ СЕТКА ДЛЯ РАЗВЕРТЫВАЕМОЙ КОСМИЧЕСКОЙ ЗЕРКАЛЬНОЙ АНТЕННЫ ИЗ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

М.Т. Нгуен, аспирант каф. ТУ;

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

*Научный руководитель Т.Р. Газизов, д.т.н., доцент каф. ТУ
г. Томск, TUSUR, nguyuen.t.2213-2022@e.tusur.ru*

Получена эквивалентная проводная сетка, использованная для моделирования развертываемой космической зеркальной антенны с разреженной поверхностью. Результаты моделирования антенны проводной сеткой сравнивались с полученными другим методом и показали хорошую согласованность. Это демонстрирует возможность использования проводной сетки при моделировании таких типов антенн для получения оценок их характеристик с приемлемой точностью.

Ключевые слова: метод моментов, космическая зеркальная антенна, проводная сетка, разреженные антенны.

Масса и объем размещения зеркальных антенн с развертываемым рефлектором с высокой направленностью излучения весьма важны в космических приложениях. Поэтому при проектировании таких антенн используются лёгкие и прочные композитные материалы, которые повышают надежность конструкции и обеспечивают долговременную работу антенн в агрессивных средах [1, 2]. Они облегчают конструкцию рефлектора в целом и уменьшают уязвимость отражающего слоя к повреждению космическим мусором [3]. Между тем их моделирование электродинамическим анализом может быть очень затратным.

Метод моментов (МоМ) часто используется для решения таких задач, поскольку дает приемлемые результаты, несмотря на простой алгоритм [4]. Более того, аппроксимация поверхности проводящих структур проводной сеткой на основе МоМ используется для получения быстрых оценок с минимальными вычислительными затратами [5]. Однако такая аппроксимация не была использована ранее при моделировании сложных конструкций антенн из композитных материалов. С учетом этого цель данной работы заключается в создании эквивалентной проводной структуры развертываемой космической зеркальной антенны с разреженной поверхностью.

Для достижения цели работы выбрана развертываемая космическая зеркальная антенна из [6], состоящая из двух несимметричных парабол, формирующих конструкцию антенны и разреженную сетку.

Диаметр параболической конструкции составляет $D = 0,83$ м, а фокусные расстояния парабол $F_1 = 0,415$ м и $F_2 = 1,0375$ м. Кабельная конструкция антенны и сетка рефлектора заменены на сетки из проводов. Сетчатая структура параболы построилась из проводов с радиусом $R_s = 5$ мм, соединенных между собой и образующих треугольники с размером сторон $l_s = 0,11$ м (рис. 1, а). Радиус проводов, формирующих разреженную сетку рефлектора, $R_m = 3$ мм. Они соединены между собой и образуют треугольники с размером сторон $l_x = 14,5$ мм, $l_y = 11,5$ мм. Расстояние между сеткой рефлектора и конструкцией антенны в эквивалентной структуре составило $2R_s$.

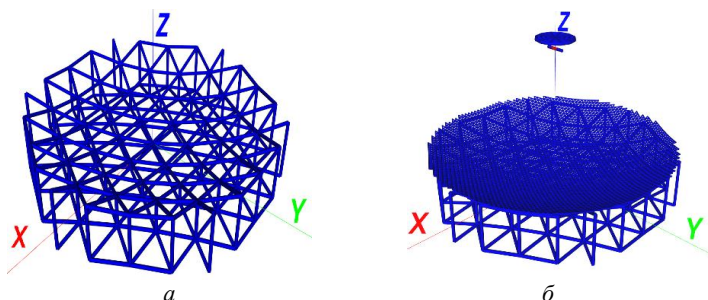


Рис. 1. Проводные сетки конструкции антенны без рефлектора (а) и с ним (б)

Для возбуждения антенны использовался диполь длиной $l_d = \lambda/2$ с разностью потенциалов в зазоре 1 В, расположенный на расстоянии $\lambda/4$ ниже зеркального диска диаметром λ . Полученная эквивалентная проводная сетка, состоящая из 9902 проводов, представлена на рис. 1, б. Её диаграммы направленности (ДН) на частоте 2,5 ГГц сравнивались с полученными в [6] на рис. 2.

Нормированные значения напряженности поля рассчитывались в плоскостях E и H . Полученные характеристики антенны на частоте 2,5 ГГц сравнивались с аналогичными из [6] для трёх разных типов сетки отражающих рефлекторов ($T_{1,2,3}$) и даны в таблице.

Рассмотренные характеристики включают коэффициенты усиления (КУ) и защитного действия (КЗД), а также уровни боковых лепестков (УБЛ) в плоскостях E и H и ширину главного лепестка (ШГЛ). По результатам моделирования можно отметить, что УБЛ с проводной сеткой в E плоскости выше, чем в [6], и отличается максимум на 6 дБ, а в H плоскости – на 3 дБ. КЗД с проводной сеткой превышает КЗД из [6] максимум на 9 дБ, а КУ – на 6,2 дБ. ШГЛ антенны одинакова для всех типов.

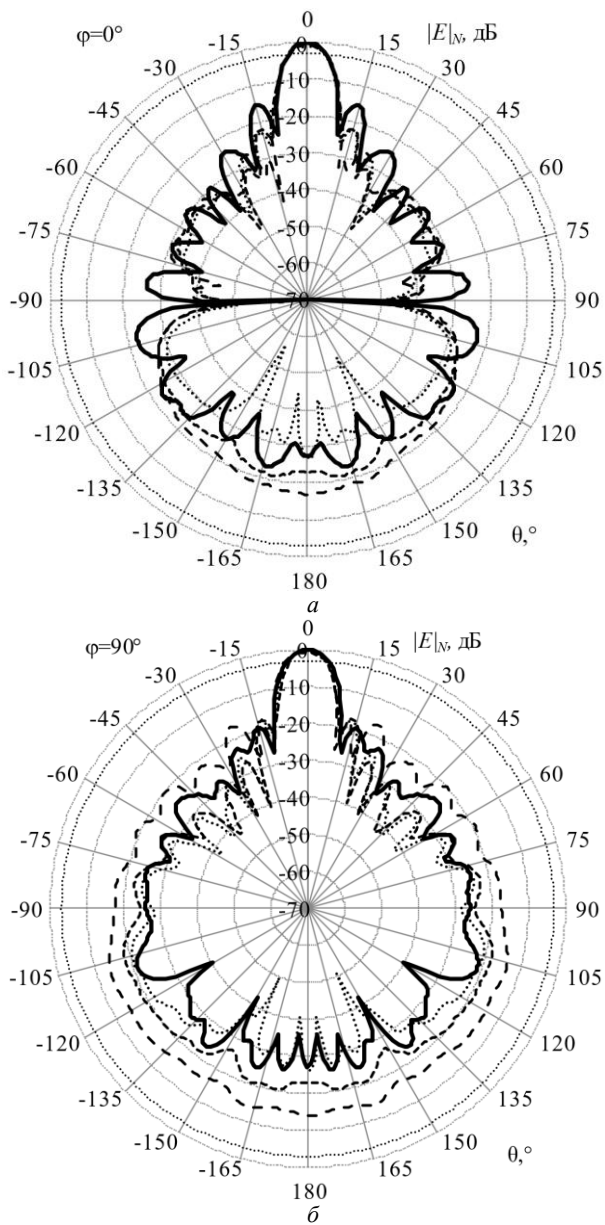


Рис. 2. ДН космической зеркальной антенны для проводной сетки (—) и для T_1 (····), T_2 (---), T_3 (- - -) [6] в плоскостях E (а) и H (б)

Сравнительный анализ характеристик антенны на частоте 2,5 ГГц

	УБЛ (E)	УБЛ (H)	КЗД, дБ	КУ, дБ	ШГЛ, °
Проводная сетка	–16	–20	27	25,4	9
T_1 [6]	–22	–18	27	23,7	9
T_2 [6]	–21	–18	22	20,8	9
T_3 [6]	–18	–17	18	19,2	9

Таким образом, в данной работе рассмотрена эффективность использования эквивалентной проводной сетки при моделировании сложных конструкций антенн из композитных материалов на примере развертываемой космической зеркальной антенны с разреженной поверхностью. Результаты, полученные с помощью проводной сетки, сравнивались с результатами, полученными в другой работе для разных типов стеки отражающих рефлекторов. Полученные результаты показали, что использование проводной сетки приемлемо, так как характеристики антенны согласуются между собой.

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

ЛИТЕРАТУРА

1. Numerical form-finding of geotensoid tension truss for mesh reflector / S. Morterolle, B. Maurin, J. Quirant, Ch. Dupuy // *Acta Astronautica*. – 2012. – Vol. 76. – PP. 154–163.
2. Numerical investigations of shape of the reflecting surface made of knitted mesh fabric being pulled on the curvilinear frame / V. Meshkovsky, A. Sdobnikov, S. Churilin, Y. Kisanov // *EPJ Web of Conferences EPPS2019*. – 2019. – Vol. 221. – P. 01031.
3. Form-finding methods for deployable mesh reflector antenna / T. Li, H. Deng, Z. Lin, Z. Wang // *Chinese Journal of Aeronautics*. – 2013. – Vol. 26, No. 5. – PP. 1276–1282.
4. Харрингтон Р.Ф. Применение матричных методов к задачам теории поля // *Труды Института инженеров по электронике и радиотехнике*. – 1967. – № 2. – С. 5–19.
5. On wire-grid representation for modeling symmetrical antenna elements / A. Alhaj Hasan, D.V. Klyukin, A.A. Kvasnikov, M.E. Komnatnov, S.P. Kuksenko // *Symmetry*. – 2022. – Vol. 14, No. 7. – P. 1354.
6. Головин В.В. Исследование характеристик развертываемой космической зеркальной антенны с разреженной отражающей поверхностью / В.В. Головин, Ю.Н. Тыщук // *Журнал радиоэлектроники*. – 2023. – № 1.

ОПТИМАЛЬНЫЕ РАЗРЕЖЕННЫЕ АНТЕННЫ С МИНИМАЛЬНОЙ МАССОЙ

М.Т. Нгуен, аспирант каф. ТУ;

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

*Научный руководитель Т.Р. Газизов, д.т.н., доцент каф. ТУ
г. Томск, TUSUR, nguyenv.t.2213-2022@e.tusur.ru*

Предложен новый модифицированный подход к созданию разреженных антенн, аппроксимированных проводной сеткой, на примере зеркальной антенны, которая моделировалась и была изготовлена ранее. Основная идея заключается в создании оптимальной проводной структуры, которая максимально повторяет пути тока в антенне, сохраняя её целостность при минимальной массе. Результаты этого подхода сравнивались с результатами, полученными ранее другими подходами, а также с результатами измерений. Сравнения показали, что, несмотря на то, что новый подход даёт уровень боковых лепестков антенны немного выше, чем при других подходах, он способен давать приемлемые результаты с меньшими вычислительными затратами и создавать структуры с меньшей массой, сохраняя при этом целостность структуры антенны, что снижает сложность ее изготовления.

Ключевые слова: метод моментов, проводная сетка, разреженные антенны, аппроксимация оптимальной токовой сеткой, зеркальная антенна.

В настоящее время существуют различные методы для моделирования антенн, например, метод конечных разностей во временной области (МКРВО) [1], метод конечных элементов (МКЭ) [2] и метод моментов (МоМ) [3]. Последний способен решать электромагнитные задачи с меньшими вычислительными затратами, чем у других методов, при сохранении приемлемой точности результатов [4]. На основе МоМ разработан подход к моделированию антенн, который основан на аппроксимации поверхности проводящей структуры антенны проводной сеткой [5]. Он использован при разработке другого подхода к моделированию и созданию разреженных антенн, названного аппроксимацией оптимальной токовой сеткой (АОТС) [6].

В результате применения АОТС можно получить эквивалентную структуру антенны в виде разреженной сетки, в которой исключены те провода, модуль тока которых меньше заданного уровня относительно максимального. Данный уровень называется допуском удаления элемента сетки (ДУЭС). Одним из недостатков применения АОТС к непечатам структурам антенн являются технические трудности,

возникающие при изготовлении полученных структур из-за наличия свободных (не соединенных между собой) проводов. Для устранения этого недостатка предложено несколько модификаций исходной аппроксимации, например, «соединяющая» АОТС (САОТС), описанная в работе [6]. Однако она оптимальна, если важно получить разреженную структуру, которая близка по своим характеристикам к исходной, но не для уменьшения массы, поскольку она восстанавливает много радиальных проводов для сохранения путей тока в структуре. Это влияет не только на вычислительные затраты при использовании полученной структуры при последующем моделировании, но и на массу изготовленной антенны в ее разреженной форме. Поэтому целью данной работы является рассмотрение новой АОТС, которая даёт соединённую проводную разреженную структуру с меньшей массой, чем при САОТС.

Предлагается модифицировать АОТС, исключая из проводной структуры антенны провода с модулем тока меньше максимального, умноженного на значение ДУЭС при максимально близком повторении пути тока в ней с меньшим количеством проводов. Этого можно достичь путем восстановления только тех проводов, которые необходимы для установления связи между свободным проводом и ближайшими к нему проводами в структуре. Исходя из этого, такую АОТС можно назвать использующей только ближайшие провода для соединения свободных проводов (СБАОТС).

СБАОТС будет проиллюстрирована на примере моделирования зеркальной антенны из работы [7] (рис. 1, *а*), проводной структурой (далее в тексте называемой исходной), представленной на рис. 1, *б*.

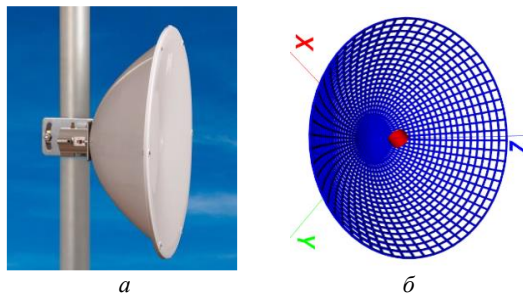


Рис. 1. Исследуемая зеркальная антенна [7] (*а*) и её эквивалентная проводная структура (*б*)

Проводная структура рефлектора зеркальной антенны построена из S участков сетки и T уровней, начиная от центра рефлектора. При построении участка сетки строятся два провода на каждом уровне.

При этом каждому радиальному проводу присваивается чётный номер, а концентрическому – нечётный. В результате количество проводов в каждом участке будет $2T$, а общее количество проводов для построения рефлектора равно $N_s = 2T \cdot S$ (рис. 2, а). Далее после удаления проводов по АОТС СБАОТС ищет свободные провода и восстанавливает ближайшие к ним, чтобы сохранить целостность проводной структуры.

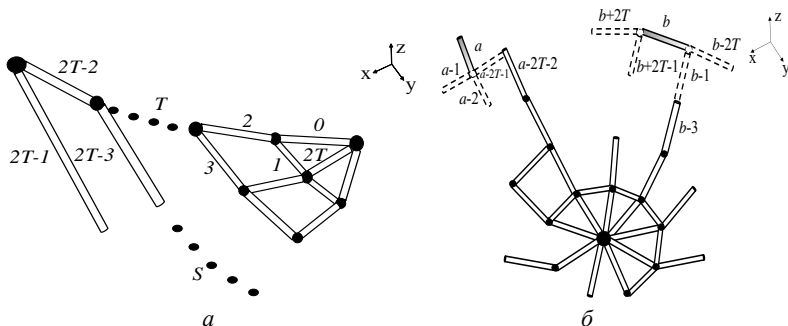


Рис. 2. Описание схемы построения структуры зеркальной антенны (а) и процесса восстановления проводов по СБАОТС (б)

Для проверки эффективности подхода СБАОТС сравнивались результаты её применения с результатами применения АОТС и САОТС к той же антенне, полученными в работе [6], при ДУЭС = 10% на частоте 5,9 ГГц (рис. 3).

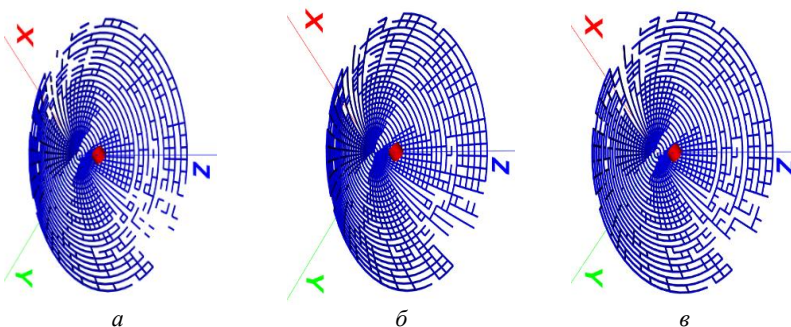


Рис. 3. Антенны, полученные после АОТС (а), САОТС (б) и СБАОТС (в)

Диаграммы направленности (ДН) антенны после СБАОТС сравнивались с ДН для исходной структуры и измеренными из [7] в плоскостях E и H (рис. 4). Они также сравнивались с полученными после АОТС и САОТС [6] (рис. 5). Из рис. 4 видно, что уровни боковых ле-

пестков после СБАОТС выше, чем для исходной структуры, максимум на 10 дБ. Однако они остаются приемлемыми, поскольку главной задачей антенн такого типа является повышение излучения в основном направлении. Уровень боковых лепестков при СБАОТС также немного выше, чем при САОТС (см. рис. 5), но расхождения наблюдаются лишь при некоторых углах.

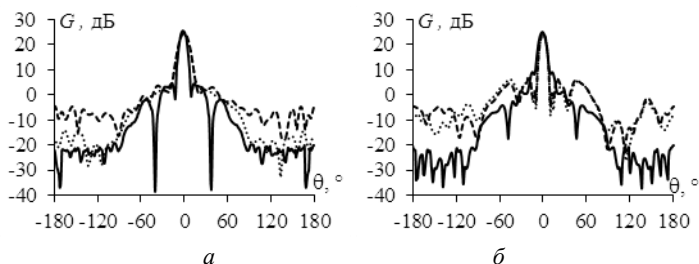


Рис. 4. ДН антенны, измеренные в [7] (—) и вычисленные для оригинальной [6] (···) и разреженной после СБАОТС (---) антенн, при ДУЭС=10% на частоте 5,9 ГГц в плоскостях E (а) и H (б)

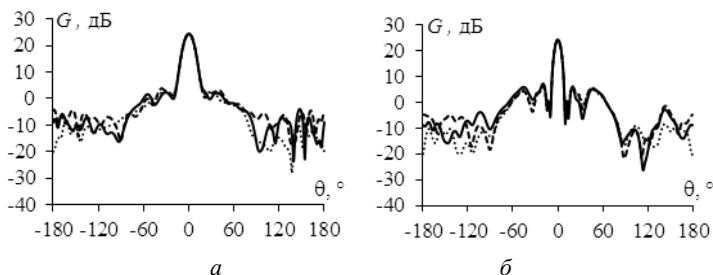


Рис. 5. ДН разреженных антенн после АОТС [6] (—), САОТС [7] (···) и СБАОТС (---) при ДУЭС=10% в E (а) и H (б) плоскостях

Первоначальное количество проводов для исходной структуры $N_S=3000$, после АОТС $N_A=2112$, САОТС – $N_C=2335$, а СБАОТС – $N_N=2166$. Основные затраты времени на решение СЛАУ (здесь методом Гаусса) пропорциональны третьей степени её порядка $O(N)^3$, а памяти – $O(N)^2$. Тогда уменьшение массы антенны в размах будет N_S/N_X (где N_X – количество проводов для рассмотренной аппроксимации), памяти – $(N_S/N_X)^2$, а времени – $(N_S/N_X)^3$. Рассчитанные улучшения характеристик после предложенных аппроксимаций относительно исходной структуры представлены в таблице.

**Улучшение характеристик
после предложенных аппроксимаций относительно исходной структуры**

	Масса, раз	Память, раз	Время, раз
АОТС	1,42	2,02	2,87
САОТС	1,28	1,65	2,12
СБАОТС	1,39	1,92	2,66

В результате применения СБАОТС, предложенной здесь для создания разреженных антенн, даёт уровень боковых лепестков немного больше, чем САОТС. Но его результаты остаются приемлемыми, получаются с меньшими вычислительными затратами и дают меньшую массу антенн на 8,59%, чем САОТС, сохраняя при этом целостность структуры, что снижает сложность её изготовления. Таким образом, результаты показывают, что применение СБАОТС даёт более совершенные антенны по сравнению с АОТС и САОТС.

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

ЛИТЕРАТУРА

1. Yee K.S. Numerical solution of initial boundary value problems involving Maxwell's equations in isotropic media // IEEE Transactions on Antennas and Propagation. – 1966. – Vol. 14, No. 3. – PP. 302–307.
2. Jin J.M. The Finite Element Method in Electromagnetics. – Wiley: Hoboken, NJ, USA, 2014. – 876 p.
3. Харрингтон Р.Ф. Применение матричных методов к задачам теории поля // Труды Института инженеров по электронике и радиотехнике. – 1967. – № 2. – С. 5–19.
4. Газизов Т.Р. Система компьютерного моделирования сложных структур проводников и диэлектриков // Матер. Всерос. науч.-практ. конф., посвященной 40-летию ТУСУРа. – Томск: ТУСУР, 2002. – Т. 1. – С. 126–128.
5. On wire-grid representation for modeling symmetrical antenna elements / A. Alhaj Hasan, D.V. Klyukin, A.A. Kvasnikov, M.E. Komnatnov, S.P. Kuksenko // Symmetry. – 2022. – Vol. 14, No. 7. – P. 1354.
6. Wire-grid and sparse MoM antennas: past evolution, present implementation and future possibilities / A. Alhaj Hasan, T.M. Nguyen, S.P. Kuk-senko, T.R. Gazizov // Symmetry. – 2023. – Vol. 15, No. 2. – P. 378.
7. Jirous antennas direction for your waves [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://en.jirous.com/antenna-5ghz-parabolic/jrc-24DD_MIMO, свободный (дата обращения: 15.02.2023).

ВЛИЯНИЕ РАССТОЯНИЯ МЕЖДУ ПЕРЕХОДНЫМ ОТВЕРСТИЕМ И ПРОВОДНИКОМ НА МАТРИЦУ ЁМКОСТЕЙ

К.Н. Абрамова, магистрант; А.А. Дроздова, аспирант каф. ТУ

Научный руководитель М.Е. Комнатнов, доцент каф. ТУ, к.т.н.

г. Томск, ТУСУР, akn@tu.tusur.ru

Выполнена оценка влияния расстояния между сквозным переходным отверстием и проводником на печатной плате на матрицу ёмкостей. Создана трехмерная модель ПП с отверстием и печатным проводником на ней. Вычислены матрицы коэффициентов электростатической индукции, которые пересчитаны в матрицы ёмкостей. Показано, что увеличение расстояния приводит к уменьшению до 1,5 раза для собственных и до 2,2 раза для взаимных значений ёмкостей. Сравнение результатов вычислений методами моментов и конечных элементов показало их совпадение с разницей не более 10%.

Ключевые слова: взаимная ёмкость, ёмкостная матрица, сквозное переходное отверстие, печатный проводник.

Существенное влияние на работу радиоэлектронных средств (РЭС) оказывает некорректный анализ целостности сигнала, вследствие которого возрастают значения взаимных паразитных параметров компонентов и проводников печатной платы (ПП) [1]. Для повышения помехоустойчивости РЭС на стадии проектирования ПП следует учитывать паразитные ёмкостные и индуктивные связи, которые возникают между печатными проводниками.

При оценке допустимых паразитных параметров на входе какой-либо цепи не должны возникать наводки, уровень которых соизмерим с уровнем полезного сигнала [2]. При создании топологии ПП учёт возникающих между печатными проводниками паразитных ёмкостных и индуктивных связей позволяет в результате соблюдать требования внутрисистемной электромагнитной совместимости (ЭМС) и не допускать амплитуд помех, соизмеримых с уровнем полезного сигнала [2]. При трассировке многослойных ПП возникает необходимость в переходных отверстиях, соединяющих цепи компонентов между слоями ПП. Расположенное в непосредственной близости к печатному проводнику переходное отверстие может оказать существенное влияние на целостность сигнала за счёт повышения паразитных параметров компонентов, проявляющихся вследствие изменения собственных и взаимных ёмкостей топологических элементов ПП.

Цель работы – оценить влияние расстояния между переходным отверстием и проводником на матрицу ёмкостей.

Для оценки взаимной ёмкости между сквозным переходным отверстием и печатным проводником создана модель фрагмента ПП (рис. 1) размером 100×100 мм². Верхний слой ПП содержит проводник (шириной $w = 0,5$ мм, высотой $t = 105$ мкм и длиной $l = 70$ мм), рядом с которым расположено сквозное переходное отверстие (диаметр отверстия $d = 0,5$ мм, диаметр металлизации $d_1 = 1,1$ мм). Для минимизации влияния бесконечной плоскости земли структура отдалена от плоскости земли на большое расстояние.

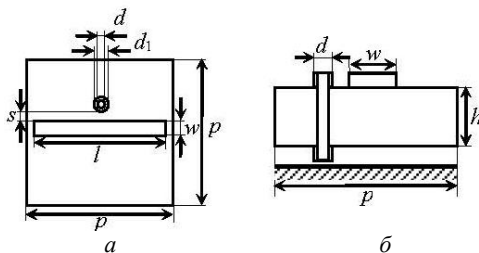


Рис. 1. Виды сверху (а) и поперечного сечения (б) созданной модели ПП

В ПО TALGAT [3] выполнено электростатическое моделирование с использованием вычислительного модуля трёхмерных структур (MOM3D), который основан на методе моментов (ММ). Вычислены матрицы коэффициентов электростатической индукции между проводником и сквозным переходным отверстием при изменении расстояния s между ними от 1 до 10 мм. Для подтверждения результатов расчёта ММ выполнено вычисление матриц коэффициентов электростатической индукции, используя метод конечных элементов (МКЭ).

Зависимости собственных ёмкостей переходного отверстия (C_{11}), проводника (C_{22}) и взаимной (C_{12}) ёмкости между ними при изменении расстояния s между проводником и переходным отверстием представлены на рис. 2. При этом значения C_{11} и C_{22} рассчитывались как сумма элементов матрицы электростатической индукции по строке, а C_{12} соответствовала значениям с противоположным знаком для внедиагональных элементов матрицы.

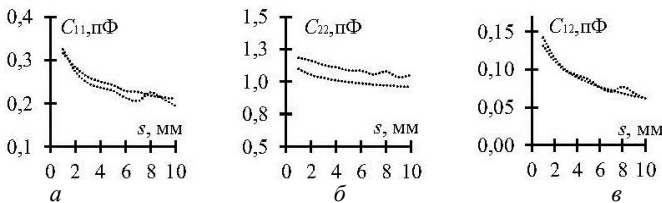


Рис. 2. Вычисленные ММ (—) и МКЭ (····) зависимости от s собственных ёмкостей для отверстия (а) и проводника (б) и взаимной (в) между ними

Из рис. 2 видно, что увеличение s от 1 до 10 мм приводит к уменьшению значений собственных и взаимных ёмкостей. При этом собственная ёмкость сквозного переходного отверстия уменьшается в 1,5 раза (от 0,32 до 0,21 пФ), собственная ёмкость проводника уменьшается в 1,2 раза (от 1,1 до 0,96 пФ), а взаимная ёмкость уменьшается в 2,2 раза (от 0,13 до 0,06 пФ). Вычисление с использованием МКЭ выявило разницу, значений вычисленных результатов по сравнению с ММ, не превышающую 10%.

Таким образом, выполнено моделирование фрагмента ПП, содержащей сквозное переходное отверстие и печатный проводник, которые расположенные в непосредственной близости друг от друга, с целью оценки паразитной емкости при изменении расстояния между ними. Выполнено сравнение полученных ёмкостных матриц двумя численными методами: ММ и МКЭ, максимальная разница составляет 10%. Полученные результаты показали, что при изменении расстояния от 1 до 10 мм взаимная ёмкость уменьшается в 2,2 раза, с 0,13 до 0,06 пФ.

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

ЛИТЕРАТУРА

1. Газизов Т.Р. Электромагнитная совместимость и безопасность радиоэлектронной аппаратуры: учеб. пособие. – Томск: ТМЛ-Пресс, 2007. – 256 с.
2. Журавлев В.Я. Паразитные параметры печатного монтажа / В.Я. Журавлев, О.И. Подгайко // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2010. – Т. 3, № 7 (45). – С. 49–52.
3. Куксенко С.П. Новые возможности системы моделирования электромагнитной совместимости TALGAT / С.П. Куксенко, А.М. Заболоцкий, А.О. Мелкозеров, Т.Р. Газизов // Доклады ТУСУР. – 2015. – № 2 (36). – С. 45–50.

УДК 621.391.823

ВЛИЯНИЕ РАССТОЯНИЯ МЕЖДУ ПРОВОДНИКАМИ, РАСПОЛОЖЕННЫМИ НА РАЗНЫХ СЛОЯХ ПЕЧАТНОЙ ПЛАТЫ, НА МАТРИЦУ ЁМКОСТЕЙ

К.Н. Абрамова, Т.И. Третьяков, студенты;

А.А. Дроздова, аспирант каф. ТУ

Научный руководитель М.Е. Комнатнов, доцент каф. ТУ, к.т.н.

г. Томск, ТУСУР, akn@tu.tusur.ru

Выполнена оценка влияния расстояния между проводниками, расположенными на разных слоях печатной платы, на матрицу ёмкостей. Представлены модели с параллельно и перпендикулярно расположенными проводниками на разных слоях печатной платы. Вы-

числены значения взаимной ёмкости для обоих случаев при изменении расстояния между проводниками, используя методы моментов и конечных элементов. Максимальная разница между значениями, вычисленными, используя метод моментов и конечных элементов, составляет не более 9,8%.

Ключевые слова: матрица ёмкостей, взаимная ёмкость, печатная плата.

Повышение степени интеграции компонентов и применение технологий для поверхностного монтажа позволило увеличить число выводов микросхем и уменьшить размеры компонентов, что привело к снижению расстояний между проводниками и повышению значений индуктивных и ёмкостных связей [1]. При этом несовершенство в проектировании печатных плат (ПП) может оказать серьёзное влияние на производительность РЭС, которая существенно зависит от паразитных параметров. Оценку производительности компонентов РЭС проводят, учитывая паразитные индуктивные и ёмкостные связи [2]. Некорректный анализ взаимных ёмкостных связей проводников, расположенных на ПП, может привести к серьёзным последствиям и негативно повлиять на работу РЭС в целом [3]. В работе [4] выполнен анализ индуктивности проводников, расположенных на разных слоях ПП, однако не была исследована ёмкость. Цель работы – оценить влияние расстояния между проводниками, расположенными на разных слоях печатной платы, на матрицу ёмкостей.

Оценка взаимной ёмкости двух проводников выполнена на модели ПП размером $100 \times 100 \text{ мм}^2$, содержащей проводники шириной $w = 5 \text{ мм}$, высотой $t = 105 \text{ мкм}$ и длиной $l = 70 \text{ мм}$, расположенные на разных слоях ПП с диэлектрической проницаемостью $\epsilon_r = 4,5$ на расстоянии h_1 . При этом расстояние (h_2) до плоскости земли оставалось постоянным ($h_2 = 1 \text{ мм}$). Созданы модели на основе геометрических параметров ПП при расположении проводников перпендикулярно (рис. 1, а) и параллельно (см. рис. 1, б) друг другу. Модели созданы в ПО TALGAT [5] с применением модулей для параллельного (MOM2D) и перпендикулярного (MOM3D) расположения проводников друг другу. Модули MOM2D и MOM3D основаны на методе моментов (ММ) и позволяют выполнить электростатический анализ двухмерных и трёхмерных структур за счёт вычисления матриц коэффициентов электростатической индукции с заданным диэлектрическим заполнением.

Аналогично по указанным геометрическим размерам созданы трёхмерные модели в программе, позволяющей вычислить матрицы коэффициентов электростатической индукции, используя метод ко-

нечных элементов (МКЭ). Они необходимы для подтверждения результатов вычисления ММ.

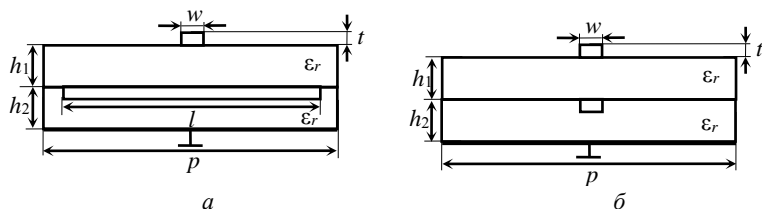


Рис. 1. Геометрические модели ПП при расположении проводников перпендикулярно (а) и параллельно (б) друг другу

Выполнено вычисление матриц ёмкостей при изменении расстояния между проводниками h_1 от 1 до 10 мм, используя ММ и МКЭ. На рис. 2 представлены зависимости значений элементов матрицы ёмкостей при изменении h_1 . На рис. 2, а, б представлены значения собственных ёмкостей C_{11} и C_{22} при параллельном расположении проводников, а на рис. 2, в, г – перпендикулярном. Значения взаимных ёмкостей ($C_{12}=C_{21}$) при параллельном расположении проводников представлены на рис. 2, д, а перпендикулярном – на рис. 2, е.

Из рис. 2, а, б видно, что увеличение h_1 приводит к увеличению собственной ёмкости C_{11} и C_{22} проводников, расположенных параллельно, в 1,3 раза (от 2,2 до 3 пФ) и в 1,2 раза (от 16,5 до 19,2 пФ) соответственно. При этом взаимная ёмкость C_{12} уменьшается в 12,7 раза (см. рис. 2, д). Также из рис. 2, д видно, что после увеличения h_1 от 1 до 2 мм C_{12} быстро уменьшается в 2 раза (от 16,7 до 7,9 пФ). При дальнейшем увеличении h_1 C_{12} медленно убывает.

При перпендикулярном расположении проводников C_{11} уменьшается в 2,4 раза (от 8,9 до 3,7 пФ) (см. рис. 2, в), а C_{22} увеличивается в 1,1 раза (от 19,6 до 21,6 пФ) (см. рис. 2, г). При этом C_{12} уменьшается в 3,3 раза (см. рис. 2, е). Примечательно, что увеличение h_1 приводит к увеличению C_{11} при параллельном расположении проводников и к уменьшению C_{11} при перпендикулярном. Разница значений, вычисленных ММ и МКЭ, составляет не более 9,8%.

Таким образом, выполнена оценка собственных и взаимных ёмкостей между двумя проводниками, расположенными на разных слоях ПП, при изменении расстояния между ними.

Проанализировано два случая расположения проводников: перпендикулярное и параллельное. В случае параллельного расположения связь между проводниками сильнее и при $h_1=1$ мм C_{12} составляет

16,7 пФ, а при перпендикулярном $C_{12}=1,47$ пФ, что в 10 раз меньше. При $h_1=10$ мм разница взаимной ёмкости двух структур уменьшается, так, при параллельном расположении $C_{12}=1,3$ пФ, а при перпендикулярном – $C_{12}=0,5$ пФ, что в 2,6 раза меньше. Стоит отметить, что увеличение h_1 приводит к увеличению C_{11} при параллельном расположении проводников и к уменьшению C_{11} при перпендикулярном. Таким образом, при проектировании РЭС необходимо учитывать данные особенности расположения проводников.

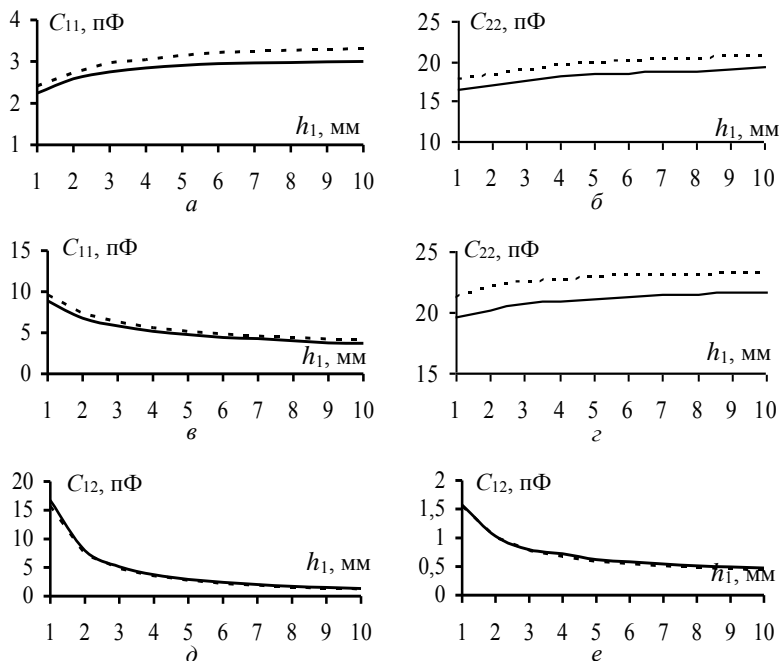


Рис. 2. Зависимости значений собственных (а–в) и взаимных (б, з, е) ёмкостей от h_1 , вычисленные, используя ММ (—) МКЭ (....)

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

ЛИТЕРАТУРА

1. Атопшев Ю.С. Методика проектирования помехоустойчивых высокоскоростных монтажных плат / Ю.С. Атопшев, М.Н. Ушкар // Информационно-измерительные и управляющие системы. – 2011. – Т. 9, № 12. – С. 134–141.
2. Иванов В.Г. Анализ взаимной ёмкости и индуктивности печатного монтажа // Электротехника и электромеханика. – 2014. – № 4. – С. 22–24.

3. Комнатнов М.Е. Предварительный анализ причин аномальной работы автогенератора Пирса / М.Е. Комнатнов, М.И. Почуев // Научно-техническая конференция молодых специалистов ОАО «ИСС». – 2014. – С. 90–92.

4. Заболоцкий А.М. Индуктивность цепи земля–питание в печатных платах бортовой аппаратуры космических аппаратов / А.М. Заболоцкий, Т.Р. Газизов, И.Ф. Калимулин // Авиакосмическое приборостроение. – 2011. – № 11. – С. 11–15.

5. Куксенко С.П. Новые возможности системы моделирования электромагнитной совместимости TALGAT / С.П. Куксенко, А.М. Заболоцкий, А.О. Мелкозеров // Доклады ТУСУР. – 2015. – Т. 36, № 4. – С. 45–50.

УДК 621.396.677

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ КАЧЕСТВА РАСЧЕТНОЙ СЕТКИ НА ПАРАМЕТРЫ И ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРЯМОУГОЛЬНОЙ СПИРАЛЬНОЙ АНТЕННЫ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ МЕТОДОМ МОМЕНТОВ

*Д.М. Мочалов, студент каф. ТУ; Д.В. Клюкин, ассистент каф. ТУ
Научный руководитель С.П. Куксенко, д.т.н., проф. каф. ТУ
г. Томск, ТУСУР, dm_mochalov@tu.tusur.ru*

Выполнена оценка влияния качества расчетной сетки на параметры и характеристики прямоугольной спиральной антенны при моделировании методом моментов. Сетки построены с помощью программных библиотек CGAL и GMSH. Показано, что качество расчетной сетки оказывает значительное влияние на расчет входного импеданса, однако слабо сказывается на коэффициенте усиления антенны.

Ключевые слова: прямоугольная спиральная антенна, метод моментов, расчетная сетка.

В настоящее время для моделирования антенн широкое распространение получил метод моментов [1–4]. Согласно методу, проводящие поверхности проектируемой антенны заменяются эквивалентными поверхностными электрическими токами, после чего решается задача возбуждения электромагнитного поля этими токами для заданных граничных условий. Для аппроксимации криволинейных границ поверхностей геометрических моделей антенн часто используется их представление в виде треугольной полигональной сетки, а для описания тока в ячейках сетки – базисные функции RWG [5]. При этом одним из основных факторов, влияющих на точность вычисления, является качество расчетной сетки. Также для выполнения точного моделирования генераторы расчетных сеток должны предоставлять воз-

возможность контроля длин ребер элементов. Цель работы – оценка влияния качества расчетной сетки на характеристики и параметры планарной прямоугольной спиральной антенны при моделировании методом моментов.

Для оценки качества расчетных сеток выбраны коэффициент τ , определяющий качество сетки по расхождению между длинами ребер входящих в нее треугольников [7–8], и коэффициент γ , являющийся мерой отклонения элемента сетки от равностороннего треугольника [6–7]. При этом чем больше значение τ , а также минимальное γ_{\min} и среднее $\bar{\gamma}$ значения, тем более качественной является расчетная сетка.

Оценка проводилась на основе модели планарной прямоугольной спиральной антенны со следующими параметрами: $W = 3,19$ мм, $L = 104,9$ мм, $g = 1,59$ мм, число витков $N = 4$ (рис. 1, а). Для дискретизации модели использовались библиотеки CGAL (см. рис. 1, б) и GMSH (см. рис. 1, в) [9] и GMSH (см. рис. 1, в) [10].

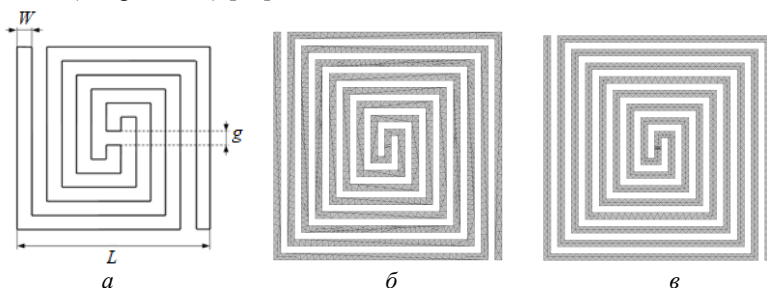


Рис. 1. Модель планарной прямоугольной спиральной антенны (а) и расчетные сетки, полученные в CGAL (б) и GMSH (в)

Моделирование проводилось на частоте 5 ГГц при шаге дискретизации $\lambda/20$. В табл. 1 приведены значения критериев качества расчетных сеток.

Таблица 1

Значение критериев качества			
Библиотека	τ	γ_{\min}	$\bar{\gamma}$
CGAL	77,9021	0,0055	0,6350
GMSH	81,5144	0,3853	0,8800

Из табл. 1 видно, что значения коэффициентов τ , γ_{\min} и $\bar{\gamma}$ расчетной сетки GMSH больше, чем CGAL, что сигнализирует о более высоком качестве сетки GMSH. В табл. 2 сведены вычисленные значения входного импеданса антенны в сравнении с САПР EMPro [11]

(отклонения указаны в скобках). Исходя из результатов, видно, что использование расчетной сетки GMSH позволяет получить наиболее точное значение входного импеданса.

Таблица 2

**Значение входного импеданса планарной
прямоугольной спиральной антенны**

GMSH	CGAL	EMPro
168,09+j84,37 (11,6%)	20,87-j584,06 (246,9%)	143,6+j88,1

На рис. 2 приведены вычисленные диаграммы коэффициентов усиления (КУ) [2] в сравнении с аналогичными результатами из EMPro. Отклонение КУ, полученных при использовании расчетной сетки GMSH, от результатов EMPro, не превышает 0,21. При использовании сетки CGAL отклонение составляет 0,337.

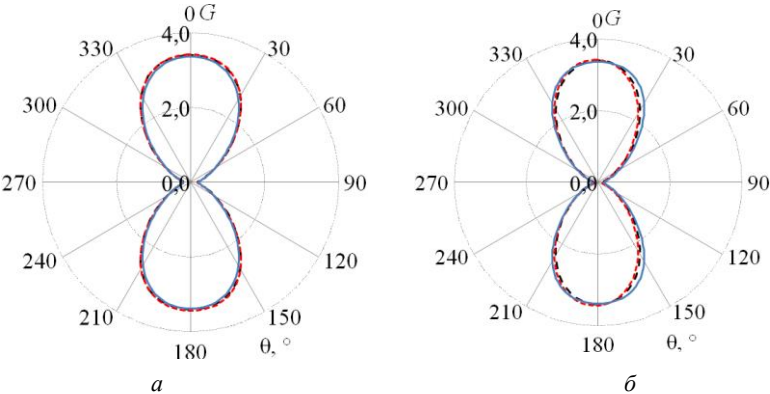


Рис. 2. КУ планарной прямоугольной спиральной антенны в плоскостях $\varphi = 0^\circ$ (a) и $\varphi = 90^\circ$ (б): GMSH (---), CGAL (---), EMPro (—)

Таким образом, выполнена оценка влияния качества расчетной сетки на параметры и характеристики планарной прямоугольной спиральной антенны при моделировании методом моментов. Моделирование показало, что отклонение входного импеданса при использовании GMSH от EMPro составило 11,6, а CGAL – 246,9. Отклонение КУ не превышает 0,2 и 0,337 соответственно. В результате качество расчетной сетки может оказать значительное влияние на расчет входного импеданса и незначительное – на КУ.

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

ЛИТЕРАТУРА

1. Григорьев А.Д. Методы вычислительной электродинамики. – М.: Физматлит, 2012. – 432 с.
2. Makarov S.N. Antenna and EM Modeling with MATLAB. – Princeton University Press, 2002. – 273 p.
3. Квасников А.А. Система компьютерного моделирования антенн методом моментов / А.А. Квасников, А.В. Демаков, А.А. Иванов, Д.В. Клюкин, М.Е. Комнатнов, С.П. Куксенко // Системы управления, связи и безопасности. – 2022. – № 1. – С. 49–66.
4. Gibson W.C. The method of moments in electromagnetics. – Chapman and Hall/CRC, 2021.
5. Rao S. Electromagnetic scattering by surfaces of arbitrary shape / S. Rao, D. Wilton, A. Glisson // IEEE Transactions on antennas and propagation. – 1982. – Vol. 30. – PP. 409–418.
6. Makarov S.N. Low-frequency electromagnetic modeling for electrical and biological systems using MATLAB / S.N. Makarov, G.M. Noetscher, A. Nazarian. – New Jersey: John Wiley & Sons, 2015. – 598 p.
7. Мочалов Д.М. Оценка качества расчетной сетки при моделировании антенн методом моментов / Д.М. Мочалов, Д.В. Клюкин // Электронные средства и системы управления: матер. докладов XVIII Междунар. науч.-практ. конф. – 2022. – № 1. – С. 282–285.
8. Frey P.J. Mesh generation: application to finite elements / P.J. Frey, P.L. George. – London: John Wiley & Sons, Inc, 2007. – 848 p.
9. CGAL. Официальный сайт The Computational Geometry Algorithms Library [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.graphics.rwth-aachen.de/software/openmesh/intro/> (дата обращения: 10.01.2023).
10. GMSH. Официальный сайт GMSH [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://gmsh.info/> (дата обращения: 11.01.2023).
11. EMPro. Официальный сайт EMPro – программа электромагнитного анализа [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.orcad.ru/> (дата обращения: 15.01.2023).

УДК 519.612

АЛГОРИТМ РАСЧЕТА ПОГОННОЙ ЕМКОСТИ ЛИНИИ ПЕРЕДАЧИ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ РАЗНОСТЕЙ

С.А. Сальников, студент каф. ТУ;

Д.В. Клюкин, ассистент каф. ТУ

*Научный руководитель С.П. Куксенко, д.т.н., проф. каф. ТУ
г. Томск, ТУСУР, salnikovs802@gmail.com*

Разработан алгоритм расчета погонной емкости линии передачи методом конечных разностей. Алгоритм отражает различные подходы к вычислению распределения потенциалов и погонной ёмкости.

Ключевые слова: линия передачи, моделирование, метод конечных разностей, погонная ёмкость.

При проектировании линии передачи для печатных плат одной из важных задач является контроль их параметров и характеристик. Так, точное и эффективное вычисление их погонных параметров позволяет разработчикам выполнить их оптимальное проектирование. Поэтому широкое применение получили системы автоматизированного проектирования (САПР), основанные на численных методах, одним из которых является метод конечных разностей (МКР). Цель работы – разработать алгоритм расчета погонной емкости линий передачи методом конечных разностей.

В МКР можно выделить 3 этапа: построение сетки узловых значений в области решения; описание функциональных связей между соседними узлами сетки, применяя один из вычислительных шаблонов; решение системы полученных конечно-разностных уравнений с учетом граничных и заданных начальных условий [1]. Для двумерных задач сетка состоит из прямоугольных ячеек (рис. 1, а).

Для анализа линии передачи используется уравнение Лапласа [2]

$$\frac{\partial^2 \Phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \Phi}{\partial y^2} = 0. \quad (1)$$

Аппроксимация уравнения (1) конечными разностями дает:

$$\frac{\Phi(i+1, j) - 2\Phi(i, j) + \Phi(i-1, j))}{(\Delta x)^2} + \frac{\Phi(i, j+1) - 2\Phi(i, j) + \Phi(i, j-1))}{(\Delta y)^2} = 0. \quad (2)$$

Полагая $\Delta x = \Delta y = h$, получим:

$$\Phi(i, j) = [\Phi(i+1, j) + \Phi(i-1, j) + \Phi(i, j+1) + \Phi(i, j-1)] / 4. \quad (3)$$

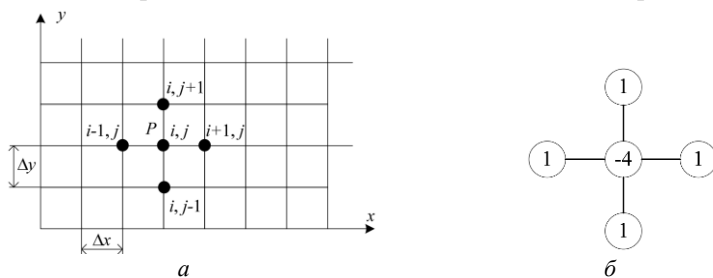


Рис 1. Двухмерная конечно-разностная сетка (а) и стандартный вычислительный шаблон (б)

Данное приближение является пятиточечным центральным приближением Лапласиана (см. пятиточечный шаблон «крест», рис. 1, б). Для вычисления распределения потенциалов существуют две схемы вычислений: явная и неявная. Явная схема заключается в нахождении

потенциалов итерационно, т.е. значение потенциала в одном из внутренних узлов сразу же используется для нахождения значения в соседнем узле [3]. Указанная процедура итерационно повторяется для каждого из узлов до тех пор, пока два следующих друг за другом приближения не совпадут с требуемой точностью (TOL).

$$\max |\Phi^{(it)} - \Phi^{(it-1)}| / \Phi^{(it)} \leq TOL. \quad (4)$$

Во избежание закликивания также задается максимальное число итераций, при достижении которого итерационный процесс закончится, даже если точность не будет достигнута.

Неявная схема основана на формировании системы линейных алгебраических уравнений (СЛАУ) вида $\mathbf{A}\mathbf{v} = \mathbf{b}$, где \mathbf{A} – матрица взаимосвязи узлов сетки, вычисляемая согласно выбранному шаблону, \mathbf{b} – вектор граничных условий, а \mathbf{v} – вектор, содержащий искомые значения распределения потенциала [4].

На основании распределения потенциалов вычисляются погонные параметры линии передачи, первичным из которых является погонная ёмкость, которая связана с величиной полного заряда как

$$C = q_{\Sigma} / \Phi_0, \quad (5)$$

где Φ_0 – потенциал на активном проводнике; q_{Σ} – полный заряд, вычисляемый по контуру, охватывающему его [1].

Существует также и другой метод нахождения погонной емкости, основанный на вычислении энергии, запасенной в электрическом поле (W_E) [2].

$$C = \frac{1}{2} W_E \Phi^2. \quad (6)$$

На основе описанных математических выражений разработан алгоритм расчета погонной емкости линий передачи (рис. 2).

На этапе предобработки данных выполняется построение двумерной структуры, задание параметров сетки и шага дискретизации. После чего по заданным граничным условиям происходит формирование сетки на основе заданных ранее параметров. На этапе выбора шаблона в зависимости от построенной сетки выбирается пятиточечный или другой вычислительный шаблон. Далее выбирается одна из схем нахождения распределения потенциалов в расчетной области. Для этого используются итерационный процесс, основанный на (3), и задание максимального числа итераций и параметра точности, который подразумевает выполнение нестрогого неравенства (4). Затем следует расчет погонной емкости по (5) или (6).

Для тестирования разработанного алгоритма рассмотрена прямоугольная линия передачи. Ее параметры: w , и t – ширина и толщина

проводника 1 мм, l и h – ширина и высота экрана 3 мм (рис. 3). В таблице приведены рассчитанные значения погонной емкости по (5) и (6), а также из [5] и отклонения от них (указаны в скобках). Видно, что вычисление емкости через полный заряд дает более точный результат относительно [5].

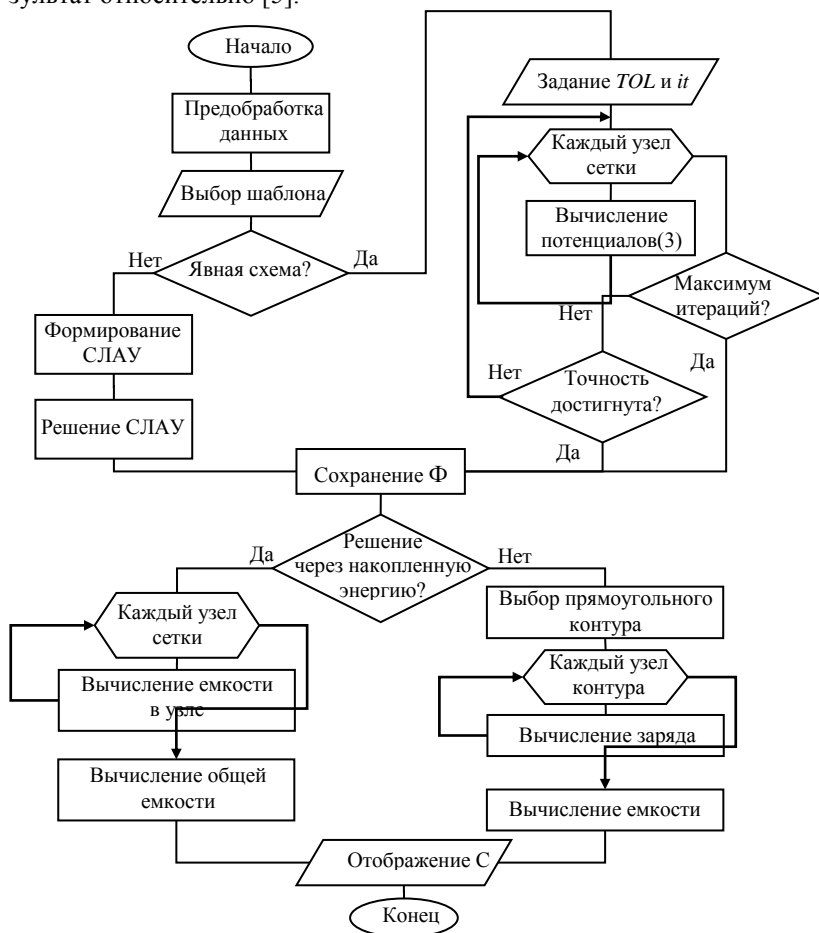


Рис. 2. Алгоритм расчета погонной емкости линий передачи

Таким образом, разработан алгоритм расчета погонной емкости линий передачи МКР. На примере тестовой прямоугольной линии передачи показано, что вычисление погонной емкости через полный заряд дает более точные результаты.

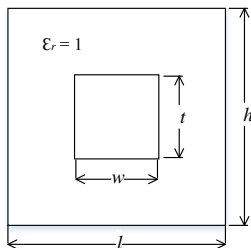


Рис. 3. Поперечное сечение прямоугольной линии передачи

Погонная емкость линии передачи из рис. 3 и отклонения от [5]

Источник	C , пФ/м
Метод с выбором прямоугольного контура	57,453 (4%)
Метод через запасенную энергию	46,468 (15%)
[5]	55,057

ЛИТЕРАТУРА

1. Куксенко С.П. Электромагнитная совместимость: численные методы решения задач электростатики. – Томск: Изд-во ТУСУРа, 2020. – 268 с.
2. Rylander T. Computational Electromagnetics / T. Rylander, P. Ingelstrom, A. Bondeson. – New York: Springer Science Business Media, 2013. – 301 p.
3. Dworsky L.N. Introduction to Numerical Electrostatics Using MATLAB. – Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc. – 2014. – 438 p.
4. Sadiku M.N.O. Computational Electromagnetics with MATLAB. – London; New York, 2019. – 709 p.
5. Musa S.M. Computation of Electrical Parameters for Different Conducting Bodies Using Finite Element Method / S.M. Musa, M.N. O. Sadiku // Wiley Periodicals, Inc. Microwave Opt Technol Lett. – 2008. – Vol. 50. – PP. 611–614.

УДК 621.391.825

**РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА ДЛЯ РАЗДЕЛЕНИЯ
СИНФАЗНОЙ И ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ
СОСТАВЛЯЮЩИХ ПОМЕХИ**

Д.Е. Харахордина, студентка каф. ТУ;

М.В. Храмцов, аспирант каф. ТУ;

В.П. Костелецкий, м.н.с. НИЛ ФИЭМС, к.т.н.

Научный руководитель А.М. Заболоцкий,

зав. каф. СВЧуКР, д.т.н., доцент

г. Томск, ТУСУР, diana.xararordina@bk.ru

Разработана электрическая принципиальная схема устройства для разделения дифференциальной и синфазной составляющих помехи. Определены геометрические параметры для изготовления синфаз-

ного и дифференциального дросселей. Представлен результат моделирования импеданса обмоток дросселей и трасс печатной платы. Выполнено измерение индуктивности обмоток дросселей. Изготовлен прототип устройства для разделения дифференциальной и синфазной составляющих помехи.

Ключевые слова: радиоэлектронная аппаратура, кондуктивная помехоэмиссия, разделитель шума, дифференциальный режим, синфазный режим, дроссель.

При проектировании современной радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) используют быстродействующую электронную компонентную базу. Ее использование позволяет увеличить быстродействие РЭА, но при этом приводит к увеличению уровня электромагнитных помех (ЭМП) [1, 2]. Для обеспечения электромагнитной совместимости (ЭМС) необходимо еще на этапе прототипирования учитывать возможные помехи, поэтому принято измерять уровень напряжения ЭМП.

При испытаниях на ЭМС, в случаях, когда уровень ЭМП РЭА не удовлетворяет заданным ограничениям, обычно сложно найти источник возникновения помех. Это связано с тем, что произвольная помеха описывается комбинацией компонентов синфазной и дифференциальной составляющих шумового сигнала. Такие компоненты имеют различное происхождение, и для борьбы с ними необходимо их точно разделять [4]. Кроме того, процесс проектирования помехоподавляющих фильтров подразделяют на фильтры синфазного и дифференциального режимов. Поэтому разделение дифференциальной и синфазной составляющих способствует рациональному использованию устройств защиты, что позволяет уменьшить себестоимость и массогабаритные характеристики готового устройства [5].

Целью работы является разработка устройства, позволяющего разделять дифференциальную и синфазную компоненты шумового сигнала.

Данное устройство состоит из параллельно подключенных дифференциального и синфазного дросселей. Принцип работы такого устройства заключается в следующем. На оба дросселя приходит произвольная помеха, при этом на выходе синфазного дросселя выделяется дифференциальная компонента помехового сигнала, а на выходе дифференциального дросселя – синфазная. Такой эффект достигается за счет того, что синфазный дроссель обладает околонулевым импедансом для дифференциальной компоненты помехового сигнала, но при этом ослабляет синфазную, а в дифференциальном дросселе наблюдается противоположное явление. На выходе каждого дросселя установлены разъемы, через которые подключают анализатор спек-

тра, который измеряет амплитуды дифференциальной и синфазной составляющих помехового сигнала. Электрическая схема устройства для разделения синфазной и дифференциальной составляющих помехового сигнала представлена на рис. 1.

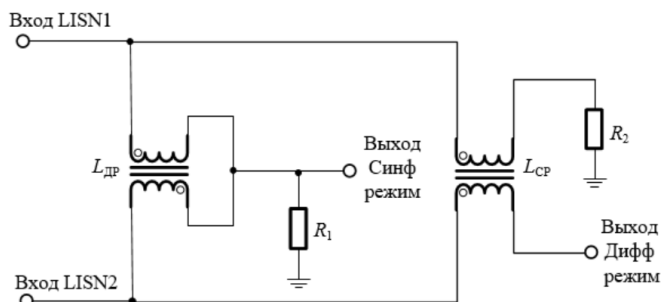


Рис. 1. Электрическая принципиальная схема устройства для разделения дифференциальной и синфазной составляющих помехи

Основываясь на электрической принципиальной схеме, изготовлен прототип разделителя помех (рис. 2). Резисторы R_1, R_2 равны 49,9 Ом. Дроссели выполнены на кольцевом сердечнике марки В64290-L45-X38 с геометрическими размерами 16×9,6×6,3 мм. Начальная магнитная проницаемость $\mu_0=10000$. Дроссели намотаны парой одинаковых проводников. Каждая обмотка состоит из 10 витков. Синфазный дроссель намотан проводом ПЭТВ-2, диаметр провода равен 0,34 мм, а токоведущей жилы – 0,29 мм. Дифференциальный дроссель намотан проводом УТР САТ-5, диаметр провода равен 0,9 мм, а токоведущей жилы – 0,205 мм. Каждая обмотка синфазного дросселя равна 785 мкГн, а дифференциального – 845 мкГн. Такие номиналы индуктивности обусловлены требованиями к ослаблению компонент помехового сигнала.



Рис. 2. Прототип разделителя помех

В ПО ADS рассчитана копланарная линия импедансом 50 Ом, из которой выполнены соединения на печатной плате. Так как намотка дросселей осуществлена парами проводников, в ПО TALGAT вычислен импеданс каждой пары. Для проводов ПЭТВ-2 и UTP CAT-5 диэлектрическая проницаемость изоляции принята равной 3,5. Результаты вычислений сведены в таблицу.

Импеданс проводников

	ПЭТВ-2	UTP CAT-5
Z, Ом	50,8	98,8

Значение импеданса, полученного при моделировании UTP CAT-5, соответствует паспортным данным производителя и составляет 100 ± 15 Ом.

Таким образом, разработана схема и изготовлен прототип разделителя синфазных и дифференциальных помех. Подобраны геометрические параметры для изготовления дросселей, позволяющие получить требуемое значение индуктивности. В ПО ADS и TALGAT выполнено моделирование импеданса обмоток дросселей и дорожек печатной платы. Измерены индуктивности обмоток дифференциального и синфазного дросселей. Результат данной работы будет использован для дальнейшего изготовления стенда для проведения испытаний на ЭМС с учетом синфазного и дифференциального режимов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кечиев Л.Н Проектирование системы распределения питания печатных узлов электронной аппаратуры. – М.: Грифон, 2016. – 402 с.
2. Разработка эквивалента сети для измерения уровня кондуктивной помехоэмиссии радиоэлектронных средств / М.В. Храмцов, Д.Е. Харахордина, П.А. Попов // Междунар. науч.-практ. конф. «Электронные средства и системы управления». – Томск: В-Спектр, 2022. – Т. 2. – С. 300–302.
3. ГОСТ Р 51318.11–2006 (СИСПР 11:2004). Совместимость технических средств электромагнитная. Промышленные, научные, медицинские и бытовые (ПНМБ) высокочастотные устройства. Радиопомехи индустриальные. Нормы и методы измерений. – М.: Стандартиформ, 2020. – 43 с.
4. Devices for the Separation of the Common and Differential Mode Noise: Design and Realization / M.C. Caponet; F. Profumo // APEC. Seventeenth Annual IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition. – 2002. – PP. 100–105.
5. Novel Three-Phase CM/DM Conducted Emission Separator / Marcelo Lobo Heldwein, Jurgen Biela, Hans Ertl, Thomas Nussbaumer, and Johann W. Kolar // Published in: IEEE Transactions on Industrial Electronics. – 2009. – Vol. 56. – PP. 3693–3703.

ХАРАКТЕРИСТИКИ СТРУКТУРЫ С ПРОВОДНИКАМИ НА ВНЕШНЕМ СЛОЕ ПЕЧАТНОЙ ПЛАТЫ С МОДАЛЬНЫМ РЕЗЕРВИРОВАНИЕМ

С.Р. Морозов, магистрант каф. ТУ;

А.В. Медведев, аспирант каф. ТУ

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

г. Томск, ТУСУР, pred11072@yandex.ru

Выполнен анализ характеристик структуры с проводниками на внешнем слое печатной платы с модальным резервированием. Рассмотрены зависимости разности погонных задержек и среднего геометрического импедансов мод от параметров структуры. Предложены рекомендации по изменению геометрических параметров для максимизации разности задержек мод.

Ключевые слова: электромагнитная совместимость, модальное резервирование, печатная плата.

При создании печатных плат (ПП) критичной радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) большое внимание уделяется электромагнитной совместимости (ЭМС) и функциональной безопасности электронных схем [1]. Кардинальным методом повышения функциональной безопасности является резервирование. Холодное резервирование отличается от горячего тем, что при отказе резервируемой системы выполняется переключение на выключенную резервную систему. Однако от воздействия систематических электромагнитных помех (ЭМП) резервирование не защищает, так как при отказе резервируемой системы из-за воздействия ЭМП откажет и резервная система.

Большую опасность представляют сверхкороткие импульсы (СКИ), которые имеют большую энергию при малой длительности. Для предотвращения влияния СКИ используются технологии на основе модальной фильтрации [2]. Модальное резервирование – это подход к компоновке и трассировке резервируемых проводников системы с холодным резервированием, при котором реализуется модальная фильтрация [3]. Существует ряд способов компоновки и трассировки проводников ПП с МР [4]. Их недостатком является сложность в трассировке проводников с большим количеством цепей электронной схемы. Разработан способ трассировки [5], который отличается наличием проводников на внешнем и внутреннем слоях ПП. Данный способ позволяет выполнять трассировку проводников электронных схем с большим количеством компонентов. Выполнено предварительное исследование данного способа с неоптимизированными параметрами

[6]. В дальнейших исследованиях необходимо рассмотреть влияние параметров поперечного сечения структур с проводниками на внешнем и внутреннем слоях ПП с МР для разработки рекомендаций по оптимизации параметров поперечного сечения. Цель работы – выполнить анализ характеристик структуры с проводниками на внешнем слое ПП с МР.

На рис. 1, *а* представлена модель поперечного сечения. Моделирование выполняется в системе TALGAT [7] без учета потерь в проводниках и диэлектриках. Параметры поперечного сечения: ширина сигнального проводника $w = 200$ мкм, расстояние между проводниками $s = 200$ мкм, толщина проводника $t = 18$ мкм, толщина нижнего диэлектрического слоя $h_1 = 200$ мкм, толщина верхнего диэлектрического слоя $h_2 = 200$ мкм, диэлектрические проницаемости $\epsilon_{r1} = 10,2$ и $\epsilon_{r2} = 4$.

На рис. 1, *б* показана принципиальная электрическая схема, которая представляет собой двухпроводную структуру (длиной $l = 1$ м) с нагрузками на ближнем и дальних концах с источником воздействия в активной линии. Сопротивления нагрузок $R1$ – $R4$ взяты равными среднему геометрическому импедансов четной и нечетной мод (67 Ом), тогда как воздействие имеет следующие характеристики: форма импульса – трапецевидная, ЭДС 2 В, длительность фронта, спада и плоской вершины $t_r = t_{fr} = t_d = 10$ пс.

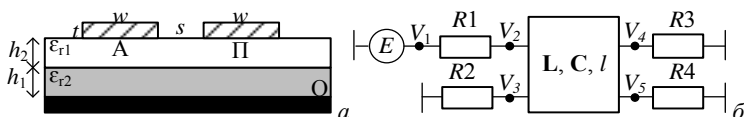


Рис. 1. Модель структуры ПП с проводниками на внешнем слое (*а*), где проводники А – активный, П – пассивный, О – опорный; принципиальная электрическая схема (*б*)

На рис. 2 представлены формы сигналов на ближнем (см. рис. 2, *а*) и дальнем (см. рис. 2, *б*) концах при исходном наборе параметров. В дальнейшем все зависимости параметров рассмотрены относительно этого набора. На дальнем конце структуры наблюдаются два импульса разложения меньшей амплитуды, чем на ближнем конце. Разность задержек мод $\Delta t = 0,04$ нс.

На рис. 3 и 4 представлены зависимости разностей погонных задержек (Δt) и среднего геометрического импедансов мод (R) от геометрических параметров, изменяемых по отдельности. Видно, что Δt и R , при изменении s , изменяются в пределах ± 200 пс/м и ± 9 Ом, h_2 – ± 380 пс/м и ± 16 Ом; w – ± 260 пс/м и ± 49 Ом; h_1 – ± 615 пс и ± 32 Ом;

$t = \pm 424$ пс и ± 6 Ом. Следовательно, увеличение параметров s , h_1 , h_2 ведет к увеличению Δt и R , тогда как увеличение параметров w и t ведет также к росту Δt , однако R будет уменьшаться.

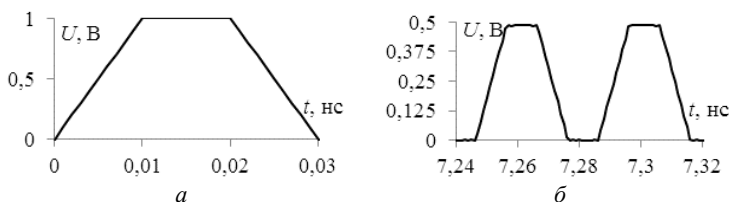


Рис. 2. Формы сигналов на ближнем (а) и дальнем (б) концах при исходном наборе параметров

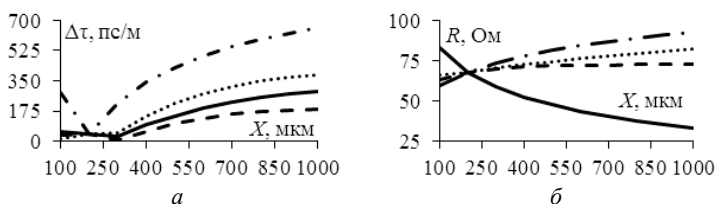


Рис. 3. Зависимости Δt (а) и R (б) от X , где X равен: w (—), s (---), h_1 (-·-·-), h_2 (...)

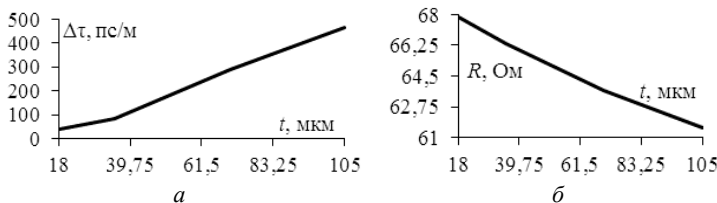


Рис. 4. Зависимости Δt (а) и R (б) от t

Приведенные результаты показывают, что из всех рассматриваемых параметров наиболее сильно на Δt влияют параметры h_1 и t . Таким образом, для увеличения Δt необходимо взять максимально возможными каждый из параметров. Однако при изменении геометрических параметров, согласно рекомендациям, также сильно будет изменяться R . В случаях, когда необходим контроль волнового сопротивления проводников ПП, необходимо отслеживать изменение R .

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 19-19-00424) (<https://rscf.ru/project/22-19-35072/>) в ТУСУРе.

ЛИТЕРАТУРА

1. IEC 61508-1:2010. Functional Safety of Electrical/Electronic/ Programmable Electronic Safety-Related Systems. – Part 1: General requirements [Элек-

тронный ресурс]. – Режим доступа: <https://webstore.iec.ch/publication/5515>, свободный (дата обращения: 7.01.2023).

2. 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. – PP. 1136–1142.

3. Шарафутдинов В.Р. Анализ способов резервирования на основе модальной фильтрации / В.Р. Шарафутдинов, Т.Р. Газизов // Системы управления, связи и безопасности. – 2019. – № 3. – С. 117–144.

4. Алхадж Х.А. Обзор исследований по модальному резервированию / Х.А. Алхадж, Т.Р. Газизов // Доклады ТУСУР. – 2022. – Т. 25, № 4. – С. 54–67.

5. Пат. 2 752 233 РФ, МПК H04B 15/02. Способ трассировки печатных проводников на двуслойной печатной плате для цепей с резервированием / А.В. Медведев (РФ), А. Алхадж Хасан (САР), О.М. Кузнецова-Таджибаева (РФ), Т.Р. Газизов (РФ). – № 2020122274; заявл. 06.07.20; опубл. 23.07.21, Бул. № 21. – 8 с.

6. Medvedev A.V. Interconnect Routing on Two Signal Layers of a Modal Reservation PCB: a Case Study // 2022 International Ural Conference on Electrical Power Engineering (UralCon). – 2022. – PP. 301–306.

7. Kuksenko S.P. Preliminary results of TUSUR University project for design of spacecraft power distribution network: EMC simulation // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2019. – Vol. 560, – PP. 1–7.

УДК 681.5.08

УСТРОЙСТВО ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ИЗМЕРЕНИЯ СТАТИЧЕСКИХ ВОЛЬТ-АМПЕРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК БИПОЛЯРНЫХ ТРАНЗИСТОРОВ

Т.И. Третьяков, студент каф. ТУ

*Научный руководитель М.Е. Комнатнов, доцент каф. ТУ, к.т.н.
г. Томск, ТУСУР, henos19039@gmail.com*

Разработано устройство для автоматизированного измерения статических вольт-амперных характеристик биполярных транзисторов со схемой включения с общим эмиттером. Рассмотрен процесс измерения статических вольт-амперных характеристик биполярного транзистора с помощью разработанного устройства.

Ключевые слова: биполярный транзистор, широтно-импульсная модуляция, вольт-амперные характеристики, общий эмиттер, автоматизация.

Современные радиоэлектронные средства (РЭС) разрабатываются с применением различных полупроводниковых, одним из которых является биполярный транзистор (БТ). Корректная работа узла, содержащего БТ, требует соответствия его характеристик заданным до-

кументацией [2]. Для описания характеристик БТ используют вольт-амперные характеристики (ВАХ). В основном, при расчётах каскада на БТ применяют статические ВАХ, из которых наиболее известны: входная ($I_6 = f(U_{63})$), выходная $I_k = f(U_{к3})$ и проходная $I_k = f(U_{63})$. Измерение статических ВАХ осложняется в случае, когда требуется получить ВАХ с большим количеством отсчетов для точного построения ВАХ. Автоматизация процесса измерения ВАХ позволяет значительно сократить время, а также получить ВАХ с большим количеством измеренных точек. Цель работы – разработать устройство для автоматизированного измерения статических ВАХ БТ со схемой включения с общим эмиттером.

Разработана схема устройства для автоматизированного измерения статических ВАХ БТ со схемой включения с общим эмиттером (рис. 1). Схема содержит резисторы $R1, R7$, ограничивающие входной ток управляющих сигналов широтно-импульсной модуляции (ШИМ) – ШИМ1 и ШИМ2. Резисторы $R2$ и $R3$ ограничивают ток заряда и разряда конденсатора $C1$. Полевыми транзисторами VT1 и VT2 задаются необходимые значения U_{63} и I_6 измеряемого БТ (ИБТ) VT3. Резистор $R4$ ограничивает I_6 транзистора VT3, а резистор $R5$ ограничивает I_k транзистора VT3 и ток разряда конденсатора $C2$. Переменный резистор $R6$ ограничивает ток заряда конденсатора $C2$ и коллекторный ток транзистора VT3. Полевым транзистором VT4 задаётся $U_{к3}$ и I_k для транзистора VT3. Напряжение питания – 5 В. Управление устройством осуществляется микроконтроллером (МК) ATmega328.

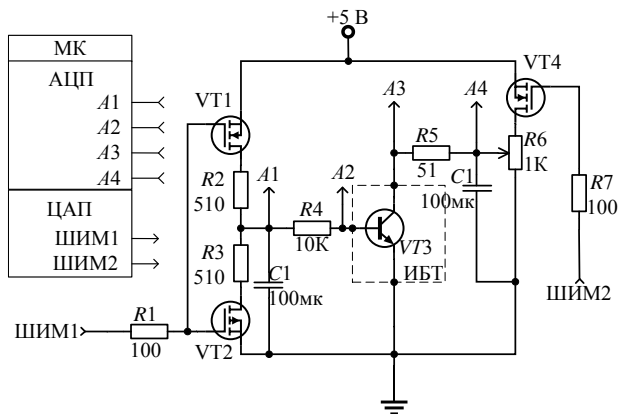


Рис. 1. Схема устройства для автоматизированного измерения статических ВАХ БТ

Процесс измерения статических входной и проходной ВАХ БТ с помощью данного устройства выглядит следующим образом.

1. Подается напряжение 5 В на вход ШИМ2 (при этом VT4 полностью открыт, а I_k ограничивается только резисторами R5 и R6).

2. Подается сигнал ШИМ с заданным коэффициентом заполнения на вход ШИМ1.

3. Измеряется значение напряжения в точках A1 и A2 (напряжение в точке A2 – это $U_{\bar{b}_3}$ на VT3).

4. Вычисляется $I_{\bar{b}_3}$ VT3 с учетом значения резистора R4.

5. Измеряется значение напряжения в точках A3 и A4 (напряжение в точке A3 является U_{k_3} VT3).

6. Вычисляется I_k с учетом значения резистора R5.

7. Сохраняются данные в памяти МК, после чего увеличивается коэффициент заполнения сигнала ШИМ1, и измерения заново повторяются.

Процесс измерения статической выходной ВАХ БТ с помощью данного устройства выглядит следующим образом:

1. Подается сигнал ШИМ, коэффициент заполнения которого автоматически подстраивается для достижения заданного значения $I_{\bar{b}_3}$ VT3.

2. Подается сигнал ШИМ на вход ШИМ2 с постоянным значением коэффициента заполнения, который устанавливает I_k VT3.

3. Измеряются U_{k_3} , $I_{\bar{b}_3}$, I_k и вычисляются аналогично статическим входным и проходным ВАХ.

4. Сохраняются данные в памяти МК.

5. Увеличивается коэффициент заполнения сигнала ШИМ на входе ШИМ2, и измерения заново повторяются.

6. Формируется необходимое количество отсчетов для построения ВАХ при заданном $I_{\bar{b}_3}$.

7. Изменяется коэффициент заполнения на входе ШИМ1 для расчета статических выходных ВАХ при следующем значении $I_{\bar{b}_3}$.

Таким образом, разработано устройство для автоматизированного измерения статических ВАХ БТ со схемой включения с общим эмиттером. Устройство позволило увеличить количество отсчетов при измерении статических ВАХ с 59 до 125 точек. При этом использованием данного устройства позволило сократить время измерения ВАХ БТ до 10 раз, в сравнении с аналогичными измерениями, проводимыми вручную.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 19-79-10162-П) в ТУСУРе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Важенина З.П. Импульсные генераторы на полупроводниковых приборах. – М.: Энергия, 1977. – 112 с.

2. Овсянников Н.И. Кремниевые биполярные транзисторы: справ. пособие. – Минск: Высшая школа, 1989. – 302 с.

АНАЛИЗ РАЗЛОЖЕНИЯ СВЕРХКОРОТКОГО ИМПУЛЬСА В ЧЕТЫРЕХПРОВОДНОЙ СТРУКТУРЕ С ОПОРНЫМ ПРОВОДНИКОМ СВЕРХУ И СНИЗУ

Д.Ж. Жапова, студентка каф. ТУ,

Е.Б. Черникова, ассистент каф. ТУ, к.т.н.

г. Томск, ТУСУР, dragondarina2001@mail.ru

Представлены результаты квазистатического моделирования четырехпроводной линии с опорным проводником сверху и снизу, у которого два проводника закорочены перемычкой на дальнем конце. Моделирование проведено при разном соединении проводников на дальнем конце. Получено, что во временных откликах таких структур наблюдаются комбинационные импульсы. Их задержки состоят из комбинации погонных задержек мод.

Ключевые слова: линии передачи, сверхкороткие импульсы, погонные задержки, комбинационные импульсы.

Радиоэлектронная аппаратура (РЭА) с каждым годом развивается высокими темпами. С увеличением темпа развития РЭА обостряется вопрос борьбы с электромагнитными помехами. Сверхкороткие импульсы (СКИ) являются одним из видов кондуктивного воздействия, которые приводят к искажению сигнала [1, 2]. СКИ имеют малую длительность в наносекундном диапазоне. Для защиты РЭА от СКИ разрабатываются устройства, работающие на основе технологии модальной фильтрации [3].

Ранее исследовались различные схемы соединения 4-проводных линий передач (ЛП), во временных откликах которых обнаружены комбинационные импульсы [4]. Однако для более детального анализа появления комбинационных импульсов во временных откликах многопроводных линий передач (МПЛП) необходимо рассмотреть другие ЛП. Цель работы – выполнить квазистатическое моделирование 4-проводной ЛП с опорным проводником сверху и снизу.

Структура и схема для исследования. Поперечное сечение 4-проводной структуры с опорным проводником сверху и снизу представлено на рис. 1, а, где w – ширина проводников, s – расстояние между проводниками, t – толщина проводников, h – толщина диэлектрика, ϵ_r – относительная диэлектрическая проницаемость подложки. Моделирование выполнялось при $s = 510$ мкм, $w = 1600$ мкм, $t = 35$ мкм, $h = 500$ мкм, $d = 1600$ мкм, $\epsilon_r = 4,5$. Опорным проводником является проводник 6, а проводник 5 является сигнальным и подключен к земле посредством короткого замыкания. Исходный вид схемы соедине-

ния представлен на рис. 1, б. Выполнено квазистатическое моделирование временного отклика при длине линии $l = 1$ м и $R = 50$ Ом. В качестве воздействия использовался источник ЭДС в форме трапеции с амплитудой 5 В с длительностями фронта, спада и плоской вершины по 50 пс, так что общая длительность составила 150 пс. Моделирование показало, что на выходе структуры наблюдается 4 импульса разложения, а также импульс, соответствующий дополнительной (самой быстрой) моде из-за подключения проводника 5. Погонные задержки этих импульсов равны $\tau_1 = 3,534$ нс/м, $\tau_2 = 3,630$ нс/м, $\tau_3 = 4,375$ нс/м, $\tau_4 = 5,381$ нс/м, $\tau_5 = 6,121$ нс/м.

Анализ рис. 1, б показал, что можно получить 3 варианта схемы в зависимости от соединения 2 проводников перемычкой на дальнем конце, когда на концах оставшихся проводников подключены резисторы (см. рис. 1, в–д).

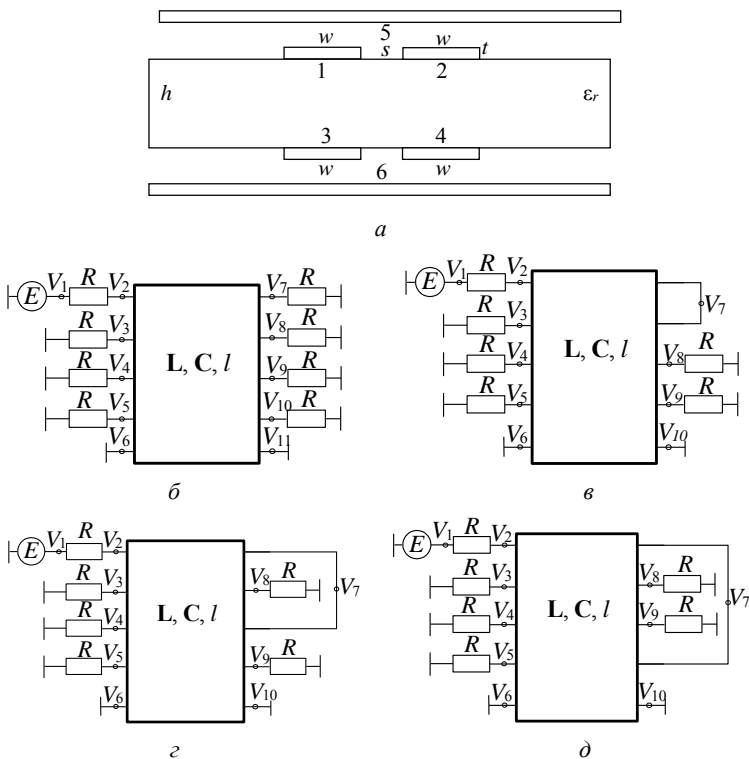


Рис. 1. Поперечное сечение (а), схема соединения: исходная (б), 1 – (в), 2 – (з) и 3 – (д) 4-проводной ЛП с опорным проводником сверху и снизу

Результаты моделирования. Выполнено моделирование временных откликов всех трех вариантов. Полученные формы напряжений на выходе (узлы V_3 на рис. 1, б, V_4 на рис. 1, в и V_5 на рис. 1, г) представлены на рис. 2. В таблицу сведены задержки основных и комбинационных импульсов, а также приведены их значения.

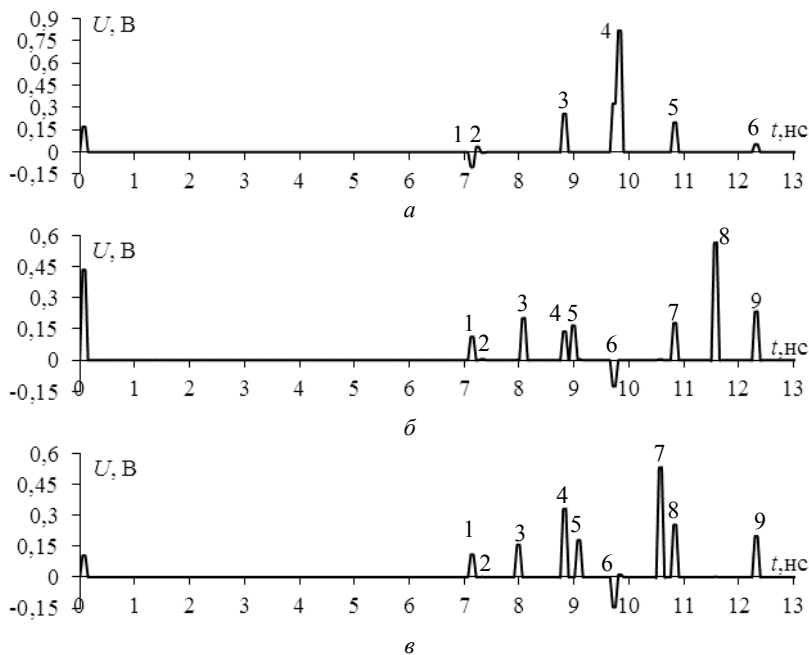


Рис. 2. Формы напряжения на выходе схем: 1 (а), 2 (б) и 3 (в)

Задержки основных и комбинационных импульсов

№	а		б		в	
	Задержка	t , нс	Задержка	t , нс	Задержка	t , нс
1	$2\tau_1 l$	7,06	$2\tau_1 l$	7,06	$2\tau_1 l$	7,06
2	$2\tau_2 l$	7,26	$2\tau_2 l$	7,26	$2\tau_2 l$	7,26
3	$2\tau_3 l$	8,75	$(\tau_2 + \tau_3) l$	8,01	$(\tau_1 + \tau_3) l$	7,91
4	$(\tau_1 + \tau_5) l$	9,65	$2\tau_3 l$	8,75	$2\tau_3 l$	8,75
5	$2\tau_4 l$	10,76	$(\tau_1 + \tau_4) l$	8,91	$(\tau_2 + \tau_4) l$	9,01
6	$2\tau_5 l$	12,24	$(\tau_1 + \tau_5) l$	9,65	$(\tau_1 + \tau_5) l$	9,65
7	—	—	$2\tau_4 l$	10,76	$(\tau_3 + \tau_5) l$	10,46
8	—	—	$(\tau_4 + \tau_5) l$	11,51	$2\tau_4 l$	10,76
9	—	—	$2\tau_5 l$	12,24	$2\tau_5 l$	12,24

Результаты моделирования (см. рис. 2) подтверждают предположение о наличии комбинационных импульсов. Из анализа таблицы следует, что задержки комбинационных импульсов равны сумме значений погонных задержек мод в разных вариантах. Между тем форма некоторых импульсов (например, импульс 4 из рис. 2, *а*) отличается от трапецевидной, что говорит наложении нескольких импульсов. Для четкого обнаружения всех импульсов необходимо увеличить значения временных интервалов между ними путем увеличения длины линии или изменения параметров поперечного сечения, что планируется выполнить в дальнейшем.

Таким образом, в работе показана возможность разложения СКИ в 4-проводной линии с опорным проводником сверху и снизу для трех вариантов схемы соединения, состоящей из 2 последовательно соединенных полувитков и 2 проводников, на концах которых подключены резисторы. Показано, что во временном отклике обнаружены, помимо основных, импульсы, задержки которых равны комбинации погонных задержек мод.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-79-00187, <https://rscf.ru/project/22-79-00187/> в ТУСУРе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Gizatullin, R.M., Gizatullin, Z.M. Investigation of the immunity of computer equipment to the power-line electromagnetic interference / *J. of Communications Technology and Electronics*. – 2016. – No. 5. – PP. 546–550. DOI: 10.1134/S1064226916050053.
2. Mora N. Study and classification of potential IEMI sources / N. Mora, F. Vega, G. Lugin, F. Rachid, M. Rubinstein // *System and assessment notes*. – 2014. – No. 41.
3. Gazizov A.T., Zabolotsky A.M., Gazizov T.T. Time-domain response of asymmetrical modal filter without resistors to ultrashort pulse excitation / 17th International conference on micro/nanotechnologies and electron devices (EDM). – 2016. – PP. 85–88.
4. От симметрии к асимметрии: использование дополнительных импульсов для повышения защиты от ультракоротких импульсов на основе модовой фильтрации / А.О. Белоусов, Е.Б. Черникова, М.А. Самойличенко, А.В. Медведев, А.В. Носов, Т.Р. Газизов, А.М. Заболоцкий // *Симметрия*. – 2019. – Т. 11(7), № 883. – С. 1–38.

3D-ПЕЧАТНАЯ ТЕМ-КАМЕРА ОТКРЫТОГО ИСПОЛНЕНИЯ

П.А. Попов, студент каф. ТУ

*Научный руководитель М.Е. Комнатнов, доцент каф. ТУ, к.т.н.
г. Томск, ТУСУР, popov.pav.and@gmail.com*

Выполнена разработка ТЕМ-камеры открытого исполнения с применением 3D-печати. Частотные зависимости КСВН ТЕМ-камеры составляют менее 1,3 в диапазоне частот от 62,5 до 931 МГц. Изготовленная ТЕМ-камера позволяет выполнять измерение помехоэмиссии и оценку помехоустойчивости радиоэлектронных средств размером не более 184×162×30 мм.

Ключевые слова: ТЕМ-камера, помехоустойчивость, помехоэмиссия, 3D-печать.

В соответствии со стандартами [1–3], для измерения помехоэмиссии и помехоустойчивости радиоэлектронных средств (РЭС) применяется ТЕМ-камера. В зависимости от рабочего диапазона частот и размера испытуемого объекта (ИО) ТЕМ-камеры могут быть выполнены в различном конструкционном исполнении. Различают открытые и закрытые ТЕМ-камеры, с симметричным и асимметричным расположением центрального проводника относительно корпуса [3, 4]. Преимуществом ТЕМ-камеры открытого исполнения является отсутствие боковых стенок. Их отсутствие позволяет избежать сложности изготовления и предоставить постоянный доступ к ИО. Обычно для изготовления ТЕМ-камеры применяется листовый металл. Такая камера сложна в изготовлении, обладает значительным весом и стоимостью. Альтернативным способом изготовления, позволяющим избавиться от данных недостатков, является применение 3D-печати. По этой причине разработка ТЕМ-камеры открытого исполнения с применением 3D-печати является актуальной задачей. Цель работы – выполнить разработку ТЕМ-камеры открытого исполнения с применением 3D-печати.

ТЕМ-камера представляет собой полосковую линию передачи, состоящую из регулярной части с внутри расположенным центральным проводником и двух сужающихся переходов, необходимых для подключения к СВЧ-соединителям (рис. 1). При измерении излучаемой помехоэмиссии РЭС к одному из СВЧ-соединителей ТЕМ-камеры подключается измерительный приемник, а к другому – согласованная нагрузка. В регулярной части ТЕМ-камеры размещается ИО. При этом измеряется уровень наведенных токов на центральный проводник от ИО. При оценке помехоустойчивости ИО он также разме-

щается в регулярной части ТЕМ-камеры. На вход СВЧ-соединителя от генератора подается сигнал с заданными характеристиками. В результате на ИО воздействует однородное поле, которое поглощается согласованной нагрузкой, подключенной ко второму СВЧ-соединителю. При этом фиксируется уровень напряженности электрического поля, при котором ИО перестает функционировать с заданным качеством.

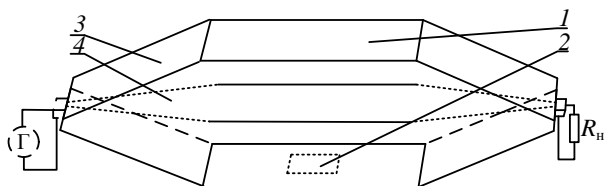


Рис. 1. Общий вид ТЕМ-камеры открытого исполнения: 1 – корпус; 2 – место под ИО; 3 – сужающиеся переходы; 4 – центральный проводник

Геометрические параметры ТЕМ-камеры определяются исходя из максимального размера ИО и ее волнового сопротивления, которое должно составлять 50 Ом для обеспечения согласования с измерительной аппаратурой, подключаемой к СВЧ-соединителям. Верхний предел рабочего диапазона частот ТЕМ-камеры снижается по мере увеличения габаритных размеров. Геометрические параметры выбирались исходя из условия максимального размера ИО, которое должно составлять не менее 180×150×30 мм. В таблице представлены геометрические параметры ТЕМ-камеры открытого исполнения.

Геометрические параметры ТЕМ-камеры

Геометрические параметры	Значение, мм
Длина корпуса в регулярной части	330
Длина корпуса в области сужения	201
Длина центрального проводника в регулярной части	308
Длина центрального проводника в области сужения	210
Ширина корпуса	290
Ширина центрального проводника	270
Высота	188
Толщина проводника	2

При изготовлении ТЕМ-камеры выполнялась 3D-печать ее составных частей (рис. 2). Для придания жесткости и прочности ТЕМ-камеры в качестве материала печати использован полиэтиленгликоль-терефталат (PETG-пластик) с диэлектрической проницаемостью $\epsilon_r = 3$.

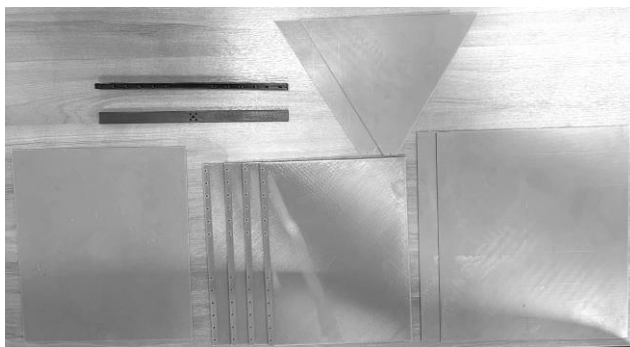


Рис. 2. Составные части ТЕМ-камеры

Соединение составных частей ТЕМ-камеры выполнялось с помощью эпоксидного клея. После соединения составных частей ТЕМ-камеры они покрывались клейкой алюминиевой и медной лентой кроме четырех держателей для исключения возможности возникновения контакта между корпусом и центральным проводником. После сборки ТЕМ-камеры, используя векторный анализатор цепей Р4М-18, выполнено измерение ее S -параметров (рис. 3).

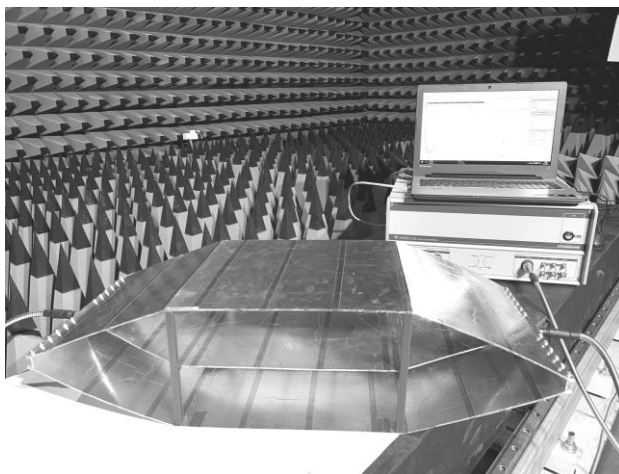


Рис. 3. Измерение S -параметров 3D-печатной ТЕМ-камеры

В соответствии со стандартом [2], для минимизации неопределенности измерений коэффициент стоячей волны по напряжению (КСВН) ТЕМ-камеры должен составлять менее 1,3. На рис. 4 пред-

ставлен график частотных зависимостей КСВН ТЕМ-камеры открытого исполнения. Из графика видно, что КСВН не превышает значения 1,3 в диапазоне частот от 62,5 до 931 МГц.

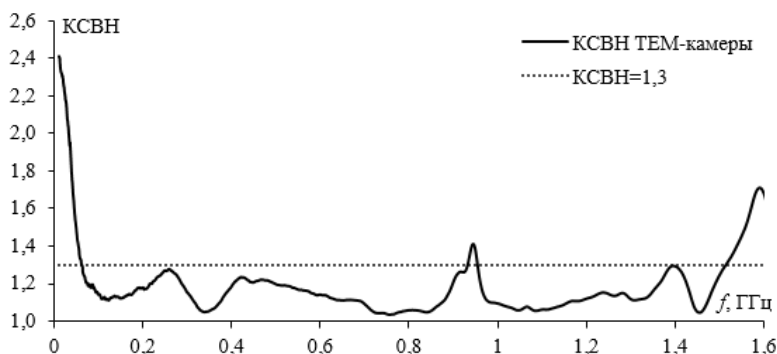


Рис. 4. Частотные зависимости КСВН ТЕМ-камеры открытого исполнения

Таким образом, выполнена разработка и изготовление ТЕМ-камеры с применением 3D-печати. ТЕМ-камера применима для измерения помехоэмиссии и оценки помехоустойчивости РЭС размером не более 184×162×30 мм в диапазоне частот от 62,5 до 931 МГц.

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ ИЕС 61000-4-3–2016. Электромагнитная совместимость. – Ч. 4-3: Методы испытаний и измерений. Испытание на устойчивость к излучаемому радиочастотному электромагнитному полю. – М.: Стандартинформ, 2016. – 63 с.
2. ГОСТ ИЕС 61000-4-20–2014. Электромагнитная совместимость. – Ч. 4-20: Методы испытаний и измерений. Испытание на помехоэмиссию и помехоустойчивость в ТЕМ-волноводах. – ФГБУ «РСТ», 2021. – 72 с.
3. ISO 11452-3. Road vehicles – Electrical disturbances by narrow-band radiated electromagnetic energy. Vehicle test methods. – Part 3: Transverse electromagnetic mode (TEM) cell. – 2016. – 21 p.
4. Комнатнов М.Е. Обзор ТЕМ-камер, используемых при проведении испытаний на ЭМС // Матер. Всерос. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых «Научная сессия ТУСУР–2013». – Томск: В-Спектр, 2013. – Ч. 1. – С. 116–119.
5. Демаков А.В. Разработка ТЕМ-камеры для испытаний интегральных схем на электромагнитную совместимость / А.В. Демаков, М.Е. Комнатнов // Доклады ТУСУР. – 2018. – Т. 21, № 1. – С. 52–56.

ТЕМ-КАМЕРА ОТКРЫТОГО ИСПОЛНЕНИЯ ИЗ ФОЛЬГИРОВАННОГО СТЕКЛОТЕКСТОЛИТА

П.А. Попов, студент каф. ТУ

Научный руководитель М.Е. Комнатнов, доцент каф. ТУ, к.т.н.

г. Томск, ТУСУР, popov.pav.and@gmail.com

Выполнена разработка ТЕМ-камеры открытого исполнения из фольгированного стеклотекстолита. Измеренные частотные зависимости КСВН ТЕМ-камеры не превышают значения 1,3 в диапазоне частот до 867 МГц. ТЕМ-камера позволяет выполнять испытания радиоэлектронных средств с габаритами, не превышающими 184×162×30 мм.

Ключевые слова: ТЕМ-камера, помехоэмиссия, помехоустойчивость, фольгированный стеклотекстолит.

Одним из важных этапов при разработке любого радиоэлектронного средства (РЭС) является тестирование устройства на соответствие требованиям по обеспечению электромагнитной совместимости. Для измерения помехоэмиссии и оценки помехоустойчивости РЭС в соответствии со стандартом [1, 2] применяется ТЕМ-камера. Конструктивное исполнение ТЕМ-камеры может отличаться в зависимости от конкретных задач, размера испытуемого объекта и рабочего диапазона частот [3–5]. Она может быть выполнена в открытом и закрытом исполнении, с симметричным или асимметричным расположением центрального проводника. Как правило, для изготовления ТЕМ-камеры используется листовой металл. Текущий способ изготовления характеризуется высокой стоимостью, сложностью и значительным весом ТЕМ-камеры. По этой причине разработка ТЕМ-камеры открытого исполнения из фольгированного стеклотекстолита является актуальной задачей. Цель работы – выполнить разработку ТЕМ-камеры открытого исполнения из фольгированного стеклотекстолита.

ТЕМ-камера представляет собой коаксиальную линию передачи с воздушным заполнением, состоящую из трех частей: регулярной части, где поле однородно, и двух сужающихся переходов, необходимых для подключения СВЧ-соединителей (рис. 1). Оценка восприимчивости ИО к помехам осуществляется при подключении генератора на вход ТЕМ-камеры и подаче сигнала с заданными характеристиками, а к ее выходу подключается согласованная нагрузка. ИО размещается между центральным проводником и корпусом ТЕМ-камеры, где формируется однородное электромагнитное поле. Тем временем фиксируется уровень напряженности электрического поля, при котором

ИО перестает функционировать с заданным качеством. При измерении помехоэмиссий от ИО ко входу ТЕМ-камеры подключается измерительный приемник. В этом случае фиксируется уровень наведенных токов на центральный проводник.

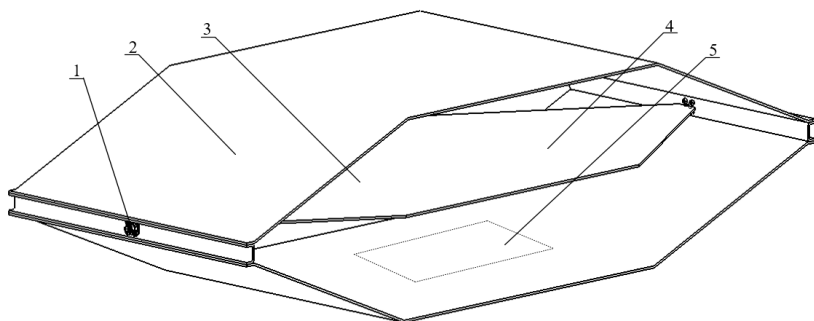


Рис. 1. Общий вид ТЕМ-камеры открытого исполнения:
1 – СВЧ-соединители; 2 – сужающиеся переходы; 3 – корпус;
4 – центральный проводник, 5 – место под ИО

На рис. 2 представлено поперечное и продольное сечение ТЕМ-камеры открытого исполнения. Геометрические параметры ТЕМ-камеры определяются максимальным размером ИО, рабочим диапазоном частот и ее волновым сопротивлением. Регулярная часть и сужающиеся переходы проектируются таким образом, чтобы волновое сопротивление ТЕМ-камеры составляло 50 Ом. Выполнение данного требования необходимо для минимизации коэффициента стоячей волны по напряжению (КСВН). Рабочий диапазон частот ТЕМ-камеры зависит от ее геометрических параметров. Увеличение габаритов ТЕМ-камеры способствует снижению рабочего диапазона частот.

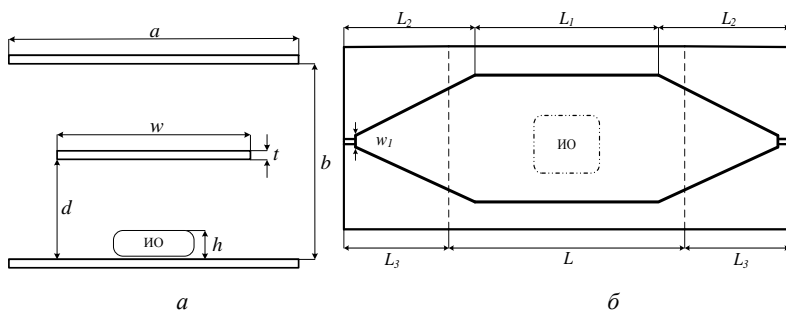


Рис. 2. Поперечное (а) и продольное (б) сечение
ТЕМ-камеры открытого исполнения

На основании того, что в рабочей области ТЕМ-камеры должен размещаться ИО размером не менее $180 \times 150 \times 30$ мм, разработка ТЕМ-камеры выполнялась со следующими геометрическими параметрами: $L = 330$ мм, $L_1 = 308$ мм, $L_3 = 201,5$ мм, $a = 290$ мм, $w = 270$ мм, $b = 183,5$ мм, $d = 91$ мм.

Для изготовления ТЕМ-камеры использованы шесть листов двухстороннего фольгированного стеклотекстолита размером 350×450 мм. Толщина стеклотекстолита и фольги составляет 1,5 мм и 18 мкм соответственно. На станке с числовым программным управлением (ЧПУ) выполнена фрезеровка листов фольгированного стеклотекстолита на составные части ТЕМ-камеры. Соединение составных частей ТЕМ-камеры выполнено с помощью эпоксидного клея. Соединение между токопроводящими поверхностями выполнено с помощью медной ленты с последующей пайкой по всей длине соединения. На рис. 3 представлены ТЕМ-камера в сборе и измерение ее S -параметров с помощью векторного анализатора цепей Р4М-18.

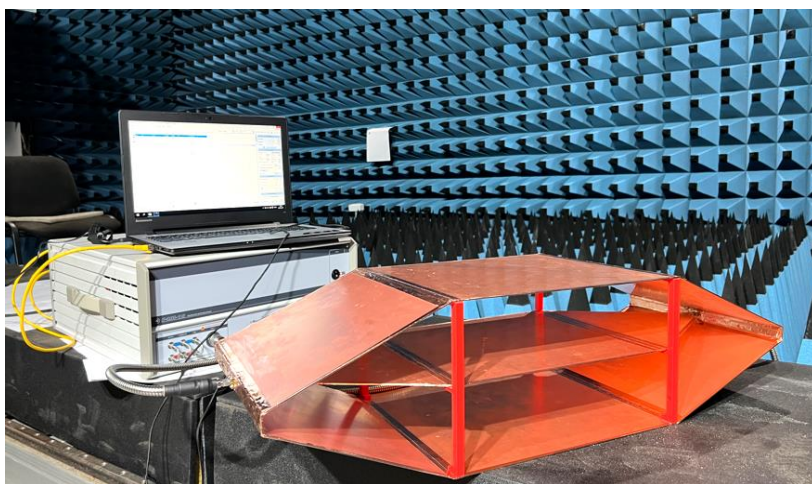


Рис. 3. Измерение S -параметров ТЕМ-камеры из фольгированного стеклотекстолита

Повторяемость результатов измерений обеспечивается при минимальном значении КСВН, в соответствии со стандартом [1], он не должен превышать значения 1,3. На рис. 4 представлен график частотных зависимостей КСВН ТЕМ-камеры из фольгированного стеклотекстолита. Из графика видно, что КСВН не превышает значения 1,3 в диапазоне частот от постоянного тока до 867 МГц.

Таким образом, выполнена разработка ТЕМ-камеры открытого исполнения из фольгированного стеклотекстолита. ТЕМ-камера позволяет выполнять измерение помехоэмиссии и оценку помехоустойчивости РЭС с габаритами до $184 \times 162 \times 30$ мм в диапазоне частот до 867 МГц.

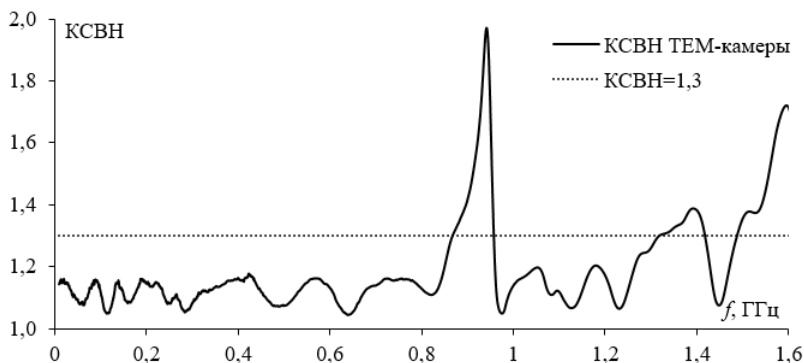


Рис. 4. КСВН ТЕМ-камеры из фольгированного стеклотекстолита

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ IEC 61000-4-20-2014. Электромагнитная совместимость. – Ч. 4-20: Методы испытаний и измерений. Испытание на помехоэмиссию и помехоустойчивость в ТЕМ-волноводах. – ФГБУ «РСТ», 2021. – 72 с.
2. IEC 61967-2. Integrated circuits – Measurement of electromagnetic emissions, 150 kHz to 1 GHz. – Part 2: Measurement of radiated emissions, TEM cell and wideband TEM cell method. – 2005.
3. Satav S.M. Do-it-yourself fabrication of an open TEM cell for EMC pre-compliance // IEEE EMC Society Newsletter. – 2008. – Vol. 218. – PP. 66–71.
4. Попов П.А. Обзор ТЕМ-камер открытого исполнения / П.А. Попов, М.В. Храмцов // Электронные средства и системы управления: матер. докл. междунар. науч.-практ. конф. – 2022. – № 1-1. – С. 272–274.
5. Peng Z. Analysis of the field distribution in ATEM cell using the three dimensional FDTD-method / Z Peng, Z Xiaoping, W. Rong // 1999 International Conference on Computational Electromagnetics and its Applications. Proceedings (ICCEA'99) (IEEE Cat. No. 99EX374). – 1999. – PP. 270–273.

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 628.9.041

ИССЛЕДОВАНИЕ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА ЛЮМИНОФОРОВ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЛЮМИНОФОРНОЙ КОМПОЗИЦИИ

М.В. Андреева, ассистент каф. РЭТЭМ

*Научный руководитель В.И. Туев, зав. каф. РЭТЭМ, д.т.н.
г. Томск, ТУСУР, tvi_retem@main.tusur.ru*

Излагаются результаты исследования гранулометрического состава различных типов люминофоров желтого цвета. Также была измерена интенсивность люминофоров с помощью спектроколориметра. Исследования показали, что чем меньше размер частиц, тем более достоверные характеристики можно получить.

Ключевые слова: светодиодный излучающий элемент, спектроколориметр, гранулометрический состав, интенсивность.

Люминофор – порошок, который способен трансформировать энергию, которую он поглощает, в световое излучение, иначе – люминесцировать. Люминофоры делят по химической природе на неорганические (фосфоры) и органические (органолуминофоры). Светимость неорганических люминофоров (кристаллофосфоров) происходит из-за наличия посторонних катионов, которые содержатся в очень малых количествах (от 0,0003 до 1,5%).

Данные примеси, или иначе активаторы, в большинстве случаев являются ионами переходных металлов. Для примера, люминесценция ZnS активируется с помощью примеси ионов Cu [1].

Целью данной работы является исследование гранулометрического состава выбранных люминофоров, а также его влияние на интенсивность.

Люминофор представляет собой порошок с размером частиц 15–50 мкм. Яркость свечения люминофора зависит от размера частиц. Но

большого размера частицы не везде можно использовать. Для светодиода с кристаллом большого размера будет эффективен люминофор с крупными зернами, а для светодиода с кристаллом малого размера нужен люминофор с зернами размером 3–5 мкм [2, 3].

Для проведения измерений использовался спектроколориметр ТКА-ВД. По конструкции ТКА-ВД состоит из трёх блоков.

1. Блок 01. В данном блоке установлены линза и лазер для измерения яркости светоизлучающих приборов.

2. Блок 02. В блоке установлен люксметр для измерения освещенности светоизлучающих элементов.

3. Пульт для управления блоками с кнопками включения, настройки параметров, яркости дисплея и прерывания процесса измерения (пауза).

Данное устройство позволяет измерять различные спектроколориметрические параметры, такие как коррелированная цветовая температура и координаты цветности. А также измерения таких параметров, как яркость и освещенность. Кроме того, прибор позволяет получать график интенсивности и распределения спектра [4].

Для начала был измерен размер частиц люминофоров желтого цвета. График сравнения размера частиц люминофоров представлен на рис. 1.

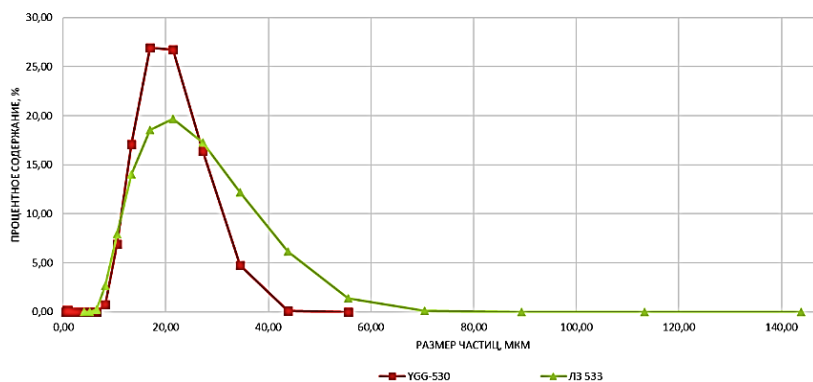


Рис. 1. Размер частиц рассматриваемых люминофоров

Как видно из графика, в люминофоре YGG-530 наибольшее содержание частиц мелкого размера (17–21 мкм – 27%). У люминофора ЛЗ 530, наоборот, виден большой разброс значений по размеру частиц.

Далее была измерена интенсивность данных люминофоров с помощью спектроколориметра. График интенсивности приведен на рис. 2.

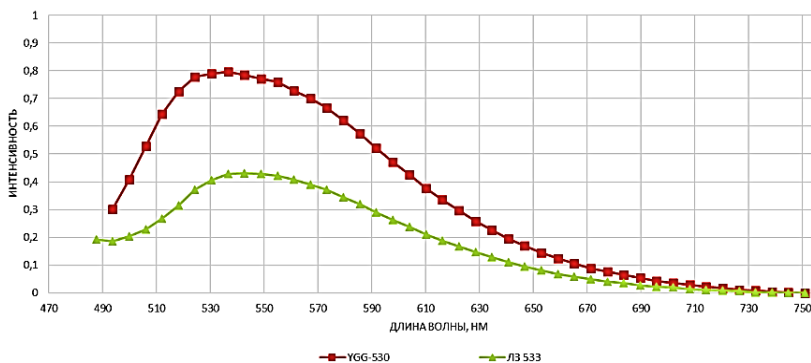


Рис. 2. График интенсивности рассматриваемых люминофоров

Как видно из графиков, наилучшие результаты показал люминофор, который имеет наименьший размер частиц, – YGG-530.

ЛИТЕРАТУРА

1. Жиров Н.Ф. Люминофоры. – М.: Гос. изд-во оборонной пром-ти, 1940. – 480 с.
2. Люминофоры – светящиеся в темноте краски. Немного теории и практики [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://habr.com/ru/post/166125/> (дата обращения: 07.03.2023).
3. Белоножко А.В. Исследование люминофорных покрытий для полупроводниковых источников света с целью повышения их эффективности / А.В. Белоножко, Р.А. Соколова // Наука и практика: проектная деятельность – от идеи до внедрения – 2012: матер. рег. науч.-практ. конф. – Томск, 2012.
4. Спектроколориметр ТКА-ВД [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.tkaspb.ru/shop/kolorimetriya/spektrokolorimetr-tka-vd-2/> (дата обращения: 07.03.2023).

УДК 535.6

АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ АЛЮМОМАГНИЕВОЙ ШПИНЕЛИ С АКТИВАТОРАМИ Eu^{3+} , Ce^{3+} , Er^{3+} , Mn^{2+} В КАЧЕСТВЕ ЛЮМИНОФОРА ДЛЯ СВЕТОДИОДОВ

Н.Д. Чан, аспирант ИШНПТ НИ ТПУ

*Научный руководитель Е.Ф. Полисадова, проф. ОМ ИШНПТ, д.ф.-м.н.
г. Томск, НИ ТПУ, nhandattran94@gmail.com*

Исследована люминесценция образцов алюмомагниевои шпинели, активированной ионами Eu^{3+} , Ce^{3+} , Er^{3+} , Mn^{2+} , синтезированной методом радиационного синтеза. Установлено, что при возбуждении УФ-излучением (277, 310 нм) люминесценции не наблюдается. При

возбуждении «синим» чипом, $\lambda=450$ нм, в образцах с примесью церия, эрбия и европия наблюдается люминесценция в области 550–650 нм со слабоструктурированным спектром. В спектре образца $\text{MgAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{3+}$ присутствует полоса в красной области спектра $\lambda_{\text{max}}=690$ нм, пик свечения на 620 нм. Для образца шпинели, активированного ионами Mn^{2+} , характерна интенсивная полоса свечения $\lambda_{\text{max}}=525$ нм. Показана возможность использования шпинели с активаторами Eu^{3+} , Mn^{2+} в качестве люминофора для получения свечения в зеленой и красной областях спектра.

Ключевые слова: алюмомагниева шпинель, светодиод, люминесценция.

В широко используемых в настоящее время светодиодах (СД) белого света формирование светового потока происходит на основе сочетания синего светодиода и желтого люминофора. Источники света с такими СД обладают недостаточным уровнем цветопередачи, что ведет к ограничению использования СД в тех сферах, где предусмотрены жесткие требования по индексу цветопередачи (медицинское освещение, полиграфия, телевидение и др.). В настоящее время активно ведутся исследования люминофоров, излучающих в области «зеленого» и «красного» диапазонов, для создания эффективных светодиодов полного спектра (Full-Visible-Spectrum) [1, 2]. Целью данной работы является анализ спектральных характеристик люминесценции алюмомагниевой шпинели MgAl_2O_4 , активированной различными типами ионов, при использовании для возбуждения «синих» и УФ-чипов для оценки перспектив применения шпинели для преобразования излучения в светодиодах. По литературным данным, MgAl_2O_4 с активаторами является хорошим излучателем в зеленой и красной областях спектра [1], что может быть использовано для создания люминофора для СД.

Для исследований использовались образцы шпинели, полученной методом радиационного синтеза [3]. Синтез осуществлялся из промышленных порошков MgO и Al_2O_3 в стехиометрическом соотношении при воздействии потока электронов с энергией 1,4 МэВ и плотностью мощности 18–25 кВт/см², на ускорителе ЭЛВ-6 в ИЯФ им. Г.И. Будкера СО РАН. Активаторы вводились в виде оксидов в количестве: CeO_2 – 1 вес.%; Er_2O_3 – 1 вес.%; Eu_2O_3 – 0,5 вес.%; MnO_2 – 0,5 вес.%. Образцы синтезируются в виде поликристаллов различной формы. Возбуждение осуществлялось полупроводниковыми чипами с длиной волны излучения 450, 310 и 277 нм. Для регистрации спектра свечения использовались высокочувствительные оптоволоконные спектрофотометры AvaSpec-2048 и AvaSpec-3648. Время интегрирования сигнала составляло 1 мс.

Результаты исследований следующие. При возбуждении образцов шпинели со всеми видами активаторов излучением УФ-диапазона с длиной волны 310 и 277 нм люминесценция не была зарегистрирована. При использовании «синего» чипа для возбуждения в образцах шпинели со всеми типами ионов-активаторов наблюдается люминесценция (рис. 1).

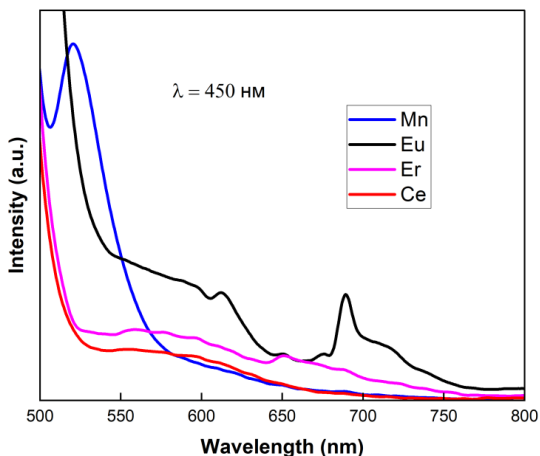


Рис. 1. Спектр люминесценции алюмомагниевого шпинели MgAl_2O_4 , активированной ионами Eu^{3+} , Ce^{3+} , Er^{3+} , Mn^{2+} , при возбуждении излучением светодиода с $\lambda=450$ нм

Было установлено, что в образцах с примесями церия, эрбия наблюдается сплошной слабоструктурированный спектр свечения во всем видимом диапазоне. В спектре образца, активированного европием, зарегистрированы полоса с максимумом области 690 нм и пик свечения на 620 нм. Данные полосы, получены вероятно, излучательными переходами в ионе Eu^{3+} , $5\text{D}_0 \rightarrow 7\text{F}_4$ (620 нм) и $5\text{D}_0 \rightarrow 7\text{F}_4$ (690 нм) [4]. В спектрах свечения образцов шпинели, активированной ионами марганца, была обнаружена интенсивная полоса свечения на 525 нм, интенсивность свечения в области спектра 580–800 нм очень слабая (см. рис. 1). Данное свечение обусловлено люминесценцией ионов Mn^{2+} , замещающих ионы Mg^{2+} в тетраэдрических узлах решетки шпинели, и возникает благодаря запрещенному по спину переходу $4\text{T}_1 \rightarrow 6\text{A}_1$.

Полученные результаты позволяют сделать следующие выводы:

- Возбуждение шпинели MgAl_2O_4 , активированной ионами Eu^{3+} , Ce^{3+} , Er^{3+} , Mn^{2+} УФ-излучением, не эффективно.
- При возбуждении светом с $\lambda=450$ нм в образцах шпинели со всеми типами активаторов возбуждается фотолюминесценция.

– В спектрах образцов шпинели, активированной Eu^{3+} и Mn^{2+} , наблюдаются интенсивные полосы свечения в «красной» и «зеленой» областях спектра. Алюмомагнетитовая шпинель с данными типами активаторов может рассматриваться как перспективный материал в качестве люминофора для светодиодов.

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

ЛИТЕРАТУРА

1. Mn, Cr-co-doped MgAl_2O_4 phosphors for white LEDs / Q. Sai, Ch. Xia, H. Rao, X. Xu, G. Zhou, P. Xu // Journal of Luminescence. – 2011. – Vol. 131, Iss. 11. – PP. 2359–2364.
2. Novel Cyan-Green-Emitting Bi^{3+} -Doped BaScO_2F , R⁺ (R = Na, K, Rb) Perovskite Used for Achieving Full-Visible-Spectrum LED Lighting / M. Cai, T. Lang, T. Han, D. Valiev, Sh. Fang, Ch. Guo, Sh. He, L. Peng, Sh. Cao, B. Liu, L. Du, Y. Zhong, E. Polissadova // Inorganic Chemistry. – 2021. – Vol. 60, Iss. 20. – PP. 15519–15528.
3. Чан Н.Д. Синтез и люминесцентные свойства радиационной керамики $\text{MgAl}_2\text{O}_4\text{:Eu}$ / Н.Д. Чан, Е.Ф. Полисадова, В.М. Лисицын // Енисейская фотоника – 2022: Всерос. науч. конф. с междунар. участием. Тезисы докладов. 19–24 сентября 2022 г., Красноярск. – Т. 1. – Изд-во ИФ СО РАН, 2022. – С. 35–36.
4. Стеблевская Н.И. Синтез и люминесцентные свойства фосфатов европия (III, II) / Н.И. Стеблевская, М.В. Белобелеская, А.Ю. Устинов, М.А. Медков // Журнал неорганической химии. – 2019. – Т. 64, № 2. – С. 146–152.

УДК 628.9

ОТВОД ТЕПЛА ОТ СВЕТОДИОДНОГО МОДУЛЯ ПРОМЫШЛЕННОГО СВЕТИЛЬНИКА

*Р.Г. Герасимов, М.А. Афанасьев, М.Х. Фам, студенты;
В.С. Солдаткин, доцент каф. РЭТЭМ, к.т.н.
г. Томск, ТУСУР, каф. РЭТЭМ*

Излагаются результаты анализа способов отвода тепла от светодиодного модуля в промышленном светильнике. Особенностью светодиодных светильников промышленных является высокое значение светового потока. Для его обеспечения применяются светодиодные модули большой мощности. Как известно, повышенная температура снижает срок службы и световую отдачу светодиода, именно по этой причине выбор способа отвода тепла от светодиодного модуля промышленного светильника для обеспечения тепловых режимов в процессе эксплуатации является актуальной задачей.

Ключевые слова: светодиодный модуль, промышленный светильник, отвод тепла, срок службы, тепловое сопротивление.

По данным [1], в Российской Федерации в 2019 г. ёмкость рынка светодиодных светильников промышленных составили 6 758,8 тыс. шт. на 10 576,0 млн. руб. Особенностью светодиодных светильников промышленных является высокая мощность для обеспечения светового потока с малой площади источника света. При этом важнейшей задачей при конструировании таких светильников является обеспечение эффективного отвода тепла от светодиодного модуля для повышения срока службы и сохранения световой отдачи в процессе его эксплуатации [2]. Из теплофизики известно [3], что передача теплоты может осуществляется тремя способами и их комбинациями: передача теплоты от более нагретого элемента к менее нагретому (теплопроводность), передача теплоты струями жидкости или газа (конвекция) и передача теплоты электромагнитными волнами (излучение). В микроэлектронике отвод тепла осуществляется преимущественно при помощи конвекции и теплопроводности. Конвекция бывает естественная и искусственная. Естественная конвекция происходит при передаче теплоты от нагретого элемента в воздух (жидкость или газовое пространство), искусственная конвекция – это принудительное охлаждение элемента, например, с помощью вентилятора [4].

Известны светодиодные светильники промышленные [5, 6], которые состоят из радиатора цилиндрической формы с ребристой поверхностью, в верхней части которого установлен корпус с блоком питания, а в нижней части в центре радиатора установлен светодиодный модуль – светодиодная матрица (COB). В нижней части радиатора закреплён рефлектор в форме усечённого конуса. Отвод тепла от светодиодного модуля осуществляется через радиатор. Недостатками данного технического решения является отсутствие защиты оптической части от воздействия пыли и влаги и наличие рёбер на поверхности радиатора, на которых в процессе эксплуатации будет оседать производственная пыль и конденсироваться влага, что приведёт к существенному снижению способности конструкции отводить тепло. Основываясь на вышесказанном, можно сделать вывод, что именно по этим причинам для промышленных светодиодных светильников не используют вентиляторы с целью охлаждения.

Существует промышленный светодиодный светильник [5], который включает в себя: устройство питания, кронштейн, предназначенный для крепления, радиатор в форме усечённого конуса, форма которого удовлетворяет требованиям конструкции, а также отражатель, изготовленный в виде полуцилиндрической поверхности.

В конструкции данного светильника задействован лишь один светодиодный модуль, который закреплен во внутренней части кор-

пуса. На поверхности корпуса светильника имеется пластина, которая изготовлена из светопропускающего материала, эта пластина крепится при помощи двойного силиконового кольца, которое, в свою очередь, обеспечивает герметичность. Отвод тепла осуществляется через весь корпус, выполняющий также функцию рефлектора. Это позволяет защитить светодиодные модули от производственной пыли и конденсации влаги в процессе эксплуатации. Корпус имеет гладкую поверхность, что упрощает техническое обслуживание светильника в процессе эксплуатации. Так как тепло отводится со всей поверхности корпуса-рефлектора, общая площадь отвода тепла превосходит площадь отвода тепла в конструкциях [5, 6].

Заключение. Проанализированы основные конструкции светодиодных светильников промышленных. Установлено, что наиболее эффективный способ отвода тепла осуществляется с помощью корпуса-отражателя. Также такая конструкция повышает защиту от пыли и влаги согласно ГОСТ 14254–2015 – Степени защиты, обеспечиваемые оболочками (Код IP).

ЛИТЕРАТУРА

1. Официальный сайт группы компаний «Лайтинг Бизнес Консалтинг» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.lbconsulting.ru/lighting-market/2019/> (дата обращения: 10.03.2023).
2. Вилисов А.А. Полупроводниковая светотехника: учеб. пособие / А.А. Вилисов, В.С. Солдаткин, В.И. Туев. – Томск: Изд-во ТУСУРа, 2022. – 124 с.
3. Бухмиров В.В. Тепломассообмен: учеб. пособие. – Иваново: ФГБОУВПО «Ивановский гос. энергетический ун-т им. В.И. Ленина», 2014. – 360 с.
4. Шуберт Ф. Светодиоды / пер. с англ.; под ред. А.Э. Юновича. – 2-е изд. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. – 496 с.
5. Официальный сайт «Современное освещение и электроустановочные изделия SMARTBUY» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://smartbuy-electric.ru/product/light/recessed_downlight/svetodiodnyy_svetilniki_tip_hbay/led_lamp_hb-sb-SBL-HB-100W-65K/ (дата обращения: 10.03.2023).
6. Официальный сайт «Электролайт – интернет-магазин электрики» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.elektrolight.ru/svetilniki/svetodiodnye/skladskoe-osveshchenie/svetilnik-promyshlennyy-svetodiodnyy-120-vt-ac85-265v-ip65-6500k-hb8211003120/> (дата обращения: 10.03.2023).
7. 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 АО «Физтех-Энерго».

ОБЗОР КИНЕМАТИКИ ПЯТИКООРДИНАТНОЙ СИСТЕМЫ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ

*Д.А. Жаворонков, К.М. Калачев, А.В. Медведев, В.Д. Микеладзе,
студенты*

*Научный руководитель В.И. Туев, проф. каф. РЭТЭМ, д.т.н.
Проект ГПО РЭТЭМ-1810. Разработка системы автономного
наружного освещения
г. Томск, ТУСУР, zhavoronkov20012001@bk.ru*

Пятикоординатный 3D-принтер – это мало распространённая технология в России, которая имеет высокие перспективы в будущем. В данной статье представлена разработка пятикоординатной системы позиционирования для устройства аэрозольного нанесения.

Ключевые слова: пятикоординатный, 5-осевой принтер, контроллер, 3D-печать, 5-осевая система, кинематика, аэрозольная печать.

Цель представленного проекта заключается в том, чтобы провести анализ и найти наилучшую систему пятикоординатного позиционирования для 3D-принтера.

В настоящей работе поставлена задача исследования пятикоординатных систем позиционирования, применимых в аддитивных технологиях. Проведённый анализ поможет выбрать наиболее подходящий вариант для проектирования оригинальной пятикоординатной системы позиционирования распылительной форсунки, входящей в устройство аэрозольного нанесения проводящих материалов [1].

К 2023 г. объем мирового рынка аддитивных технологий достиг почти \$14 млрд. По прогнозам аналитиков, к 2025 г. глобальный рынок составит \$35 млрд, а к 2031 г. – \$62 млрд. Россия находится на одиннадцатом месте в мировом рейтинге по производству и воплощению данных технологий 3D-печати [2]. Развитие аддитивных технологий является многообещающим направлением, так как координатные системы могут быть использованы в различных областях промышленности, в том числе и аэрозольная печать.

Первый вариант – это система подвижной подложки для 3D-печатной аппаратуры. Такая система позволит печатать изделия в пяти плоскостях. Изготавливаемая деталь печатается на горизонтальном столе, и в последующем в зависимости от формы изделия стол начинает двигаться по двум дополнительным плоскостям, что не может себе позволить обычная трехкоординатная система. При помощи такой конструкции можно изготавливать изделия различных форм.

Также за счёт возможности нанесения перекрестных слоёв прочность повышается в несколько раз [3].

Существующие модели платформ для 3D-печати не обеспечивают должной степени свободы для печатающего элемента, за счет этого ограничены максимальное разрешение и глубина проработки изготавливаемой детали.

На рынке аддитивных технологий с пятикоординатной системой позиционирования компания *Ethereal Machines* является одной из самых доступных, но их цена за оборудование достаточно высока, одно устройство стоит свыше \$30 000, что сужает круг потребителей. На российском рынке данных устройств и компаний не найдено. На рис. 1 приведен пример поворотного стола.

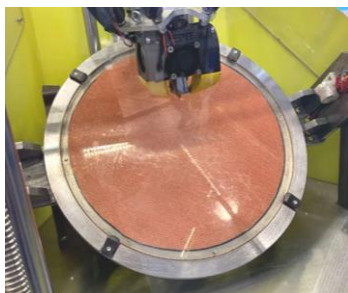


Рис. 1. Пример поворотного стола в 3D-принтере

Вторым вариантом для создания пятикоординатного устройства является механизм поворота печатающей головки. Данная система устроена так, что платформа для печати также движется по одной оси координат, но вот печатающая головка может изменять угол наклона, следовательно, наносить материал под другой плоскостью. На рис. 2 представлено небольшое описание работы такой системы [4].

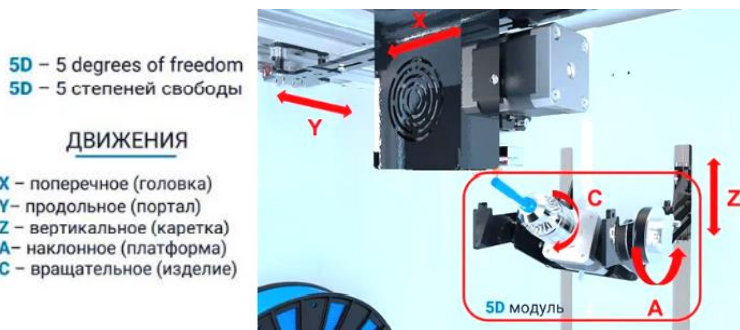


Рис. 2. Поворотная печатающая головка

Для устройства аэрозольного нанесения проводящих материалов была выбрана пятикоординатная система позиционирования в виде подвижной подложки, т.е. был выбран первый вариант.

Так как в системе аэрозольного нанесения распылительную форсунку следует зафиксировать в вертикальном положении, чтобы избежать забивания сопла аэрозолем, лучше использовать поворотный стол. Общая схема системы пятикоординатного позиционирования форсунки представлена на рис. 3.

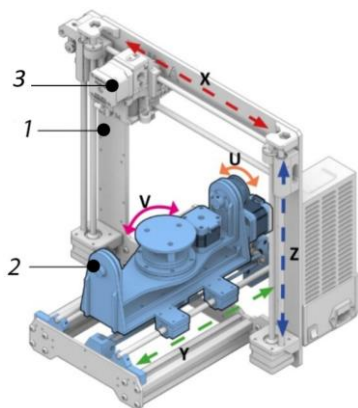


Рис. 3. Общая схема модели системы позиционирования платформы для аэрозольного нанесения и 3D-печати

На представленной схеме изображено следующее: 1 – каркас системы позиционирования, 2 – механизм двухосевого перемещения подложки (стола) для нанесения материала, 3 – крепление для печатающей головки (крепление для распылительной форсунки).

Таким образом, в результате проделанных работ был осуществлен анализ пятикоординатных систем позиционирования и приведено их описание в статье. Поставленные задачи были выполнены, так как утвердился вариант для разработки и проектирования уникальной системы позиционирования распылительной форсунки в пяти координатах для устройства аэрозольного нанесения проводящих материалов. Выбранная система обеспечит рост производительности новой аддитивной технологии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Жаворонков Д.А. Разработка функциональной схемы системы аэрозольного нанесения / Д.А. Жаворонков, А.А. Типсина // Сб. избр. статей научной сессии ТУСУР, 18–20 мая 2022 г.: в 3 ч. – Томск: В-Спектр, 2022. – Ч. 1. – 294 с.

2. Рынок технологий 3D-печати в России и мире: перспективы внедрения аддитивных технологий в производство [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://industry3d.ru/handbook/research-reports-analytics/?id=121>, свободный (дата обращения: 07.03.2023).

3. Подвижная платформа для 3D-печати [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://3dtoday.ru/blogs/mike-vp/open5x-dostupnaya-5-osevaya-3d-pecati-konformnaya-pecat>, свободный (дата обращения: 01.03.2023).

4. Подвижная печатающая головка [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://rec3d.ru/rec-wiki/5d-printery-opisanie-vozmozhnosti-vidy/>, свободный (дата обращения: 01–10.03.2023).

УДК 628.931

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ ДЛЯ ОБЪЕДИНЕНИЯ УЛИЧНОГО ОСВЕЩЕНИЯ В ЕДИНУЮ АВТОМАТИЗИРОВАННУЮ СИСТЕМУ

Ю.И. Стасенко, А.А. Максименко, студенты каф. РЭТЭМ

*Научный руководитель В.С. Солдаткин, доцент каф. РЭТЭМ, к.т.н.
г. Томск, ТУСУР, yura-stas@mail.ru.*

Описана концепция объединения систем уличного освещения в единую автоматизированную сеть на основе парадигмы интернета вещей (далее – IoT). Целью данной автоматизации является снижение уровня энергопотребления и светового загрязнения, а также увеличение эффективности уличных светильников в зависимости от уровня внешней освещённости, погодных условий и загруженности уличного и дорожного трафика.

Ключевые слова: уличное освещение, интернет вещей, светодиодные источники света.

В настоящее время в городах России уличное освещение потребляет в среднем порядка 40% электроэнергии. В 2019 г. доля светодиодных светильников на территории Российской Федерации составила 38,15% [1]. Это связано с тем, что светодиоды, в сравнении с другими искусственными источниками света обладают высокой световой отдачей, высоким сроком службы и высоким индексом цветопередачи [2–4]. Следовательно, уменьшение энергозатраты только в этой области позволит значительно снизить расходы государства на электроэнергию. Сделать это можно как заменив лампы в фонарях на светодиодные источники света (энергопотребление светодиодов в несколько раз меньше иных электрических источников света при прочих равных показателях), так и рационализировав работу источников света.

В настоящее время включение и выключение уличных фонарей регулируется с помощью светочувствительного элемента, а также чтобы уберечь автоматику от ложных срабатываний, по таймеру, который корректируется в зависимости от продолжительности светового дня. Данный подход имеет ряд недостатков, а именно, в данном случае не регулируется яркость источников света в зависимости от уровня внешней освещённости, поэтому электропотребление включённого фонаря всегда максимально, даже в тех случаях, когда достаточно и половины его мощности. Также данный подход совершенно не учитывает загруженность дорог в настоящее время, и фонари работают даже тогда, когда на освещаемом ими участке дороги нет ни одного транспортного средства или же пешехода [5].

Решение данных проблем возможно путём внедрения IoT-технологий. Источники уличного освещения предлагается объединить в единую сеть, реализованную на основе протокола связи ZigBee, что обеспечит возможность централизованного управления по защищённой линии связи. Объединение осуществимо как с помощью проводных, так и с помощью радиоканалов связи [6].

С помощью дорожных камер планируется в режиме реального времени контролировать наличие и уровень трафика на дорогах. Контроль уровня внешней освещённости с помощью фоточувствительных элементов позволит регулировать уровень яркости искусственных источников света. Целью данного подхода является минимизация среднего уровня яркости уличных источников света для снижения энергозатрат и светового загрязнения в городах [7].

Данная система подразумевает наличие некой иерархии управляющего (master) и управляемых (slave) устройств. Master-устройство осуществляет сбор и анализ данных с датчиков и видеокамер, на основе этих данных устройство осуществляет контроль уровня яркости источников света. Данное устройство устанавливается одно на контролируемый участок дороги, на котором оно и осуществляет управление несколькими slave-устройствами.

Slave-устройства оборудованы только диммирующими блоком управления и датчиками, контролирующими непосредственно состояние светильника. Данные устройства являются ведомыми и регулируют свою яркость только согласно уставкам, передаваемым с ведущего устройства, либо оператором в ручном режиме управления.

Описанный выше подход обладает следующими преимуществами:

- возможность локального и централизованного управления одним или группой источников света;

- мониторинг дорожного трафика, а также ряда факторов окружающей среды;
- быстрое выявление неисправности на линии;
- возможность мониторинга и управления с помощью мобильного приложения;
- снижение уровня светового загрязнения.

Заключение. Проведён аналитический обзор применения технологии интернета вещей для объединения светового освещения города в единую систему. Предложен вариант автоматизации для снижения уровня энергопотребления и светового загрязнения, а также увеличения эффективности уличных светильников в зависимости от уровня внешней освещённости, погодных условий и загруженности уличного и дорожного трафика.

ЛИТЕРАТУРА

1. Официальный сайт группы компаний «Лайтинг Бизнес Консалтинг» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.lbconsulting.ru/lighting-market/2020/dolya-svetodiodnykh-svetilnikov-uvlechilas-do-38-v-segmente-ulichno-dorozhnogo-osveshcheniya/> (дата обращения: 12.03.2023).
2. Шуберт Ф. Светодиоды / пер. с англ.; под ред. А.Э. Юновича. – 2-е изд. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. – 496 с.
3. Вилисов А.А. Светодиоды и светотехнические устройства: учеб. пособие / А.А. Вилисов, В.С. Солдаткин, В.И. Туев. – Томск: Изд-во ТУСУРа, 2020. – 112 с.
4. Солдаткин В.С. Обзор современных светодиодов: для общего освещения, для садоводческого освещения, УФ-диоды для дезинфекции // Электронные средства и системы управления: матер. докл. междунар. науч.-практ. конф. – Томск: В-Спектр, 2022. – Ч. 1. – С. 239–241.
5. Водовозов А.М. Интеллектуальная система уличного освещения на основе парадигмы интернета вещей / А.М. Водовозов, А.В. Бурцев // Вестник Череповецкого гос. ун-та. – 2021.
6. Стасенко Ю.И. Интернет вещей как способ управления светодиодными источниками света / Ю.И. Стасенко, А.А. Максименко, Д.Б. Тудупова // Матер. докладов научной сессии ТУСУР, Томск, 18–20 мая 2022 г.: в 3 ч. – Томск: В-Спектр, 2022. – Ч. 1. – С. 278–280.
7. Марончук И.И. Система интеллектуального светодиодного освещения / И.И. Марончук, И.Б. Широков, А.А. Вельченко, В.И. Мирончук // Энергетика. Изв. высш. учеб. завед. и энергетических объединений СНГ. – 2018.

**ИССЛЕДОВАНИЕ СВЕТОТЕХНИЧЕСКИХ,
КОЛОРИМЕТРИЧЕСКИХ И ТЕПЛОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК
МАКЕТА СВЕТОДИОДНОГО СВЕТИЛЬНИКА
С ИК-ОБОГРЕВАТЕЛЕМ**

Е.В. Шнайдер, Ю.С. Цуриков, В.Д. Войцеховский, студенты
Научный руководитель В.С. Солдаткин, доцент каф. РЭТЭМ
Проект ГПО РЭТЭМ-2001. Антибактериальный полупроводниковый
источник излучения
г. Томск, ТУСУР, каф. РЭТЭМ, soldatkinvs@main.tusur.ru

Светодиодный светильник с инфракрасным обогревателем, совмещенный в одном устройстве, позволяет регулировать микроклимат и освещенность на рабочем месте, создавая комфортные условия труда, а также может соответствовать циркадным ритмам человека. Циркадные ритмы очень важны для поддержания работоспособности человека. Благодаря такому устройству можно поддерживать свое самочувствие даже на рабочем месте.

Ключевые слова: светодиодный светильник, инфракрасный обогреватель, рабочее место, циркадные ритмы, освещенность, микроклимат.

Проблема освещения и обогрева рабочего места и пространства является очень актуальной, особенно на территории РФ. Современные люди проводят много времени за рабочим столом, на работе или в закрытом помещении. Отсутствие на рабочем месте качественного освещения и необходимого обогрева снижает работоспособность человека, ухудшает самочувствие, а также негативно влияет на здоровье. Для того чтобы поддерживать свое состояние, нужно соблюдать нормы СанПиН 2.2.4.548–96: влажность, температуру и освещенность [1–3].

Таким образом, целью работы является исследование влияния светодиодного устройства, совмещенного с инфракрасным обогревателем, на параметры микроклимата и освещенности на рабочем месте. Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи: провести аналитический обзор современной научно-технической и нормативной литературы; провести измерения светотехнических, колориметрических и тепловых характеристик макета светодиодного светильника с ИК-обогревателем.

Данное устройство позволяет регулировать температуру воздуха благодаря инфракрасному обогревателю и светодиодным модулям [5–7].

Правильный уровень освещения очень важен для здоровья человека, при несоблюдении необходимого уровня возникают риски

нарушения зрения, а также циркадных ритмов. Рабочее место должно освещаться цветовой температурой, максимально приближенной к цвету естественного освещения примерно от 2200 до 6000 К. Светодиодные светильники считаются лучшим выбором для освещения помещений, так как светодиоды белого сечения обладают рядом преимуществ в сравнении с другими источниками света, обеспечивая визуальный комфорт, не вызывая чрезмерное зрительное напряжение.

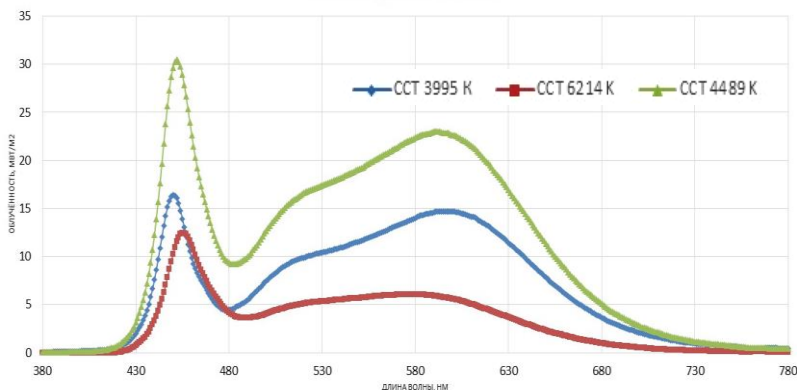


Рис. 1. График спектра излучения светодиодного светильника

Основные светотехнические и колориметрические показатели светодиодного светильника

Коррелированная цветовая температура, К	Освещённость, лк	x	y	Индекс цветопередачи
3995	848,519	0,380	0,375	85,044
6214	387,988	0,317	0,331	84,246
4489	1373,902	0,360	0,361	85,301

Исходя из норм СанПиН 2.2.4.548–96 температура рабочего помещения должна быть в среднем 22–24 °С тепла в зимнее время и 23–25 °С тепла в летнее время года [3]. Для поддержания необходимого уровня температуры был выбран инфракрасный обогреватель, который подходит по всем параметрам.

Был проведен эксперимент, в котором выяснилась температура рабочего места и предметов на этом месте. В ходе эксперимента стало понятно, как изменялась температура рабочего места во время работы устройства. Начальная температура помещения была 23 °С, спустя 5 мин работы ИК-обогревателя его температура стала 175 °С, а температура помещения стала 25 °С. Спустя еще 10 мин температура инфракрасного обогревателя стала 225 °С, а температура помещения достигла отметки 26,5 °С. Через 15 мин эксперимента температура

инфракрасного обогревателя стала превышать 275 °С, поэтому было принято решение прекратить эксперимент.

Вывод. Проведен аналитический обзор современной научно-технической и нормативной литературы, проведены измерения светотехнических, колориметрических и тепловых характеристик макета светодиодного светильника с ИК-обогревателем. Установлено, что макет имеет правильно подобранные светодиоды по колориметрическим и светотехническим характеристикам и соответствуют нормам СанПиНа [3]. Так же подобран инфракрасный обогреватель, который соответствует нормам СанПиНа [3].

После 15 мин работы устройства температура начала превышать среднюю норму согласно СанПиНу. Поэтому в данном устройстве необходимо иметь пульт управления, а также приложение для отслеживания уровня температуры и освещенности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Значение и роль биоритмов в повышении эффективности учебно-тренировочного процесса студентов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/znachenie-i-rol-bioritmov-v-povysheniieffektivnosti-uchebno-trenirovchnogo-protssessa-studentov>, свободный (дата обращения: 07.03.2023).

2. Влияние биоритмов как законов жизнедеятельности на работоспособность человека [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-bioritmov-kak-zakonov-zhiznedeyatelnostina-rabotosposobnost-cheloveka>, свободный (дата обращения: 07.03.2023).

3. СанПиН 2.2.4.548–96. Физические факторы производственной среды. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/901704046>, свободный (дата обращения: 07.03.2023).

4. Инфракрасные обогреватели как передовой способ обогрева помещений [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/infrakrasnye-obogrevateli-kak-peredovoy-sposobobogreva-pomescheniy>, свободный (дата обращения: 07.03.2023).

5. Шнайдер Е.В. Светодиодные светильники с ИК-обогревателем // Сб. избр. статей XXVII научной сессии ТУСУР, Томск, 18–20 мая 2022 г.: в 3 ч. – Томск: В-Спектр, 2022. – Ч. 1. – С. 275–277.

6. Шнайдер Е.В. Создание схемы управления светодиодным светильником с ИК-обогревателем / Е.В. Шнайдер, Р.Г. Герасимов, М.Х. Фам, Л.Ш. Юлдашова // Электронные средства и системы управления: матер. докладов XVIII Междунар. науч.-практ. конф. (16–18 ноября 2022 г.): в 2 ч. – Ч. 1. – Томск: В-Спектр, 2022. – С. 242–243.

7. Солдаткин В.С. Обзор современных светодиодов: для общего освещения, для садоводческого освещения, УФ-диоды для дезинфекции // Электронные средства и системы управления: матер. докладов XVIII Междунар. науч.-практ. конф. (16–18 ноября 2022 г.): в 2 ч. – Ч. 1. – Томск: В-Спектр, 2022. – № 1. – С. 239–241.

**ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ЭКСПЛУАТАЦИИ
НА СВЕТОТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ
СВЕТОДИОДНОЙ МАТРИЦЫ**

ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННОГО СВЕТИЛЬНИКА

Р.Г. Герасимов, М.А. Афанасьев, Е.И. Нижневич, студенты;

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

г. Томск, ТУСУР, каф. РЭТЭМ

Излагаются результаты экспериментальных исследований по изучению влияния температуры эксплуатации светодиодной матрицы в промышленных светильниках для выбора способа их монтажа и материала печатной платы для обеспечения термоэлектрических режимов эксплуатации светотехнического прибора.

Ключевые слова: светодиодная матрица, промышленный светильник, кристалл, срок службы, светодиод.

На данный момент на рынке из множества осветительных приборов на основе мощных светодиодов большое распространение получили светодиодные промышленные светильники, где в качестве светозлучающего элемента используются мощные светодиодные матрицы. Производители мощных матриц заявляют срок жизни от 50 000 до 100 000 ч. Чтобы матрицы отработали заявленное производителями время, только соблюдение определенных технических условий может гарантировать это, важнейшим таким условием является температура на кристаллах светодиодной матрицы, которая не должна превышать допустимое значение.

Целью данной работы является исследование зависимости светотехнических характеристик светодиодной матрицы от температуры.

Задачи данной работы – провести эксперимент путем замера цветовых характеристик при изменении рабочей температуры светодиодной матрицы; установить зависимости изменения светотехнических характеристик с изменением температуры и сделать вывод.

Перегрев светодиодной матрицы промышленных светильников может сопровождаться выгоранием люминофора, что является весьма заметным, этот дефект можно визуальнo увидеть, так как при этом может измениться цвет свечения, а также вокруг кристаллов можно заметить черную кромку. Помимо вышесказанного, это способствует деградации кристаллов, и, как следствие, снижению светового потока, или, попросту, обрыву проводников, которыми распаяны кристаллы в светодиодной матрице между собой [1–4].

В качестве экспериментальных образцов выбраны светодиодные матрицы фирмы Epistar.

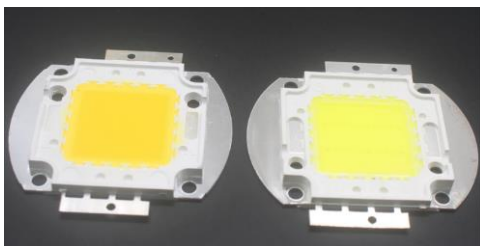


Рис. 1. Светодиодные матрицы Epistar XA 20WWS

При подаче на матрицу напряжения питания величиной 31,5 В при токе в 600 мА матрица включается и температура ее корпуса стремительно возрастает, эксперимент заключается в том, чтобы с ростом рабочей температуры светодиодной матрицы зафиксировать такие характеристики, как спектр излучения, освещенность, напряжение, и установить зависимости этих величин с изменением температуры.

При проведении измерения зависимости напряжения от температуры было установлено, что по мере возрастания температуры при неизменном значении протекающего тока величиной 600 мА прямое напряжение на светодиодной матрице снизилось с 31,5 до 28,5 В (рис. 2).

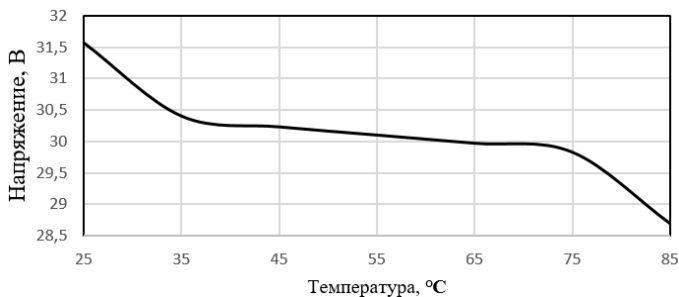


Рис. 2. Зависимость прямого напряжения от температуры при значении прямого тока 600 мА

Далее была исследована зависимость такого параметра, как освещенность от температуры. Освещенность – это параметр, определяющий, сколько светового потока распределено на определенном участке. В ходе проведения исследования данной характеристики вы-

яснилось, что освещенность так же, как и напряжение, с ростом температуры понижается (рис. 3).

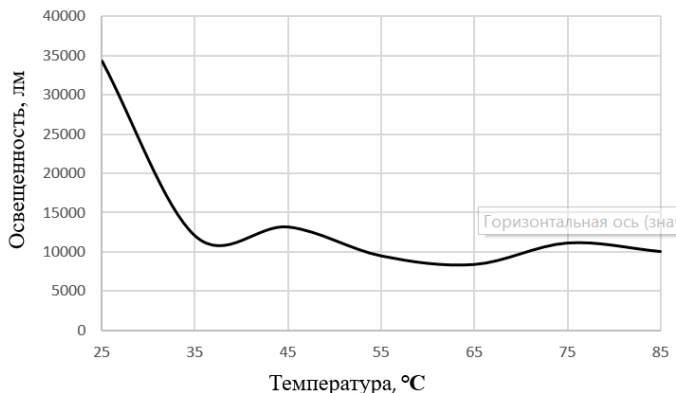


Рис. 3. Зависимость освещенности от температуры

Снижение освещенности при повышении температуры составило 71%.

Следующим этапом является исследование зависимости спектра излучения от температуры (рис. 4).

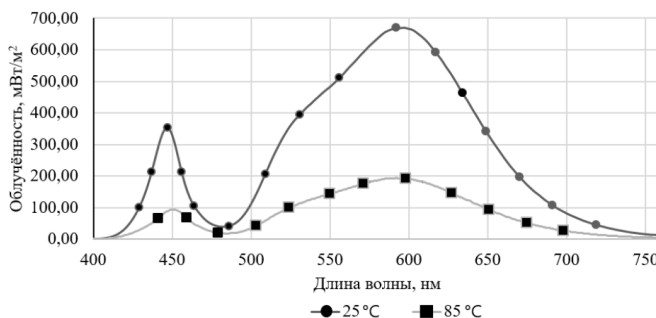


Рис. 4. Зависимость спектра светодиодной матрицы от температуры

Анализируя данные графика, видно, что синяя составляющая кристалла снизилась на 74%, и желто-оранжевая составляющая люминофора снизилась на 72%.

Заключение. В ходе выполнения работы был проведен эксперимент путем замера светотехнических характеристик при изменении рабочей температуры светодиодной матрицы, по результатам которого были построены соответствующие зависимости. Анализируя полу-

ченные данные, был сделан вывод, что снижение освещенности светодиодной матрицы с ростом температуры связано со снижением оптической мощности светодиодного кристалла.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мощные светодиодные матрицы, тепловой режим [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://chip-led27.ru/blog/obzory-tovarov/moshchnye-svetodiodnye-matritsy-teplovoy-rezhim/> (дата обращения: 10.03.2023).
2. Бухмиров В.В. Тепломассообмен: учеб. пособие. – Иваново: ФГБОУВПО «Ивановский гос. энергетический ун-т им. В.И. Ленина», 2014. – 360 с.
3. Вилисов А.А. Полупроводниковая светотехника: учеб. пособие / А.А. Вилисов, В.С. Солдаткин, В.И. Туев. – Томск: Изд-во ТУСУРа, 2022. – 124 с.
4. 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.

УДК 628.9

ВЛИЯНИЕ ОСВЕЩЕНИЯ НА РОСТ ТОМАТОВ ЧЕРРИ

А.О. Лазарева, А.А. Сайнакова, студентки;

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

Научный руководитель Е.Г. Незнамова, доцент каф. РЭТЭМ, к.б.н.

г. Томск, ТУСУР, каф. РЭТЭМ, saynakova2000@mail.ru

Проанализированы результаты применения светильников для выращивания томатов в теплицах, использование светильника Dioga Quadro Agro.

Ключевые слова: томаты, теплицы, светильники, светодиод.

Занимаемые земли в мире под посадку растений могут со временем истощаться, их может не хватать, и главная проблема – это климатические особенности территорий, а именно смена зимы и лета, так как они сказываются скачком температуры воздуха. Поэтому во многих странах нет возможности выращивать культуры круглый год. Для этого были созданы теплицы, поддерживающие микроклимат, приближенный к естественным условиям. Выращивание овощей и фруктов в теплицах – отличный способ непрерывных поставок продуктов. Для эффективного выращивания начали использовать различные светильники. На данный момент в теплицах в основном используют натриевые лампы. Освещение растений в тепличных хозяйствах составляет примерно 50% от всего энергопотребления. Известно, что на

основе светодиодов можно изготавливать высокоэффективные и надёжные облучательные приборы для выращивания растений. Стоит вопрос, можно ли заменить натриевые лампы на светодиодные светильники, так как светодиодные светильники потребляют меньше энергии и являются экономически выгодными для производственных теплиц [1–3].

Целью данной работы является исследование влияние светодиодного освещения на рост томатов. Задачи: проведение обзора научно технической литературы по влиянию света на растения; проведение экспериментальных исследований по влиянию светодиодного освещения на томаты черри.

Для проведения исследований выбраны два типа светодиодных светильников производства АО «Физтех-Энерго» [4]. Экспериментальный образец Diora Unit Agro отличается от светильников тем, что спектральный состав приходится на максимум 665 нм, т.е. светит красным цветом. Световой поток 4786 лм.

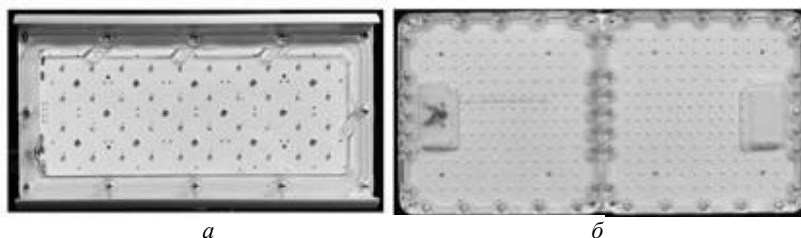


Рис. 1. Светильники: Diora Unit Agro – а; Diora Quadro Agro – б

Diora Quadro Agro предназначены для бытового и промышленного освещения растений в сооружениях защищённого грунта и в многоярусных установках стеллажного типа, отлично справляются с выращиванием зелени и рассады в домашних условиях, промышленном растениеводстве в тепличных комплексах и ситифермах, освещения растений. Позволяют выращивать овощи и цветы круглый год, повышают урожайность в зимний период. Световой поток 4000 лм, 144 светодиода.

Методика эксперимента. Для исследования были выбраны семена вишневидных томатов черри сорта «Балконное чудо». Эксперимент проводился в лаборатории ЛХиТОМ ТУСУРа, куда не поступает естественный свет. Томаты были поставлены под освещение на расстоянии 125 см от источника света. Лабораторные условия микроклимата: относительная влажность 45–80%; температура воздуха 25 ± 3 °C, атмосферное давление (630–800) мм рт. ст. Параметры окружающей

среды контролировались с помощью термогигрометра ТКА-ПКМ [5]. Фотосинтетическая облучённость контролировалась с помощью спектрометра UPRtek [6]. Режим работы светильников 12 ч / день, 12 ч / ночь. Размеры листьев, томатов и стеблей контролировались с помощью штангенциркуля [7].



Рис. 2. Выращивание томатов под светильниками:
а – Diora Quadro Agro, б – Diora Unit Agro

Экспериментальная часть. Характеристики роста томатов в период проведения эксперимента представлены на рис. 3.

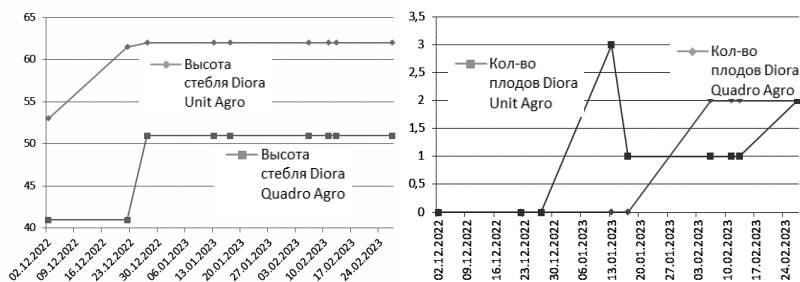


Рис. 3. График зависимостей роста и количества плодов

Наилучший результат показал светильник Diora Unit Agro для освещения растений. В процессе эксперимента растение выросло, образовалась разветвленная листовая структура, появление новых завязей и цветов было активно.

Заключение. В результате данной работы для томатов черри сорта «Балконное чудо» освещение оказалось эффективным, так как в зимний период растениям не хватало освещения, и они начали гибнуть. Светодиодное освещение способствует положительному восстановлению и укреплению растения. Морфометрически это выражается в увеличении количества листьев, в образовании завязей и плодов.

Результаты эксперимента показали, что количество томатов, выращенных под светодиодным светильником Diora Unit Agro, немного больше, чем под Diora Quadro Agro.

ЛИТЕРАТУРА

1. Полторацкий Д.А. Светодиодный светильник для овощеводства в промышленных тепличных хозяйствах / Д.А. Полторацкий, Д.В. Былков, А.В. Ильчук // Сборник избранных статей научной сессии ТУСУР. – Томск: В-Спектр, 2022. – Ч. 1. – С. 270–275.
2. Солдаткин В.С. Обзор современных светодиодов: для общего освещения, для садоводческого освещения, УФ-диоды для дезинфекции // Электронные средства и системы управления: матер. докл. междунар. науч.-практ. конф. – 2022. – Ч. 1. – С. 239–241.
3. Лазарева А.О. Использование светодиодного светильника в качестве подсветки растений для земляного шмеля в сельскохозяйственных целях / А.О. Лазарева, Н.С. Дикова, Е.Р. Курылова, А.А. Сайнакова // Электронные средства и системы управления: матер. докл. междунар. науч.-практ. конф. – Томск: В-Спектр, 2022. – Ч. 1. – С. 244–246.
4. Официальный сайт АО «Физтех-Энерго» [Электронный ресурс]. – URL: <https://diora.pro/> (дата обращения: 13.03.2023).
5. Официальный сайт «Научно-техническое предприятие «ТКА»» [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.tkaspb.ru/shop/mikroklimat/termogigrometr-tka-pkm20-s-poverkoi/#:~:text=Термогигрометр%20%20ТКА-ПКМ%20%20это%20электронное,влажности%20воздуха%20и%20его%20температуры> (дата обращения: 13.03.2023).
6. Официальный сайт «United Power Research Technology Corp.» [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.uprtek.com> (дата обращения: 13.03.2023).
7. ГОСТ 166-89. Штангенциркули. Технические условия [Электронный ресурс]. – URL: https://www.ntcexpert.ru/documents/docs/gost_166-89.pdf (дата обращения: 13.03.2023).

УДК 628.166.085

ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ СХЕМА АНТИБАКТЕРИАЛЬНОГО ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО ОБЛУЧАТЕЛЯ

Л.Ш. Юлдашова, магистрант; С.А. Шмидт, студент

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

г. Томск, ТУСУР, каф. РЭТЭМ, ana.shmidt.02@mail.ru

Представлены функциональная схема устройства для дезинфекции воды с помощью УФ-диодов с длиной волны 275 нм, а также описание принципа работы.

Ключевые слова: ультрафиолетовые (УФ) источники излучения, обеззараживание воды, УФ-диоды, исследование влияния УФ-излучения, антибактериальный полупроводниковый источник излучения, дезинфекция, микроорганизмы.

Известно, что четверть населения Земли не имеет доступа к чистой питьевой воде. У 26% жителей планеты на данный момент нет возможности пользоваться безопасными водными ресурсами, свидетельствуют последние данные Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) и Детского фонда ООН (ЮНИСЕФ).

К 2020 г. доступ к чистой питьевой воде получили 74% населения мира, что на 11% больше, чем в 2000 г. Таким образом, с начала XXI в. к числу тех, кто может потреблять чистую воду, дополнительно прибавилось более 2 млрд человек. Стоит отметить, что раньше у этих людей не было такой возможности [1]. Ежегодно более 1 млн человек во всем мире умирает от различных осложнений и форм болезней, основным источником, которых является зараженная питьевая вода. Например, в 2019 г. по этой причине список смертности составил около 1,5 млн человек, в том же 2019 г., отсутствие доступа к воде соответствующей установленным нормам, поспособствовало вспышке холеры в 69 странах [2]. По данным Всемирной организации здравоохранения, риск заболеваний снижается на 50% при организации правильного источника питьевой воды, если данный источник оборудовать системой фильтрации, то риск заболеваний уменьшается еще в половину.

Глобальные климатические изменения, которые происходят в мире, так же влияют на объемы чистой воды. Участвовавшие наводнения и засуха являются следствием глобального экологического кризиса. Люди, проживающие в экономически или политически нестабильных регионах – из трущоб, бедных и удаленных районов, подвергаются различным заболеваниям от грязной питьевой воды чаще, чем жители центральных районов. Там городские системы не справляются с обеспечением жителей питьевой водой. Для решения проблемы экологи призывают разные государства инвестировать в разработку качественных систем водоснабжения.

В данной работе рассматривается функциональная схема устройства, с помощью которой выполняется последующая работа.

Обеззараживание воды – уничтожение различных вирусов и бактерий. За счет ультрафиолетового свечения диодов происходит безопасный процесс обеззараживания воды. Основной задачей обеззараживания воды является уничтожение небезопасных микроорганизмов и вирусов [3].

Одним из способов получения чистой воды является обеззараживание жидкости ультрафиолетовым излучением.

С помощью функциональной схемы описывается работа устройства (рис. 1).

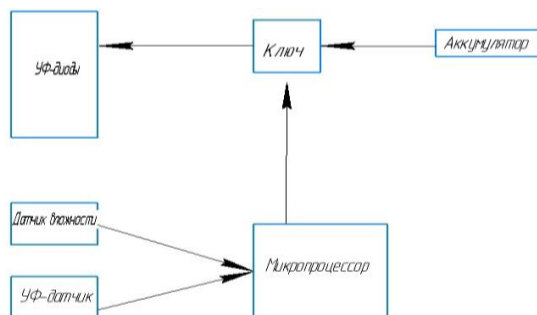


Рис. 1 Функциональная схема устройства

При подключении аккумулятора запускается ключ, включая диоды в работу, тем самым будет происходить обеззараживание воды [4]. Загрязненная вода попадает в рециркулятор, затем сильный поток воды обеззараживается посредством диодов, прикрепленных на стальной корпус с ультрафиолетовым излучением с длиной волн 275 нм, которое имеет способность разрушать молекулы ДНК вирусов, бактерий и грибов, что в итоге приведет к их вымиранию. Выбранный диод может прослужить большое время, очень удобен в использовании [5].

УФ-дезинфекция и очистка питьевой воды происходит по принципу облучения жесткими короткими УФ-волнами спектра. В отличие от хлорирования и угольного очищения УФ-оборудование не требует доочистки [6].

Так как светодиоды используются внутри металлического корпуса, рециркулятор можно также использовать, когда в помещении есть люди [7]. Он совершенно не опасен для детей и взрослых, животных и растений. После включения рециркулятора через некоторое время в нем будут фактически полностью убиты все патогенные микроорганизмы, бактерии.

Для данного метода обеззараживания не требуется отдельного помещения и большого количества времени, а также контроля за процессом, что является очень удобным для людей, кто занят и не может следить определенное время за обеззараживанием воды [8].

Исходя из всей работы, можем заметить, что ультрафиолетовый диод может дезинфицировать воду за небольшое время и очищать от бактерий, процесс работы никак не влияет на здоровье человека, а также на окружающую среду [9, 10].

Заключение. В дальнейшем планируется изготовить 3D-модель, для дезинфекции воды с помощью 3D-принтера и прозрачного пластика, выстроить все конструкции и соединить детали. УФ-облучение

обладает очень широким спектром бактерицидного действия – уничтожает вирусы, споры бацилл, вирусов, а также микроорганизмов, не изменяет органолептические свойства воды.

ЛИТЕРАТУРА

1. Maclean M. Inactivation of bacterial pathogens following exposure to light from a 405-nanometer light-emitting diode array / M. Maclean, S.J. MacGregor, J.G. Anderson, G. Woolsey // *Appl. Environ Microbiol.* – 2009. – Apr. 75(7). – P. 1932-7.
2. Бокарев М.А. Анализ эффективности перспективных технологий обеззараживания воды ультрафиолетовым излучением / М.А. Бокарев, С.М. Кузнецов, В.А. Майдан, И.В. Лихачёв, И.С. Фёдоров, С.Г. Кузьмин, Р.А. Гайсин // *Вестник Российской военно-медицинской академии.* – 2016. – № 4 (56). – С. 210–216.
3. Пат. 2 054 486 С1 РФ, МПК С 12 Q 1/04. Способ идентификации микроорганизмов / В.Г. Петухов (РФ). – № 5061195/13; заявл. 01.09.1992; опубл. 20.02.1996. – 5 с.
4. Кузьмичев А.В. Модульная установка с использованием ИК- и УФ-облучателей / А.В. Кузьмичев, Д.А. Тихомиров // *Вестник ВИЭСХ.* – 2015. – № 3 (20). – С. 38–43.
5. Итоги круглого стола «Ультрафиолетовые источники излучения – новинки, тенденции, перспективы» // Полупроводниковая светотехника. – 2017 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.led-e.ru/events/LF_18_04_17.php, свободный (дата обращения: 02.03.2023).
6. Jeco B.M.F.Y. Technosocial feasibility analysis of solar-powered UV-LED water treatment system in a remote island of Guimaras, Philippines / B.M.F.Y. Jeco, A.C. Larroder, K. Oguma // *Journal of Photonics for Energy.* – 2019. – Vol. 9. – P. 043105.
7. Song K.A.B. Mechanisms investigation on bacterial inactivation through combinations of UV-wavelengths / K.A.B. Song, M.A. Mohseni, F. Taghipour // *Water Research.* – 2019. – Vol. 163, No. 15. – P. 114875.
8. Sholtes K. Pulsed and continuous light UV LED: microbial inactivation, electrical, and time efficiency / K. Sholtes, K.G. Linden // *Water Research.* – 2019. – Vol. 165, No. 15. – P. 114965.
9. Oguma K. Inactivation of health-related microorganisms in water using UV light-emitting diodes / K. Oguma, S. Rattanakul, M. Masaike // *Water Science and Technology: Water Supply.* – 2019 – Vol. 19, No. 5. – PP. 1507–1514.
10. Device for water disinfection by ultraviolet radiation / V. Soldatkin, L. Yuldashova, A. Shardina, A. Shkarupo, T. Mikharchenko // 7th International Congress on Energy Fluxes and Radiation Effects (EFRE 2020), Virtual, Tomsk, Russia, 14–26.09.2020. – Tomsk: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc. – 2020. – PP. 870–873.

КЛАССИФИКАЦИЯ УФ-УСТАНОВОК ДЛЯ ДЕЗИНФЕКЦИИ ВОДЫ

Л.Ш. Юлдашова, Д.С. Сысоева, С.С. Голубева, студентки

Научный руководитель В.С. Солдаткин, доцент каф. РЭТЭМ

*Проект ГПО РЭТЭМ-2001. Антибактериальный полупроводниковый
источник излучения*

г. Томск, ТУСУР, каф. РЭТЭМ, lola.yuldashova2000@gmail.com

Описаны системы обеззараживания воды с помощью УФ-излучения. Представлены основные параметры и технические характеристики УФ-систем.

Ключевые слова: ультрафиолетовые лампы, лампы высокого, среднего и низкого давления, инактивации микроорганизмов.

Для уничтожения бактерий обычно используют УФ-излучение длиной волны УФ-С-диапазона. Этот диапазон УФ-излучения наиболее эффективен для уничтожения бактерий, вирусов, грибов и других микроорганизмов. На рис. 1 представлен ультрафиолет в спектре электромагнитного излучения. Именно поэтому спектр излучения УФ-С нередко называют бактерицидным, поскольку он уничтожает бактерии [1]. Диапазон УФ-излучения в оптическом спектре приведён на рис. 1.

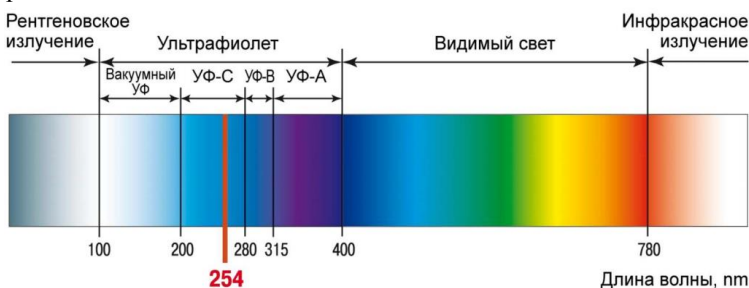


Рис. 1. Диапазон УФ-излучения в оптическом спектре

На сегодняшний день доступен широкий выбор систем, в которых используются установки УФ-обеззараживания воды. Состав таких установок всегда остается неизменным – это облучающие воду ультрафиолетовые лампы в кварцевых чехлах или УФ-диоды.

При выборе установки для ультрафиолетового обеззараживания воды необходимо учитывать следующие факторы:

- Объем воды, который нужно обеззаразить.
- Качество воды, которую нужно обеззараживать.

- Мощность установки и ее размеры.
- Цена и стоимость эксплуатации установки.

Приборы для УФ-очистки обычно состоят из нескольких основных компонентов:

- Специальная пластиковая или стальная камера, которая защищает УФ лампы или диоды от внешних воздействий.
- УФ-лампы или УФ-диоды – источники ультрафиолетового излучения, которые уничтожают бактерии, вирусы и другие микроорганизмы в воде.
- Кварцевый чехол – защитная оболочка, которая окружает УФ-лампы или диоды и предотвращает их загрязнение.
- Корпус фильтра – защищает установку от внешних воздействий и обеспечивает фильтрацию воды перед облучением ультрафиолетом.
- Блок контроля – управляет работой установки и контролирует процесс очистки воды.

В процессе УФ-обеззараживания воды для достижения необходимой дозы облучения жидкость протекает через стальной или пластиковый корпус фильтра, в котором установлен защитный кварцевый резервуар. Некоторые устройства могут быть оснащены пультами дистанционного управления, а также способны отправлять сигналы о возможных неполадках в системе [2–5].

УФ-лампы делят на три типа: высокого, среднего и низкого давления. Для инактивации бактерий ультрафиолетом используются только лампы среднего и низкого давления.

Лампы среднего давления работают от 10 до 20 бар с длинами волн в диапазоне от 250 до 300 нм. Они обладают более широким спектром действия, чем лампы низкого, и способны уничтожать не только бактерии и вирусы, но и грибки, споры и другие микроорганизмы. Кроме того, лампы среднего давления могут удалять органические загрязнения, такие как хлорорганические соединения, которые могут присутствовать в воде. Но лампы среднего давления обладают более высокой стоимостью и потребляют больше энергии, чем лампы низкого давления. Также они требуют более сложной и затратной технологии очистки воды, продлевающей срок службы диодов и препятствующей образованию большого количества загрязнений.

УФ-лампы низкого давления являются наиболее распространенными и доступными для обеззараживания питьевой воды в домашних условиях. Они работают при давлении воды до 10 бар и обладают длиной волны в УФ-С-диапазоне оптического спектра, которая является наиболее эффективной для уничтожения микроорганизмов в воде. Они не требуют химических реагентов или добавок, что делает их

безвредными для употребления в пищу или хозяйственных дел. Кроме того, они не изменяют вкус, запах или цвет воды, что делает ее более приятной для употребления [6, 7].

Однако УФ-лампы низкого давления имеют свои ограничения. Они не удаляют загрязнения, такие как хлор, железо, медь и другие минералы, которые могут присутствовать в воде. Они также не удаляют органические загрязнения, такие как пестициды и гербициды. Поэтому, если вода содержит эти загрязнения, может потребоваться дополнительная система очистки воды.

В целом УФ-лампы низкого давления являются эффективным и доступным методом обеззараживания питьевой воды в домашних условиях и в небольших коммерческих установках. Однако при выборе метода очистки воды необходимо учитывать состав и уровень загрязнения воды, чтобы выбрать наиболее подходящий метод очистки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Микаева С.А. Обеззараживание ультрафиолетовым излучением / С.А. Микаева, А.С. Микаева // Учебный эксперимент в образовании. – 2015. – № 1(73). – С. 82–88.
2. Device for water disinfection by ultraviolet radiation / V. Soldatkin, L. Yuldashova, A. Shardina, A. Shkarupo, T. Mikhachenko // 7th International Congress on Energy Fluxes and Radiation Effects (EFRE 2020), Virtual, Tomsk, Russia, 14–26.09.2020. – Tomsk: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc. – 2020. – PP. 870–873.
3. Sholtes K. Pulsed and continuous light UV LED: microbial inactivation, electrical, and time efficiency / K. Sholtes, K.G. Linden // Water Research. – 2019. – Vol. 165, No. 15. – P. 114965.
4. Ультрафиолетовое обеззараживание воды, УФ-обеззараживание воды, обеззараживание воды ультрафиолетом [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.svarog-uv.ru/uvwater.htm>, свободный (дата обращения: 07.03.2023).
5. Анализ эффективности перспективных технологий обеззараживания воды ультрафиолетовым излучением / М.А. Бокарев, С.М. Кузнецов, В.А. Майдан, И.В. Лихачёв, И.С. Фёдоров, С.Г. Кузьмин, Р.А. Гайсин // Вестник Российской военно-медицинской академии. – 2016. – № 4 (56). – С. 210–216.
6. Ультрафиолетовые установки: давление среднее или низкое [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://xenozone.ru/poleznyie-materialyi/stati/ultrafioletovyye-ustanovki-davlenie-srednee-ili-nizkoe.html>, свободный (дата обращения: 07.03.2023).
7. Ультрафиолетовые бактерицидные лампы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.show-light.ru/novostii-obzory/326-ultrafioletovye-bakteritsidnye-lampy>, свободный (дата обращения: 07.03.2023).

**АВТОМАТИЧЕСКОЕ НАНЕСЕНИЕ ПРОВОДЯЩИХ
МАТЕРИАЛОВ С ПОМОЩЬЮ СИСТЕМЫ
АЭРОЗОЛЬНОГО НАНЕСЕНИЯ**

Д.А. Жаворонков, студент

Научный руководитель В.И. Туев, проф., зав. каф. РЭТЭМ, д.т.н.

*Проект ГПО РЭТЭМ-1810. Разработка системы автономного
наружного освещения*

г. Томск, ТУСУР, zhavoronkov20012001@bk.ru

Технология аэрозольной печати проводящих материалов является альтернативой субтрактивной технологии изготовления печатных плат и дополнительным решением в аддитивном производстве. В данной статье представлена разработка автоматической системы аэрозольного нанесения проводниковых материалов на плоскую поверхность, а также представлены результаты эксперимента с нанесением аэрозоля на поверхность для формирования рисунка, имитирующего проводящие дорожки печатной платы. Данная разработка наглядно показывает перспективность технологии на территории России.

Ключевые слова: аэрозольная струйная печать, принтер, светотехника, аддитивные технологии, распылитель, генератор аэрозоля, автоматические системы, система позиционирования.

В современных технологиях производства печатных плат применяется субтрактивный метод изготовления. Данный метод включает в себя операцию травления медного проводника, следовательно, именно большие расходы проводящих материалов и являются проблемой преобладающего метода. Предлагаемая технология уменьшает число операций при изготовлении печатных плат, а также уменьшает расход проводящих материалов, потому что проводящий рисунок, программно заданный, наносится сразу на поверхность. Уникальная разработка в будущем позволит производить печатные платы сложной формы для применения в различных отраслях, так как именно аэрозольное нанесение сможет нанести токопроводящий рисунок на основание развитой (нестандартной) формы [1, 2].

Стоит отметить, что в данной технологии устройство может печатать платы не только в плоскости, но и в пространстве, таким методом можно проектировать не только дорожки на платах сложной геометрической формы, но и создавать пассивные радиоэлементы на плате, такие как резистор и конденсатор [3, 4].

В настоящей работе поставлена задача разработки, макетирования и проверки автоматической системы позиционирования распылительной форсунки для формирования рисунка с помощью аэрозоля.

Функциональная схема системы аэрозольного нанесения [5] включает в себя автоматическую систему позиционирования распылительной форсунки.

Система позиционирования распылительной форсунки представляет собой устройство, части которого могут двигаться линейно сразу в трех измерениях по осям X , Y и Z . Общая схема устройства показана на рис. 1.

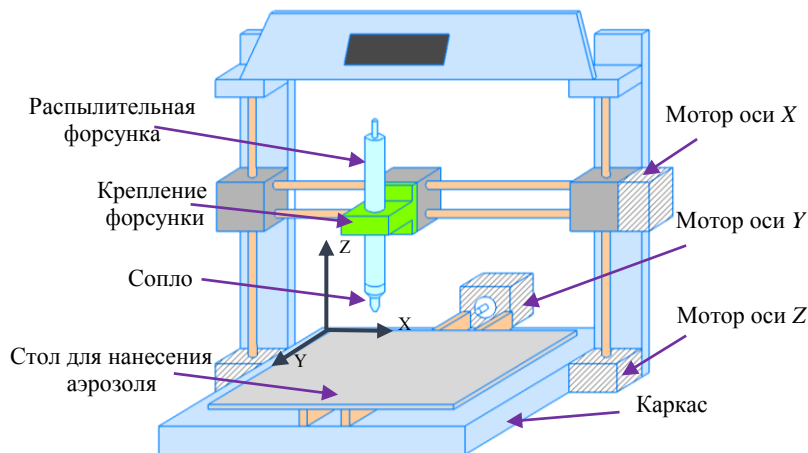


Рис. 1. Общая схема системы позиционирования распылительной форсунки

Система позиционирования контролируется с помощью платы Makerbase MKS GEN v1.4 [6], которая подключается через USB-кабель к персональному компьютеру. К данной плате подключаются все осевые моторы, блок питания на 12 В, дополнительный монитор системы.

Моторы по осям представлены шаговыми двигателями Nema 17 (JK42HS48-1684), габариты которых $42 \times 42 \times 48$ мм и с угловым шагом: $1,8^\circ \pm 5\%$ (1 оборот – 200 шагов), что обеспечивает их высокую точность работы [7].

Для проведения экспериментов распылительная форсунка устанавливается в специальном креплении, к форсунке фиксируется магистральная трубка для подачи аэрозоля из резервуара генератора аэрозоля. Аэрозоль подается под давлением в распылитель и выходит из сопла на поверхность для нанесения рисунка. При подаче аэрозоля в распылительную форсунку система позиционирования перемещает форсунку автоматически над столом для нанесения.

В программе Repetier-Host задаются параметры нанесения аэрозоля, а именно скорость перемещения распылительной форсунки, более того, в данной программе генерируется рисунок, который нужно нанести на поверхность.

С помощью данного макета были проведены эксперименты с нанесением аэрозоля на поверхность. При нанесении рисунка применялась окрашенная дистиллированная вода.

В проведенных опытах изменялись следующие параметры: расстояние сопла от поверхности нанесения и скорость передвижения распылительной форсунки.

На рис. 2 продемонстрированы и обозначены результаты трех экспериментов. В каждом из опытов изменялся один или два параметра.

Параметры нанесения аэрозоля в каждом из экспериментов были следующие: 1 – расстояние от сопла до поверхности нанесения 1 мм, скорость перемещения 25 мм/с; 2 – расстояние от сопла до поверхности нанесения 2,5 мм, скорость перемещения 25 мм/с; 3 – расстояние от сопла до поверхности нанесения 2,5 мм, скорость перемещения 17 мм/с.

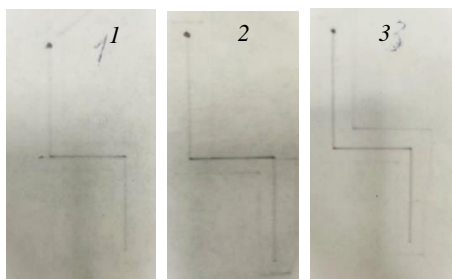


Рис. 2. Результаты экспериментов

По итогу проведенных экспериментов были выявлены параметры оптимальные для нанесения аэрозоля на поверхность в виде рисунка. Диаметр сопла в эксперименте составил 1 мм, скорость нанесения составила 17 мм/с, расстояние от сопла до поверхности нанесения – 2,5 мм, благодаря заданным параметрам в эксперименте № 3 получился наиболее точный рисунок шириной 0,3 мм и длиной 55 мм. Таким образом, в результате проделанной работы разработана и проверена автоматическая система позиционирования распылительной форсунки для формирования рисунка с помощью аэрозоля.

ЛИТЕРАТУРА

1. Aerosol based direct-write micro-additive fabrication method for sub-mm 3D-metal-dielectric structures [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.scopus.com/home.uri>, свободный (дата обращения: 01.02.2023).

2. Технология 3D-печати аэрозольным напылением от Optomec позволяет создавать электронику на микронном уровне [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://3dtoday.ru/blogs/news3dtoday/the-3d-printing-technology-aerosol-spray-from-optomec-allows-you-to-cr/>, свободный (дата обращения: 04.03.2023).
3. Печатающее устройство аэрозольно-струйного типа [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://patenton.ru/patent/SU1791153A1>, свободный (дата обращения: 27.02.2023).
4. Aerosol jet printable metal conductive inks, glass coated metal conductive inks and uv-curable dielectric inks and methods of preparing and printing the same [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://patents.google.com/patent/US20140035995A1/en?q=Optomec&oq=+Optomec>, свободный (дата обращения: 25.02.2023).
5. Жаворонков Д.А. Разработка функциональной схемы системы аэрозольного нанесения / Д.А. Жаворонков, А.А. Типсина // Сб. избр. статей научной сессии ТУСУР, 18–20.05.2022: в 3 ч. – Томск: В-Спектр, 2022. – Ч. 1. – 294 с.
6. Плата Makerbase MKS GEN v1.4 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.roboter-bausatz.de/media/pdf/0b/f0/a7/MKS-Gen-DataSheet.pdf>, свободный (дата обращения: 07.03.2023).
7. Шаговый мотор Nema 17 (JK42HS48-1684) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.electronicoscaldas.com/datasheet/JK42HSxx-Series_Jkong-Motor.pdf, свободный (дата обращения: 07.03.2023).
8. Программа Repetier-Host [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.repetier.com/>, свободный (дата обращения: 07.03.2023).

УДК 639.3

ВЛИЯНИЕ СВЕТА НА ЖИЗНЕННЫЙ ЦИКЛ РЫБ И ИХ РЕАКЦИЯ НА СВЕТ

Е.И. Александрова, В.С. Чернова, студентки;

В.С. Солдаткин, доцент каф. РЭТЭМ

*Проект ГПО РЭТЭМ-2003. Светодиодный светильник
с инфракрасным обогревателем*

г. Томск, ТУСУР, каф. РЭТЭМ, valeria_chernova02@mail.ru

На сегодняшний день существует ряд исследований и разработок для выращивания и ловли рыб. Для выращивания рыб одной из задач является обеспечение их фотопериодизма. Для этого можно использовать светодиодные светильники с изменяющейся цветовой температурой. Именно данные исследования позволят подобрать оптимальные режимы изменения световых и колориметрических характеристик источника света в зависимости от времени суток. На основе данных исследований откроется возможность создания эффективного светодиодного источника света для аквариумных рыб.

Ключевые слова: развитие рыб, светодиодный светильник, спектр света, освещенность.

Свет является одним из факторов, влияющих на рост и развитие рыб. Освещение может играть важную роль в размножении рыб. Некоторые виды рыб могут начинать размножаться только в определенное время года, когда длительность дня и ночи меняется. Кроме того, свет может влиять на процесс сперматогенеза и овогенеза у рыб.

Цвет освещения играет важную роль в поведении рыб. Некоторые виды рыб могут использовать цвет для привлечения партнера во время размножения, а другие виды могут использовать цвет для маскировки или защиты от хищников. Рыбы воспринимают цвета с помощью специальных клеток, называемых конусами, которые расположены в их глазах. У рыб находится большое количество конусов, что позволяет им различать множество цветов. Рыбы воспринимают цвета в диапазоне от ультрафиолетового до красного. Они могут различать оттенки зеленого, синего, красного и желтого цветов, а также их сочетания. Однако рыбы не могут различать цвета так же, как это делают люди. Например, они не могут различать между собой различные оттенки серого цвета. Кроме того, некоторые виды рыб могут иметь особенности в восприятии цвета. Например, карпы и сомы имеют более высокую чувствительность к красному цвету, а золотые рыбки могут видеть ультрафиолетовый свет.

Исследование показывает, что красный свет влияет на пищевые привычки испытуемых рыб, что мотивация кормления была выше в условиях красного света, что приводило к более высокому потреблению корма, эффект, о котором также сообщалось у людей. Эта более высокая скорость поглощения, однако, не была преобразована в более высокий рост, и, таким образом, может наблюдаться некоторый разрушительный эффект красного цвета. Поскольку красный свет стимулировал потребление корма, но рост соответственно не увеличивался, можно сделать два предполагаемых объяснения: пища не усваивалась должным образом или поглощенная пища направлялась на необходимые процессы (например, стресс или плавание) [1].

Увеличение продолжительности светового дня повышает скорость роста большинства видов рыб. Постоянная темнота пагубно влияет на рост молоди рыб. Каждый вид имеет определенный оптимальный диапазон освещенности, в пределах которого функционирование организма улучшается. При таких режимах энергетический баланс молоди рыб смещается в сторону накопления массы, а общие физиологические условия улучшаются. Все виды рыб лучше развиваются при зеленом и синем свете. Красная часть светового спектра оказывает в основном негативное влияние на физиологическое состояние вида. Скорость роста молоди рыб всегда выше при колебаниях световых факторов, чем при оптимальных постоянных значениях освещенности [2].

Дыхание и интенсивность питания практически не зависят от освещенности. В темноте, однако, количество потребляемого кислорода, скорость дыхания и питания были подавлены. Рыба очень быстро реагирует на любое изменение освещения [2].

Изменения в световом цикле предшествуют и следуют за важными физиологическими изменениями в организме и сигнализируют об изменениях в функционировании животных. Многие рыбы имеют циркадный ритм, но в монотонных условиях этот ритм часто исчезает в течение нескольких дней. Искусственный свет может привлекать рыб, чья деятельность зависит от светового дня и чьим основным рецептором является зрение. Положительная реакция на искусственный свет не противоречит экологии вида и является адаптивной. Основным механизмом, с помощью которого искусственный свет привлекает рыб, является адаптация рыбы к возрастающей яркости света по мере приближения к нему. Это предполагает адаптацию зрения как основного рецептора для восприятия света, сложной нейрогуморальной системы организма и высших нейронных функций рыбы [3].

На основе светодиодов можно сконструировать осветительные приборы для привлечения рыб, что может помочь в рыболовном деле [4].

В целом свет играет важную роль в жизненном цикле рыб и их поведении. Изучение реакции рыб на свет может помочь улучшить условия их содержания в аквариумах и в природных условиях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Red Light Stimulates Feeding Motivation in Fish but Does Not Improve Growth [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0059134> (дата обращения: 09.02.2023).
2. Влияние характеристик света на развитие, рост и физиолого-биохимические показатели рыб и амфибий [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=19213212> (дата обращения: 09.02.2023).
3. Гирс И.И. Освещенность и поведение рыб. – М.: Наука, 1981. – 164 с.
4. Светотехническое устройство для привлечения рыб в рыболовном хозяйстве [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=49355842> (дата обращения: 16.03.2023).
5. Does light have an influence on fish growth? [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.researchgate.net/publication/222916746_Does_light_have_an_influence_on_fish_growth (дата обращения: 09.02.2023).
6. Влияние света на рост и развитие рыб / В.А. Власов, Н.И. Маслова, С.В. Пономарёв, Ю.М. Бакнёва [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-sveta-na-rost-i-razvitiye-ryb> (дата обращения: 09.02.2023).
7. Behavioural effects of artificial light on fish species of commercial interest. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0165783604003133> (дата обращения: 09.02.2023).

8. Влияние различной освещенности и фотопериода на рост и развитие тилипии [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=15797229> (дата обращения: 09.02.2023).

9. Fish attracting effects of LED light of different colours [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://hdl.handle.net/2115/72391> (дата обращения: 09.02.2023).

10. Хейдарнеджад М.С. Фатоллахи М., Хашкам М. Влияние освещения различного цветового спектра на рост и реакцию на стресс жемчужного гурами *Trichopodus leerii* в лабораторных условиях // Вопросы ихтиологии. – 2017. – Т. 57, № 6. – С. 736. DOI: 10.7868/S0042875217060054.

УДК 621.382.2

РАЗРАБОТКА СИНЕГО СВЕТОДИОДНОГО КРИСТАЛЛА ПЛАНАРНОЙ КОНСТРУКЦИИ

***Д.И. Засухин, Р.А. Гальченко, О.Н. Минин,
сотрудники АО «НИИПП»***

г. Томск, zdinnocent@yandex.ru

Представлен технологический маршрут изготовления синего светодиодного кристалла планарной конструкции. Проведено сравнение параметров кристаллов с различными вариантами контактов к *p*-слою, а именно, Ni/Au, Ni/Au/ITO и ITO. Получен кристалл размером 550×1000 мкм² с мощностью излучения 101 мВт и напряжением 3,04 В при рабочем токе 120 мА и использовании плёнки ITO в качестве контакта.

Ключевые слова: светодиодный кристалл, GaN, ITO.

В современном мире светодиодные изделия находят огромное применение в различных областях пользования, среди которых большую часть занимает освещение. В основе светодиодных ламп лежит синий светодиодный кристалл на основе GaN. Наиболее простой и дешевой в изготовлении конструкцией такого кристалла является планарная технология, важным этапом которой является формирование прозрачного контакта к *p*-слою GaN [1–3]. В данной работе представлено сравнение светодиодных кристаллов с различным контактом к *p*-слою GaN. Кристаллы изготовлены на основе линейки оборудования АО «НИИПП», г. Томск.

Были изготовлены светодиодные кристаллы размером 550×1000 мкм² с различными вариантами контактов к *p*-слою нитрида галлия. Последовательность изготовления кристалла схематически представлена на рис. 1. В первую очередь было проведено реакционно-ионное травление нитрида галлия на глубину 0,5 мкм для обеспечения доступа к *n*-слою. Далее осуществлялось формирование контакта к *n*-слою, в качестве которого выступала система металлов Ti/Al/Mo/Au (10/100/50/100 нм). В качестве контакта к *p*-слою были использованы

следующие системы: Ni/Au (1/10 нм), Ni/Au/ITO (1/1/200 нм) и ITO (200 нм). Для равномерного растекания тока по всей площади кристалла далее формируются дорожки металлизации на основе Ni/Au (50/400 нм). После проводится пассивация поверхности кристалла слоем диэлектрика SiO₂ толщиной 0,45 мкм. Далее проводится утонение и полировка сапфировой подложки до толщины 150–200 мкм, с последующим формированием отражающего контакта Ni/Ag/Au (1/100/100 нм). На заключительном этапе осуществляется лазерная резка пластины на отдельные кристаллы. Все слои металлизации получены методом электронно-лучевого испарения, а плёнка ITO получена методом магнетронного распыления.

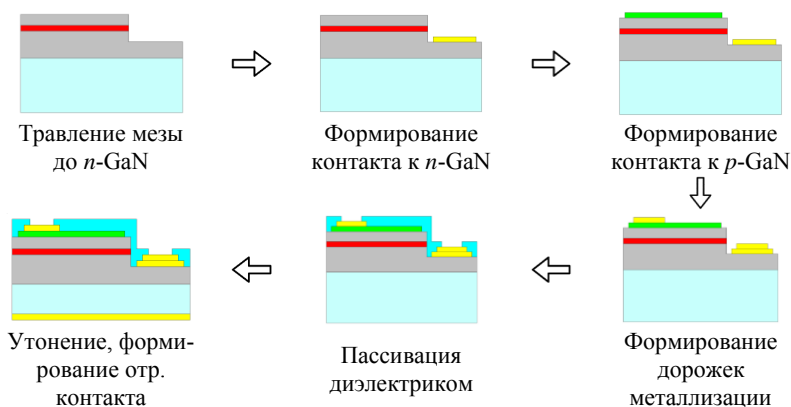


Рис. 1. Последовательность изготовления кристалла планарной конструкции

В связи с тем, что вывод генерируемого излучения будет осуществляться через контакт к *p*-слою GaN, данный контакт должен быть прозрачным. Для длины волны 460 нм коэффициент пропускания контактов Ni/Au, Ni/Au/ITO и ITO составил 48, 75 и 85% соответственно (рис. 2).

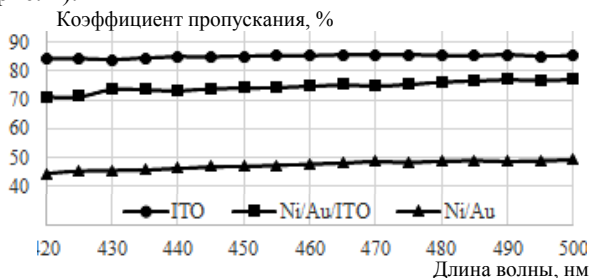


Рис. 2. Зависимость оптического коэффициента пропускания контакта к *p*-GaN от длины волны

Полученные кристаллы обладают схожими значениями напряжений в диапазоне 3,04–3,1 В при прямом токе 120 мА. Однако мощность излучения кристалла напрямую связана с прозрачностью контакта к *p*-GaN. Для кристаллов с контактом Ni/Au, Ni/Au/ITO и ITO мощность излучения составила 41, 70 и 101 мВт соответственно (рис. 3). Таким образом, использование прозрачной плёнки ITO в качестве контакта к *p*-GaN позволило увеличить мощность излучения в ~2,5 раза относительно применения полупрозрачного контакта Ni/Au. Внешний вид рабочего кристалла показан на рис. 4.

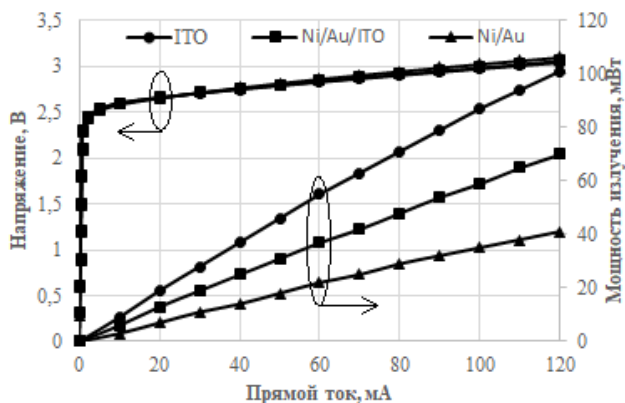


Рис. 3. Зависимость напряжения и мощности излучения от прямого тока для кристаллов с различным контактом к *p*-GaN

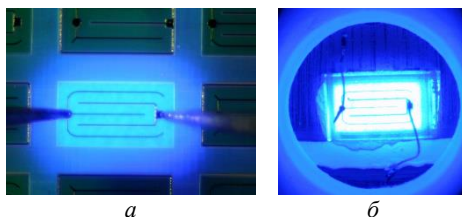


Рис. 4. Внешний вид рабочего кристалла на пластине (а) и в корпусе (б)

ЛИТЕРАТУРА

1. Status and future of high-power light-emitting diodes for solid-state lighting / M.R. Krames, O.B. Shchekin, R. Mueller-Mach, G.O. Mueller, L. Zhou, G. Harbers, M.G. Craford // Journal of Display Technology. – 2007. – 16 p.
2. Use of patterned current blocking layer to enhance the light output power of InGaN-based light-emitting diodes / J.S. Park, Y.H. Sung, J.Y. Na, D. Kang, S.K. Kim, H. Lee, T.Y. Seong // Optics Express. – 2017. – 6 p.
3. Electrical and optical properties of InGaN/GaN MQWs light-emitting diodes with Ni/Au/ITO transparent p-contacts / K. Singh, A. Chauhan, M. Mathew, R. Punia, R.S. Kundu // Indian J. Phys. – 2019. – 5 p.

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

Н.В. Амбарникова, аспирант ОМ ИШНПТ,

сотрудник АО «НИИПП»

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

При формирования люминофора YAG:Ce в мощном потоке высокоэнергетических электронов образован монолит спеченной керамики, произведён помол до порошкового состояния. Проведены исследования влияния концентрации люминофора в чипе светодиода на неравномерность цветности и световую отдачу.

Ключевые слова: керамика YAG:Ce, люминофор, неравномерность цветности, световая отдача.

Учёными Томского политехнического университета разработана инновационная технология формирования люминесцентной керамики в мощном потоке высокоэнергетических электронов [1, 2]. Полученный данным способом монолит спеченной керамики методом растирания между сапфировыми пластинами размолоти в порошок, для повышения качества помола и достижения минимально возможного размера частиц использовали сито с величиной отверстий приблизительно 50 мкм.

По размеру частиц отсеянный порошок можно разделить на пять равнопроцентных групп: 1) менее 5 мкм; 2) от 5 до 10 мкм; 3) от 10 до 15 мкм; 4) от 15 до 20 мкм; 5) от 20 до 50 мкм. Доля крупных и пудровых компонентов достигает 50% от общего объёма массы и считается неэффективной для преобразования синего света в белый. На данном этапе исследований отделить малополезные частицы не было возможности, и вся масса была использована при заливке светодиодов. Корпус светодиода выбран стандартный SMD5050, кристалл EV-B45A синего спектра свечения с пиковой длиной волны 451 нм. В качестве связующего компонента использован двухкомпонентный компаунд ОЕ-6636. Для определения высокоэффективного свечения люминофор смешали с компаундом в концентрации 51, 38 и 21% от общей заливочной массы.

Исследование световых параметров проводили на оборудовании утверждённого типа, комплексах измерительных IS-1 и IS-2. В состав входят спектрометр, гониометр и шар фотометрический. На диод подавался прямой ток от 20 до 350 мА в режиме однократного импульса. На рис. 1 представлено пространственное распределение коррелиро-

ванной цветовой температуры (КЦТ). Независимо от тока и концентрации наблюдается хорошая равномерность по углу. При концентрации порошка 21% присутствует рост КЦТ при повышении тока. Разница между максимальным и минимальным значением тока достигает 500 К по оси. Чем выше ток, тем «холоднее» свет.

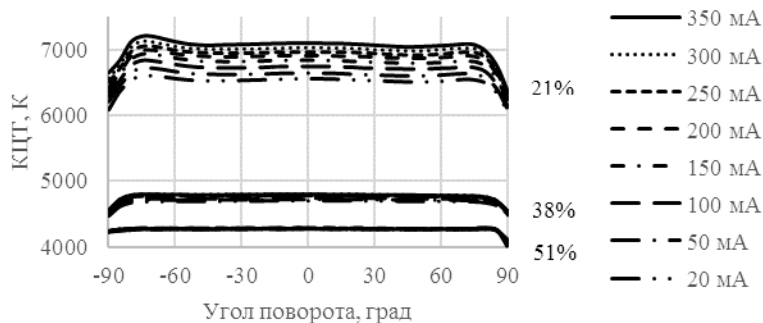


Рис. 1. Пространственное распределение коррелированной цветовой температуры для разных концентраций люминофора

С ростом концентрации падает зависимость КЦТ от тока (рис. 2), и при 51% разницы практически нет. Интересное наблюдение можно сделать, если оценить осевое значение КЦТ и общее, полученное при измерении полного потока. В данном случае эти значения очень близки, что является параметром качественной заливки, которая важна при использовании светодиода со вторичной оптикой: линзой, отражателем.

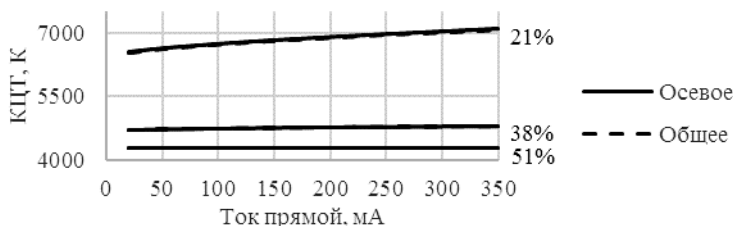


Рис. 2. Зависимость коррелированной цветовой температуры от прямого тока для разных концентраций люминофора

При концентрации люминофора 21% значение КЦТ довольно высокое, наиболее предпочтителен вариант 4500–5000 К, который достигается при 38%.

Важным параметром при выпуске светодиодной продукции является параметр световой отдачи. В рамках данного исследования были построены зависимости световой отдачи от прямого тока при разных

концентрациях люминофора. Вполне закономерно наблюдение, что при понижении тока растёт световая отдача (рис. 3), и при концентрации 21% и токе 20 мА достигает 115 лм/Вт, что является неплохим показателем для опытной партии на стадии разработок и поисковых исследований.

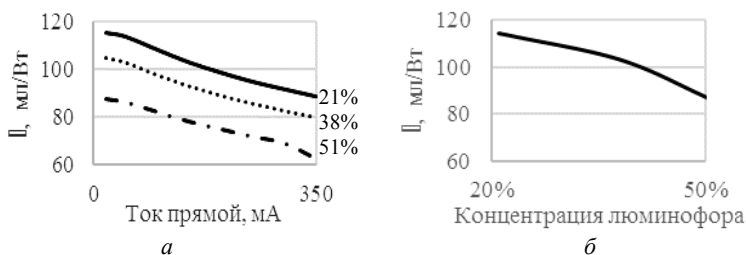


Рис. 3. Зависимость световой отдачи:

а – от прямого тока для разных концентраций люминофора;

б – от концентрации люминофора при прямом заданном токе 50 мА

Интересно другое наблюдение – изменение световой отдачи от концентрации люминофора при подаче равного тока (см. рис. 3, б). С ростом количества доли порошка световая отдача падает на 33%. Вероятнее всего, это связано с падением пропускания света в объёме заливочной массы.

Основные закономерности, которые можно вывести: с ростом концентрации падает световая отдача; при повышении тока растёт КЦТ. Исследование в данном направлении необходимо продолжать. Важно оценить влияние размера частиц на вывод света и световую отдачу.

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. // Optics and spectroscopy. – 2021. – Vol. 63, No. 9. – PP. 1615–1621. DOI: 10.1007/s11182-021-02213-9.
2. Формирование люминесцирующей высокотемпературной керамики в мощном потоке высокоэнергетических электронов / В.М. Лисицын, Л.А. Лисицына, М.Г. Голковский и др. // Изв. вузов. Физика. – 2020. – Т. 63, № 9 (753). – С. 150–156. DOI: 10.17223/00213411/63/9/150.

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 004.822

МЕТОДЫ ВЕКТОРИЗАЦИИ ТЕКСТОВОЙ ИНФОРМАЦИИ

Е.В. Викторенко, аспирант каф. экономики
Научный руководитель А.А. Мицель, проф. каф. АСУ, д.т.н.
г. Томск, ТУСУР, elena.v.viktorenko@tusur.ru

Правильность и точность постановок задач в области анализа данных, выбор наиболее подходящего метода для их решения напрямую влияют на качество машинной обработки текстов на естественном языке. В данной статье рассматриваются некоторые методы векторизации текстовых данных, такие как «мешок слов», TF-IDF, а также word embedding.

Ключевые слова: векторизация, методы, машинное обучение, семантическое пространство.

Проведен анализ часто используемых методов векторизации текстовой информации.

Актуальность данной статьи обуславливается наличием проблем выбора метода векторизации текстовой информации.

Основной проблемой анализа текстовой информации машиной является невозможность непосредственного проведения анализа без изменения представления самого текстового массива. Текстовый массив принято называть документом или корпусом.

Поэтому прежде, чем использовать возможность анализа текстовой информации, сам текстовый массив необходимо преобразовать до формата, понятного машине.

Одним из наиболее эффективных методов машинного обучения на текстовом массиве данных является преобразование данного массива в векторное представление, состоящее из числовых значений. Данное преобразование принято называть векторизацией.

Преобразования текстовой информации начинается с разбивки ее на текстовые единицы, которые принято называть токенами. Токенами могут являться предложения, словосочетания, слова или символы (буквы, знаки препинания). Из токенов собирается словарь, который можно отсортировать по различным признакам. Также существует понятие совокупности токенов, которые принадлежат одной смысловой единице, именуемые документом (предложение, комментарий). Документы объединяются в корпус. После таких преобразований информация становится готовой к кодировке.

Далее разберем наиболее часто используемые методики векторизации текстовой информации.

Прямое или быстрое кодирование (One-Hot Encoding). Это самый простой способ кодирования информации, при котором каждый токен представляет собой бинарный вектор. Стоит отметить, что у данного кодирования есть большой недостаток – это размерность.

«Мешок слов» (Bag Of Words, BOW). Данный метод векторизации семантического пространства является базовым. В данном случае уже каждый документ представляется в виде вектора, внутри которого можно сортировать позиции токенов, например в алфавитном порядке. Данная методика доказала свою эффективность, однако она не учитывает важность токенов по отношению друг к другу. Нередкой оказывается ситуация, когда одно и то же слово встречается несколько раз.

Именно поэтому данный метод описания семантического пространства принято дополнять. В своей статье «О выборе методов векторизации текстовой информации» Федюшкин Н.А. и Федосин С.А. предлагают рассматривать такие методы кодирования, как частотное, унитарное (one-hot), TF-IDF и распределенное представление как дополнение к методу «Мешок слов» (Bag Of Words, BOW). Далее более подробно рассмотрим TF-IDF и распределенное представление.

TF-IDF. Данный метод векторизации семантического пространства состоит из двух компонентов: Term Frequency (частотность слова, имеется в виду в документе) и Inverse Document Frequency (обратная частота документа, или инверсия частоты, с которой некоторое слово встречается в документах).

Так как данный метод является своеобразной статистической мерой для оценки важности слова в документе как составной части корпуса, то можно сказать, что если TF-IDF высок, то это означает, что слово является довольно редким и хорошо подходит для выявления отличий документов [2]. Таким образом, модель, построенная с использованием этого метода, подойдет для поиска похожих документов.

Сравнение документов, выполненное с использованием меры TF-IDF, оказывается гораздо более точным, чем при использовании метода «Мешок слов» (Bag Of Words, BOW). Однако в общем данный метод, как и вышерассмотренные методы, обладает высокой размерностью и не учитывает контекст корпуса документов, т.е. семантические, смысловые отношения токенов.

Векторное представление слов (Word embedding). Это наиболее активно развивающийся подход в области анализа текстовой информации. В данном методе выстраивается соответствие между векторами и словами. Такие модели векторизации представляют собой искусственные нейронные сети.

Самой распространенной реализацией векторного представления слов является **Word2vec**, предложенная Томашом Миколовым и основывающаяся на гипотезе, что контекст слова определяется его окружением. Архитектура Word2vec подразделяется на два вида — Continuous Bag of Words (CBOW) и Skip-gram.

Continuous Bag of Words (CBOW) решает задачу предсказания слова w_i на основании контекста.

Skip-gram получает на вход одно слово и предсказывает подходящий контекст.

Выводом сети **Word2vec** является словарь, где каждое слово сопоставлено вектору значений, которые можно отдать на обучение нейронной сети или использовать для нахождения отношений между словами.

В результате стоит отметить, что на практике нужно выбирать метод векторизации текстовой информации на основе имеющейся проблемы, т.к. одни методы существенно превосходят другие для определенных задач.

ЛИТЕРАТУРА

1. Федюшкин Н.А. О выборе методов векторизации текстовой информации / Н.А. Федюшкин, С.А. Федосин // Научно-технический вестник Поволжья. – 2019. – № 6. – С. 129–134.
2. Савченко Т.Ю. Обработка естественного языка для использования в машинном обучении: частотная векторизация, tf-idf, word2vec // Аллея науки. – 2018. – Т. 4, № 6 (22). – С. 1000–1002.

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.*

УДК 697.95

ВЛИЯНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА НА ИЗМЕНЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЗАСЛОНКОЙ ПРИТОЧНОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ

*А.О. Аглиуллин, М.Е. Дорошенко, Д.О. Плеханов,
К.И. Шахманов, А.Е. Бондарев, Е.А. Бородулин, студенты
г. Томск, ТПУ, aoa20@tpu.ru*

Рассмотрена система управления приточной вентиляции.

Ключевые слова: контроль положения задвижки, контроль концентрации CO_2 , управление приточной вентиляцией.

Представлен результат исследования изменения параметров системы управления устройством контроля задвижки в приточной вентиляции от концентрации газа CO_2 .

Такие системы необходимо использовать для удаления излишек влаги, неприятных запахов, насыщения воздуха кислородом. Для различных помещений существуют свои нормы концентрации газов, превышение которых может повлечь за собой серьезные проблемы со здоровьем [1].

Система контроля приточной вентиляции работает следующим образом. К самой вентиляционной трубе, с внешней стороны задвижки, крепится сервопривод таким образом, чтобы его головка могла точно прикрепиться к валу задвижки для обеспечения угла её поворота [2]. В самом помещении устанавливается датчик регистрации газа CO_2 для контроля концентрации газа в помещении. Так как газ CO_2 в 1,52 раза тяжелее воздуха, то местом его преимущественного скопления будет пол, поэтому для корректной работы устройства датчик регистрации CO_2 следует закреплять на высоте не более полуметра от пола. Не стоит размещать датчик рядом с сильно пахнущими и ток-

сичными веществами во избежание ложного срабатывания. После того как устройство будет подключено к сети, начнётся десятисекундный режим калибровки устройства. По прошествии данного времени, на дисплее загорятся цифры, показывающие значение концентрации CO_2 в реальном времени в ppm. При превышении изначальной концентрации, полученной во время калибровки, вентиляционная труба перекроется на 10%, согласно нормам ГОСТ [5], посредством заслонки, приводимой в действие сервоприводом.

Для реализации автоматического управления использован микроконтроллер Arduino Uno, который позволяет управлять сервоприводом, а также выводит значения концентрации в ppm в реальном времени.

Датчики, сервопривод и экран напрямую подключаются к микроконтроллеру Arduino Uno. Питание происходит от сети 220 В и одновременно питает как контроллер, так и сервопривод.

Проведено тестирование устройства, подтвердившее его работоспособность, определены оптимальное время нагрева датчика и шаг заслонки, позволяющий обеспечить минимальную инерционность системы.

Данная система, как и её отдельные компоненты может использоваться студентами, изучающими системы автоматического и автоматизированного управления, для расширения познаний в области автоматизации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Каменев П.Н. Вентиляция: учеб. пособие / П.Н. Каменев, Е.И. Тертичник. – М.: АСВ, 2008. – 624 с.
2. Что такое шиббер для вентиляции (шиберная задвижка) [Электронный ресурс]. – URL: <https://aeroclima.ru/ventilyaciya/shiber/> (дата обращения 26.02.2023).
3. Максимов Г.А. Движение воздуха при работе систем вентиляции и отопления: учеб. пособие / Г.А. Максимов, В.В. Дерюгин. – М.: Ленинград, 1972. – 98 с.
4. Кочев А.Г. Вентиляция промышленных зданий и сооружений: учеб. пособие. – М.: ННГАСУ, 2011. – 178 с.
5. ГОСТ 30494–2011. Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещении, от 28.04.2012 г. – URL: <http://lib.secuteck.ru/articles2/firesec/izveschateli-pozharnye-dymovye-ili-gazovye>

БАЗОВЫЕ КОМПОНЕНТЫ ДЛЯ ПРОЦЕДУРНОЙ ГЕНЕРАЦИИ 3D-СЦЕНЫ В СМ МАРС

Д.И. Мингалеев, аспирант каф. АСУ;

Е.Е. Елескин, А.К. Халимова, студенты

*Научный руководитель М.И. Кочергин, доцент каф. КСУП, к.т.н.
г. Томск, ТУСУР, pazitiv479@gmail.com*

Представлена структурно-функциональная схема СМ МАРС с модулями 3D-визуализации и процедурной генерации. Описаны базовые блоки процедурной генерации. Представлен пример алгоритма процедурной генерации и результат его работы.

Ключевые слова: СМ МАРС, 3D-визуализация, процедурная генерация.

Процедурное моделирование (ПМ) – это группа параметризуемых методов и алгоритмов для создания 3D-объектов и их текстур. В целом программной генерации могут подвергаться объекты различной природы [1, 2]. Этот метод используется тогда, когда нужно получить большое множество моделей с уникальными характеристиками, которое нельзя получить в разумные сроки и при разумных трудозатратах обычным способом построения вручную.

Структура программы. В рамках развития модуля 3D-визуализации результатов моделирования в СМ МАРС [3] планируется разработка модуля процедурной генерации объектов. Его назначение – генерация окружения для 3D-сцены, которое может использоваться как в учебных целях [4], так и в исследовательских – для задач типа [5].

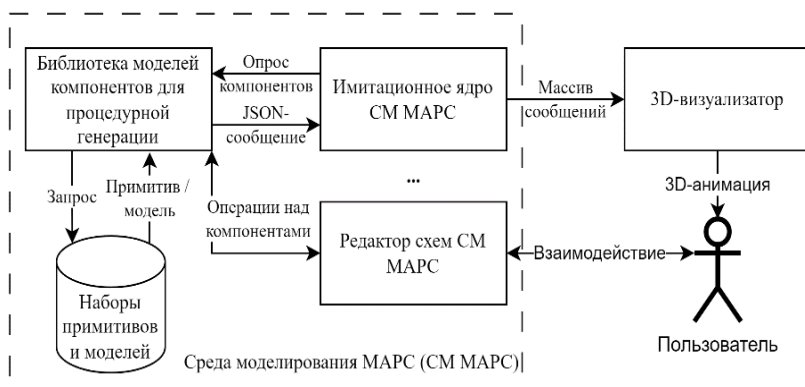


Рис. 1. Структурно-функциональная схема СМ МАРС из соподчинённых модулей

Базовые блоки. Опишем типовые блоки для работы с геометрией.
Блоки-источники:

- для создания примитивной геометрии: куб, цилиндр, сфера, линия, точка.

Блоки трансформации объекта:

- для изменения масштаба поворота и положения в пространстве объекта;
- для увеличения детализации сетки объекта через увеличение количества точек (добавление необходимого количества точек на первоначальной линии);
- блок, позволяющий помещать копии первоначального объекта на точки в пространстве;
- для объединения геометрии.

Пример алгоритма процедурной генерации. Пример применения описанных блоков представлен на рис. 2.



Рис. 2. Схема для генерации лестницы

На представленном выше рисунке приводится пример схемы для создания объекта «лестница» из простых объектов (куб и прямая). При помощи прямой создается массив точек, на которые будут расставлены копии куба с измененной формой для ступеней и перил. Базовый объект куб редактируется при помощи блока «Трансформация», который может изменять положение в пространстве, поворот и масштаб объекта. При помощи этого блока изменяется масштаб объекта для придания формы ступени (верхняя ветка схемы), балюсин (третья ветка сверху схемы).

Пример результатов работы. На рис. 3 представлен итоговый результат работы спроектированного алгоритма – модель 3D-сцены, содержащая лестницу с перилами и шар.

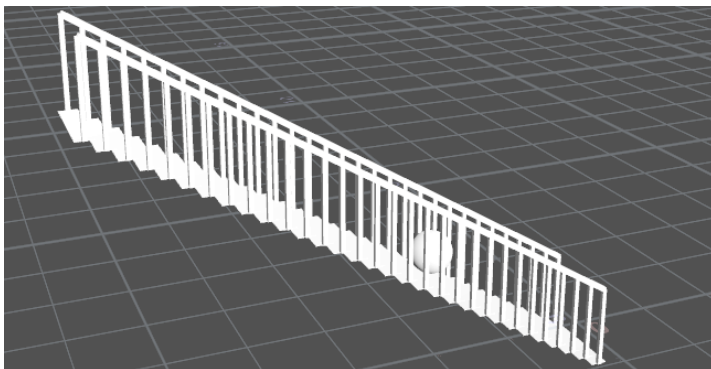


Рис. 3. Результат генерации модели лестницы

Заключение. В ходе проделанной работы были спроектированы базовые блоки для процедурной генерации 3D-моделей. Представленная структурно-функциональная схема иллюстрирует место модулей 3D-визуализации и библиотек компонентов процедурной генерации в составе программного комплекса СМ МАРС. В дальнейшем планируется программная реализация спроектированных компонентов в СМ МАРС на языке C++.

ЛИТЕРАТУРА

1. Улевский С.А. Процедурная генерация карт // Научный альманах Центрального Черноземья. – 2022. – № 1-2. – С. 146–151.
2. Третьяков А.А. Процедурная генерация массивной 3D-геометрии с использованием улучшенного алгоритма Marching Cubes // Южно-Сибирский научный вестник. – 2021. – № 4 (38). – С. 8–15.
3. Кочергин М.И. Взаимодействие среды многоуровневого компьютерного моделирования и графического пакета Blender для визуализации результатов моделирования // Сб. избр. статей научной сессии ТУСУР. – 2020. – Ч. 1. – С. 31–34.
4. Дмитриев В.М. Многоуровневое моделирование задач физики / В.М. Дмитриев, Т.В. Ганджа, М.И. Кочергин // Современное образование: практико-ориентированные технологии подготовки инженерных кадров: матер. междунар. науч.-метод. конф. – 2015. – С. 47–49.
5. Многоуровневое моделирование физико-технических задач на примере глубинного насоса / М.И. Кочергин, Д.С. Торгаева, М.П. Сухоруков, В.М. Дмитриев, Ю.А. Шурыгин // Доклады ТУСУР. – 2019. – Т. 22, № 3. – С. 79–86.

СНИЖЕНИЕ ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ РАСХОДОМЕРОВ ЗА СЧЕТ ПРИМЕНЕНИЯ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

А.М. Емельянов, аспирант;

И.С. Надеждин, доцент ОЯТЦ ИЯТШ, к.т.н.

г. Томск, ОЯТЦ ИЯТШ, НИ ТПУ, ame8@tpu.ru

Предлагается применение нелинейной авторегрессионной нейронной сети для цифровой обработки измерительных сигналов с целью повышения точности измерений расходомеров на базе сужающих устройств. Результаты применения нейронной сети были сопоставлены с результатами применения классического фильтра на базе скользящее среднее.

Ключевые слова: нелинейная авторегрессионная нейронная сеть, расходомер, погрешность измерений, обработка измерительного сигнала, фильтр «скользящее среднее».

Измерение и контроль технологических параметров является важной задачей, обеспечивающей безопасность и надежность любого производства. Одним из важных технологических параметров является расход жидких сред. На сегодняшний день широкое распространение для измерения расхода жидких сред получили расходомеры, базирующиеся на измерении перепада давления на сужающих устройствах. Это обусловлено рядом достоинств, присущих данному типу расходомеров [1]. Однако этот тип расходомеров не лишен и недостатков, одним из которых является неточность измерений. Особенность данного метода измерения расхода жидких сред заключается в том, что измеренный перепад давления на сужающем устройстве пересчитывается в расход с помощью формулы, которая содержит корнеизвлекающую функцию [2]. Наличие нелинейно корнеизвлекающей функции приводит к усилению шумовой составляющей в начале шкалы измерений и тем самым снижает точность измерения расхода.

Особое внимание данной проблеме уделяется в атомной промышленности в связи с предъявлением повышенных требований к безопасности и надежности. Как отмечается, данная проблема взята на контроль МАГАТЭ [3]. Ранее предлагались различные варианты решения данной проблемы, но они либо показали свою неэффективность в процессе эксплуатации, либо были экономически необоснованными.

На текущий момент, в силу развития технологий наиболее перспективным вариантом повышения точности измерения расхода является использование искусственного интеллекта. Таким образом, цель

данной работы состоит в разработке и исследовании способа цифровой обработки измерительного сигнала с помощью искусственных нейронных сетей (ИНС) для повышения точности измерений расхода жидких сред на объектах атомной промышленности.

Для обработки измерительных сигналов было предложено использовать нелинейную авторегрессионную искусственную нейронную сеть (НАР ИНС), описание которой представлено в работе [4]. В данном случае НАР ИНС содержит два скрытых слоя и один выходной слой. При этом количество нейронов в первом скрытом слое равнялось 9, во втором скрытом слое – 6, а в выходном слое – 3. Блок задержек содержит 10 элементов. Для обучения был использован алгоритм оптимизации Левенберга–Марквардта.

Предлагается выполнять обработку измерительного сигнала с датчика дифференциального давления (ΔP), значения которого в дальнейшем используются для расчета расхода жидких сред ($Q_{\text{изм.}}$). Полученные результаты представлены на рис. 1.

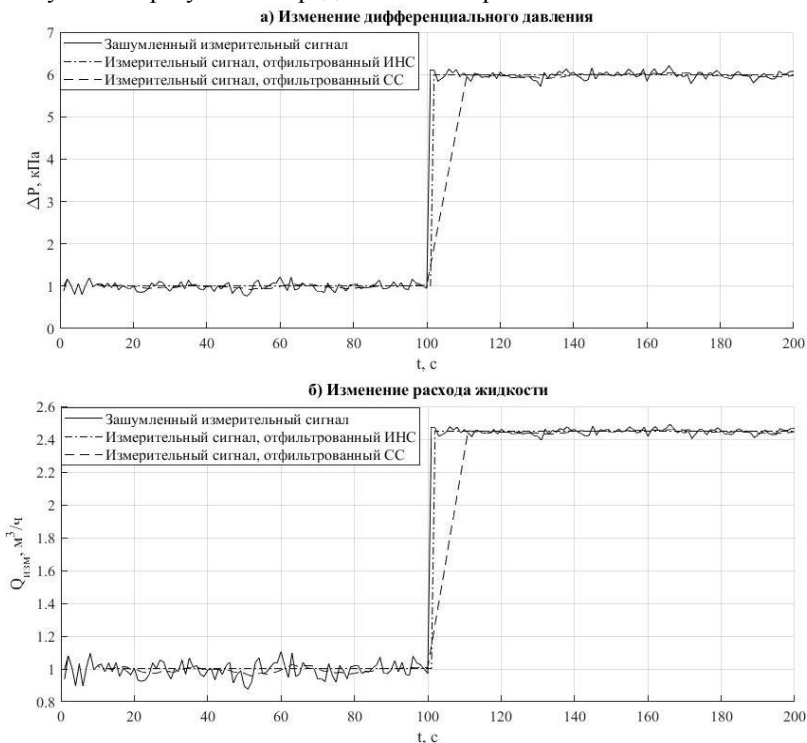


Рис. 1. Измерительные сигналы изменения дифференциального давления и расхода жидкости

Как видно из рис. 1, было рассмотрено два уровня дифференциального давления – 1 и 6 кПа, которые соответствуют следующим расходам: 1 и 2,4 м³/ч. При пересчете дифференциального давления в 1 кПа в значения расхода уровень шума значительно возрастает, тем самым влияя на точность (сплошная линия). При использовании ИНС получается восстановить полезный сигнал с достаточно высокой точностью.

Также была использована фильтрация измерительного сигнала с помощью фильтра на базе скользящего среднего (СС). Судя по полученным данным (см. рис. 1), данный фильтр существенно уступает ИНС. Также можно заметить наличие запаздывания в работе ИНС и СС, это обусловлено их параметрами и принципами работы. У фильтра на базе ИНС это размер массива данных, хранящийся в блоке задержек, а у скользящего среднего это размер «окна» фильтра. При этом фильтр на базе ИНС переходит на новый уровень с задержкой в 1 такт, а фильтр на базе СС – за 10 тактов.

Для количественной оценки полученных результатов были вычислены приведенные среднеквадратичные отклонения. Полученные результаты сведены в таблицу.

Приведенные среднеквадратичные отклонения

Измерительный сигнал	Уровень, кПа	$\sigma_{\Delta P}$, %	σ_Q , %
Зашумлённый измерительный сигнал	1	0,09	0,45
	6	0,09	0,18
Измерительный сигнал, отфильтрованный ИНС	1	0	0,02
	6	0	0,01
Измерительный сигнал, отфильтрованный СС	1	0,02	0,12
	6	0,03	0,06

Из полученных данных в таблице видно, что использование ИНС позволяет существенно повысить точность измерений расходомеров на базе сужающих устройств.

Вывод. Таким образом, в ходе работы был разработан и исследован новый способ цифровой обработки измерительного сигнала с помощью ИНС для повышения точности измерений расхода жидких сред на объектах атомной промышленности. Использование нелинейной авторегрессионной ИНС позволяет достичь минимальных погрешностей и обеспечивает высокое быстродействие.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-79-00011, <https://rscf.ru/project/22-79-00011>.

ЛИТЕРАТУРА

1. Vemulapalli S. Parametric analysis of orifice plates on measurement of flow: A review / S. Vemulapalli, S.K. Venkata // Ain Shams Engineering Journal. – 2022. – Vol. 13. – Article number: 101639.
2. ГОСТ 8.586–2005 ГСИ. Измерение расхода и количества жидкостей и газов с помощью стандартных сужающих устройств.
3. Кириллов И.А. Измерение расхода питательной воды реакторных установок атомных станций // Измерительная техника. – 2019. – № 9. – С. 33–38.
4. Nonlinear Autoregressive Neural Networks to Predict Hydraulic Fracturing Fluid Leakage into Shallow Groundwater / R. Taherdangkoo, A. Tatomir, M. Taherdangkoo, P. Qiu, M. Sauter // Water. – 2020. – Vol. 12. – Article number: 841.

УДК 004.451.42

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕОРИИ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ ПАРАМЕТРОВ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Е.Т. Гарипов, студент каф. ЭМИС

*Научный руководитель И.Г. Боровской, д.ф.-м.н., проф. каф. ЭМИС
г. Томск, ТУСУР, egor-garipov@mail.ru*

Предлагается использовать теорию массового обслуживания (ТМО) для автоматизации процесса управления информационными системами за счёт принятия системой самостоятельных решений или дачи её администраторам советов на основе вычисленных оценочных значений её параметров

Ключевые слова: теория массового обслуживания, автоматизация, оценка.

Любое программное обеспечение создаётся с учётом определённых ограничений. Они обусловлены физикой, стоящей за принципом работы вычислительной техники. У всей электроники есть предел, при котором она может работать. Поэтому существует проблема обеспечения бесперебойной работы программных систем. Её нельзя так просто решить, поскольку в одном случае можно, например, задать ограничение по длине строки, а в другом невозможно запретить новым пользователям отправлять запросы системе. Исходя из этого, есть потребность в надзоре и ручном управлении над некоторыми видами программных систем, чтобы соблюдать правильность их работы при разных уровнях нагрузки. В данной работе предложено использовать теорию массового обслуживания для решения задачи [1].

В ходе выполнения работы в качестве примера рассмотрена система мониторинга веб-сервиса фирмы, следящая за производитель-

ностью её серверов. Данная система в терминах ТМО классифицирована как многоканальная, с ограниченной очередью, со статическим приоритетом обслуживания, с принципом обслуживания «первый пришёл – первый обслужен», замкнутая по способу генерации заявок. В качестве параметра для оптимизации выбрано среднее время пребывания заявки в системе. Для каждой фирмы свои параметры являются показателями эффективности, но на данном этапе требуется реализовать часть системы для доказательства концепции. Поэтому выбран этот параметр, нахождение остальных параметров возможно за счёт знаний в ТМО, но выносится в дальнейшие перспективы работы. Задача заключается в составлении математической модели нахождения этой величины из известных входных данных: интенсивность обслуживания, количество каналов обслуживания, крайнее число заявок в очереди. Зная формулы, на языке программирования Python составлена программа, которая для заданных начальных данных перебирает интенсивности входящего потока, пока не достигнут предел. Полученные значения были сравнены с вычислениями в двух онлайн-калькуляторах по ТМО и получившиеся значения в пределах допустимой разницы в дробной части можно считать совпадающими [2].

Полученные значения дают понять, что одна часть всей планируемой системы реализуема. Если требуется её расширить и добавить другие параметры, то их можно также найти, дополнив программу новыми формулами из теории. Полученная модель может стать частью системы мониторинга веб-системы компании. Модель может показывать в настоящем времени данные о производительности системы, давать советы по поводу улучшения текущей ситуации, а также как улучшить систему в будущем для адресации возникших проблем и даже самостоятельно принимать решения, например, отключать сервер от питания, чтобы избежать перегрузки в отсутствие администратора.

ЛИТЕРАТУРА

1. Stojčev M. The Limits of Semiconductor Technology and Oncoming Challenges in Computer Microarchitectures and Architectures / M. Stojčev, T. Tokić, I. Milentijević [Электронный ресурс]: сайт Национальной библиотеки Сербии. – URL: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-0-387-73699-0_5 (дата обращения: 01.03.2023).
2. Ивченко Г.И. Теория массового обслуживания / Г.И. Ивченко, В.А. Каштанов, И.Н. Коваленко. – М.: Высшая школа, 1982. – 256 с.

ОБЗОР БИБЛИОТЕК ДЛЯ ИНТЕГРАЦИИ КОДА PYTHON В ПРИЛОЖЕНИЕ НА C++

Е.С. Петрова, Н.А. Коновалов, студенты каф. КСУП

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

г. Томск, ТУСУР, elenaspetr@gmail.com

Приводится обзор библиотек, позволяющих запускать модули и скрипты, написанные на Python, из кода программы на C++. Реализация такой возможности в среде моделирования MAPS позволит расширить спектр решаемых задач по математической обработке и представлению результатов моделирования.

Ключевые слова: Python, C++, среда моделирования, встраивание.

В рамках развития среды моделирования MAPS [1], написанной на C++, рассматривается возможность интеграции в неё модулей, написанных на Python. Такое решение позволит писать код компонентов CM MAPS на более высокоуровневом языке, что способно ускорить скорость разработки и привлечь новых пользователей, а также открыть широкие возможности по использованию разнообразных библиотек, таких как SciPy (библиотека научных расчётов), Matplotlib (библиотека визуализации данных), SciKit-Learn (библиотека машинного обучения), Pandas (библиотека анализа данных), Keras (библиотека для работы с нейронными сетями), fuzzylib (Matlab-подобная библиотека нечёткой логики) и пр., существенно расширяющих возможности математической обработки и представления результатов моделирования.

Необходимо отметить наличие положительного опыта связывания интерпретатора Python с САПР на C++ [2]. Успешно решается и другая задача – в работе [3] демонстрируется успешный опыт не только вызова Python-кода из программы на C++, но и дополнение модулей Python-кодом на C++ для повышения скорости расчётов. Целью настоящей работы является обзор библиотек для интеграции кода Python в код CM MAPS на C++ для их дальнейшего сравнения и выбора наиболее подходящей.

Обзор библиотек. Далее представим краткое описание библиотек, позволяющих осуществить вызов модулей, написанных на Python из кода на C++.

Python/C API [5] – это библиотека (<Python.h>) C, которая помогает внедрять модули Python в код C/C++. Библиотека API даёт возможность использовать большое количество подпрограмм C для инициализации интерпретатора Python, а также вызова модулей Python. В свою очередь, данная библиотека скомпилирована с Python.

Boost.Python [6] – это библиотека C++, которая позволяет взаимодействовать между C++ и языком программирования Python. Данная библиотека предусматривает две модели интеграции:

- расширение, при котором конечный пользователь запускает исполняемый файл интерпретатора Python и импортирует «модули расширения» Python, написанные на C++;
- внедрение, при котором конечный пользователь запускает программу, написанную на C++, которая, в свою очередь, вызывает интерпретатор Python как библиотечную подпрограмму.

CPPE (C++ and Python library for polarizable embedding) [7] – это библиотека с открытым исходным кодом для «поляризуемого встраивания» (polarizable embedding (PE)). Данная библиотека легко интегрируется с существующими пакетами программ квантовой химии и содержит необходимые процедуры для реализации расчетов основного состояния и молекулярных свойств с периодическими.

Ctypes [8] – это библиотека Python, предоставляющая типы данных, которые совместимы с C, а также позволяет вызывать функции библиотек, написанных на C в Python.

PyBind11 [9] – это облегченная библиотека только для заголовков, которая предоставляет типы C++ в Python и наоборот, главным образом для создания привязок Python к существующему коду C++. Синтаксис PyBind11 аналогичен библиотеке Boost.Python.

RPython (Restricted Python) [10] – это интерпретатор языка Python. Современные версии данного интерпретатора транслируются из RPython в языки C и компилируются. Он является статически типизированным для более эффективной компиляции.

SWIG (Simplified Wrapper and Interface Generator) [11] – это программа (генератор интерфейсов) предоставляет возможность упрощения использования библиотек, которые написаны на C и C++. Данное программное средство даёт достаточно полную поддержку практически всех средств C++, включая предобработку, указатели, классы и т.д.

Заключение. Был проведён обзор библиотек, позволяющих запускать модули на Python из кода программы на C++. Реализация данной функции позволит расширить возможности среды моделирования МАРС. Перспективой дальнейшей работы является практическая реализация данной функции с применением наиболее подходящей библиотеки.

ЛИТЕРАТУРА

1. МАРС – 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. Гладких А.А. Использование языка программирования Python для разработки расширений систем автоматизированного проектирования // Вестник Екатеринбургского института. – 2014. – № 3 (27). – С. 7–16.

3. Грищенко Д.А. Совместное использование C++ и Python для разработки эффективных программ / Д.А. Грищенко, К.М. Данильчук, А.Г. Моргунов // Современные информационные технологии в образовании и научных исследованиях (СИТОНИ–2021): матер. VII Междунар. науч.-техн. конф. – Донецк, 2021. – С. 369–377.

4. Васюнин А.Н. Сравнение методов вызова Си-функций из языка программирования Python 3 / А.Н. Васюнин, С.В. Борисов // Инженерный вестник. – 2015. – № 11. – С. 18.

5. Python/C API [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.python.org/3/c-api/index.html>, свободный (дата обращения: 09.03.2023).

6. Boost.Python [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.boost.org/doc/libs/develop/libs/python/doc/html/tutorial/index.html>, свободный (дата обращения: 09.03.2023).

7. CPPE: An open-source C++ and Python library for polarizable embedding / M. Scheurer, A. Dreuw, P. Reinholdt, E.R. Kjellgren, J. Kongsted, J.M. Haugaard Olsen // Journal of Chemical Theory and Computation. – 2019. – Vol. 15, No. 11. – PP. 6154–6163.

8. Ctypes [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.python.org/3/library/ctypes.html>, свободный (дата обращения: 09.03.2023).

9. PyBind11 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://pybind11.readthedocs.io/en/stable/index.html>, свободный (дата обращения: 09.03.2023).

10. RPython [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://rpython.readthedocs.io/en/latest>, свободный (дата обращения: 09.03.2023).

11. SWIG [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.swig.org>, свободный (дата обращения: 09.03.2023).

12. Cython [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cython.org>, свободный (дата обращения: 16.12.2015).

УДК 621.315

АВТОМАТИЗАЦИЯ КОНТРОЛЯ СОПРОТИВЛЕНИЯ ИЗОЛЯЦИИ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

И.В. Ковкин, инженер НИИ АЭМ;

Н.В. Москаленко, аспирант каф. ПрЭ;

Ю.А. Кремзуков, зав. лаб. НИИ АЭМ

г. Томск, ТУСУР, НИИ АЭМ, kovkin@niiaem.tomsk.ru

Описан процесс испытаний систем электропитания космических аппаратов. Рассмотрена автоматизированная система контроля энергопреобразующей аппаратуры. Предложен метод программно-аппаратной реализации автоматизированного контроля сопротив-

ления изоляции. Разработаны принципы функционирования и структура предлагаемого устройства.

Ключевые слова: сопротивление изоляции, система электропитания, энергопреобразующая аппаратура, автоматизированная система контроля, наземные испытания.

Одной из важнейших подсистем всех космических аппаратов (КА) является система электропитания (СЭП), обеспечивающая его работоспособность и исправное выполнение целевых функций. От качества энергоснабжения каждого модуля аппарата в значительной мере зависят его надежность и показатели эффективности. Статистика отказов показывает, что причиной многих аварийных ситуаций становятся дефекты, возникающие на различных этапах создания энергопреобразующей аппаратуры (ЭПА) [1]. Поэтому особо важно проводить цикл наземных испытаний бортовых систем КА, которые позволяют подтвердить исправность всей СЭП в целом, а также ее отдельных элементов.

В настоящее время предстартовые испытания различных систем КА осуществляются с применением специализированных программно-аппаратных комплексов, которые позволяют проводить полное исследование всего бортового электрооборудования в автоматизированном режиме [2]. Для испытаний и отработки ЭПА вместо реальных элементов СЭП используются имитаторы, которые с высокой точностью воспроизводят электрические характеристики солнечных и аккумуляторных батарей, а также бортовой нагрузки КА. Связь ЭПА и имитаторов элементов СЭП обеспечивает автоматизированная система контроля энергопреобразующей аппаратуры (АСК ЭПА). Данная система позволяет управлять процессом испытаний и предстартовой отработки ЭПА КА.

В процессе работы АСК ЭПА необходимо осуществлять контроль состояния изоляции силовых шин и кабелей как объекта, так и самой АСК. Такой контроль позволит повысить безопасность наземных испытаний. Информация о состоянии изоляции может также применяться для анализа технического состояния ЭПА и определения неисправностей, связанных с деградацией или разрушением изоляционных материалов. Таким образом, возникает потребность в создании средства для контроля изоляции в процессе наземных испытаний ЭПА.

Для решения данной задачи был разработан проект устройства контроля изоляции (УКИ), представляющего собой отдельную подсистему внутри контрольно-испытательной станции (КИС) из состава АСК ЭПА. Данная подсистема должна обеспечивать выполнение следующих задач:

- определение значений сопротивления изоляции шины питания ЭПА в одном из трех диапазонов: 100 кОм, 1 и 10 МОм;

- автоматическая защита от опасного снижения сопротивления изоляции;

- передача информации о состоянии изоляции кабелей на верхний уровень автоматизированной системы.

Способ определения значений сопротивления общей шины питания СЭП основан на алгоритме трех вольтметров, который требует измерений следующих величин: напряжения шины питания, напряжения положительной шины относительно «нуля» и напряжения отрицательной шины относительно «нуля». На основе полученных значений производится расчет сопротивления изоляции.

Контроль изоляции кабеля питания КИС основан на измерении токов утечки при помощи датчика тока. Задачей УКИ является преобразование токового сигнала датчика, обнаружение заданной величины снижения сопротивления изоляции и формирование аварийного сигнала, посылаемого устройствам среднего уровня АСК.

Вся информация от УКИ обрабатывается управляющим контроллером АСК, далее эта информация поступает на рабочее место оператора. УКИ позволяет оператору задать пороговые значения сопротивлений изоляции обеих шин питания, при достижении которых будет происходить оповещение или аварийное отключение АСК. Все вычисления осуществляются внутри УКИ, что обеспечивает распределение задач в автоматизированной системе. Обобщенная структура устройства, отражающая его функции и основные принципы физической реализации, изображена на рис. 1.

Принципиальными отличиями предлагаемого устройства от имеющихся решений являются:

- получение численных значений сопротивления изоляции для однофазной сети постоянного напряжения, так и для трехфазной сети переменного напряжения;

- возможность устанавливать различные пороги реагирования в зависимости от объекта, условий работы и задач;

- высокая точность и широкий диапазон контролируемого сопротивления.

Результаты разработки представленного устройства автоматизированного контроля изоляции позволят повысить надежность и безопасность наземных испытаний, а также расширить область проверки и настройки ЭПА КА. Статья подготовлена в рамках выполнения работ FEWM-2023-0014.

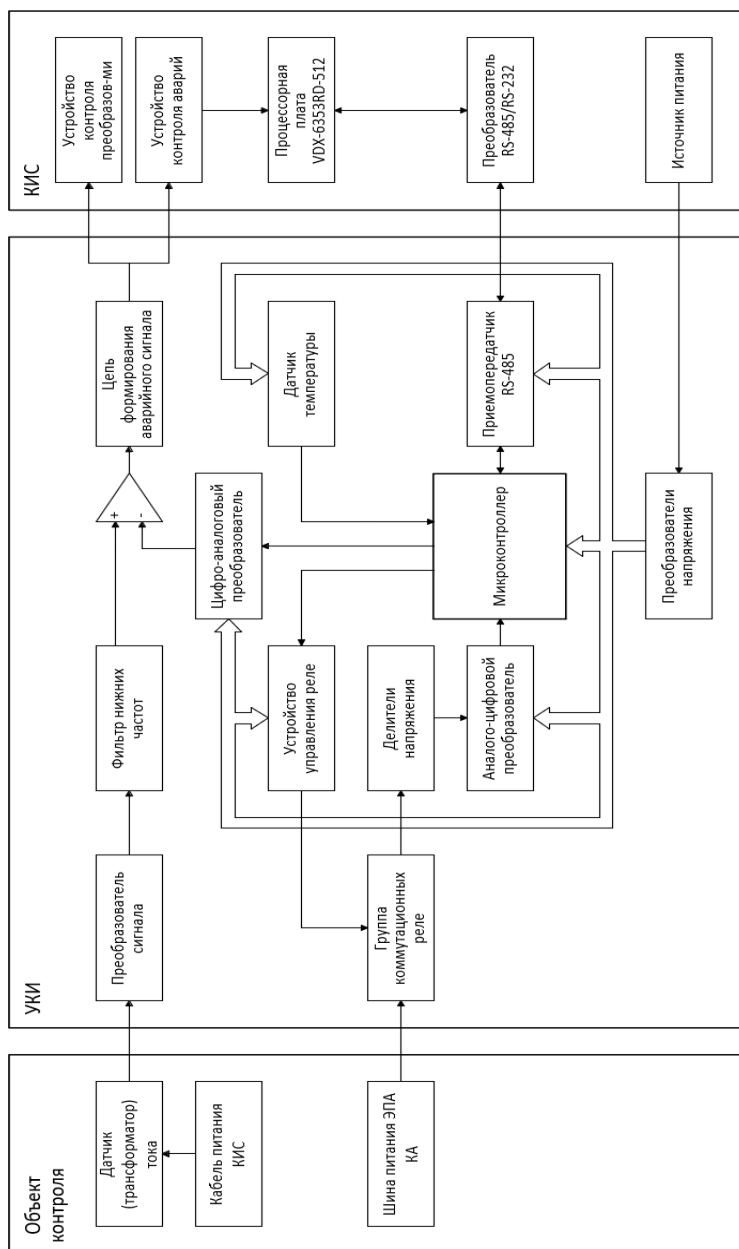


Рис. 1. Структура УКИ

ЛИТЕРАТУРА

1. Юдинцев А.Г. Энергопреобразующие комплексы для наземной отработки и подтверждения прогнозируемой надёжности систем электропитания космических аппаратов // Доклады ТУСУР. – 2019. – № 3 (22). – С. 95–102.
2. Казанцев Ю.М. Автоматизированная система контроля энергопреобразующей аппаратуры СЭП КА / Ю.М. Казанцев, Ю.А. Кремзуков // Изв. Том. политехн. ун-та. Энергетика. – 2009. – Т. 314, № 4. – С. 138–141.

УДК 004.94

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОЛОЖЕНИЯ МЕТАЛЛА ВО ВЗВЕШЕННОМ СОСТОЯНИИ В ВЫСОКОЧАСТОТНОМ ИНДУКТОРЕ

В.А. Пайор, аспирант каф. АТПП;

*А.В. Бойков, науч. рук. проекта УНЦ ЦТ, к.т.н., доцент
г. Санкт-Петербург, СПГУ, boykov_av@pers.spmi.ru*

Представлена методика нахождения положения и удержания проводящего тела (образца металла) во взвешенном состоянии в высокочастотном индукторе. Приведены результаты численного моделирования положения равновесия тела в электромагнитном поле.

Ключевые слова: левитационная плавка, автоматизация, численное моделирование, взвешенное состояние металла.

Одним из способов получения металлов и сплавов высокой степени чистоты является плавка металла во взвешенном состоянии. Левитационная плавка металлов осуществляется в переменном магнитном поле. Высокочастотное электромагнитное поле нагревает металл вплоть до его расплавления, а индуцируемые им токи создают вокруг расплава встречное магнитное поле, которое, взаимодействуя с первичным магнитным полем, порождает силу Лоренца, выталкивающую металл из индуктора [1].

Контроль положения образца металла в индукторе является актуальной задачей управления технологическим процессом плавления металлов во взвешенном состоянии. Целью данного исследования является построение численной модели поведения проводящего тела в переменном магнитном поле высокочастотного индуктора и разработка методики контроля его положения и удержания во взвешенном состоянии.

Образец металла, находящийся в индукторе под действием переменного магнитного поля, будет находиться во взвешенном состоянии (левитировать) при условии, когда напряженность электромагнитного поля под образцом будет выше, чем над ним [2]. Таким образом, зада-

ча моделирования положения проводящего тела в электромагнитном поле может быть сведена к моделированию напряженности электромагнитного поля в индукторе. Одним из наиболее распространенных методов моделирования является метод конечных элементов (МКЭ), который позволяет решить уравнения Максвелла для конического индуктора и определить распределение напряженности поля внутри него. Важным аспектом моделирования напряженности поля в коническом индукторе является учет геометрических параметров индуктора, таких как длина, диаметр, угол конусности и т.д. Также необходимо учитывать свойства материалов, из которых изготовлен индуктор, такие как электропроводность и магнитная проницаемость [3].

В рамках данного исследования была построена численная модель напряженности магнитного поля в коническом индукторе с противотоком, действующего на проводящее тело. Построение численной модели выполнялось с применением свободно распространяемого программного обеспечения GetDP и GMesh. Полученная численная модель напряженности переменного электромагнитного поля позволяет определить величину выталкивающих сил, действующих на металл в индукторе, и установить зависимость между силой тока в индукторе, положением (координатой) образца металла в индукторе и вектором равнодействующей выталкивающих сил, действующих на образец [4].

На рис. 1 представлена визуализация распределения напряженности электромагнитного поля в коническом индукторе, полученная в результате численного моделирования.

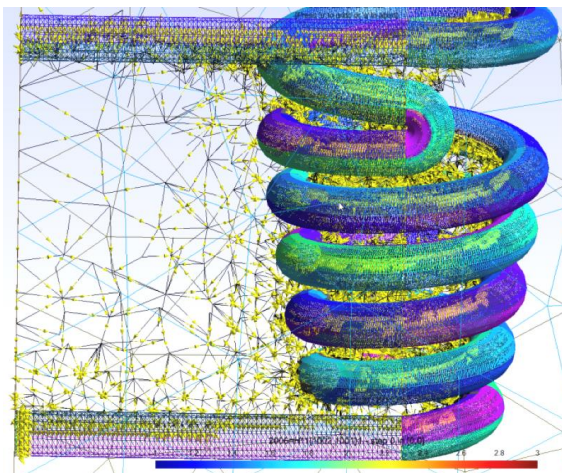


Рис. 1. Визуализация распределения электромагнитного поля

На основе результатов численного моделирования была установлена аналитическая зависимость координаты равновесного положения проводящего образца в состоянии левитации от силы тока в индукторе и его геометрии, а также учитывающая геометрию и материал образца. Полученная аналитическая зависимость позволяет определить координаты равновесного положения образца на основе его текущего положения и силы тока в индукторе [5].

На рис. 2 представлены графики зависимости равнодействующей для образцов алюминия массой 2 и 4 г от положения в индукторе по вертикали.

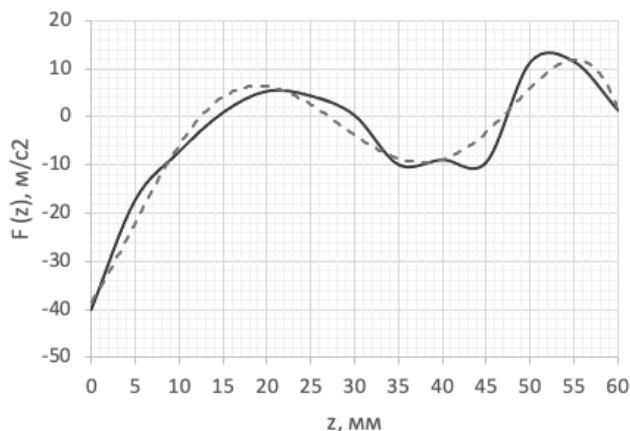


Рис. 2. График зависимости равнодействующей для образцов алюминия массой 2 г (прямая линия) и 4 г (пунктирная линия)

Предложенная методика может быть использована для разработки системы контроля положения расплавляемым металлом в печах левитационной плавки. В том числе для дальнейшей разработки упрощенной модели объекта управления, используемой в составе системы автоматического управления левитационной печью.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-71-00029, <https://rscf.ru/project/22-71-00029>.

ЛИТЕРАТУРА

1. Okress E. C. et al. Electromagnetic levitation of solid and molten metals // J. Appl. Phys. – 1952. – Vol. 23, No. 5.
2. Lohöfer G. Theory of an Electromagnetically Levitated Metal Sphere I: Absorbed Power // SIAM J. Appl. Math. – 1989. – Vol. 49, No. 2.
3. Baake E. Recent scientific research on electrothermal metallurgical processes / E. Baake, V.A. Shpenst // J. Min. Inst. – 2019. – Vol. 240. – PP. 660–668.

4. Lewis J.C. The stabilization of liquid metal during levitation melting / J.C. Lewis, H.R.J. Neumayer, R.G. Ward // J. Sci. Instrum. – 1962. – Vol. 39, No. 11.
5. Gagliano S. Real-time detection of slug velocity in microchannels / S. Gagliano, G. Stella, M. Bucolo // Micromachines. – 2020. – Vol. 11, No. 3.

УДК 378.14

ПЛАНИРОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРОННОГО КУРСА С ПРИМЕНЕНИЕМ ЛЕНТ ВРЕМЕНИ

С.Д. Томилина, М.А. Чолокозлы, студенты каф. БИС

*Научный руководитель П.А. Шелупанова, зав. каф. ЭБ
Проект ГПО БИС-2201. Проектирование учебного процесса
и создание учебно-методического обеспечения дисциплин
специальности «Экономическая безопасность»
г. Томск, ТУСУР, s.tomilina@yandex.ru*

Одним из инструментов организации работы в электронном курсе является лента времени. Таймлайн – полезный интерактивный инструмент образовательного процесса. В тезисах рассмотрены особенности, преимущества и значение использования различных лент времени в образовательном процессе.

Ключевые слова: таймлайн, лента времени, электронный курс, образовательные технологии, студент.

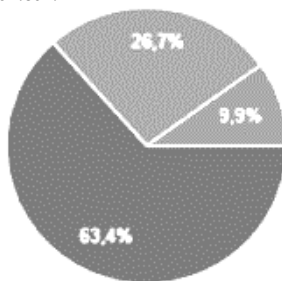
В настоящее время появляются современные интегрированные методики обучения, развиваются информационные технологии, благодаря чему у преподавателей расширяется выбор инструментов, форм, методов и средств образовательной деятельности.

Одной из главных проблем взаимодействия с электронным курсом является планирование времени выполнения заданий и освоения теоретического блока. В образовательной среде Moodle для этого используется инструмент «Календарь». Опрос студентов 1–5 курсов факультета безопасности ТУСУР показал, что 62,4% пользуются данным инструментом и считают его удобным (рис. 1). В опросе принял участие 101 студент.

Некоторые студенты не используют календарь, даже если он настроен в курсе, по ряду причин. Конечно, все проблемы самоорганизации мы решить не можем, но сделать элемент планирования временных затрат наглядным и информативным – реально.

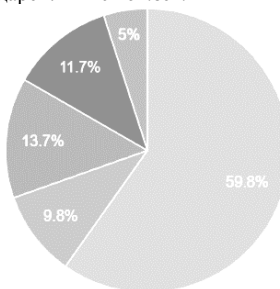
Методы визуализации помогают анализировать информацию, связывать ее в целостную картину и развивать критическое мышление. В образовательном процессе широко используются интеллектуальные карты, скрайбинг, инфографика и таймлайны [1].

Пользуетесь ли вы элементом «Календарь», если он есть в курсе?
101 ответ



63,4% – Да, пользуюсь.
26,7% – Нет, не пользуюсь.
9,9% – Не знал(ла), не замечал(ла) такого элемента в курсе.

Как вы думаете, нужно ли преподавателям настраивать крайний срок сдачи задания в «Календаре»? 101 ответ



59,8% – Да, это удобно.
9,8% – Преподаватели не использовали элемент «Календарь» в своих курсах.
13,7% – Никогда не пользуюсь «Календарем».
11,7% – Нет, обычно не успеваю сдавать в срок.
5% – Нет, я лучше преподавателя могу организовать свое время для работы.

Рис. 1. Результаты анкетирования

Таймлайны, или ленты времени, – эффективный инструмент визуализации работы и наполнения образовательного курса. Это линейки, на которые наносятся события, даты или этапы процесса, представленные в виде списков или таблиц с хронологией. На ленте времени можно обозначать последовательность прохождения курса, сроки выполнения работ, даты контрольных работ и тестов. Этот инструмент поможет студенту получить системный взгляд на события курса, грамотно распределить время и выполнить все задачи и задания онлайн-курса в срок (при условии грамотного проектирования курса).

Таймлайны нередко сопровождаются не только текстовыми комментариями, но и встроенными фотографиями, видеороликами, ссылками на интернет-ресурсы. Созданные ленты времени можно встроить на страницу онлайн-курса с помощью HTML-кода или сделать переход на ленту по гиперссылке [2].

Рассмотрим сервисы, с помощью которых можно усовершенствовать электронный курс (таблица). Для выбора наилучшего инструмента следует рассмотреть потребности и цели создания временной ленты, а также сравнить функционал и возможности каждого из них.

Зачем использовать таймлайн в образовательном процессе? Данный инструмент:

- помогает наглядно и четко представить материал курса, что способствует повышению усвоения знаний, помогает достижению результатов обучения [3];

- дает понимание хронологии и периодизации;
- помогает студентам распределять свое время.

Среди преимуществ использования лент времени можно назвать:

- многократность использования;
- социальность – таймлайны можно показывать большому числу студентов, они могут комментировать и делиться ими;
- простоту использования – установка приложений не требуется;
- мультимедийность – можно размещать не только текст, но и различные медиа-файлы [3].

Сравнительный анализ платформ и инструментов для создания временных лент

Название	Особенности
TimeRime	Возможность создания интерактивных временных лент с картинками, видео, звуком и текстом
Timetoast	Простой интерфейс, возможность добавлять картинки и видео
Tiki-Toki	Возможность создания более сложных временных лент с использованием нескольких временных шкал, поддержка нескольких пользователей
Timeline JS	Инструмент для создания интерактивных временных лент с помощью Google Spreadsheets, поддержка множества источников данных
Free Timeline	Простой интерфейс, возможность добавлять картинки и видео, поддержка разных шаблонов
Outstory	Возможность создания семейных временных лент с использованием фотографий и историй, интеграция с социальными сетями
Timeglider	Возможность создания сложных временных лент с несколькими временными шкалами, поддержка разных форматов данных

Таким образом, лента времени является интересным и удобным, а также простым в использовании инструментом организации учебного процесса как для преподавателей, так и для студентов. С помощью данного инструмента можно добиться активного вовлечения студентов в образовательный процесс, что позволит улучшить понимание курса и усвоение материала.

ЛИТЕРАТУРА

1. Майорова Л.П. Линии времени в образовательном процессе студентов по направлению 18.03.02 // Журнал «Проблемы высшего образования». – 2018. – С. 166–169.
2. Попова О.Г. Таймлайн как сервис интерактивного обучения в рамках дисциплины «История вычислительной техники» // Журнал «Новые образовательные технологии в вузе (НОТВ)». – 2015. – С. 354–360.
3. Гончаренко Н.А. Использование таймлайнов на уроках истории как средство визуализации учебного материала // Матер. IV Междунар. науч.-практ. онлайн-конф. «Дидактика сетевого урока». – Минск: БГПУ, 2022. – С. 365–371.

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ИССЛЕДОВАНИЯ И ПОЛУЧЕНИЯ БИОКОМПОЗИТА ГА-МУНТ

Е.А. Зачиняев, студент каф. КСУП

Научный руководитель А.Н. Пономарев, доцент каф. КСУП, к.ф.-м.н.

г. Томск, ТУСУР, evgenyzach@mail.ru

Разработан универсальный подход исследовательского процесса и получения биокompозита ГА-МУНТ, позволяющий получить систематизированные данные для моделирования физико-механических свойств. Описан процесс оптимизации получения целевых свойств и зависимостей посредством применения нейронных сетей.

Ключевые слова: биокompозит, оптимизация, моделирование, систематизация.

Одним из основополагающих факторов успеха исследовательского процесса является рационализация деятельности, которая включает в себя оптимизацию по временным затратам, этапам исследования и процесса получения исследуемых образцов (биокompозита ГА-МУНТ с различным содержанием добавок). Сокращение затрат ресурсов может позволить значительно расширить область получаемых данных за счет проведения малозначимых исследований, выходящих за рамки установленного бюджета.

Разработанный порядок процесса получения биокompозита ГА-МУНТ со свойствами, приближенными к свойствам кости человека, позволяет сократить временные ресурсы предположительно на 30% относительно метода, не предполагающего планирование и распределение задач.

Так как процесс получения биокompозита по исходной формуле многократно повторяется сразу несколькими исследовательскими группами, для дальнейшей систематизации данных необходим шаблон метода получения биокompозита, включающий общие процессы работы, оптимизированные по времени для нескольких получаемых образцов одновременно (3 образца с разными свойствами) (рис. 1).

Процесс повторяется для нескольких групп составов порошковых смесей, чтобы исследовать различные физико-механические свойства биокompозита. С полученных образцов снимаются данные для построения математических моделей, позволяющих оптимизировать число необходимых для исследования образцов. Данные систематизируются по характеру своей направленности: токсичность, прочность, хрупкость, пористость, твердость.

Полученные данные используются для построения математической модели, в которой исследуются зависимости свойств биокompозита от различных параметров. Зависимые свойства (нелинейная функция зависимости от 2–3 переменных) используются для обучения нейронной сети, результат работы которой – данные вне экспериментального диапазона.

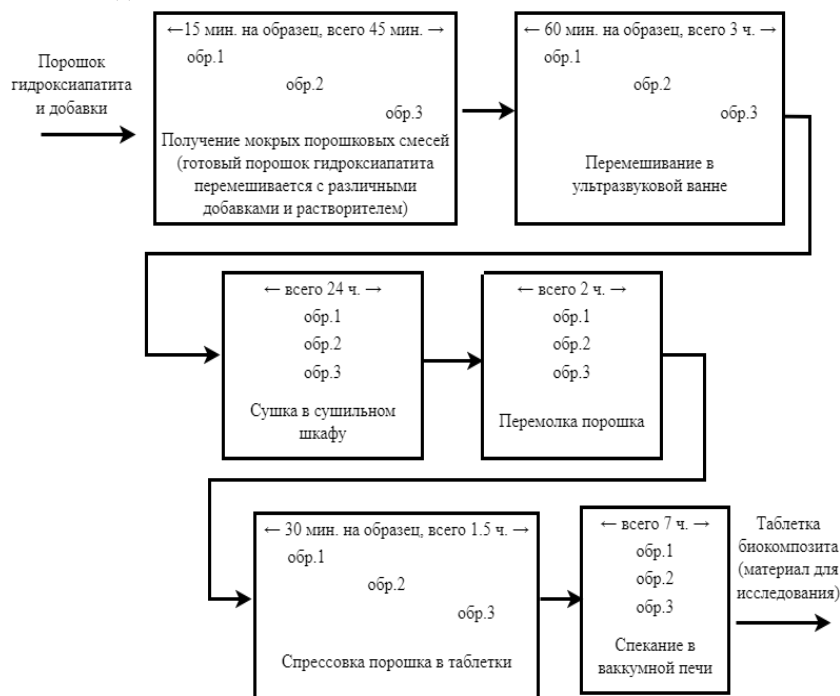


Рис. 1. Схема процесса получения трех образцов биокompозита

Проверочная выборка составляется из более простых моделей, к примеру, деревьев решений. В дальнейшем модель корректируется новыми экспериментальными данными, полученными из реальных образцов. Подобный подход позволяеткратно уменьшить количество требуемых экспериментальных образцов с различными свойствами для исследования, а также достичь экстремума целевой функции (наилучшие свойства биокompозита, схожего с костью человека).

ЛИТЕРАТУРА

1. Suchanek W. Processing and properties of hydroxyapatitebased biomaterials for use as hard tissue replacement implants / W. Suchanek, M. Yoshimura // Journal of Materials Research. – 1998. – Vol. 13 (1). – PP. 94–117.

2. Ресурсно-временная оптимизация последовательных этапов инновационного проекта [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/resurno-vremennaya-optimizatsiya-posledovatelnyh-etapov-innovatsionnogo-proekta>, свободный (дата обращения: 12.03.2023).

УДК 004.9

ОСОБЕННОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ УПРАВЛЕНИЯ СОВМЕЩЕНИЕМ И ПОЗИЦИОНИРОВАНИЕМ ЭЛЕМЕНТОВ ПРИ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СБОРКЕ ИЗДЕЛИЙ МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ

Е.В. Конюхов, аспирант института СПИНТех

Научный руководитель Л.Г. Гагарина, д.т.н., проф., директор института СПИНТех

г. Москва, Зеленоград, НИУ МИЭТ, incos@miee.ru

Представлены особенности математического моделирования управления совмещением и позиционированием элементов при автоматизированной сборке изделий микроэлектроники. Результаты математического моделирования могут быть использованы при разработке интеллектуальных методов и алгоритмов управления сборочными операциями с использованием поисковых траекторий совмещения элементов.

Ключевые слова: совмещение и позиционирование, нечеткая логика, автоматизация сборочных операций.

Операция сборки является завершающим этапом производства изделий микроэлектроники (ИМЭ). От качества выполнения данной операции в значительной степени зависят надежность и долговечность выпускаемой продукции. Классические подходы не позволяют достичь современных требований по точности и быстродействию выполняемых операций, что приводит к высокому проценту бракованных изделий. Использование интеллектуальных технологий позволяет добиться высокой точности и скорости операций, однако следует учитывать аппаратные ограничения исполнительного оборудования. Исходя из вышеизложенного, задача моделирования процессов управления совмещением и позиционированием элементов с учетом всевозможных факторов является актуальной.

Процесс управления совмещением и позиционированием элементов при автоматизированной сборке (ИМЭ) состоит из определения текущего положения элемента, расчета его линейных и угловых сдвигов, расчета траектории позиционирования и совмещения, формирования управляющего воздействия для корректировки положения.

На основе анализа объектов сборочных операций и их основных функций определены важные для совмещения и позиционирования параметры и свойства: контактная способность; геометрические размеры и формы; число согласованных положений совмещаемых элементов; вид (угловая или декартова) системы координат управления ориентацией и позиционированием элемента. Основными функциональными объектами сборочных систем являются: элементы соединяемых деталей; компоненты исполнительных механизмов и оборудования; устройства перемещения элементов и корректировки их положения; устройство управления; контрольно-измерительные приборы (датчики) для определения текущего положения элемента; нечеткий контроллер [3].

Существующие алгоритмы решают задачи совмещения с помощью построения прямой траектории, т.е. происходит определение параметров смещения относительно контрольных точек и далее выполняются операции сдвига и поворота. Использование методов искусственного интеллекта и машинного обучения позволит решить задачу ориентации и совмещения элементов в общем виде – с помощью формирования различных траекторий совмещения элементов и выбора наиболее эффективной с учетом требований по быстродействию и точности.

Для описания текущего положения элемента предлагается использовать математическую модель P :

$$P = \langle (x, y, z, \varphi)_1, \dots, (x, y, z, \varphi)_n, R_1, \dots, R_n \rangle, \quad (1)$$

где $(x, y, z, \varphi)_i$ – линейные (x, y, z) и угловые (φ) параметры сдвига относительно i -й контрольной точки; n – количество контрольных точек; R_i – пространственное отношение (слева, справа, снизу, ...) текущей контрольной точки относительно целевой.

В предлагаемой математической модели текущего положения элемента (1) пространственные отношения делятся на отношения расстояния и отношения расположения и поворота. Для определения отношений расстояния необходимо рассчитать параметры сдвига относительно целевой контрольной точки (координаты целевой контрольной точки приняты за $(0,0,0)$).

$$D = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}. \quad (2)$$

Элементы считаются совмещенными, если для любой выбранной контрольной точки $D < \varepsilon$, где ε – требования по точности совмещения.

Следовательно, прямая траектория представляет последовательное выполнение операций линейного сдвига и поворота

$$L_0 = x \wedge y \wedge z \wedge \varphi. \quad (3)$$

При условии

$$L_0 = x \wedge y \wedge z \wedge \varphi: R \rightarrow 0, R < \varepsilon \quad (4)$$

совмещение и позиционирование считаются выполненными и соответствующими требованиям по точности для любой контрольной точки.

Произвольная i -я траектория перемещения элемента имеет вид

$$L_i = a_i \wedge b_i \wedge c_i \wedge \gamma_i. \quad (5)$$

Следовательно, произвольная траектория совмещения элементов представляет собой сумму нескольких траекторий перемещения элемента.

$$L = \sum_{i=1}^{\infty} a_i \wedge b_i \wedge c_i \wedge \gamma_i, \quad (6)$$

где a_i, b_i, c_i, γ_i – линейные и угловые параметры сдвига элемента относительно контрольной точки.

Условием выполнения совмещения и позиционирования в данном случае будет являться

$$L = \left(\sum_{i=1}^{\infty} a_i \wedge b_i \wedge c_i \wedge \gamma_i \right): R \rightarrow 0. \quad (7)$$

Полученная математическая модель построения траектории совмещения элементов позволяет получить множество траекторий. Для выполнения требований по быстродействию технологических операций следует использовать ряд ограничений на формируемое корректирующее воздействие. Рассмотрим функцию $f(t)$

$$f(t) = \left(1 - \frac{\int_{T-t}^T \sqrt{x^2(t) + y^2(t) + z^2(t)} dt}{\sqrt{x^2(t) + y^2(t) + z^2(t)}} \right)^2, \quad (8)$$

где T – максимальное время выполнения технологической операции; t – текущее время. Ограничивающая функция $f(t) = 0$ при совпадении формируемой траектории и прямой траектории от текущего положения контрольной точки до целевой контрольной точки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шевнина Ю.С. Метод оценки состояния нелинейной системы на основе логического анализа данных // Изв. вузов. Электроника. – 2022. – Т. 27, № 3. – С. 407–415.
2. Шевнина Ю.С. Метод декомпозиции сложной нелинейной системы на основе процессного подхода // Системы управления и информационные технологии. – 2021. – № 3 (85). – С. 24–29.
3. Гагарина Л.Г. Моделирование цифрового двойника производственного процесса с использованием смарт структуры / Л.Г. Гагарина, Ю.С. Шевнина // Сб. статей XXII Междунар. науч. конф. «Системы компьютерной математики и их приложения». – Смоленск, 2022. – С. 15–20.

ОБЗОР СРЕДСТВ МОДЕЛИРОВАНИЯ И 3D-ВИЗУАЛИЗАЦИИ ФИЗИКО-ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ЗАДАЧ

А.А. Дрозд, аспирант каф. КСУП

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

г. Томск, ТУСУР, drozd.a.a.91@gmail.com

Приводится обзор программных продуктов, применяемых для моделирования физико-геометрических задач. Приводятся примеры моделей с визуализацией результатов моделирования. Проводится сравнительный анализ способов моделирования физики и геометрии при моделировании механических систем.

Ключевые слова: Simulink, SimInTech, CM MAPC, моделирование, механика.

Для реализации построения математических моделей существует достаточное количество программных решений. Большинство из них включают в себя следующий функционал: генераторы сигналов, индикаторы, измерительные приборы, модули описания физико-математических функций, задание начальных параметров модулей, настройки входных и выходных сигналов, параметры совместной работы всех модулей, агрегатов, приборов, датчиков и соединительных узлов. Важно учесть еще два параметра: возможность получать данные от реальных внешних источников сигналов с помощью разных протоколов и с условно быстрой скоростью, а также мгновенная обработка этих сигналов и возможность их отображения с минимальной задержкой на графиках и в виде 3D-анимации. Далее рассмотрим три системы: Simulink [1], SimInTech [2], CM MAPC [3].

Simulink. Первым разберем известный продукт Simulink. Он имеет достаточно хорошую поддержку, и для него реализовано множество примеров. Он поддерживает разработку алгоритмов в системах на основе промежуточного программного обеспечения для робототехники (ROS) и микроконтроллерах, таких как Arduino и Raspberry Pi. Может работать по разным протоколам, включая CAN, EtherCAT, 802.11, TCP/IP, UDP, I2C, SPI, MODBUS и Bluetooth. Позволяет создавать физическую 3D-модель и электромеханическую модель автономных транспортных средств, дронов и манипуляторов для моделирования, оптимизации и обучения алгоритмов управления с подкреплением. Поддерживает импорт существующих 3D-моделей из файлов URDF или САПР, делает модель физически точной за счет одновременного сопряжения обработчиков динамики, соединений, гидравлики и пневматики. Используется для построения цифровых двойников. Пример модели [3] представлен на рис. 1.

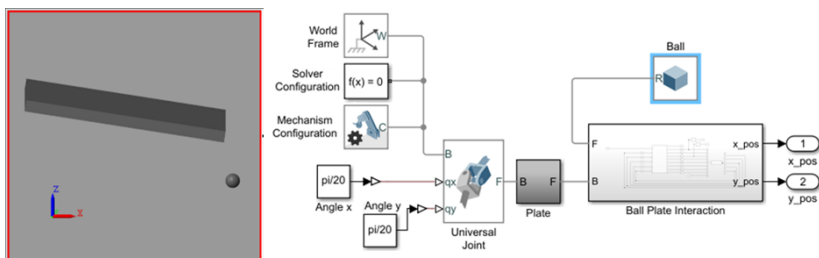


Рис. 1. Модель скатывания мяча по плите в Simulink

SimInTech. Сейчас нарастает популярность программы SimInTech. Она оснащена множеством готовых модулей, а также поддерживает возможность программирования на встроенном высокоуровневом языке. Включает модуль 3D-визуализации для динамического рендеринга объектов в трехмерном пространстве. Функционал модуля позволяет работать со стандартными примитивами и с объектами, загруженными из файла. В ней заложены модули для работы с устройствами Миландр 1986BE9X, Миландр 1986BE1T, STM, Raspberry Pi, Arduino. Включает модули механики, видеообработки, гидравлики, взаимодействия с устройствами по OPC, Modbus, CAN, OPC UA и др. SimInTech содержит в себе много разных готовых модулей, отвечающих разным требованиям к проектированию. Пример модели [4] представлен на рис. 2.

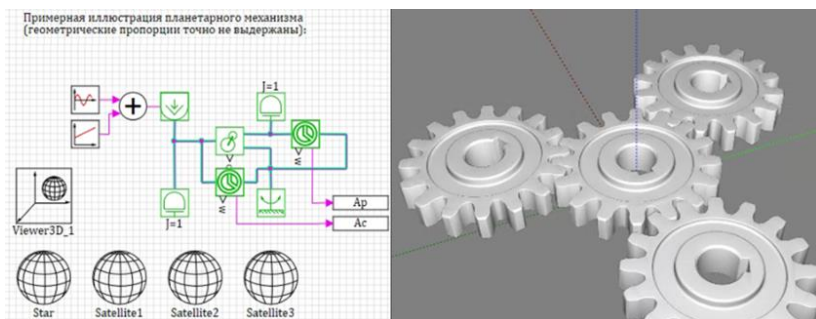


Рис. 2. Планетарная модель в SimInTech

СМ MAPC. СМ MAPC выполняет многие задачи моделирования электрических, механических, гидравлических, химических и других процессов. Имеет возможность визуализации полученных результатов. Возможность передачи информации по внешним интерфейсам, позволяет писать собственные модули на языке C++. Среда имеет интерфейсы взаимодействия с микроконтроллерами STM, X-Mega.

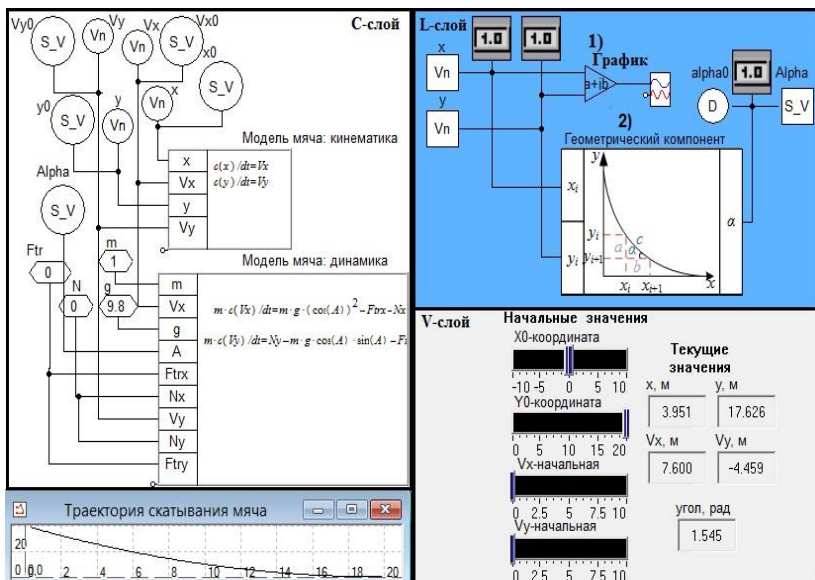


Рис. 3. Модель скатывания мяча в CM MAPS

На С-слое модели расположены интерактивные математические панели, задающие аналитическую модель задачи, компоненты-источники данных и измерители. На L-слое представлены подцепы для расчёта наклонной поверхности, построения графика и обмена данными между слоями. На V-слое представлен графический интерфейс построенной модели [5].

Сравнительный анализ. Сравнение самих моделей физико-геометрических задач (механических систем, описываемых в них) в трёх пакетах моделирования позволило выявить следующие критерии и характеристики пакетов (таблица).

Отметим отдельные недостатки пакетов: 1) в SimInTech интеграция кинематических пар приводит к отсутствию унификации моделей твёрдых тел; 2) и в Simulink, и в SimInTech отсутствуют специализированные геометрические блоки, а в CM MAPS такие компоненты пока разработаны только в 2D; 3) средства 3D-визуализации в CM MAPS находятся ещё в разработке [6].

Заключение. Проведённый сопоставительный анализ выявил преимущества и недостатки пакетов моделирования Simulink, SimInTech и CM MAPS для моделирования физико-геометрических задач. На основании результатов анализа можно сформулировать рекомендации по развитию инструментария CM MAPS.

Сопоставительная характеристика пакетов моделирования

Критерий сравнения	Пакет моделирования		
	Simulink	SimInTech	СМ MAPC
Средства моделирования механических систем (физика)	Блоки твёрдых тел (multibody) и соединители (Joints)	Кинематические пары интегрированы в блок твёрдого тела	Модели твёрдых тел и кинематические узлы, интерактивные математические панели
Средства моделирования геометрии	Только в m-файле (скрипт)	Только скрипт	Геометрические компоненты (2D)
Средства визуализации	3D-графики	3D-графики	2D-графики
Типы переменных	Поперечные (скорость) и сквозные (сила)	Ненаправленные порты работают на вход (принять силу) и на выход (вернуть скорость)	Потоковые (сила) и потенциальные (скорость), неоднородные векторные связи

ЛИТЕРАТУРА

1. MATLAB and Simulink for Robotics and Autonomous Systems [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.mathworks.com/solutions/robotics.html> (дата обращения: 08.03.2023).
2. Хабаров С.П. Основы моделирования технических систем. Среда Simintech / С.П. Хабаров, М.Л. Шилкина. – М.: Лань, 2019. – 119 с.
3. MAPC – среда моделирования технических устройств и систем / В.М. Дмитриев, А.В. Шутенков, Т.Н. Зайченко, Т.В. Ганджа. – Томск: В-Спектр, 2011. – 278 с.
4. Ball on Plate Simscape Model, Control and Diagnostics [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/74331-ball-on-plate-simscape-model-control-and-diagnostics> (дата обращения: 06.03.2023).
5. Библиотеки блоков [Электронный ресурс]. – URL: https://help.simintech.ru/#10_biblioteki_blokov/biblioteki_blokov.html (дата обращения: 08.03.2023).
6. Кочергин М.И. Отображение геометрических свойств объектов в многоуровневых компьютерных моделях // Перспективы развития фундаментальных наук: сб. науч. трудов XVI Междунар. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых. – Томск: ТУСУР, 2019. – С. 89–91.
7. Кочергин М.И. Взаимодействие среды многоуровневого компьютерного моделирования и графического пакета Blender для визуализации результатов моделирования // Сборник избранных статей научной сессии ТУСУР. – Томск: В-Спектр, 2020. – № 1-2. – С. 31–34.

ПРИМЕНЕНИЕ ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА В НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ

М.В. Липовка, А.М. Тернов, студенты каф. КСУП

Научный руководитель Т.В. Ганджа, доцент каф. КСУП, д.т.н.

г. Томск, ТУСУР, taxim.lipovka2210@gmail.com

Раскрыта характеристика цифровых двойников нефтегазовой отрасли, а конкретно их виды, жизненный цикл, преимущества и недостатки, которые могут возникнуть в процессе их внедрения.

Ключевые слова: цифровой двойник, жизненный цикл, виды цифровых двойников, облачная платформа, цифровизация, нефтегазовый цифровой двойник, скважина, месторождение, трубопровод.

На рубеже двадцатого и двадцать первого веков, во времена начала развития информационных технологий, на слуху появился ранее никому не знакомый термин – цифровой двойник. Его создателем был профессор Мичиганского университета Майкл Гривз.

С течением времени определение цифрового двойника претерпело изменения и из дополнительного программного обеспечения для наблюдения за объектом трансформировалось в полноценную цифровую копию объекта с возможностью управления, производства анализа поступающей информации и даже прогнозирования воздействия тех или иных изменений на объект.

Двойники оказывают свое влияние не только на техническую составляющую производства, но и на продукт как на объект торговли. Данный аспект наиболее актуален из-за снижения стоимости сырья нефтегазовой промышленности. В связи с этим возникает необходимость безотказного производства.

Цифровые двойники подразделяются на несколько взаимосвязанных видов. Сам по себе цифровой двойник или же прототип (DTP) возникает на этапе производства и содержит в себе все необходимые данные для воспроизведения объекта в реальном мире. Из прототипа вытекает следующий вид – экземпляр (DTI). Название говорит само за себя. Экземпляр, как и положено двойнику, передает информацию о работе объекта и содержит в себе модель с характеристиками. Ну и объединение нескольких цифровых двойников в систему – это агрегированный двойник (DTA). Он не только объединяет двойники в систему, но и позволяет обмениваться данными между собой.

Жизненный цикл цифрового двойника может начинаться с аналитики объекта в том случае, если двойник создается для уже существующего объекта. Вторым вариантом – моделирование копии объекта. Это в случае, когда физического объекта еще не существует. После

исследования существующего объекта либо моделирования двойника следует объединение данных о двойнике и воплощение их в систему для управления объектом. На заключительных этапах происходит тестирование, устранение неполадок и доработка системы.

Цифровой двойник служит не только для наблюдения за готовым объектом, но еще и для устранения дефектов на ранних стадиях.

Со стороны экономики двойники могут позволить повысить показатели производимой продукции и увеличить объем на 7%. Данная возможность появляется благодаря проведению цифровым двойником анализа и оценке им целесообразности.

Не стоит рассчитывать, что внедрение двойников обеспечит рост показателей, ведь нельзя совсем исключить человеческий фактор. Это происходит из-за разницы восприятия информации и интерпретации ее рабочими. Решением этой проблемы может послужить создание нормативно-методической основы проектирования.

Цифровой двойник стал неотъемлемой частью для управления объектов на производстве.

ЛИТЕРАТУРА

1. Хабаров С.П. Применение комплексных алгоритмов управления газодобычей как элементов цифрового двойника технологического комплекса Бованенковского НГКМ / С.П. Хабаров, М.Л. Шилкина // Газовая промышленность. – 2019. – № 6(785). – С. 42–49.

2. Еремин Н.А. Цифровой двойник в нефтегазовом производстве / Н.А. Еремин, Ал.Н. Еремин // Нефть. Газ. Новации. – 2018. – № 12. – С. 14–17.

УДК 658.562

АВТОМАТИЗАЦИЯ СИСТЕМ ПРОСЛЕЖИВАЕМОСТИ И ИДЕНТИФИКАЦИИ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ

А.В. Токарева, м.н.с. ЛАТИДС каф. КСУП

*Научный руководитель Д.В. Кручинин, к.ф.-м.н., доцент
г. Томск, ТУСУР, kdv@keva.tusur.ru, alinagrinkevich@yandex.ru*

В процессе производства сложных технических изделий необходимо придерживаться комплексного подхода, который включает в себя технологию производства, маркировку, контроль маршрута производства, обработку информации о комплектующих. Для автоматизации этого процесса используются системы идентификации и прослеживаемости. Проведен анализ подходов к созданию таких систем, а также предложен метод идентификации с использованием алгоритмов комбинаторной генерации на основе деревьев И/ИЛИ.

Ключевые слова: система идентификации и прослеживаемости, алгоритмы комбинаторной генерации, контроль качества, автоматизация процессов.

Процесс управления в организационных системах является важным аспектом в производственных процессах. Основным критерий, определяющий создание изделий, – это «качество». Понятие «качество» следует рассматривать системно, т.е. как комплексную составляющую, которая включает в себя качество управления, конечного продукта, поставки и работ сотрудников.

Одним из ключевых элементов системы менеджмента качества продукции на предприятиях является создание системы прослеживаемости изделия на предприятии. Система идентификации и прослеживаемости продукции (СИиП) – система учета производства, перемещения и отгрузки каждой единицы продукции в реальном времени [1].

Необходимость внедрения такой системы определяется наличием большого объема данных о том, на каком производственном этапе находится та или иная партия изделий, какие комплектующие используются, возникают ли нарушения в технологии производства. Без такой системы также усложняется процесс управления жизненным циклом изделия, что является недопустимым при больших объемах производства.

Целью данного исследования является анализ методов построения систем идентификации и прослеживаемости продукции. В работе предложен метод идентификации сложных технических изделий с использованием алгоритмов комбинаторной генерации на основе деревьев И/ИЛИ.

Представляя систему идентификации и прослеживаемости изделий в виде модели «чёрного ящика» (рис. 1), входными будут данные об изделии, которые были заданы пользователем, ответственным за заполнение информации о комплектующих изделия. Далее проходит цепь процессов, в результате которых можно наблюдать выходные параметры: идентификационный номер, описание, маршрут производства изделия.

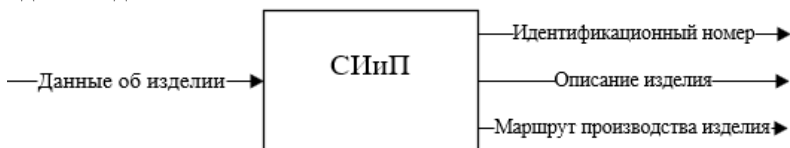


Рис. 1. Представление СИиП в виде модели «чёрного ящика»

Если исследовать данную модель изнутри, можно выделить ряд методов и подходов, используемых для построения систем прослеживаемости и идентификации. Многие российские и зарубежные исследователи описывают использование технологии блокчейна для построения СИиП [2]. Блокчейн – распределенная база данных, которая

хранит информацию обо всех транзакциях участников системы в виде «цепочки блоков». Так, выстраивается цепочка технологического маршрута изделия, все данные и состояния заносятся в базу данных. В ходе создания продукта наносится маркировка, которая отображается в базе данных, а в случае производства некоторых изделий она заносится в Единую систему маркировки «Честный знак».

Для мелкосерийного производства СИиП продукции представляет собой программное обеспечение, основная задача которого – присвоение уникального идентификатора изделию (с помощью генератора) и хранение данных об изделии.

После проведенного анализа подходов к реализации систем прослеживаемости и идентификации были выявлены следующие особенности данного вида программного обеспечения:

- для каждого производства необходимо разрабатывать собственную СИиП;
- такие системы во многом сосредоточены на работу с большим массивом данных, который должен быть структурирован в одно множество, подходящее для обработки.

Помимо этого, были отмечены следующие недостатки: отсутствие универсальности, необходимость хранения данных большого объема.

Одним из возможных методов построения систем прослеживаемости и идентификации может быть применение алгоритмов комбинаторной генерации на основе деревьев И/ИЛИ, предложенной В.В. Кручинины.

Суть метода заключается в следующем [3]: вся информация о множестве производимых изделий представляется в виде деревьев И/ИЛИ и для каждого узла дерева создается справочник, каждое изделие также можно представить в виде дерева И/ИЛИ. С помощью алгоритма Rank можно создать идентификационный номер изделия, который заносится в базу идентификационных номеров. В случае необходимости получения информации об изделии, используя алгоритм Unrank, можно получить обратно всё дерево.

Данный подход может решить проблему хранения массива данных, а также минимизировать возможность подделки изделия, так как получить информацию об изделии можно лишь зная заложенный для генерации идентификатор алгоритма.

Автоматизация процесса идентификации и прослеживаемости изделия является ключевой задачей в рамках управления качеством на предприятии. Именно поэтому выбранная СИиП должна удовлетворять потребностям конкретного производства. Были проанализирова-

ны подходы к созданию таких систем и предложен подход, который можно использовать для создания таких систем. Следующим шагом станет моделирование СИиП и реализация программной части.

Работа выполнена в рамках гранта Российского научного фонда (проект № 22-71-10052).

ЛИТЕРАТУРА

1. Шихов С. Система прослеживаемости – неотъемлемая часть современного производства // Технологии в электронной промышленности. – 2015. – № 2. – С. 82–84.

2. Тимчук Е.Г. Применение технологии блокчейн в целях обеспечения прослеживаемости пищевой продукции: текущее состояние и перспективы // Научные труды Дальрыбвтуза. – 2022. – № 3 (61). – С. 13–20.

3. Кручинин В.В. Методы, алгоритмы и программное обеспечение комбинаторной генерации: дис. ... д-ра техн. наук, 2010. – 163 с.

УДК 004.9

АЛГОРИТМ ФОРМИРОВАНИЯ КОНФИГУРАЦИЙ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ И ПРОИЗВОДСТВАМИ

В.В. Зайцев, соискатель института СПИНТех

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

директор института СПИНТех

г. Москва, Зеленоград, НИУ МИЭТ, incos@miee.ru

Представлено описание эффективного алгоритма анализа графой модели автоматизированной системы управления технологическими процессами и производствами, позволяющего формировать конфигурации систем с учетом имеющихся программно-аппаратных модулей. Кроме этого, алгоритм позволяет учитывать связи и зависимости между компонентами автоматизированных систем управления. Алгоритм позволяет декомпозировать структуру автоматизированной системы управления на отдельные подсистемы и устанавливать критерии и параметры их интеграции с другими системами.

Ключевые слова: автоматизированные системы управления, графовое представление системы, интеграция компонентов автоматизированных систем.

В настоящее время на предприятиях повсеместно используются различные автоматизированные системы управления технологическими процессами и производствами. Современные тенденции разви-

тия информационных технологий и промышленной инфраструктуры предъявляют новые требования к проектированию и разработке автоматизированных систем управления, например, касающихся конвергенции и интеграции как самих систем, так и отдельных компонентов [1, 2].

Известно, что конвергенция и интеграция невозможны без качественного анализа структуры автоматизированной системы, выявления ее компонентов, модулей, связей между ними, а также входных и выходных параметров [3]. Для представления структуры автоматизированной системы используется графовая модель, в которой каждый модуль имеет вид

$$M = \langle T, R, K, P, D_1, D_2, D_3, D_4 \rangle, \quad (1)$$

где T – множество входных параметров модуля; R – множество выходных параметров модуля. Множества T и R получаются в результате эскизного и технического проектирования модуля для автоматизированной системы управления; K – множество технических параметров и условий для описания корректной работы модуля; P – множество правил доступа к элементам модуля. Элементы множества P представляют собой пары (v, f) , где v – роль, f – уровень доступа (доступ открыт, доступ закрыт). D_1 – отношение на $T \times R$, D_2 – отношение на $T \times K$; D_3 – отношения $T \times P$; D_4 – отношение $R \times P$.

Таким образом, иерархическая структура автоматизированной системы управления технологическими процессами и производствами имеет вид

$$\begin{cases} A_1 : \langle M_1, \dots, M_k \rangle \Rightarrow L_1, \\ \dots \\ A_i : \langle M_1, \dots, M_m \rangle \Rightarrow L_i, \\ \dots \\ A_n : \langle M_1, \dots, M_n \rangle \Rightarrow L_n, \end{cases} \quad (2)$$

где A_i – конфигурация автоматизированной системы управления технологическими процессами и производствами; L_i – иерархический уровень конфигурации; k, n, m – количество компонентов в одной конфигурации автоматизированной системы управления.

На рис. 1 представлен пример графического представления i -й конфигурации автоматизированной системы управления технологическими процессами и производствами. Графовое представление позволяет определить все вершины дерева, принадлежащие i -му иерархическому уровню и связи между ними.

На основании вышеизложенного алгоритм формирования конфигураций автоматизированных систем управления состоит в:

- определении модуля из конфигурации автоматизированной системы, которое станет корнем дерева иерархической структуры;
- формировании для каждого модуля (вершины дерева) списка зависимостей и добавление их в конфигурацию.

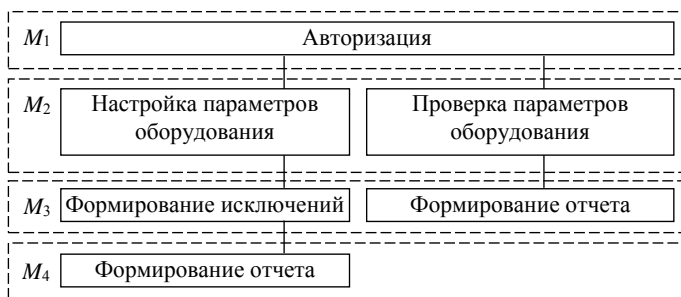


Рис. 1. Графическое представление конфигурации автоматизированной системы управления

Алгоритм заканчивает работу при переборе всех моделей автоматизированной системы управления технологическими процессами и производствами.

Таким образом, алгоритм позволяет учитывать связи и зависимости между компонентами автоматизированных систем управления. Алгоритм позволяет декомпозировать структуру автоматизированной системы управления на отдельные подсистемы и устанавливать критерии и параметры их интеграции с другими системами.

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. Подходы к автоматизации процессов центров коллективного проектирования микроэлектроники / Ю.С. Шевнина, Л.Г. Гагарина // Информационные технологии и вычислительные системы. — 2021. — № 4. — С. 3–16.
3. Шевнина Ю.С. Автоматизация мониторинга параметров производственной среды с использованием смарт структур // Автоматизация. Современные технологии. — 2022. — № 2. — С. 47– 59.

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

ПОСТРОЕНИЕ НЕЧЕТКОГО КЛАССИФИКАТОРА НА ОСНОВЕ ЛЬВИНОГО АЛГОРИТМА ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ МОШЕННИЧЕСКИХ БАНКОВСКИХ ОПЕРАЦИЙ

*А.В. Герасимов, студент каф. БИС;
М.Б. Бардамова, доцент каф. КСУП
г. Томск, ТУСУР, 722bmb@gmail.com*

Метаэвристический львиный алгоритм может применяться для оптимизации нечеткого классификатора. Исследована эффективность отбора признаков и настройки параметров термов львиным алгоритмом в задаче определения мошеннических транзакций на примере набора данных CreditCard. Проведено сравнение результатов построения на различных фитнес-функциях, позволяющих преодолеть проблему высокой степени дисбаланса набора данных.

Ключевые слова: нечеткий классификатор, львиный алгоритм, несбалансированные данные, машинное обучение.

Мировые убытки от мошенничества с кредитными картами возрастают каждый год [1]. Мошенничество с кредитными картами ставит под угрозу доверие клиентов к банковским операциям, являющееся важным условием эффективного взаимодействия между банковской системой и её клиентами. В настоящее время для создания систем антифрода используется машинное обучение, способное автоматически анализировать большой объем накопленных данных. Однако банковские данные отличаются не только большим объемом, но и существенным дисбалансом. Поскольку в данной задаче важнее правильно выявлять мошеннические транзакции, необходимо предпринимать шаги, позволяющие сместить фокус обучения с наибольшего на наименьший класс.

Цель проведенного исследования заключалась в проверке эффективности нечеткого классификатора, настроенного львиным алгорит-

мом, в задаче распознавания мошеннических транзакций. В роли входных данных использован набор CreditCard [2], в котором число отрицательных образцов в 579 раз превышает число положительных (общий объем – 284807 экземпляров).

Описание используемых алгоритмов. Львиный алгоритм вдохновлен жизненным циклом прайда львов и состоит из шести этапов: генерация прайда, оценка фертильности, создание потомства, территориальная защита, захват территории, остановка [3].

Генерация прайда является иницирующим процессом алгоритма льва. Вектор с лучшим значением фитнес-функции считается вожаком, остальные векторы представляют собой львиц. Во время этапа оценки фертильности обновляется возраст львиц. Возраст основан на значении фитнес-функции и числе итераций существования вектора львицы. Если львица достигает максимального возраста, на её месте генерируется новая – как сумма вектора предыдущей львицы со случайной компонентой от разности векторов этой же львицы и вожака.

После выбора львицы с лучшим показателем фертильности проводится создание потомства путем скрещивания вектора львицы и вектора доминирующего льва. На этапе территориальной защиты генерируется случайный вектор – бродячий лев. Его фитнес-функция сопоставляется с фитнес-функцией доминирующего льва; если бродячий лев оказывается сильнее, он занимает роль вожака как глобального лидера популяции, векторы предыдущего доминирующего льва и его потомства очищаются и алгоритм возвращается к этапу оценки фертильности львиц. В противном случае вектор бродячего льва удаляется и процесс переходит к этапу захвата территории. Здесь обновляется возраст потомства аналогичным образом, как и у львиц. Если львята не достигли зрелости, то осуществляется возврат к шагу территориальной защиты. При преодолении порога зрелости среди подросткового поколения выбирается молодой лев с наилучшей фитнес-функцией, которая сравнивается с фитнес-функцией вожака.

После определения победителя, который и считается доминирующим львом, текущее потомство очищается, алгоритм увеличивает счетчик итераций на единицу и возвращается к шагу оценки фертильности львиц, если критерий остановки не выполнен. В качестве критерия завершения работы алгоритма в данной работе было использовано достижение заданного количества итераций. Преимущество алгоритма заключается в том, что между непрерывной и бинарной версией не имеется существенных различий.

Эксперимент. Чтобы нивелировать влияние дисбаланса в наборе CreditCard, необходимо выбрать фитнес-функцию, способную учиты-

вать разницу в количестве образцов. В табл. 1 представлены результаты построения нечеткого классификатора с использованием следующих мер: средней геометрической точности (GM), $F1$ - и $F\beta$ -меры ($F1$ и $F\beta$), а также гибридной функции (HF), представляющей собой сумму произведения GM на коэффициент приоритета γ и произведения общей точности на $1-\gamma$ [4]. В роли инструмента генерации структуры использован алгоритм экстремумов классов, для отбора признаков и настройки параметров термов – бинарный и непрерывный львиный алгоритм соответственно. В табл. 1 приведены точности наименьшего и наибольшего классов, в качестве обобщенного критерия представлена итоговая точность – среднее арифметическое от точностей отдельных классов.

Таблица 1

**Точность классификации на наборе данных CreditCard
при использовании различных фитнес-функций**

Мера качества	Наименьший класс	Наибольший класс	Итоговая точность
GM	89,6	97,3	93,4
$HF, \gamma = 0,25$	82,1	99,8	91,0
$HF, \gamma = 0,5$	79,3	99,3	89,3
$HF, \gamma = 0,75$	83,5	95,5	91,0
$F1$	90,9	55,6	73,25
$F\beta, \beta = 0,5$	87,2	61,3	74,2
$F\beta, \beta = 2$	92,2	55,1	73,6

Согласно обобщенному критерию, лучшей точности удалось добиться при использовании GM . Было произведено сравнение результатов нечеткого классификатора (НК) с аналогами из библиотеки sklearn: наивным классификатором Байеса (НКБ), логистической регрессией, деревом решений, методом опорных векторов (SVM), алгоритмом k-ближайших соседей (KNN) [5]. Итоги представлены в табл. 2.

Таблица 2

Сравнение результатов классификации с аналогами

Алгоритм	Наименьший класс	Наибольший класс	Итоговая точность
НК	89,6	97,3	93,4
НКБ	82,7	97,8	90,3
Логистическая регрессия	60,1	100	80,1
Дерево решений	74,4	80,1	77,2
SVM	72,1	100	86,1
KNN, $k = 3$	72,3	100	86,2
KNN, $k = 3$	72,7	100	86,4
KNN, $k = 3$	72,7	100	86,4

Заключение. Львиный алгоритм позволил нечеткому классификатору продемонстрировать на наборе данных CreditCard лучшую точность по наименьшему классу и обобщенному критерию точности по сравнению с аналогичными решающими алгоритмами. Особенность метаэвристики, заключающаяся в отсутствии необходимости модифицировать алгоритм для работы в бинарном пространстве поиска, делает его удобным инструментом для построения нечетких классификаторов.

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

ЛИТЕРАТУРА

1. Card Fraud Worldwide Report [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://nilsonreport.com/upload/content_promo/NilsonReport_Issue1209.pdf (дата обращения: 11.12.2022).
2. Combining unsupervised and supervised learning in credit card fraud detection / F. Carcillo, Y.-A. Le Borgne, O. Caelen et al. // Information Sciences. – 2021. – Vol. 557. – PP. 317–331.
3. Rajakumar B.R. Optimization using lion algorithm: a biological inspiration from lion's social behavior // Evolutionary Intelligence. – 2018. – Vol. 11. – PP. 31–52.
4. Бардамова М.Б. Формирование структуры нечёткого классификатора комбинацией алгоритма экстремумов классов и алгоритма «прыгающих лягушек» для несбалансированных данных с двумя классами / М.Б. Бардамова, И.А. Ходашинский // Автометрия. – 2021. – Т. 57, № 4. – С. 54–64.
5. Scikit-learn. User guide [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://scikit-learn.org/stable/supervised_learning.html (дата обращения: 10.12.2022).

УДК 004.021

ПРИМЕНЕНИЕ МОДИФИЦИРОВАННОГО СОВИНОГО АЛГОРИТМА ДЛЯ НАСТРОЙКИ НЕЧЕТКОГО КЛАССИФИКАТОРА В ЗАДАЧЕ АНАЛИЗА ТРАФИКА

М.А. Илюткин, студент каф. БИС;

М.Б. Бардамова, доцент каф. КСУП

г. Томск, ТУСУР, 722bmb@gmail.com

Представлена метаэвристика, вдохновленная ночным образом жизни сов. Описан непрерывный совиный алгоритм, применяющийся для настройки параметров термов нечеткого классификатора, приведена информация о бинарной версии этого алгоритма, используемого для отбора признаков в режиме обертки, и изложена идея разработанного гибрида с алгоритмом прыгающих лягушек. Разра-

ботанные алгоритмы проверены при построении нечеткого классификатора на наборе данных NSL-KDD.

Ключевые слова: обнаружение вторжений, машинное обучение, нечеткий классификатор, совиный алгоритм, алгоритм прыгающих лягушек.

Автоматизация рабочих процессов с использованием как локальных, так и глобальных сетей приводит к необходимости обеспечивать защиту ресурсов от сетевых атак. Для обеспечения защиты применяются системы обнаружения вторжений. В роли основного компонента таких систем может выступать классификатор, обученный интеллектуальными алгоритмами на ретроспективных данных. Решающие алгоритмы, построенные на базе нечеткой логики, полезны тогда, когда кроме точности важна интерпретируемость получаемой модели. Как и многие другие алгоритмы, нечеткие классификаторы склонны переобучаться на классах с наибольшим числом экземпляров, поэтому при работе с несбалансированными данными необходимо предусматривать способы преодоления проблемы дисбаланса.

Целью работы является увеличение точности обнаружения сетевых атак нечетким классификатором при помощи метаэвристического совиного алгоритма. Для обучения классификатора выбран набор данных NSL-KDD.

Разработанные алгоритмы. Сова – это эффективные хищники с необычной слуховой системой, которая помогает охотиться в условиях ограниченной видимости. Из-за особенного расположения ушей у сов звук попадет в одно ухо быстрее другого. Это позволяет быстро определять местоположение добычи: расстояние до жертвы оценивается на основе разницы во времени считывания звукового сигнала и интенсивности прихода звуковой волны.

Совиный алгоритм базируется на воспроизведении процесса ночной жизни совы [1]. Процесс работы алгоритма начинается с создания популяции из n сов $OWLS = \{\mathbf{owl}_1, \mathbf{owl}_2, \dots, \mathbf{owl}_n\}$, оценки фитнес-функции $\{\text{fit}(\mathbf{owl}_1), \text{fit}(\mathbf{owl}_2), \dots, \text{fit}(\mathbf{owl}_n)\}$, выбора лучшей и худшей совы (**best** и **worst** соответственно), инициализации вектора добычи **prey**. Считается, что лучшая сова настигла добычу, поэтому в **prey** записывается вектор этой совы. Затем до истечения заданного количества итераций выполняется следующее. Для каждой совы задается интенсивность входящего сигнала intensity_i ($i \in [1, n]$):

$$\text{intensity}_i = (\text{fit}(\mathbf{owl}_i) - \mathbf{worst}) / (\mathbf{best} - \mathbf{worst}) .$$

Далее интенсивность корректируется

$$\text{intensity}_i = \text{intensity}_i / \|\mathbf{owl}_i, \mathbf{prey}\|^2 + \mathbf{noise} ,$$

где **noise** – случайный вектор из вещественных чисел в пределах от 0 до 1. После окончания расчета интенсивности осуществляется генерация случайного числа в пределах от 0 до 1. Если оно меньше 0,5, то положение каждой совы обновляется следующим образом:

$$\mathbf{owl}_i = \mathbf{owl}_i + \beta \cdot \text{intensity}_i \cdot (\alpha \cdot \mathbf{prey} - \mathbf{owl}_i),$$

где α – равномерно распределенное случайное число, $\alpha \in [0, 0,5]$, β – линейно убывающая константа, стартовое значение которой задается пользователем. В ином случае используется следующая формула:

$$\mathbf{owl}_i = \mathbf{owl}_i - \beta \cdot \text{intensity}_i \cdot (\alpha \cdot \mathbf{prey} - \mathbf{owl}_i).$$

Таким образом обновляется вся популяция, происходит перерасчет фитнес-функции и, при необходимости, замещение векторов **best**, **worst** и **prey**. После этого итерация считается завершенной. При завершении работы алгоритма выводится вектор **best**.

Для бинаризации алгоритма использован метод модифицирования арифметических операций, идея которого заключается в замене всех арифметических операций на логические аналогии. Вместо расстояния Евклида используется метрика Хэмминга.

Совиный алгоритм имеет очень простую реализацию и всего один задаваемый пользователем параметр. Однако на этапе предварительного тестирования этой метаэвристики не удалось показать удовлетворительных результатов при оптимизации параметров термов нечеткого классификатора. Для повышения эффективности был разработан гибрид с алгоритмом прыгающих лягушек, особенностью которого является наличие субпопуляций [2]. В новом гибридном алгоритме совы разделяются на субпопуляции, а для изменения положения каждой совы отводится три попытки. На первой сова перемещается в сторону лучшей совы в субпопуляции. Если после перемещения фитнес-функция не улучшается, то осуществляется попытка перемещения к лучшей сове во всей популяции. Если и на этом этапе не удастся улучшить фитнес-функцию, то положение текущей совы меняется случайным образом. Это позволяет вносить разнообразие в популяцию. На перемещение сов в пределах своей субпопуляции отводится заданное число локальных итераций, после чего популяция объединяется, сортируется и разбивается на субпопуляции заново, пока не истекнут глобальные итерации.

Эксперимент. В рамках предобработки данных было удалено три номинальных признака (protocol type, service, flag). Различные классы атак были объединены в один класс, противопоставляющийся классу нормального трафика. Так как набор имел дисбаланс, что увеличивало риск переобучения модели на отрицательном классе, было принято решение использовать для сокращения числа образцов

наибольшего класса алгоритм «neighborhood cleaning rule» [3]. Этот алгоритм направлен на удаление образцов, оказывающих негативное воздействие на исход классификации миноритарных классов при классификации по правилу трех ближайших соседей. При этом удаляются отрицательные экземпляры, которые одновременно удовлетворяют следующим критериям: получившие верную метку класса, являющиеся соседями положительных примеров, которые были неверно классифицированы.

В процессе эксперимента были построены две модели на основе нечетких классификаторов. В обеих использовались алгоритм экстремумов классов для генерации базы правил и бинарный совиный алгоритм для отбора признаков (500 итераций, 40 особей). В первой модели для настройки параметров применялся разработанный гибрид, во второй – исходный совиный алгоритм. Оба алгоритма выполняли 1000 итераций, размер популяции равнялся 40 особям. Была использована треугольная функция принадлежности.

Для проверки результатов нечеткого классификатора аналогичные модели были построены с помощью других алгоритмов машинного обучения. Эксперимент был проведен в соответствии с 10-кратной перекрестной проверкой, на каждой выборке классификаторы запускались по 10 раз. Итоги эксперимента продемонстрированы в таблице, где приведены средняя геометрическая точность созданных моделей (GM) и точность отдельных классов (c_0 и c_1).

Точность классификаторов на тестовых выборках набора данных NSL-KDD

Алгоритм	GM	c_0	c_1
Исходный нечеткий классификатор	87,93	99,8	76,6
Гибридный алгоритм	99,16	99,38	98,94
Совиный алгоритм	97,99	97,99	93,30
Наивный байесовский классификатор	89,80	89,80	87,78
Логистическая регрессия	93,52	93,52	95,69
Метод опорных векторов	93,49	93,49	95,87
Стохастический градиентный спуск	92,32	92,32	94,25
Решающее дерево	93,43	93,43	95,75
Ансамбль AdaBoost	91,22	91,22	93,07

Заключение. Бинарный совиный алгоритм позволил уменьшить количество признаков с 41 до 20,44. Объединение совиного алгоритма и алгоритма прыгающих лягушек позволило улучшить среднюю геометрическую точность на исследуемом наборе данных. Разработанный гибрид способствовал получению нечеткого классификатора, который продемонстрировал результаты, превосходящие точность аналогов.

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

ЛИТЕРАТУРА

1. Owl search algorithm: A novel nature-inspired heuristic paradigm for global optimization / M. Jain, S. Maurya, A. Rani, V. Singh // Journal of Intelligent and Fuzzy Systems. – 2018. – Vol. 34. – PP. 1573–1582.
2. Ходашинский И.А. Отбор признаков и построение нечеткого классификатора на основе алгоритма прыгающих лягушек / И.А. Ходашинский, М.Б. Бардамова, В.С. Ковалев // Искусственный интеллект и принятие решений. – 2018. – № 1. – С. 76–84.
3. Scikit-learn. User guide [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://imbalanced-learn.org/stable/references/generated/imblearn_under_sampling_NeighbourhoodCleaningRule.html (дата обращения: 20.10.2022).

УДК 004.421

ИЗВЛЕЧЕНИЕ ПРИЗНАКОВ ДИНАМИЧЕСКОЙ РУКОПИСНОЙ ПОДПИСИ НА ОСНОВЕ СКРЫТОЙ МАРКОВСКОЙ МОДЕЛИ

Р.Е. Коломников, аспирант каф. КСУП

*Научный руководитель: К.С. Сарин, доцент каф. КСУП
г. Томск, ТУСУР, kolomnikov0405@gmail.com*

Рассматривается метод извлечения признаков из сигналов динамической рукописной подписи на основе скрытой марковской модели. Признаки будут использованы для построения обучающих наборов данных, с помощью которых можно построить модели машинного обучения аутентификации пользователя.

Ключевые слова: извлечение признаков, рукописная подпись, таблица наблюдений.

Рукописная подпись остается одним из самых распространенных юридически значимых подтверждений личности на документе, подписью заверяются сведения и факты, которые документ содержит. Одним из вариантов автоматической проверки подписи является построение модели машинного обучения [1, 2]. Важным этапом построения таких моделей является извлечение признаков из сигналов рукописной подписи. В настоящей работе предлагается метод извлечения признаков, основанный на скрытых марковских моделях (НММ).

НММ моделирует дважды стохастический процесс, управляемый базовой цепью Маркова с конечным числом состояний и набором случайных функций, каждая из которых связана с одним состоянием. В дискретные моменты времени процесс находится в одном из состояний и генерирует символ наблюдения по случайной функции, соот-

ветствующей текущему состоянию. Модель скрыта в том смысле, что все, что можно увидеть, – это последовательность наблюдений. Базовое состояние, которое сгенерировало каждый символ, скрыто. Рассматриваются процессы, последовательность наблюдений которых берется из дискретного конечного алфавита в соответствии с дискретными функциями распределения вероятностей, связанными с состояниями [3].

Целью работы является извлечение признаков динамической рукописной подписи на основе скрытой марковской модели и построение с их помощью обучающих данных для построения модели машинного обучения аутентификации пользователя. Для достижения поставленной цели необходимо реализовать следующие задачи:

- получить сигналы динамической рукописной подписи,
- разработать функции извлечения признаков на основе скрытой марковской модели,
- построить обучающие данные.

Проведен эксперимент по съему сигналов динамической рукописной подписи. Приняли участие 45 человек. Каждый участник придумал подпись и нанес 30 экземпляров. Для каждой такой подписи сделано 30 поддельных экземпляров, нанесенных разными людьми. Таким образом было получено 2700 экземпляров.

Предлагаемая система аутентификации имеет следующую структуру. На вход системы подаются сигналы оригинальной и проверяемой подписей. Далее из подписей извлекаются признаки, с помощью скрытой марковской модели и полученный вектор признаков, который идет на вход классифицирующей модели. После чего принимается решение о том, является ли проверяемая подпись аналогичной оригинальной (рис. 1).

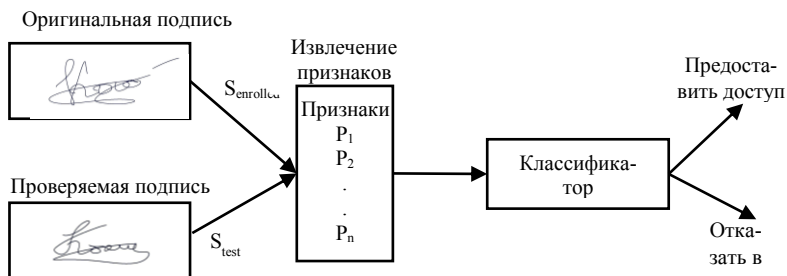


Рис. 1. Архитектура системы аутентификации

Извлекаемые признаки представляют вектор, содержащий вероятности того, что цепочки последовательностей символов, представля-

ющие проверяемую подпись, сгенерированы скрытыми марковскими моделями, созданными на основе последовательностей символов оригинальных подписей. Модели обучались алгоритмом Баума–Велча [4].

Первый признак сформирован на основе последовательности сегментов углов наклона касательной θ к траектории ведения пера. Угол сопоставляется с номером сегмента (рис. 2).

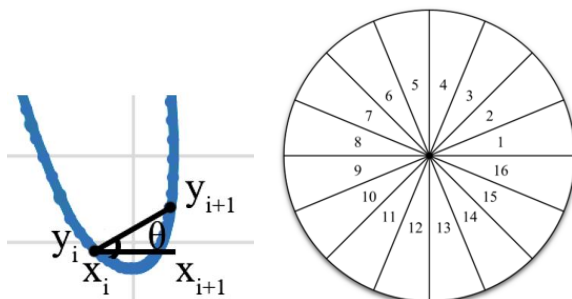


Рис. 2. Углы наклона касательной и сегменты

Второй признак сформирован на основе последовательности прямоугольных блоков области нанесения подписи. На рис. 3 такая область разделена на 4 прямоугольных блока, каждый из которых имеет уникальный номер. Последовательность фиксирует положение пера в определенном блоке в каждый отсчет времени.



Рис. 3. Прямоугольные блоки области нанесения подписи

Третий признак сформирован на основе сигналов давления пера. Область значений давлений пера равномерно разбивается на интервалы, каждый из которых имеет уникальный номер. Последовательность фиксирует положение пера в определенном интервале в каждый отсчет времени.

Аналогично третьему сформированы признаки на основе сигналов скорости по координатам x , y ; абсолютной скорости, ускорениям по координатам x , y ; абсолютного ускорения, рывка по координате x , y ; абсолютного рывка. Для извлечения признаков использовалось 4 интервала.

Таким образом, для каждой пары подписей (оригинальной и проверяемой) формируется вектор, включающий в себя 12 признаков.

На основе базы сигналов, полученных в ходе эксперимента, созданы обучающие данные, включающие в себя 12 признаков и метку класса.

Данные сформированы таким образом, что 1/3 экземпляров в качестве проверяемой содержат оригинальную подпись, 1/3 – квалифицированную подделку и 1/3 – неквалифицированную подделку. Случайным образом было выбрано 5000 пар подписей (оригинальная и проверяемая) и на их основе была получена таблица наблюдений.

Заключение. В результате проделанной работы был проведен эксперимент по снятию сигналов динамической рукописной подписи, извлечены признаки на основе скрытой марковской модели, получены обучающие данные, которые в дальнейшем будут использованы для построения модели аутентификации пользователя по динамической рукописной подписи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Андреевских Д.А., Коломников Р.Е. Аутентификация по динамической рукописной подписи с отбором глобальных информативных признаков // Сб. избр. статей научной сессии ТУСУР. – Томск: В-Спектр, 2022. – № 1. – С. 68–71.
2. Андреевских Д.А. Система аутентификации пользователя по динамической рукописной подписи /Д.А. Андреевских, Р.Е. Коломников, К.С. Сарин // Электронные средства и системы управления: матер. докладов междунар. науч.-практ. конф. – Томск: В-Спектр, 2021. – № 1. – С. 293–295.
3. Yang L. Application of hidden Markov models for signature verification / L. Yang, B.K. Widjaja, R. Prasad // International Journal of Computer Applications. – 2010. – Vol. 10, No. 2. – PP. 162–163.
4. Baum-Welch algorithm [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://medium.com/mllearning-ai/baum-welch-algorithm-4d4514cf9dbe> (дата обращения: 13.11.2022).

УДК 004.85

НЕЧЕТКИЙ КЛАССИФИКАТОР ТИПА MIN-MAX ДЛЯ АУТЕНТИФИКАЦИИ ЛИЧНОСТИ ПО ДИНАМИЧЕСКОЙ РУКОПИСНОЙ ПОДПИСИ

Р.Е. Коломников, аспирант; К.С. Сарин, доцент, к.т.н.

г. Томск, ТУСУР, каф. КСУП, kolomnikov0405@gmail.com

Представлена система аутентификации личности по динамической рукописной подписи на основе нечеткого классификатора типа Min-Max. Оценена эффективность работы системы, проведены сравнения с традиционными моделями машинного обучения.

Ключевые слова: аутентификация, динамическая рукописная подпись, нечеткий классификатор типа Min-Max.

Системы искусственного интеллекта (СИИ) на протяжении последнего десятилетия совершили стремительный прорыв практически во все сферы человеческой деятельности. Это осуществилось благодаря повышению вычислительной мощности технических средств и развитию методов машинного обучения. Сфера защиты информации является стратегически важной для безопасности государства, а применение в ней СИИ является необходимым для успешного и стабильного развития.

Аутентификация личности по динамической рукописной подписи с помощью моделей машинного обучения явилась поводом для многих исследований [1–3]. Характеристику «динамическая» подпись получила потому, что снимается она с использованием специальных электронных устройств (планшетов), фиксирующих не только ее изображение, но и информацию о ее характеристиках во время всего процесса нанесения (временные последовательности). Такими характеристиками обычно выступают координаты X , Y , давление пера на поверхность планшета. Подавляющее большинство моделей машинного обучения, применяемых для аутентификации, являются нейронными сетями [3].

Нейронные сети считаются моделями черного ящика из-за того, что они не могут объяснить свои предсказанные результаты. Когда дело доходит до анализа данных, одним из важных свойств является способность извлечения правил, позволяющих объяснить вывод модели. Поэтому модели машинного обучения должны предлагать пользователю полезный механизм объяснения своих результатов. Другим недостатком нейронных сетей является катастрофическое забывание, также известное как дилемма стабильности-пластичности. Данный недостаток связан с неспособностью классификатора сохранять предыдущую информацию, полученную на старых обучающих данных, когда новые данные обрабатываются этим классификатором. Следовательно, классификаторы часто забывают изученную информацию при получении новой.

Одними из моделей, позволяющих преодолеть вышеприведенные трудности, являются нечеткие классификаторы типа Min-Max [4, 5]. Они могут генерировать объяснение на основе нечетких правил, введенных из значений минимум-максимум гипербоксов, а также обладают онлайн-адаптацией или онлайн-обучением, способностью изучать информацию о новых классах и уточнять существующие классы быстро без переобучения. Приведенные свойства данных классификаторов необходимы для столь критичной области, как защита информации. Поэтому их применение для аутентификации лич-

ности по динамической рукописной подписи является весьма актуальным.

Цель работы заключается в разработке и исследовании системы аутентификации личности по динамической рукописной подписи на основе классификатора типа Min-Max.

Задачи, решенные в работе, представлены ниже:

1. Созданы обучающие данные для построения моделей машинного обучения аутентификации личности по рукописной подписи.
2. Построен нечеткий классификатор типа Min-Max для аутентификации личности по рукописной подписи.
3. Сравнены результаты точности аутентификации с традиционными моделями машинного обучения.

Система аутентификации. Предлагаемая система аутентификации представлена на рис. 1. Снятые с помощью планшета сигналы оригинальной и тестируемой подписи подвергаются процедуре извлечения признаков.

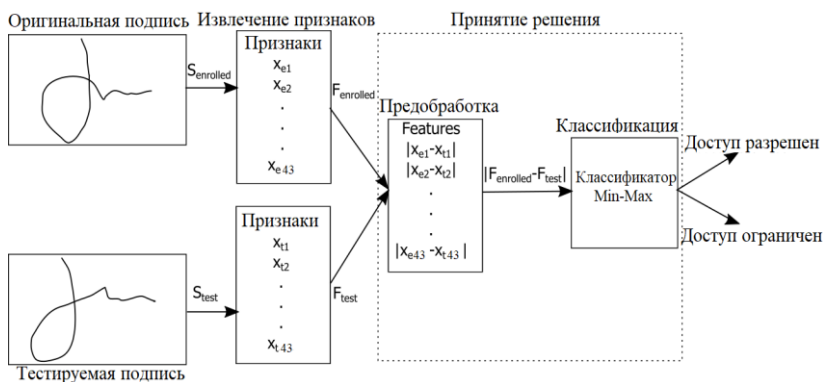


Рис. 1. Система аутентификации по рукописной подписи

Результатом данной процедуры является вектор признаков, характеризующий подпись. Всего извлекается 43 признака высокого уровня [1]. Далее проводится процедура предобработки, формирующая из двух векторов один. Значения его элементов являются абсолютной разностью элементов векторов оригинальной и тестируемой подписей. После этого полученный вектор подается на вход классифицирующей модели, которая принимает решение о том, является ли тестируемая подпись идентичной оригинальной.

Таблица наблюдений для создания обучающих и тестовых данных сформирована на основе базы сигналов рукописной подписи МСУТ [6]. Данная база содержит придуманные подписи 330 участни-

ков. Каждая подпись содержит 25 оригинальных экземпляров и 25 квалифицированных подделок. Таким образом, общее количество экземпляров подписей в базе $330 \times 25 \times 25 = 16500$.

Алгоритм построения нечеткого классификатора типа Min-Max последовательно обрабатывает поступающие данные, где с каждым экземпляром проводятся процедуры расширения гипербоксов, тестирование на перекрытие и сокращения [4, 5]. Расширение находит гипербокс класса экземпляра данных, который может быть расширен и могут накрыть данный экземпляр. Если такой гипербокс не обнаружен, то экземпляр становится новым гипербоксом. Тест на перекрытие позволяет найти гипербоксы разных классов, которые в результате расширения могут быть перекрыты. Если такие гипербоксы обнаружатся, то процедура сокращения позволит устранить перекрытия путем сжатия гипербоксов. Алгоритм содержит один параметр θ , который определяет максимальный размер гипербокса.

Эксперимент. Для проведения эксперимента 60% подписей были использованы для обучающих данных и 40% для тестовых. Разделение проходило таким образом, чтобы экземпляры подписей одного и того же пользователя не находились в обеих выборках. В эксперименте помимо нечетких классификаторов типа Min-Max использовались также машина опорных векторов (SVM), деревья решений (DT) и метод k -ближайшего соседа (kNN). Оценками эффективности работы моделей выступали ошибки первого и второго рода ($E_{г1}$ и $E_{г2}$) и средняя ошибка $E_{г} = (E_{г1} + E_{г2})/2$. Параметр θ для нечеткого классификатора Min-Max был установлен в значение 0,1. Параметры остальных моделей были установлены в значения по умолчанию среды MATLAB. Результаты работы эксперимента приведены в таблице.

Оценка эффективности аутентификации

Модель	$E_{г1}$, %	$E_{г2}$, %	$E_{г}$, %
Min-Max	9,5	14,8	12,2
SVM	9,9	7,1	8,5
DT	16,9	11,1	14
kNN	10,8	16,4	13,6

Заклучение. В итоге разработана система аутентификации личности по динамической рукописной подписи на основе нечеткого классификатора типа Min-Max. Сравнение точности с традиционными моделями машинного обучения показало конкурентные результаты, уступив только методу опорных векторов. Кроме этого, основное преимущество такой системы заключается в онлайн адаптации прогностической модели и объяснимости полученных результатов, что

является очень важным аспектом при разработке систем защиты информации.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (проект № 22-21-00021).

ЛИТЕРАТУРА

1. Сравнение применения локальных и глобальных признаков рукописной подписи для аутентификации пользователя / Д.А. Андреевских, С.Д. Разбойников, М.П. Силич, К.С. Сарин // Доклады ТУСУР. – 2020. – Т. 23, № 4. – С. 30–34.
2. Аутентификация пользователя по динамике подписи на основе нечёткого классификатора / И.А. Ходашинский, Е.Ю. Костюченко, К.С. Сарин и др. // Компьютерная оптика. – 2018. – Т. 42, № 4. – С. 657–666.
3. SVC-onGoing: Signature verification competition / R. Tolosana, R. Vera-Rodriguez, C. Gonzalez-Garcia et al. // Pattern recognition. – 2022. – Vol. 127. – P. 108609.
4. Simpson P.K. Fuzzy Min-Max Neural Networks. – Part 1: Classification // IEEE Transaction on neural networks. – 1992. – Vol. 3, No. 5. – PP. 776–786.
5. Khuat T.T. Hyperbox-based machine learning algorithms: a comprehensive survey / T.T. Khuat, D. Ruta, B. Gabrys // Soft Computing. – 2020. – Vol. 25. – PP. 1325–1363.
6. MCYT Baseline Corpus: A Bimodal Biometric Database / J. Ortega-Garcia, J. Fierrez-Aguilar et al // Proc. IEEE Vision, Image and Signal Processing, Special Issue on Biometrics on the Internet. – 2003. – Vol. 150, No. 6. – PP. 395–401.

УДК 004.85

МОДИФИЦИРОВАННЫЙ НЕЧЕТКИЙ КЛАССИФИКАТОР ТИПА MIN-MAX

*Р.Е. Коломников, аспирант; К.С. Сарин, доцент, к.т.н.
г. Томск, ТУСУР, каф. КСУП, kolomnikov0405@gmail.com*

Представлен модифицированный нечеткий классификатор типа Min-Max. Модификация затронула процедуру расширения алгоритма построения. Проведены эксперименты на реальных наборах данных. Получены оценки эффективности работы классического и модифицированного классификатора.

Ключевые слова: нечеткий классификатор типа Min-Max, классификация, машинное обучение.

Классификация широко используется во многих отраслях науки, техники, экономики и человеческой деятельности. Развитие технологий искусственного интеллекта позволило создавать программные и аппаратные средства, выполняющие классификацию в автоматическом режиме.

Одним из направлений к созданию таких средств является машинное обучение. Наиболее распространенными моделями для классификации являются различные типы искусственных нейронных сетей. Данные модели имеют два существенных недостатка. Нейронные сети считаются моделями черного ящика, которые не могут объяснить результат своего прогноза. В критически важных областях, например, таких, как медицина, оборона, энергетика, важно доверять полученному результату прогноза, а это достигается, в том числе, прозрачностью и объяснимостью.

Второй существенный недостаток, относящийся к онлайн-адаптации или онлайн-обучению, – катастрофическое забывание, также известное как дилемма стабильности-пластичности. Данный недостаток связан с неспособностью классификатора сохранять предыдущую информацию, полученную на старых обучающих данных, когда новые данные обрабатываются этим классификатором. Следовательно, классификаторы часто забывают изученную информацию при получении новой.

Нечеткие классификаторы типа Min-Max, предложенные Симпсоном [1], позволяют преодолеть указанные выше недостатки нейронных сетей. Данные классификаторы могут объяснить свой результат благодаря наличию нечетких правил. Справляться с катастрофическим забыванием тоже помогают правила, которые фактически образуют гипербоксы в пространстве признаков данных. Было предложено много модификаций алгоритма обучения данного классификатора [2–5]. В настоящей работе предлагается еще одна модификация, которая направлена на этап расширения гипербоксов.

Целью настоящей работы является повышение эффективности нечетких классификаторов типа Min-Max с помощью модификации процедуры расширения гипербокса.

Нечеткий классификатор типа Min-Max. Классификатор типа Min-Max является набором гипербоксов в пространстве признаков экземпляров данных. Границы гипербоксов имеют нечеткие значения. Каждый гипербокс связан с определенным классом. Если экземпляр данных поглощается каким-либо гипербоксом, то считается, что класс данного экземпляра соответствует классу гипербокса.

Алгоритм построения нечеткого классификатора типа Min-Max последовательно обрабатывает поступающие данные, где с приходом каждого экземпляра проводятся процедуры расширения гипербоксов, тестирование на перекрытие и сокращения [1, 2]. Расширение находит ближайший к экземпляру гипербокс того же класса. Если он может быть расширен (размер не превышает параметр θ), то гипербокс рас-

ширится согласно схеме, приведенной на рис. 1. Если такой гипербокс не может быть расширен, то экземпляр становится новым гипербоксом. Тест на перекрытие позволяет найти гипербоксы разных классов, которые в результате расширения могут быть перекрыты. Если такие гипербоксы обнаружатся, то процедура сокращения позволит устранить перекрытия путем сжатия гипербоксов. Алгоритм содержит один параметр θ , который определяет максимальный размер гипербокса.



Рис. 1. Расширение гипербокса

Предлагаемая модификация процедуры расширения заключается в следующем. В классическом варианте рассматривается только один кандидат на расширение, а именно ближайший гипербокс того же класса, и если он не может быть расширен (больше θ), то создается новый гипербокс на основе экземпляра данных. Здесь же предлагается рассмотреть в качестве кандидатов все гипербоксы того же класса и выбрать для расширения тот, который является ближайшим среди гипербоксов, способных на расширение (меньше θ). Если таких нет, то создается новый. Такая модификация позволит избежать большого количества правил, образованных гипербоксами малого размера.

Эксперимент. Для сравнения предлагаемого и классического вариантов нечеткого классификатора Min-Max был проведен эксперимент по построению классификаторов на 22 наборах данных из репозитория KEEL (<http://keel.es>). Эксперимент проводился по схеме 10-кратной кроссвалидации. Результаты работы приведены в таблице.

Параметр размера гипербокса θ определялся из множества дискретных значений $\{0,05; 0,1; 0,2; 0,3; 0,4\}$ с помощью решетчатого поиска. То есть использовался вариант θ , при котором классификатор получал лучшее значение точности на валидационной выборке.

Статистический критерий Уилкоксона не выявил различия точности классификации на уровне значимости $\alpha = 0,05$ (p -value = 0,412), а вот различия в числе правил на том же уровне значимости получились существенные (p -value < 0,00001) в сторону уменьшения на модифицированном алгоритме.

Заключение. В работе представлен модифицированный нечеткий классификатор типа Min-Max. Модификация затронула процедуру расширения алгоритма построения и заключается в выборе несколь-

ких кандидатов-гипербоксов на расширение. Проведенные эксперименты на 22 реальных наборах данных показали существенное уменьшение числа правил в модифицированной версии. Меньшее количество правил увеличивает интерпретируемость классификатора и скорость получения результата.

Оценка эффективности классификаторов

Набор данных	Min-Max		Модифицированный Min-Max	
	Точность %	Число правил	Точность %	Число правил
appendicitis	85,8	24	84,0	19,6
balance	42,1	263	64,9	41,8
bands	73,5	279	72,6	201,6
cleveland	54,2	135,4	52,8	67,9
dermatology	92,7	125,9	94,1	48,4
ecoli	80,9	134,3	81,5	51
glass	71,1	95	73,8	56,7
hepatitis	85,0	45,2	86,6	11,8
iris	95,3	32,5	95,3	20,4
mammographic	68,5	183,6	67,9	166
newthyroid	96,2	89,7	97,2	51,8
phoneme	88,5	2339	88,6	1196
pima	70,3	562,1	69,2	259,6
segment	96,1	299,4	96,8	133,6
sonar	83,1	181	85,5	55,1
spambase	86,7	2462,2	88,5	493,4
thyroid	93,8	387,8	96,1	385,6
vehicle	70,6	302,3	69,7	171,9
vowel	98,0	67,2	98,0	62,4
wdbc	96,4	457	95,4	181,8
wine	96,1	74,3	98,3	25,5
wisconsin	96,1	310,1	95,7	148,3
Среднее	82,8	402,3	84,2	175

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (проект № 22-21-00021).

ЛИТЕРАТУРА

1. Simpson P.K. Fuzzy Min-Max Neural Networks-Part 1: Classification // IEEE Transaction on neural networks. – 1992. – Vol. 3, No. 5. – PP. 776–786.
2. Khuat T.T. Hyperbox-based machine learning algorithms: a comprehensive survey / T.T. Khuat, D. Ruta, B. Gabrys // Soft Computing. – 2020. – Vol. 25. – PP. 1325–1363.
3. Azad C. A novel fuzzy min–max neural network and genetic algorithm-based intrusion detection system / C. Azad, V.K. Jha // In Proceedings of the second international conference on computer and communication technologies. – 2016. – PP. 429–439.

4. Mohammed M.F. An enhanced fuzzy min-max neural network for pattern classification / M.F. Mohammed, C.P. Lim // IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems. – 2017. – Vol. 26. – PP. 417–429.

5. Kumar S. A compact fuzzy min max network with novel trimming strategy for pattern classification / S. Kumar, A. Kumar, V. Bajaj, G.K. Singh // Knowledge-Based Systems. – 2022. – No. 246. – P. 108620.

УДК 004.8

ПОТОКОВАЯ КЛАСТЕРИЗАЦИЯ ДАННЫХ НА ОСНОВЕ МЕТАЭВРИСТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА «КИТОВ»

Н.П. Корышев, аспирант каф. КСУП

*Научный руководитель И.А. Ходашинский, проф. каф. КСУП, д.т.н.
г. Томск, ТУСУР, koryshev1997@gmail.com*

Представлено описание потокового алгоритма кластеризации. В его основе лежат метаэвристический алгоритм «китов» и алгоритм кластеризации потоковых данных DenStream. Работоспособность разработанного алгоритма кластеризации оценивается с использованием синтетических наборов данных, сгенерированных с помощью программного комплекса Massive Online Analysis.

Ключевые слова: потоковые данные, потоковая кластеризация, алгоритм «китов», онлайн-обучение.

Кластеризация данных используется для обнаружения среди данных скрытых закономерностей, способных влиять на принятие решений, например, для нахождения новых видов атак в системах обнаружения сетевых вторжений [1]. Большинство разработанных традиционных алгоритмов кластеризации полагается на многократные итерации оценки фиксированного набора данных. На практике различные системы обнаружения работают постоянно и принимают множество экземпляров данных непрерывно в потоковом режиме, поэтому такие системы должны анализировать поступающие данные за один проход. Кроме того, алгоритм динамической кластеризации данных должен учитывать явление «эволюции концепции» [2], когда в потоках данных количество исходных кластеров (классов) изменяется из-за создания новых кластеров или устаревания старых.

Для статической кластеризации данных всё чаще используются метаэвристические алгоритмы оптимизации [2]. Эти алгоритмы часто демонстрируют возможности самоадаптации, что позволяет им решать поставленную задачу независимо от ее формулировки, и возвращать решения, близкие к оптимальным. Однако работ по исполь-

зованию метаэвристик для динамической кластеризации относительно мало [2].

Цель работы – реализация на основе метаэвристического алгоритма «китов» (WOA) гибридного алгоритма для кластеризации потока данных.

Описание используемых алгоритмов. WOA – метаэвристика, основанная на роевом поведении горбатых китов. При решении задачи кластеризации каждое решение в WOA может быть представлено в виде вектора, указывающего координаты центроидов кластеров [3]. Однако одного только алгоритма оптимизации недостаточно для выполнения потоковой кластеризации из-за «эволюции концепции».

В данной работе WOA совмещается с алгоритмом DenStream. Оригинальный DenStream состоит из онлайн- и оффлайн-фазы и использует концепции микрокластеризации, плотности кластеров и затухающего окна данных [4]. DenStream разделяет формирующиеся микрокластеры на две категории: потенциальные, или основные (p -микрокластеры), и выброшенные, или шумовые (o -микрокластеры). Каждый из микрокластеров на основе входящих в него экземпляров характеризуется весом и ϵ -окрестностью (подобно CluStream) кластера: центроидом и радиусом. Когда вес p -микрокластера падает ниже порогового значения, он становится o -микрокластером. Если же вес o -микрокластера оказывается ниже порога, он удаляется из памяти; o -микрокластер может перейти в p -микрокластер, если его вес начнёт увеличиваться. При этом на каждой итерации проверяется ϵ -окрестность кластеров, и если кластер находится в окрестности другого (т.е. достижим по плотности), то они сливаются в один.

После выполнения онлайн-фазы алгоритм функционирует оффлайн: новые экземпляры данных кластеризуются только по запросу с помощью DBSCAN, а в роли кластеров выступают только p -микрокластеры с неизменяющимися параметрами. В DenStream кластеры могут принимать произвольную форму, и для определения количества кластеров не требуется никакой априорной информации.

Описание разработанного алгоритма. Разработанный алгоритм кластеризации использует ориентированную модель окна: в качестве ориентира выбирается фиксированная длина окна (понятие веса экземпляра и кластера не вводится).

Алгоритм состоит из двух фаз. Первая фаза является фазой инициализации будущих p -микрокластеров: в ней в первом окне данных начинает работу метаэвристика. Её результатом являются координаты K центроидов p -микрокластеров.

После расчёта характеристик сгенерированных p -микрокластеров для каждого окна данных начинается онлайн-фаза алгоритма. Каждый поступающий из потока экземпляр данных интерпретируется как примитивный микрокластер. Затем рассчитываются Евклидовы расстояния от него до центров всех p -микрокластеров, которые сравниваются с радиусами p - и o -микрокластеров. Подобно операции слияния в DenSteram, примитивный микрокластер становится либо частью p - или o -микрокластера, либо образует новый p - или o -микрокластер.

Как только очередное окно данных заполнится, начинается пересмотр множества o -микрокластеров. Если самые плотные среди них способны образовать единый кластер объёмом по меньшей мере 10% объёма окна, то такой кластер перемещается во множество p -микрокластеров. Если же o -микрокластер не может быть перемещён, то он интерпретируется как шум и удаляется из памяти.

После очищения множества o -микрокластеров проверяется срок последнего изменения каждого p -микрокластера. Если таковой не обновлялся спустя несколько окон данных, то он считается устаревшим и удаляется из памяти. Далее начинается приём новых данных, и онлайн-фаза повторяется.

Эксперимент и полученные результаты. Для проверки работоспособности разработанного алгоритма потоковой кластеризации используются синтетические наборы данных, сгенерированные в программе «Massive Online Analysis» с помощью генератора на основе радиальной базисной функции [5]. В табл. 1 приводятся характеристики, заданные программе для генерации наборов.

Т а б л и ц а 1

Параметры наборов данных, использовавшихся в эксперименте

Набор данных	Размерность	Количество кластеров	Количество экземпляров	Скорость дрейфа	Частота событий
5D5C	5	3–5	100000	1000	10000
5D10C	5	6–10	100000	5000	10000
10D5C	10	3–5	100000	1000	10000
10D10C	10	6–10	100000	5000	10000

Условия эксперимента следующие. Численность популяции и количество итераций для WOA были 20 и 10 соответственно; в качестве фитнес-функции для WOA и критерия качества кластеризации выступал индекс силуэта [2]. Начальное количество кластеров для WOA было равным минимальному (например, в случае набора 5D5C оно было равным 3). Длина окна данных составила 1000 экземпляров, всего запусков алгоритма кластеризации – 30; значение силуэта расчи-

тывалось на каждом окне (всего окон для одного набора данных 3000). Радиус примитивного микрокластера (состоящего из одного экземпляра) был равен 0,1.

В табл. 2 приводятся средние значения силуэта и их среднеквадратическое отклонение для разработанного алгоритма (WOA-stream), и двух других алгоритмов кластеризации – CluStream и DenStream. Также была проверена значимость результатов с помощью теста Уилкоксона (относительно результатов WOA-stream). На всех наборах данных при сравнении с каждым алгоритмом p -value составило менее 0,001.

Таблица 2

Сравнение усреднённых результатов работы алгоритмов						
Набор данных	WOA-stream		Denstream		Clustream	
	Среднее	Ст. отклон	Среднее	Ст. отклон	Среднее	Ст. отклон
5D5C	0,438	0,011	0,873	0,084	0,943	0,053
5D10C	0,545	0,021	0,920	0,050	0,939	0,019
10D5C	0,411	0,007	0,892	0,082	0,981	0,002
10D10C	0,646	0,024	0,905	0,045	0,982	0,001

Заключение. Полученные результаты свидетельствуют о том, что разработанный алгоритм способен выполнять кластеризацию потоковых данных на уровне выше среднего по значениям индекса силуэта, однако его работоспособность хуже, чем у классических алгоритмов кластеризации потоков. Учитывая, что результаты являются статистически значимыми, следует в дальнейшем доработка гибридного алгоритма WOA-stream. Так, одним из направлений дальнейших исследований может быть выбор других метрик для оценки качества кластеризации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Коришев Н.П. Построение системы обнаружения вторжений на основе нечёткого классификатора и алгоритма «китов» // Сб. избр. статей научной сессии ТУСУР. – Томск: В-Спектр, 2021. – № 1. – С. 196–200.
2. A Clustering System for Dynamic Data Streams Based on Metaheuristic Optimisation / J.M. Yeoh, F. Caraffini, E. Homapour, V. Santucci, A. Milani // Mathematics. – 2019. – Vol. 7, No. 12. – P. 1229.
3. Коришев Н.П. Алгоритм формирования базы правил нечёткого классификатора на основе алгоритма кластеризации К-средних и метаэвристического алгоритма «китов» / Н.П. Коришев, И.А. Ходашинский // Доклады ТУСУР. – 2021. – Т. 24, № 1. – С. 42–47.
4. Density based Clustering over an Evolving Data Stream with Noise / F. Cao, M. Ester, W. Qian, A. Zhou // Proceedings of the 2006 SIAM Conference on Data Mining. – Bethesda: MD, 2006. – PP. 328–339

5. MOA: Massive Online Analysis / A. Bifet, G. Holmes, R. Kirkby, B. Pfahringer // Journal of Machine Learning Research. – 2010. – Vol. 11. – PP. 1601–1604.

УДК 620.179.18

ОСОБЕННОСТИ ФИЛЬТРАЦИИ ВХОДНОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ ПРИ АВТОМАТИЧЕСКОМ РАСПОЗНАВАНИИ ДЕФЕКТОВ СВАРНОГО ШВА

Д.К. Нгуен, аспирант; С.В. Муравьев, проф., д.т.н.

г. Томск, ТПУ, nguyen@tpu.ru

Предложен метод выявления дефектов сварных швов, основанный на сочетании метода наращивания областей и метода комплексирования интервалов агрегированием предпочтений (IF&PA). Обеспечение высокой точности распознавания предложенного метода требует качественного подавления шумов входного изображения. Представлены рекомендации по определению параметров фильтра Гаусса для входного изображения. Экспериментальные исследования предложенных рекомендаций подтверждают повышение точности результатов обнаружения дефектов сварного шва по сравнению с медианным фильтром.

Ключевые слова: фильтр Гаусса, сварной шов, контроль поверхности, метод наращивания области.

Фильтрация изображений с целью сглаживания и удаления шума является этапом предварительной обработки изображения до его сегментации. Выбор правильного метода фильтрации изображения значительно повышает точность результатов его сегментации и снижает вычислительные затраты. В настоящее время используется множество различных фильтров, наиболее популярными из которых являются: фильтр Гаусса, медианный фильтр, фильтр анизотропной диффузии и др. [1, 2]. Алгоритмы фильтрации часто могут приводить к искажениям выходных изображений. Поскольку авторам было важно сохранить контуры дефектных областей на обрабатываемом изображении сварного шва, для предварительной обработки был выбран фильтр Гаусса, который позволяет уменьшить высокочастотный шум, не затрагивая границы областей на исходном изображении.

Фильтр Гаусса реализует свертку входного изображения A с помощью двумерной функции Гаусса $G(x, y)$, т.е.

$$B = A \otimes G(x, y), \quad (1)$$

где B – выходное изображение, полученное после сглаживания и шумоподавления; x, y – координаты пикселя.

Двумерная функция имеет вид

$$G(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}}, \quad (2)$$

где σ – среднее квадратическое отклонение (СКО) интенсивности цвета пикселя.

Значения этого распределения используются для построения матрицы свёртки, которая применяется к исходному изображению. Новое значение каждого пикселя устанавливается равным средневзвешенному значению окрестности этого пикселя. Значение исходного пикселя получает наибольший вес (имеющий наивысшее значение функции Гаусса), а соседние пиксели получают меньшие веса по мере увеличения их расстояния до исходного пикселя. Это приводит к размытию, которое сохраняет границы и края лучше, чем другие, более однородные фильтры размытия.

Таким образом, для выполнения фильтрации изображения требуется построить матрицу свертки на основе выбора подходящих значений функции Гаусса. При этом возникает проблема определения таких параметров фильтрации, как размер матрицы свертки и значение СКО.

Определение размера матрицы свертки и СКО. СКО влияет на качество фильтрации изображения, контролируя распространение эффекта фильтрации по всему изображению. Большее СКО означает большее рассеивание интенсивностей цветов пикселей, что может приводить к более плавным переходам между пикселями. И наоборот, когда СКО меньше, эффект фильтрации будет сосредоточен вокруг центрального пикселя матрицы свертки и увеличит детализацию после фильтрации. Размер матрицы свертки также влияет на качество фильтрации изображения: при большем размере матрицы получается более плавное и равномерное размытие, а при меньшем – более резкое и сфокусированное.

СКО фильтра Гаусса σ обычно выбирается из диапазона от 0,5 до 3,0 [2]. При этом значение σ сильно зависит от требований последующего метода обработки изображений, поэтому не существует правила для его определения. В данной работе были проведены эксперименты с СКО в пределах от 1,0 до 2,5 для набора изображений размером 240×180 пикселей.

Из уравнения (2) видно, что двумерная функция $G(x, y) > 0$ для всех значений координат (x, y) . Значение $G(x, y)$ быстро уменьшается

до нуля, когда значения x и y больше 3σ . Ясно, что размер матрицы свертки определяется диапазоном $\sim 6\sigma$. Таким образом, будем считать, что размер матрицы свертки определяется как $(k \times k)$, где $k \approx 2\pi\sigma$, k – нечетное целое число.

Вычисление значений элементов матрицы свертки. Значение элемента матрицы свертки $W = [w_{xy}]$ равно соответствующему значению функции Гаусса (2) при координатах $x, y = -(k-1)/2, -(k-3)/2, \dots, (k-1)/2$. При этом начальная точка $(0, 0)$ координат (x, y) соответствует центральному элементу матрицы w_{00} , где функция $G(x, y)$ имеет максимальное значение [2]. Поскольку координаты (x, y) принимают дискретные целочисленные значения с шагом 1, сумма всех элементов матрицы W может отличаться от 1, что приводит к нежелательному изменению интенсивности цвета изображения после фильтрации. Последствия этого явления преодолеваются путем деления каждого элемента матрицы W на сумму s всех ее элементов, т.е.

$$s = \sum_{x=-(k-1)/2}^{(k-1)/2} w_{x0} + 2 \sum_{x=1}^{(k-1)/2} \sum_{y=-(k-1)/2}^{(k-1)/2} w_{xy}. \quad (3)$$

Полученные рекомендации по выбору параметров фильтрации были использованы для автоматического разбиения (сегментации) изображения сварного шва на дефектную и бездефектную области методом наращивания областей (region growing), начальные точки для которого определяются с помощью развиваемого авторами метода комплексирования интервалов агрегированием предпочтений (IF&PA) [3, 4].

Результаты вычислительного эксперимента показали, что фильтр Гаусса с матрицей размером 5×5 при $\sigma = 1,0$ обеспечил правильное распознавание 70 из 80 тестовых изображений, т.е. точность распознавания составила 87,5%. Исследованный для сравнения медианный фильтр обеспечил правильное распознавание только 57 изображений, т.е. точность составила 71,25%. Пример результатов распознавания дефектов сварного шва с предварительной обработкой гауссовским и медианным фильтрами показан на рис. 1.

В данной работе представлены рекомендации по выбору фильтра Гаусса для автоматического распознавания дефектов сварных швов методом наращивания областей в сочетании с методом IF&PA. Приведено описание построения матрицы свертки на основе функции распределения Гаусса. Результаты экспериментальных исследований полученных рекомендаций на 80 входных изображениях показали, что фильтр Гаусса обеспечивает на 16% более высокую точность распознавания по сравнению с медианным фильтром.

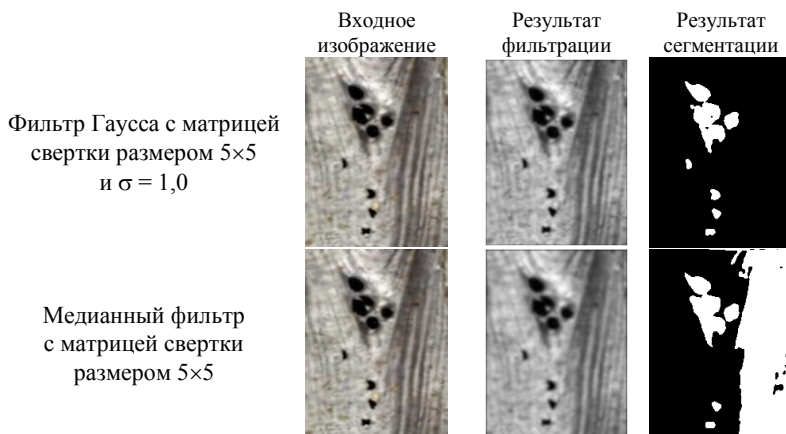


Рис. 1. Пример результатов сегментации изображения дефекта сварного шва с предварительной обработкой гауссовским и медианным фильтрами

ЛИТЕРАТУРА

1. Айфичер Э. Цифровая обработка сигналов. Практический подход / Э. Айфичер, Б. Джервис. – М.: Вильямс, 2018. – 992 с.
2. Fisher R. Hypermedia image processing reference / R. Fisher, S. Perkins, A. Walker, E. Wolfart. – Chichester: Wiley, 2000. – 318 p.
3. Muravyov S.V. Recognition Ability of Interval Fusion with Preference Aggregation in Weld Defects Images Analysis / S.V. Muravyov, E.Y. Pogadaeva // Proceedings of the 17th IMEKO TC 10 and EUROLAB Virtual Conference «Global trends in Testing, Diagnostics & Inspection for 2030», Dubrovnik, October 20–22, 2020. – PP. 271–276.
4. Муравьев С.В. Выбор параметров метода комплексирования интервалов агрегированием предпочтений IF&PA при автоматическом распознавании дефектов сварного шва / С.В. Муравьев, Д.К. Нгуен // Матер. VI Междунар. конф. «Информационные технологии и технические средства управления» (ICST–2022), 3–7 октября 2022 г. – Астрахань: Изд. АГТУ, 2022. – С. 205–207.

УДК 51-77

ПРИМЕНЕНИЕ ГИБРИДНОГО АЛГОРИТМА «САРАНЧИ» С МЕТОДОМ ЗАМЕНЫ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ БАЗЫ ПРАВИЛ НЕЧЁТКОГО КЛАССИФИКАТОРА ДЛЯ РАБОТЫ СО СМЕШАННЫМИ ДАННЫМИ

Р.О. Остапенко, аспирант каф. КСУП

*Научный руководитель И.А. Ходашинский, проф. каф. КСУП, д.т.н.
г. Томск, ТУСУР, romanOstpub@mail.ru*

Рассматриваются три алгоритма кластеризации: гибридный алгоритм «саранчи», К-средние и К-прототип. Рассмотрен один из под-

ходов к извлечению правил при работе со смешанными данными. Описан эксперимент по формированию базы нечётких правил. Гибридный алгоритм «саранчи» показал свою пригодность для решения задачи формирования базы правил при работе со смешанными данными.

Ключевые слова: алгоритм «саранчи», метаэвристика, формирование базы правил, К-средние, К-прототип, смешанные данные.

База нечётких правил является основным компонентом модели нечёткого классификатора. Для генерации базы правил на основе таблицы наблюдений необходимо провести кластеризацию данных. При наличии номинальных признаков в таблице наблюдений необходимо использовать определённые подходы к учёту номинальных признаков. Один из таких подходов – переход от номинальных признаков к непрерывным и дальнейшая работа как с непрерывными признаками. Другой подход – использование специальных алгоритмов кластеризации, учитывающих номинальные признаки, а затем использование специфичной функции принадлежности.

Для первого подхода возможно использовать любой алгоритм кластеризации, подходящий для работы с непрерывными признаками, в данной работе использованы алгоритмы К-средние и гибридный алгоритм «саранчи» [1].

Для второго подхода используется алгоритм кластеризации смешанных данных К-прототип [2] и алгоритм кластеризации номинальных данных К-мод [3] в связке с функцией принадлежности из [4].

Функция принадлежности. В [4] для учёта номинальных признаков каждый признак кодируется в виде определённого числа бинарных признаков, а затем используется побитовая операция ИЛИ. Для работы с полученными правилами используется специфичная функция принадлежности:

$$b_j(X) = A + \frac{1}{nd} \sum_{i=1}^{nd} g(d_{hi}, d_{ji}),$$

где A – часть, отвечающая за учёт непрерывных признаков, nd – количество номинальных признаков, d_{ji} – i -й признак j -го правила, $g(d_{hi}, d_{ji})$ задаётся как

$$g(d_{hi}, d_{ji}) = \begin{cases} 1, & \text{если } d_{hi} \text{ И } d_{ji} > 0, \\ 0, & \text{если } d_{hi} \text{ И } d_{ji} = 0. \end{cases}$$

Эксперимент. Сформирована база правил для работы нечёткого классификатора с помощью гибридного алгоритма «саранчи», К-средние, К-прототип и К-мод в случаях, где нет непрерывных при-

знаков. Использовались треугольная функция принадлежности в случае первого подхода и модифицированная треугольная функция с учётом номинальных признаков в случае второго подхода. На полученной базе правил произведена классификация данных. Параметры алгоритма «саранчи»: количество итераций 150, размер популяции саранчи – 40, количество итераций К-средние, К-прототип и К-мод – 150. Использовалась схема 10-кратной кроссвалидации. В таблице приведены средние точности классификации после генерации правил различными алгоритмами, где Об – на обучающей выборке, Т – на тестовой выборке, Название н.д. – название набора данных из базы данных KEEL, GOA – результаты, которые получены при использовании гибридного алгоритма «саранчи», К-ср – алгоритма К-средние, К-пр – с помощью алгоритмов К-прототип и К-мод, Правила – количество правил, сгенерированных соответствующим алгоритмом.

Результаты эксперимента

Название н.д.	Об			Т			Правила		
	GOA	К-ср	К-пр	GOA	К-ср	К-пр	GOA	К-ср	К-пр
abalone	18,56	11,36	8,88	17,15	11,33	7,02	28	28	28
adult	68,84	44,45	56,23	68,41	44,37	49,83	7	6	5
australian	72,93	54,03	52,66	55,07	54,64	46,81	7	6	5
car	64,66	76,45	70,02	65,21	56,94	70,02	8,3	7,7	5
crx	75,55	57,35	45,33	68,25	58,69	45,33	7	5,8	5
flare	36,96	51,93	32,64	23,94	18,86	17,54	9,7	10	6
lymphography	60,52	53,77	60,26	51,53	49,25	39,57	7,3	7	5
saheart	69,48	62,94	56,37	66,04	62,79	54,53	9	9	9
tic-tac-toe	63,89	49,52	65,34	57,49	48,96	65,35	7	6	5
zoo	49,95	68,03	74,33	37,71	56,67	34,31	7	7	7
Ранг Фридман	2,45	1,91	1,64	2,73	1,82	1,45	2,64	2,09	1,27
Стат. критерий	0,148 > 0,05			0,009 < 0,05			0,001 < 0,05		
H ₀	Принимается			Отклоняется			Отклоняется		

Вывод. По результатам эксперимента установлено, что при использовании замены и гибридного алгоритма «саранчи» точности на большинстве наборов данных выше. Рассчитан критерий Фридмана для сравнения полученных результатов: нулевая гипотеза (H₀) в данной работе звучала следующим образом: отклонение результатов, которые были получены при использовании разных алгоритмов генерации базы правил, имеет только случайные различия. H₁ – отклонение результатов, полученных разными алгоритмами, имеет неслучайные различия. Уровень значимости критерия установлен в 0,05. В результате расчёта критерия на обучающей выборке отклонения имеют

только случайные различия. На тестовой выборке и по количеству правил различия имеют неслучайный характер. Лучшее по рангам на обучающей и тестовой выборках – это использование гибридного алгоритма «саранчи». Лучший ранг при сравнении количества правил получен при использовании К-прототип.

ЛИТЕРАТУРА

1. 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.
2. Huang Z.X. Clustering large data sets with mixed numeric and categorical values, in: The First Pacific-Asia Conference on Knowledge Discovery and 573 Data Mining // World Scientific Publishing. – Singapore, 1997. – PP. 21–34.
3. Huang Z.X. A fast clustering algorithm to cluster very large categorical data sets in data mining // Proceedings of the SIGMOD Workshop on Research 575 Issues on Data Mining and Knowledge Discovery. – Arizona: ACM Press, 1998. – PP. 1–8.
4. Swati Shindea. Uday Kulkarni Extracting classification rules from modified fuzzy min–max neural network for data with mixed attributes // Applied Soft Computing. – 2016. – Vol. 40. – PP. 364–378.

УДК 004.021

ОПТИМИЗАЦИЯ НЕЧЕТКОГО КЛАССИФИКАТОРА МЕТАЭВРИСТИЧЕСКИМ АЛГОРИТМОМ РЫБ-ПАРУСНИКОВ ПРИ ОБНАРУЖЕНИИ DDOS-АТАК

*Р.С. Шуклин, студент каф. БИС;
М.Б. Бардамова, доцент каф. КСУП
г. Томск, ТУСУР, 722bmb@gmail.com*

Исследовано применение метаэвристического алгоритма рыб-парусников в задаче построения нечеткого классификатора для обнаружения DDos-атак. Представлены описание метаэвристики, результаты построения нечеткого классификатора и сравнение с аналогичными алгоритмами машинного обучения. В качестве входных данных использован фрагмент проекта CICIDS2017, в рамках которого проводились DDos-атаки на сетевую структуру. и был собран набор из 78 признаков для анализа трафика.

Ключевые слова: нечеткие системы, алгоритм рыб-парусников, нечеткий классификатор, метаэвристика.

Атаки «отказ в обслуживании» (DDoS) приводят к потере доступа к удаленным ресурсам, что нередко порождает существенный материальный ущерб для их владельцев. Мерой защиты от сетевых атак

является использование систем обнаружения вторжений. В качестве основы таких систем могут выступать модели классификации данных, получаемые инструментами машинного обучения. Так как классификаторы способны обучаться на реальных данных огромного объема, найденные ими зависимости могут быть более точными, чем полученные с помощью математического моделирования.

Целью данной статьи является проверка эффективности метаэвристики рыб-парусников при построении нечеткого классификатора в задаче обнаружения DDoS-атак.

Описание разработанных алгоритмов. Метаэвристический алгоритм рыб-парусников основан на взаимодействии двух независимых популяций [1]. Первая представляет собой непосредственно парусников – хищных рыб, охотящихся стаей. Парусники создаются на основе входных данных; в непрерывной версии – это параметры термов текущей базы правил, в бинарной – векторы используемых в классификации признаков. Вторая популяция – это косяк сардин, на которых парусники и имеют обыкновение охотиться. Первый вектор во время генерации сардин создается случайным образом, остальные – с небольшим отклонением от первой.

Алгоритм имитирует процесс охоты парусников на сардин. Парусники приближаются к сардинам, используя информацию об их положении, и постепенно окружают косяк своих жертв. Далее парусники начинают поочередно атаковать. Для каждого парусника методом рулетки выбирается цель среди сардин; атака представляет собой генерацию нового положения парусника, исходя из его текущего положения, положения жертвы, лучшего парусника в популяции и коэффициента плотности добычи. Сардина, выбранная в качестве жертвы, тоже обновляет свой вектор, используя помимо своего положения вектор лучшей сардины и коэффициент мощности атаки парусника. Мощность атаки задается пользователем и линейно убывает с течением итераций. После того как атакующий парусник и его жертва обновят свои положения, производится перерасчет и проверка фитнес-функций. Если у сардины фитнес-функция оказывается лучше, чем у парусника, то парусник её ловит и занимает положение своей жертвы, а в популяции сардин генерируется новая случайная особь.

По завершении всего раунда охоты либо происходит генерация новой популяции сардин (если коэффициент мощности атаки парусников, умноженный на случайную компоненту, превышает 0,5), либо меняется только часть популяции. В последнем случае среди сардин случайным образом выбираются обновляемые особи и таким же способом определяются конкретные элементы вектора этих сардин для

изменения. Далее весь процесс повторяется заново до момента истечения отведенного количества итераций.

Во время работы алгоритма необходимо отслеживать появление новых лучших решений в обеих популяциях. Если алгоритм используется для оптимизации термов нечеткого классификатора, то при частичном обновлении сардин требуется проверка векторов на правильность расположения параметров термов, чтобы термы оставались корректными. Различие между непрерывной и бинарной версиями алгоритма в данной работе заключалось в формулах – для поиска в бинарном пространстве поиска применялись логические версии операций.

Порядок и результаты эксперимента. Для тестирования нечеткого классификатора был использован набор данных для анализа трафика и обнаружения DDoS-атак Friday-WorkingHours-Afternoon-DDoS [2]. В признаках отражается такая информация, как порт назначения, длительность потока, общее количество пересылаемых пакетов, размер пересылаемых пакетов, максимальный и минимальный размер пересылаемых пакетов и т.д. Общее количество признаков равняется 78. Меткой класса является одно из двух значений: benign (нормальное соединение) и DDoS. Размер набора составляет 225 745 образцов. Количество экземпляров класса Benign равняется 97 718, число образцов DDoS – 128 027. Для сокращения набора и приведения к сбалансированному распределению был использован алгоритм NearMiss из библиотеки imblearn [3]. После сокращения данных размер данных составил 7 648 экземпляров.

В эксперименте применялась десятикратная кроссвалидация. Процесс построения нечеткого классификатора насчитывал три этапа: генерацию структуры алгоритмом экстремальных значений признаков классов с треугольной функцией принадлежности, отбор признаков бинарным алгоритмом рыб-парусников (500 итераций, 40 векторов), настройку параметров термов непрерывной метаэвристикой рыб-парусников (1000 итераций, 40 векторов). По окончании каждого этапа были измерены следующие параметры: tr и tst – средняя геометрическая точность классификации на обучении и тестировании, tr_1 и tst_1 – точность классификации класса benign на обучении и тестировании, tr_2 и tst_2 – точность классификации класса DDoS на обучении и тестировании (табл. 1).

После отбора признаков средняя геометрическая точность улучшилась почти на 10%. При этом количество признаков уменьшилось с 78 до 26,76. Настройка параметров не позволила изменить результат, что может объясняться наличием высокой точности уже после отбора и наличием всего лишь двух правил.

Таблица 1

Итоги построения нечеткого классификатора на наборе данных Friday-WorkingHours-Afternoon-DDoS

Этап	<i>tr</i>	<i>tst</i>	<i>tr</i> ₁	<i>tr</i> ₂	<i>tst</i> ₁	<i>tst</i> ₂
Генерация структуры	89,91	89,91	99,86	79,96	99,82	79,99
Отбор признаков	99,21	99,18	99,66	98,76	99,63	98,72
Настройка параметров	99,22	99,19	99,65	98,79	99,63	98,74

Сравнение результатов проводилось с алгоритмами, построенными с помощью библиотеки *sklearn*: наивным классификатором Байеса, логистической регрессией, деревом решений, машиной опорных векторов, алгоритмом *k*-ближайших соседей, ансамблем деревьев решений *AdaBoost*, случайным лесом и стохастическим градиентным спуском [3]. Параметры алгоритмов использованы по умолчанию.

В табл. 2 представлены итоги сравнения алгоритмов на тестовых выборках.

Таблица 2

Результаты сравнения точности классификаторов на наборе данных Friday-Working Hours-Afternoon-DDoS

Алгоритм	<i>tst</i>	<i>tst</i> ₁	<i>tst</i> ₂
Нечеткий классификатор	99,19	99,63	98,74
Наивный классификатор Байеса	90,18	83,95	99,82
Логистическая регрессия	99,10	98,93	99,27
Дерево решений	99,09	99,24	98,95
Машина опорных векторов	99,45	99,37	99,53
Алгоритм <i>k</i> -ближайших соседей, <i>k</i> = 3	99,70	99,69	99,71
Алгоритм <i>k</i> -ближайших соседей, <i>k</i> = 5	99,61	99,53	99,69
Алгоритм <i>k</i> -ближайших соседей, <i>k</i> = 7	99,44	99,37	99,50
<i>AdaBoost</i>	99,93	99,92	99,95
Случайный лес	99,61	99,66	99,56
Стохастический градиентный спуск	99,02	99,32	98,72

Заключение. Результаты сравнения показывают, что нечеткий классификатор смог продемонстрировать результаты, сопоставимые с аналогами, поскольку разница в точности с лучшим алгоритмом *AdaBoost* не превышает 1% по общей средней геометрической точности и точности класса, отвечающего за нормальное соединение, и 1,5% по точности определения DDoS атак. В то же время нечеткий классификатор, основанный на двух правилах, заведомо выигрывает у леса деревьев решений по интерпретируемости.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФ, грант № 22-21-00021.

ЛИТЕРАТУРА

1. Shadravan S. The Sailfish Optimizer: A novel nature-inspired metaheuristic algorithm for solving constrained engineering optimization problems / S. Shadravan, H.R. Naji, V.K. Bardsiri // Engineering Applications of Artificial Intelligence. – 2019. – Vol. 80. – PP. 20–34.
2. CICIDS–2017. Intrusion Detection Evaluation Dataset [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <https://www.kaggle.com/datasets/cicdataset/cicids> 2017?resource=download (дата обращения: 22.09.2022).
3. Scikit-learn. User guide [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://scikit-learn.org/stable/supervised_learning.html (дата обращения: 23.11.2022).

УДК 004.852

ИЗВЛЕЧЕНИЕ ПРИЗНАКОВ МЕТОДАМИ ДИСКРЕТНОГО ВЕЙВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАНИЯ И МАТРИЦ КОВАРИАЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДАННЫХ ЭЛЕКТРОЭНЦЕФАЛОГРАММЫ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ КЛАССИФИКАЦИИ ПОДРОСТКОВЫХ ПАЦИЕНТОВ С СИМПТОМАМИ ШИЗОФРЕНИЧЕСКОГО РАССТРОЙСТВА

М.О. Светлаков, аспирант каф. КСУП

Научный руководитель И.А. Ходащинский, проф. каф. КСУП, д.т.н.

г. Томск, ТУСУР, svetlakov,m4@gmail.com

Исследовалось решение задачи классификации подростковых пациентов с симптомами шизофренического расстройства с использованием данных электроэнцефалограммы посредством извлечения признаков методами дискретного вейвлет-преобразования, матриц ковариации и применением методов машинного обучения. На общедоступном наборе данных была достигнута точность 82,06% с использованием модели классификации k-Nearest Neighbours (k=5).

Ключевые слова: ЭЭГ, вейвлет-преобразование, дискретное вейвлет-преобразование, извлечение признаков, матрицы ковариации.

Данные и их обработка. Был использован общедоступный [1, 2] набор данных электроэнцефалограммы (ЭЭГ) пациентов 11–14 лет с симптомами шизофренического расстройства, состав набора данных в достаточной степени сбалансирован – 39 здоровых пациентов и 45 пациентов с симптомами заболевания. Сигналы ЭЭГ регистрировались у бодрствующих подростков в состоянии покоя с закрытыми глазами. Данные снимались с 16 электродов, записывались непрерывно при частоте дискретизации 256 Гц, а затем в процессе предобработки частота дискретизации сигнала была понижена до 128 Гц. Для каждого электрода было получено 7680 значений электрического по-

тенциала (1 минута записи). Набор данных можно представить в виде тензора размерностью [94 образца, 7680 точек, 16 каналов].

Для извлечения признаков применялось дискретное вейвлет-преобразование (DWT) и методы, основанные на римановой геометрии симметричных положительно определенных матриц. Для дискретного вейвлет-преобразования был использован вейвлет Добеши 4-го порядка для декомпозиции сигнала на 5 уровней. На основе коэффициентов вычислены стандартное отклонение, среднеквадратичное значение, минимальное значение, максимальное значение, проценти от 1-го до 99-го с единичным шагом, используемые в качестве признаков. В работе [3] предложено использование ядра на основе римановой геометрии для проекции ковариационных матриц в касательное пространство. В данной работе этот метод обозначен как – Covari-ances (C), также используются иные методы – Hankel Covariances (HC), Kernels Covariances (KC), Cospectral Covariances (CC) из пакета PyRiemann.

Эксперимент. Для данной работы использовались библиотека scikit-learn [4] и реализованные в ней модели машинного обучения. При проведении эксперимента также было исследовано использование производных различных порядков сигнала ЭЭГ для модели машинного обучения Extra Trees Classifier со стандартными параметрами, результаты приведены в табл. 1. Наилучшую точность показало использование метода HC+DWT и использование производных 1–6-го порядка.

Таблица 1

Точность модели ExtraTreesClassifier на тестовых данных после 5-кратной кроссвалидации с использованием указанных методов извлечения признаков, %

Использование производных	Метод извлечения признаков			
	HC + DWT	C + DWT	KC + DWT	CC + DWT
нет	67,27	61,84	62,08	66,42
1-го порядка	73,17	66,65	66,83	67,36
1, 2-го порядка	75,37	70,42	69,51	66,96
1, 2, 3-го порядка	78,17	70,37	70,83	67,31
1, 2, 3, 4-го порядка	79,15	72,14	73,08	67,61
1, 2, 3, 4, 5-го порядка	79,99	73,05	72,81	68,01
1, 2, 3, 4, 5, 6-го порядка	79,97	72,99	73,42	69,51

В табл. 2 указаны различные модели машинного обучения (со стандартными значениями параметров) на тестовых данных с использованием метода извлечения признаков, показавшего лучшую точность. Во всей работе для валидации моделей была использована ме-

тодика пятикратной кроссвалидации, для оценки точности используется процент правильной классификации.

Таблица 2

Точность различных классификаторов с использованием метода извлечения признаков HC + DWT и производных 1-5-го порядка, %

Модель машинного обучения	Точность
Extra Trees Classifier	79,97
Random Forest Classifier	77,22
Logistic Regression	69,04
Passive Aggressive Classifier	69,11
Ridge Classifier	67,87
Gaussian Naïve Bayes Classifier	71,54
K-Nearest Neighbours Classifier (k=5)	82,06
Decision Tree Classifier	63,61
SVC (Radial-based function kernel)	77,35
Аналог из работы [6]	80,00

Закключение. В работе исследовалось решение задачи классификации подростков пациентов с симптомами шизофренического расстройства с использованием данных ЭЭГ и методов DWT, матриц ковариации и машинного обучения. На общедоступном наборе данных достигнута точность 82,06% с использованием k-Nearest Neighbours (k=5), что превосходит по точности аналог из работы [6].

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

ЛИТЕРАТУРА

1. Analysis of cross-correlations in electroencephalogram signals as an approach to proactive diagnosis of schizophrenia / S.F. Timashev, O.Yu. Panishev, Y.S. Polyakov, S.A. Demin, A.Ya. Kaplan // Physica A: Statistical Mechanics and its Applications. – 2012. – Vol. 391, Iss. 4. – PP. 1179–1194. – Elsevier BV. – <https://doi.org/10.1016/j.physa.2011.09.032>
2. EEG of healthy adolescents and adolescents with symptoms of schizophrenia [Электронный ресурс]: сайт лаборатории нейрофизиологии и нейрокомпьютерных интерфейсов МГУ. – URL: http://brain.bio.msu.ru/eeg_schizophrenia.htm (дата обращения: 09.03.2023).
3. Barachant A. et al. Riemannian Geometry Applied to BCI Classification // Latent Variable Analysis and Signal Separation. – 2010. – PP. 629–636.
4. pyRiemann [Электронный ресурс]: github. – URL: <https://github.com/pyRiemann/pyRiemann> (дата обращения: 09.03.2023).
5. scikit-learn [Электронный ресурс]: github. – URL: <https://github.com/scikit-learn/scikit-learn> (дата обращения: 09.03.2023).
6. Panishev O.Yu. et al. Use of Cross-Correlation Analysis of EEG Signals for Detecting Risk Level for Development of Schizophrenia // Biomed Eng. – 2013. – Vol. 47, No. 3. – PP. 153–156.

**РЕАЛИЗАЦИЯ АЛГОРИТМА
НА ОСНОВЕ КОЛЛАБОРАТИВНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ
ДЛЯ ITEM-BASED-ПОДХОДА**

Б.П. Гондран Альмега, студент, НГУ;

Т.В. Батура, с.н.с., доцент, к.ф.-м.н. ИСИ СО РАН

г. Новосибирск, almega95@gmail.com

Одним из факторов, делающих применение коллаборативной фильтрации для рекомендательных систем на платформах электронной коммерции для африканских стран, является скорость передачи данных. Предложен новый метод коллаборативной фильтрации под названием ARCADIUS. Метод делится на две фазы. На первом этапе строится матрица весов характеристик продукта, а на втором этапе вычисляется матрица сходства продуктов с использованием весовой модели из первого этапа. Эксперименты показывают, что метод дает те же рекомендации за меньшее время, чем аналогичные алгоритмы.

Ключевые слова: рекомендательные системы, коллаборативная фильтрация, e-commerce, африканские страны, ITEM-based-подход.

В настоящее время среди интеллектуальных систем, которые могут влиять на выбор пользователя, выделяют рекомендательные системы. В Африке такого рода системы еще не так сильно развиты, как в России или в странах ЕС, более того, немногочисленные уже разработанные системы не находятся в открытом доступе. Примером является рекомендательная система Follow Africa [1]. Кроме того, низкая скорость передачи данных накладывает ограничения на используемые методы при разработке такого рода систем для африканских стран. Например, из статистики платформы SPEED TEST [2] видно, что средняя скорость стационарного интернета в 2022 г. в Чили составляла 197,59 Мбит/с, в России – 65,66 Мбит/с, а в Конго (Браззавиль) – только 13,95 Мбит/с.

Целью работы является разработка и реализация нового метода ARCADIUS для построения рекомендательной системы на основе алгоритма коллаборативной фильтрации. В данной работе предлагается использовать модель оффлайн-рекомендаций, которая вводится на основе весов между продуктами с использованием их характеристик. Метод делится на две фазы. На первом этапе строится матрица весов характеристик продукта, на втором этапе строится матрица сходства продуктов с использованием нашей весовой модели из первого этапа.

Для экспериментов были использованы два набора данных из 300 и 1700 примеров с платформы Amazon. Это наборы данных для модных тенденций нижнего белья и купальных костюмов. Собранные наборы данных содержат информацию о продуктах, такую как: характеристики, название, ссылка и многое другое. Данные представлены в виде матрицы признаков, в результате преобразования которой были получены две матрицы продуктов и характеристик из двух наборов данных размером 300 и 1700 примеров. В каждой из матриц характеристики описаны следующим образом: «1» означает, что продукт А имеет характеристику С, а «0» – не имеет характеристику С.

Для проверки качества предложенного метода были проведены эксперименты на небольшом наборе данных с использованием разных метрик (Spearman, Pearson, Cosine, Adjusted cosine). Преимущество по скорости работы показала метрика Adjusted cosine, поэтому именно она была выбрана для дальнейшего сравнения. Сначала был проведен эксперимент с маленьким набором данных из 300 примеров с использованием показателей Adjusted cosine при различных коэффициентах регуляризации. Сравнение выполнялось с помощью точности, полноты и f-меры. Результаты показаны на рис. 1.

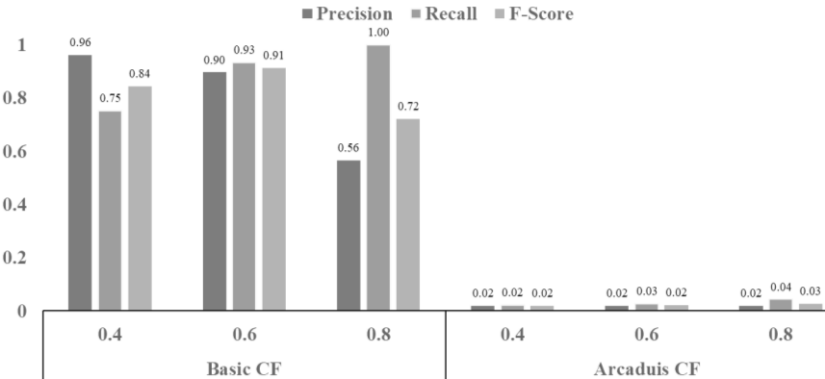


Рис. 1. Сравнение базового и предложенного алгоритмов (300 примеров)

Видно, что на небольшом наборе данных обычный подход коллаборативной фильтрации дает лучшие результаты, чем предложенный метод. Однако так как предложенный метод предназначен для e-commerce, на которых в реальных условиях часто бывает намного больше товаров, то были проведены другие эксперименты с большим количеством данных, как показано на рис. 2.

На рис. 2 показаны результаты эксперимента с теми же параметрами, но с набором данных из 1700 примеров. Видно, что предложен-

ный метод дает лучшие результаты (наибольшее значение f -меры 0,89 с коэффициентом регуляризации 0,6), чем аналогичный алгоритм (наибольшее значение f -меры 0,81 с тем же коэффициентом регуляризации) за меньшее время.

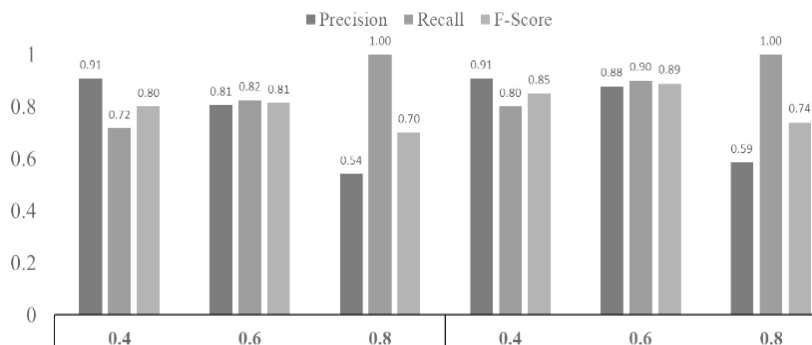


Рис. 2. Сравнение базового и предложенного алгоритмов (1700 примеров)

На основании проведенных экспериментов и сравнения алгоритмов было продемонстрировано, что с увеличением количества данных качество предлагаемого метода превосходит качество базового алгоритма за меньшее время, что соответствует ожидаемому результату работы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Bassioni G., Kebe C.M., Gueye A., Ndiaye A. Innovations and Interdisciplinary Solutions for Underserved Areas – Follow Africa // Third EAI International Conference, InterSol 2019. – Cairo, Egypt, 2019. – Vol. 296. – PP. 70–80.
2. Speedtest Global Index Ranking by country on mobile and fixed broadband speeds from around the world on a monthly basis [Electronic resource]. – URL: <https://www.speedtest.net/global-index> (date of access: 12.05.2022).

УДК 004.8

КРАТКИЙ ОБЗОР ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕТАЭВРИСТИЧЕСКИХ АЛГОРИТМОВ В КЛАСТЕРИЗАЦИИ ПОТОКОВЫХ ДАННЫХ

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 применения нескольких метаэвристических алгоритмов, адаптированных для кластеризации потоковых данных. Анализируются трудности обработки потоковых данных,

ключевые особенности созданных алгоритмов потоковой кластеризации и наборы данных, используемые для оценки работоспособности этих алгоритмов.

Ключевые слова: онлайн-обучение, потоковая кластеризация, потоковые данные, метаэвристические алгоритмы.

Анализ данных в режиме реального времени является естественным и необходимым развитием традиционного пакетного интеллектуального анализа данных. Кластеризация потоков данных становится всё более востребованной областью исследований из-за увеличения количества собираемых потоков данных и потребности понимания их природы. Кластеризация потоков данных требует дополнительных соображений по сравнению с традиционной кластеризацией, поскольку она сопряжена с дополнительными проблемами (например, необходимостью выполнять один проход по необработанным данным). Одним из способов уменьшить влияние этих проблем является применение метаэвристических алгоритмов. Они обладают рядом достоинств: они основаны на довольно простых концепциях и просты в реализации, не требуют вычисления градиента, могут обходить локальные оптимумы и могут быть использованы в широком спектре задач [1].

Цель работы – рассмотреть использование метаэвристик в алгоритмах потоковой кластеризации

Проблемы потоковой кластеризации. Методы кластеризации, используемые для статических наборов данных, не используются для потоков данных без модификаций по нескольким причинам.

1. Эволюционирующий характер потоков данных. Данные в потоке не являются стационарными, они развиваются с течением времени. Следовательно, кластеры, извлеченные из потока, также должны со временем эволюционировать и алгоритм должен изменять параметры.

2. Количество кластеров. Определение правильного количества кластеров является сложной задачей даже в случае статической кластеризации. Вдобавок количество кластеров с течением времени изменяется вследствие явления «эволюции концепции». Фиксированное количество кластеров навряд ли сможет охватывать поток в долгосрочной перспективе [2].

3. Выбросы. Алгоритмы кластеризации должны быть устойчивы к выбросам и шумам. В потоковой среде такую устойчивость обеспечить тяжелее, поскольку как кластеры, так и выбросы способны развиваться с течением времени.

4. Ограничение на один проход. Из-за огромного объема данных невозможно сохранить поток в памяти или на диске.

5. Ограниченное время обработки. Поскольку объекты потока данных поступают непрерывно и с высокой скоростью, алгоритмам необходимо быстро реагировать, как только они получают объект из потока.

6. Ограниченная память. Обычно исследователи для избежания этой проблемы используют сводки по данным вместо исходных необработанных данных и поддерживают их в актуальном состоянии.

Применение метаэвристических алгоритмов. Как правило, метаэвристики используются для генерации каких-либо предварительных решений и (или) корректировки уже сгенерированных решений.

В работе [3] предлагается метод кластеризации потоков данных FlockStream, использующий «стайный» (flocking) алгоритм роевого интеллекта [4]. Метаэвристика имитирует скопления сущностей (частиц, особей); каждая частица принимает решения о передвижении лишь в зависимости от положения соседних частиц и препятствий окружающей среды. Каждая частица популяции инициализируется как один из поступивших экземпляров данных и становится микрокластером; похожие частицы со временем формируют стаи (кластеры). Состояние микрокластеров регламентируется соответствующими шагами из алгоритма DenStream [5]. Новизной подхода является замена двух фаз работы, характерных для DenStream, одной онлайн-фазой, в которой результаты кластеризации (кластеры и их параметры) всегда доступны. Результаты экспериментов на реальных и синтетических наборах данных подтверждают обоснованность предложенного подхода. В качестве метрики качества кластеризации авторы использовали индекс чистоты. Работоспособность алгоритма по этой метрике превосходила DenStream даже на реальном наборе KDDCUP 99; к сотовому окну чистота FlockStream оказалось равной 100% против 89,01% у DenStream.

Похожий подход использовался в работах [6, 7], предлагающих алгоритмы кластеризации потоков с множественной плотностью (MDSC) и алгоритм OpStream соответственно. В этих алгоритмах доработаны шаги, связанные с извлечением новых p -микрокластеров из множества o -микрокластеров. В MDSC для инициализации начальных решений и работы с o -микрокластерами использовался алгоритм муравьиной колонии [8], а OpStream имеет три версии, отличающиеся друг от друга разными метаэвристиками: с алгоритмом «китов» [1], алгоритмом «летучих мышей» [9] и алгоритмом «дифференциальной эволюции» [10]. Эксперименты на синтетических и реальных наборах

данных показали преимущество MDSC и OpStream с алгоритмом «китов» над алгоритмами DenStream и CluStream. В роли метрик выступали F-мера, чистота и индекс Ранда, а фитнес-функцией для метаэвристик служил индекс силуэта.

Исследователи в [11] предлагают использовать для кластеризации алгоритм, в основе которого лежит бинарная версия алгоритма «социального паука» – DSC-BSSO. Здесь бинарные элементы векторов решений указывают на наличие инициализированных центроидов (количество которых предварительно задаётся экспериментатором). Поведение каждой особи определяет, к какому центроиду будет относиться новый экземпляр данных, однако итоговое решение зависит от расстояния экземпляра до центроидов. Обнаружение «эволюции концепции» контролируется с помощью теста Пейджа–Хинкли, применяемого к расстоянию между точками данных и их ближайшими центроидами. Авторы доказывают работоспособность DSC-BSSO на нескольких синтетических и одном реальном наборе данных, сравнивая с одним из своих алгоритмов потоковой кластеризации. В качестве метрики здесь используется SSE.

Заключение. Работы, посвящённые применению метаэвристик в потоковой кластеризации (и в анализе потоковых данных в целом), встречаются достаточно редко, однако полученные исследователями результаты свидетельствуют о перспективности данного направления исследований. Исследователи чаще тестируют свои алгоритмы на синтетических наборах данных, чем на реальных, и используют разные критерии качества кластеризации, что затрудняет сравнение их результатов между собой.

ЛИТЕРАТУРА

1. Mirjalili S. The Whale Optimization Algorithm / S. Mirjalili, A. Lewis // *Advances in Engineering Software*. – 2016. – No. 95. – PP. 51–67.
2. An Evaluation of Data Stream Clustering Algorithms / S. Mansalis, E. Ntoutsis, N. Pelekis, Y. Theodoridis // *Statistical Analysis and Data Mining*. – 2018. – Vol. 11, No. 4. – PP. 167–187.
3. Forestiero, A. A single pass algorithm for clustering evolving data streams based on swarm intelligence / A. Forestiero, C. Pizzuti, G. Spezzano // *Data Mining and Knowledge Discovery*. – 2013. – Vol. 26. – PP. 1–26.
4. Cui X. A Distributed Agent Implementation of Multiple Species Flocking Model for Document Partitioning Clustering / X. Cui, T.E. Potok // *Proceedings of Cooperative Information Agents X, 10th International Workshop, CIA 2006*. – Edinburgh: Springer, 2006. – PP. 124–137.
5. Density based Clustering over an Evolving Data Stream with Noise / F. Cao, M. Ester, W. Qian, A. Zhou // *Proceedings of the 2006 SIAM Conference on Data Mining*. – Bethesda: MD, 2006. – PP. 328–339.

6. Fahy C. Finding and Tracking Multi-Density Clusters in Online Dynamic Data Streams / C. Fahy, S. Yang // IEEE Transactions on Big Data. – 2019. – Vol. 8, No. 1. – PP. 178–192.

7. A Clustering System for Dynamic Data Streams Based on Metaheuristic Optimisation / J.M. Yeoh, F. Caraffini, E. Homapour, V. Santucci, A. Milani // Mathematics. – 2019. – Vol. 7, No. 12. – P. 1229.

8. Dorigo M. Ant colony optimization / M. Dorigo, M. Birattari, T. Stizle // IEEE Computational Intelligence Magazine. – 2006. – Vol. 1, No. 4. – PP. 28–39.

9. Yang X.S. A New Metaheuristic Bat-Inspired Algorithm // Nature Inspired Cooperative Strategies for Optimization. – 2010. – Vol. 284. – PP. 65–74.

10. Caraffini F. Infeasibility and structural bias in Differential Evolution / F. Caraffini, A.V. Kononova, D. Corne // Information Science. – 2019. – Vol. 496. – PP. 161–179.

11. Shukla U.P. Dynamic clustering with binary social spider algorithm for streaming dataset / U.P. Shukla, S.J. Nanda // Soft Computing. – 2019. – Vol. 23. – PP. 10717–10737.

УДК 51-77

АЛГОРИТМ «САРАНЧИ» И ЕГО ПРИМЕНЕНИЕ ДЛЯ ОТБОРА ИНФОРМАТИВНЫХ ПРИЗНАКОВ НЕЧЁТКОГО КЛАССИФИКАТОРА

Р.О. Остапенко, аспирант каф. КСУП

*Научный руководитель И.А. Ходашинский, д.т.н., проф. каф. КСУП
г. Томск, ТУСУР, romanOstpub@mail.ru*

Рассматривается применение алгоритма «саранчи» и двух функций трансформации для отбора информативных признаков. Описан эксперимент по отбору информативных признаков. Применение алгоритма «саранчи» совместно с S-образной функцией трансформации показало свою пригодность для решения задачи отбора информативных признаков.

Ключевые слова: алгоритм «саранчи», метаэвристика, отбор информативных признаков, функции трансформации.

На этапе отбора информативных признаков снижается размерность исходного признакового пространства данных. Данный этап требуется при построении нечёткого классификатора для исключения избыточных признаков, за счёт этого для расчётов требуется меньше вычислительных ресурсов и повышается точность классификации.

Для отбора информативных признаков возможно использовать метаэвристические алгоритмы, если её бинаризовать.

Функции трансформации. Для того чтобы использовать метаэвристику для решения задачи отбора информативных признаков,

необходимо провести бинаризацию. Один из методов – использование трансформационных функций.

В данной работе рассмотрено две функции трансформации: S- и V-образная:

$$f(X_{ij}) = \begin{cases} 1, & \text{если } r < \frac{1}{1+e^{-X_{ij}}}, \\ 0, & \text{иначе,} \end{cases}$$

где r – случайное число непрерывного равномерного распределения из отрезка $[0, 1]$; X_{ij} – j -й признак i -го вектора отбираемых признаков.

$$f(X_{ij}) = \left| X_{ij} / \sqrt{1 + X_{ij}^2} \right|,$$

где X_{ij} – j -й признак i -го вектора отбираемых признаков.

Эксперимент. Проведён эксперимент по отбору информативных признаков с помощью алгоритма «саранчи» [1] с использованием базы правил, сгенерированной с помощью алгоритма экстремума класса.

Для отбора информативных признаков: количество итераций 300, размер популяции – 40. Эксперименты были проведены по схеме 10-кратной кроссвалидации.

Средние точности классификации, полученные при классификации на разных наборах данных после отбора информативных признаков при использовании треугольных правил, приведены в таблице.

Результаты эксперимента

Название	S		V		Отобранные признаки		Признаки
	Об.	Т.	Об.	Т.	S	V	
iris	96,52	96,67	96,37	96,67	2,1	2,2	4
newthyroid	96,64	94,94	96,49	94,94	3,2	3,3	5
magic	72,99	73,08	71,17	71,04	1,5	4,3	10
page-blocks	90,27	90,28	89,87	89,97	3,8	1,5	10
winequality-red	36,47	35,71	31,45	31,15	4,5	4,3	11
winequality-white	44,52	44,06	37,42	36,36	3,3	3,4	11
marketing	18,25	18,25	18,25	18,25	5,2	5,8	13
wine	95,19	93,2	92,63	90,42	6,2	6,5	13
cleveland	53,98	54,54	53,98	54,54	3,6	1,5	13
heart	69,55	67,04	69,38	67,04	6,5	6,4	13
penbased	57,86	57,72	56,86	56,65	14,1	15,8	16
vehicle	43,81	43,15	39,24	36,89	8	5,6	18
hepatitis	85,7	79,35	83,46	75,33	9,3	5,4	19
bands	68,62	66,22	65,63	64,94	9	8,1	19
ring	60,54	60,19	62,2	62,31	3,6	1,8	20
thyroid	96,8	96,79	88,46	88,29	9,1	4	21

В таблице представлены результаты, полученные при отборе информативных признаков с использованием S-образной трансформационной функции и с V-образной функцией; Об. – результаты, полученные на обучающей выборке; Т. – на тестовой; Признаки – изначальное количество признаков.

Заключение

Для сравнения рассчитан статистический критерий Уилкоксона. Нулевая гипотеза (H_0) в данном эксперименте следующая: результаты, полученные при использовании разных функций трансформации, имеют только случайные различия. H_1 – результаты разных функций трансформации различны. Уровень значимости выбран равным 0,05.

На обучающей выборке значение критерия равно 0,004, на тестовой – 0,013, что означает, что результаты имеют неслучайные отклонения, по количеству отобранных правил значение критерия равно 0,204, что означает, что имеются только случайные различия. На большинстве наборах данных наибольшая точность получена при использовании S-образной функции трансформации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Saremi S. Grasshopper Optimisation Algorithm: Theory and application // S. Saremi, S. Mirjalilia, A. Lewis // *Advances in Engineering Software*. – 2017. – Vol. 105. – PP. 30–47.

УДК 004.522, 004.934.8'1, 004.934.2, 004.032.26

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОСТОЯНИЯ АЛКОГОЛЬНОГО ОПЬЯНЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА НА ОСНОВАНИИ УСТНОЙ РЕЧИ

П.Ю. Лаптев, С.А. Литовкин, студенты каф. БИС

*Научный руководитель Е.Ю. Костюченко, доцент каф. КИБЭВС, к.т.н.
г. Томск, ТУСУР, pavel.laptev.87@gmail.com*

Описывается процесс создания личного набора данных и анализатора на основе нейронных сетей для определения состояния алкогольного опьянения по записям устной речи. Результатом работы стали созданный набор данных, состоящий из 1700 аудиозаписей, а также двух обученных анализаторов с погрешностями по СКО, равными 0,0007 и 0,00016.

Ключевые слова: искусственный интеллект, нейронные сети, VGG16, анализ речи.

Проект направлен на изучение способов анализа устной речи человека с помощью нейронных сетей для определения состояния алкогольного опьянения.

В качестве данных для анализа используются аудиозаписи испытуемых в двух состояниях (трезвом состоянии и состоянии алкогольного опьянения), которые содержат прочтения 20 скороговорок: 10, нацеленных на произношение гласных звуков и 10 – на произношение сонорных звуков. Такой выбор материала для записи обоснован высокой эффективностью использования скороговорок для анализа психоэмоционального состояния человека, а также сильным влиянием опьянения на произношение вышеописанных звуков [1, 2]. В качестве нижнего порога во время употребления алкоголя было решено выбрать 1,7‰, поскольку изменение речи, распознаваемое человеческим ухом, происходит при опьянении выше 1,5‰ [3].

Всего было собрано 340 аудиозаписей: 200 – в трезвом состоянии и 140 – в состоянии алкогольного опьянения. Поскольку количество записей является малым для наиболее качественного анализа и обучения, было решено использовать методы аугментации для расширения собранного набора данных. Так записи были ускорены и замедлены в 1,05; 1,1 и 0,9; 0,95 раз соответственно, что позволило увеличить набор данных в 5 раз – 1700 записей всего, 1000 записей в трезвом состоянии и 700 записей в состоянии алкогольного опьянения.

После сбора данных был построен первичный анализатор на основе свёрточной нейронной сети VGG16 и изначального набора данных. Поскольку на вход нейронной сети требуется изображение, было решено в качестве признаков опьянения использовать спектрограммы аудиозаписей размером 256×256 пикселей, а также спектрограммы на основе мелкейпстральных коэффициентов. На рис. 1 показаны оба вида спектрограммы для одной записи.

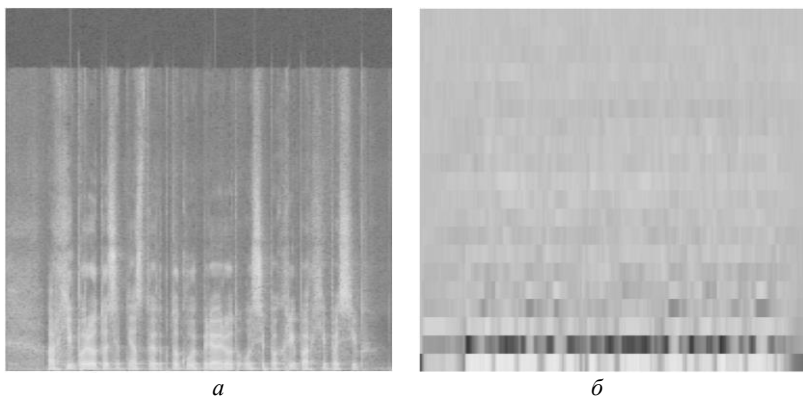


Рис. 1. Пример спектрограмм: *а* – обычная спектрограмма; *б* – спектрограмма на основе мелкейпстральных коэффициентов

Обучение нейронной сети происходило на протяжении 200 эпох со следующими параметрами:

- размер батча – 5;
- оптимизатор – Adagrad со скоростью обучения равной 0,001;
- функция потерь – среднеквадратичная ошибка (MSE).

Были получены значения точности для нейронных сетей, обученных на обычных спектрограммах и спектрограммах по мелкейпстральным коэффициентам (рис. 2).

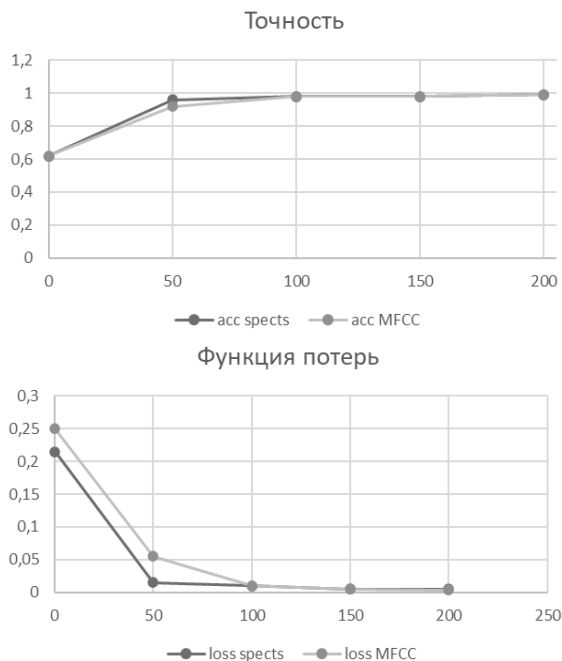


Рис. 2. Графики изменения точности и функции потерь

При этом среднеквадратичная ошибка определения правильного состояния составляет 0,0009 и 0,0005 для трезвого и пьяного состояния соответственно у сети, обученной на обычных спектрограммах и 0,00001 и 0,0002 для трезвого и пьяного состояния у сети, обученной на спектрограммах мелкейпстральных коэффициентов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Pisoni D.B. Effects of alcohol on the acoustic- phonetic properties of speech: perceptual and acoustic analyses / D.B. Pisoni, C.S. Martin // Alcoholism: Clinical and Experimental Research. – 1989. – Vol. 13, No. 4. – PP. 577–587.

2. Johnson K. Do voice recordings reveal whether a person is intoxicated? A case study / K. Johnson, D.B. Pisoni, R.H. Bernacki // *Phonetica*. – 1990. – Vol. 47, No. 3-4. – PP. 215–237.

3. Sigmund M. Analysis of voiced speech excitation due to alcohol intoxication / M. Sigmund, P. Zelinka // *Information Technology and Control*. – 2011. – Vol. 40, No. 2. – PP. 143–150.

УДК 004.855.5

РАСПОЗНАВАНИЕ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ С ПОМОЩЬЮ МОДЕЛЕЙ CNN

А.С. Зазуля, магистрант каф. КИБЭВС

Научный руководитель С.С. Харченко, доцент каф. КИБЭВС

г. Томск, ТУСУР, kss@fb.tusur.ru

Рассмотрены модели сверточной нейронной сети для бинарного распознавания лесных пожаров.

Ключевые слова: распознавание, CNN-модели, пожары.

Если говорить об искусственном интеллекте (ИИ) простыми словами, то это возможность выполнения поставленных задач и многократно улучшаться на основе собранных данных [1, 2]. ИИ используется во многих отраслях жизни.

Нейронная сеть – это мощная и эффективная модель машинного обучения, которая также управляется данными и учится на них [3].

CNN (Convolutional Neural Network) – сверточная нейронная сеть сопоставления изображений с векторами.

CNN являются наиболее часто используемыми сетями обработки изображения, которые распознаются как двумерные пиксельные изображения или трехмерные модели [4].

Были выбраны известные модели CNN, а именно AlexNet, VGGNet, ResNet и GoogLeNet.

Сверточный слой в основном состоит из множества различных ядер, которые выполняют операции свертки над входным изображением, а полносвязные слои играют роль «классификатора» во всей сверточной нейронной сети. В табл. 1 изображено количество слоев выбранных моделей CNN.

Т а б л и ц а 1

Количество слоев моделей

Модель CNN	Сверточные слои	Полносвязные слои
AlexNet	5	3
VGGNet	20	5
ResNet	16	3
GoogLeNet	22	1

Архитектуры были реализованы в Google Colaboratory с помощью языка программирования Python.

Был выбран набор данных «Fire-Dataset» [5], который имеет 1900 изображений, из них тренировочный набор состоял из 1520 изображений, а тестовый набор – из 380 изображений.

Данный набор был выбран по причине того, что в нем имеется несколько состояний пожара.

Сначала было необходимо определить, что является пожаром, а что нет. Для этого с помощью модуля в Tensorflow определим классы на бинарную выборку, а именно: 1 – пожар, 0 – нет пожара (рис. 1).



Рис. 1. Визуализация состояния леса

Так как в тестовом наборе мало изображений, было принято решение использовать аугментацию данных с помощью метода flipping, который наклоняет изображение под определенным углом (рис. 2).

С помощью функции «fit» были обучены модели CNN на дополненных обучающих данных и сохранены весовые значения после каждой проделанной эпохи.

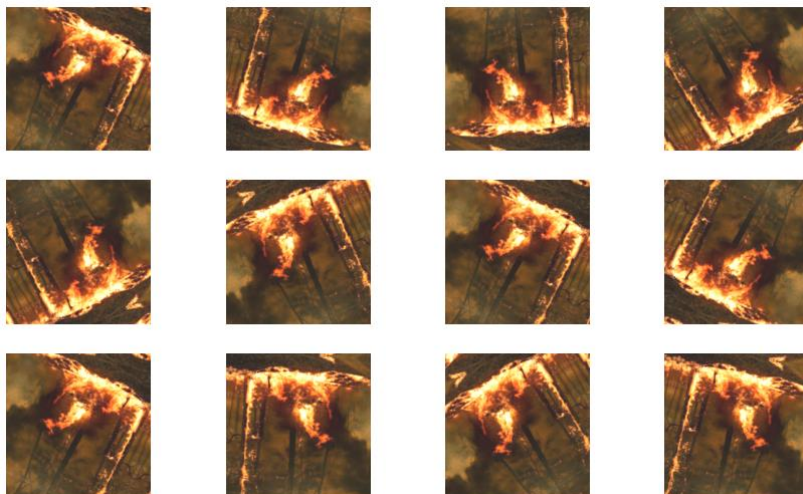


Рис. 2. Аугментация обучающего набора данных

С помощью метрики можно увидеть, как модель обучалась, но именно метрика в тестовом наборе позволит увидеть насколько хорошо модель способна делать прогнозы на основе независимых тестовых данных. В табл. 2 изображены точность и потери с последних эпох для тренировочных и тестовых данных.

Таблица 2

Точность и потери тренировочных и тестовых данных

Модель CNN	Loss		Accuracy, %	
	train	test	train	test
AlexNet	0,69	0,69	50,58	50,99
VGGNet	0,004	0,094	99,84	98,03
ResNet	0	0,25	100	99,01
GoogLeNet	0,0006	0,042	100	99,01

Проведенный анализ показал, что точность распознавания в тестовых данных была выше у ResNet и GoogLeNet, но потерь меньше всего было у GoogLeNet. Произошло этого из-за того, что GoogLeNet использует два дополнительных классификатора «softmax», чтобы избежать исчезновения градиента.

ЛИТЕРАТУРА

1. Федеральный закон от 24.04.2020 № 123-ФЗ. О проведении эксперимента по установлению специального регулирования в целях создания необходимых условий для разработки и внедрения технологий искусственного

интеллекта в субъекте Российской Федерации [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_351127/c505178/ (дата обращения: 10.09.2022).

2. Место модульных нейронных сетей в классификации искусственных нейронных сетей [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/mesto-modulnyh-neyronnyh-setey-v-klassifikatsii-iskusstvennyh-neyronnyh-setey> (дата обращения: 10.10.2022).

3. Нейронные сети [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/neyronnye-seti-1> (дата обращения: 01.11.2022).

4. Применение сверточной нейронной сети в задачах компьютерного зрения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.kubsu.ru/sites/default/files/users/23864/portfolio/ovcharik_010302_v_kr.pdf (дата обращения: 08.11.2022).

5. Forest Fire Dataset [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.kaggle.com/datasets/alik05/forest-fire-dataset?select=Forest+Fire+Dataset> (дата обращения: 19.12.2022).

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 629.78

РАЗРАБОТКА ПОЛЕЗНОЙ НАГРУЗКИ СПУТНИКА В РАМКАХ SPACE-π

*А.В. Кададова, инженер; Д.М. Кадочников, техник;
В.В. Уткин, инженер*

*Научный руководитель С.А. Чириков, ст. преп.
г. Санкт-Петербург, БГТУ ВОЕНМЕХ им. Д.Ф. Устинова,
akadadova@gmail.com*

Описаны полезные нагрузки и промежуточные итоги работы для спутника в формате «CubeSat» 3U, создаваемого в Балтийском государственном техническом университете «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова» в рамках конкурса «Дежурный по планете» проекта Space-π, организованного Фондом содействия инновациям.

Ключевые слова: cubesat, полезная нагрузка, космический аппарат, модули.

С годами наблюдается увеличение количества запускаемых космических аппаратов формата CubeSat, размером один юнит (1U) 10×10×11,35 см и массой до 1,33 кг. Запуски малых спутников становятся доступны для студентов и школьников, одной из программ, позволяющих вузам и университетам участвовать в создании космического аппарата является конкурс «Дежурный по планете».

В рамках реализации конкурса «Дежурный по планете» (6-я очередь) проекта «Space-π», организованного Фондом содействия инновациями в БГТУ «Военмех» им. Д.Ф. Устинова, создаются несколько нагрузок для спутника формата CubeSat 3U-модулей, разработанных студентами, которые обеспечивают работоспособность аппарата и проведение экспериментов. Платформа для интеграции в нее полез-

ных нагрузок создается партнером БГТУ «ВОЕНМЕХ» – компанией ООО «Геоскан». Разрабатываемый спутник будет включать в себя четыре модуля полезных нагрузок.

Один из механических модулей – модуль солнечных панелей, который является симметричным относительно геометрической оси CubeSat блоком, обеспечивающим раскрытие солнечных панелей. Модуль занимает объем не более 1U CubeSat. Его главная функция – исследование работоспособности солнечных панелей на малых космических аппаратах (МКА). Панели крепятся к специальной раме, которая, в свою очередь, крепится к оси вращения, где также расположена пружина кручения, обеспечивающая поворот панелей на определенный угол относительно одного торца. Модуль был спроектирован в системе автоматического проектирования.

Вторая полезная нагрузка – это модуль маховиков. Он ориентирует МКА на орбите и обеспечивает наведение антенн на Землю. Система ориентации основана на четырех электрических маховиках, обеспечивающих ориентацию аппарата по трем осям. Применение четырех маховиков повышает надежность и безотказность системы, при этом обладая меньшими габаритами и себестоимостью по сравнению с аналогами. Микроконтроллер STM32 используется для контроля за работой и состоянием системы маховиков, после чего информация передается в блок управления полезными нагрузками. Крепление массы маховика на вал электродвигателя осуществляется посредством посадки с натягом. Для данного модуля были подобраны двигатели, спроектированы маховики, рассчитана и изготовлена прочная рама для крепления модуля, собран макет и спроектирована плата управления.

Ещё одной полезной нагрузкой является модуль тестирования памяти. В космических миссиях важно иметь надежное устройство для хранения данных, поэтому было разработано запоминающее устройство на основе магниторезистивной памяти в качестве полезной нагрузки. Модуль предназначен для тестирования отказоустойчивости запоминающих устройств на пригодность применения в космосе. Разработанная плата модуля памяти имеет различные степени физической защиты от радиации, позволяющие исследовать устойчивость микросхем к работе в космосе.

Также разрабатывается модуль системы связи. Он имеет множество антенн и объединяет в себе приёмопередатчики двух диапазонов частот. Расчетная скорость передачи данных по каналам до 4800 бит/с и до 32 кбит/с по S-диапазону. В составе модуля есть одноплатный компьютер на базе процессора Alwinner F1C100s, занимающийся об-

работкой данных с радиоканалов и позволяющий перепрограммировать микроконтроллеры на других платах полезных нагрузок спутника.

Данные о состоянии систем МКА и результаты экспериментов будут передаваться в центр управления полетом (ЦУП) и энтузиастам по всему миру. Радиолюбители смогут принимать телеметрическую информацию при помощи своих станций и через Всемирную сеть satellite networked open ground station (SatNOGS). Для приема изображений по каналу S-диапазона в ЦУП БГТУ ВОЕНМЕХ будет установлена дополнительная зеркальная параболическая антенна со следящим приводом. Применение линейно-частотной модуляции позволит этой системе работать в неблагоприятной радиоэлектронной обстановке центра мегаполиса.

Запуск спутника запланирован на декабрь 2023 г., ожидается, что спутник сохранит работоспособность в течение одного года на орбите. В этот период планируется привлечение школьников и студентов для работы с приемом данных и обработки информации со спутника, выполнения лабораторных работ и проведения мастер-классов для абитуриентов, анализ данных в результате проведения комплексного тестирования и исследования модулей в условиях космического пространства.

ЛИТЕРАТУРА

1. Nanosats Database [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.nanosats.eu>, свободный (дата обращения: 09.03.2023).
2. Space-pi [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://spacepi.space>, свободный (дата обращения: 09.03.2023).
3. Геоскан [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.geoscan.aero/ru>, свободный (дата обращения: 09.03.2023).
4. SatNOGS [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://satnogs.org>, свободный (дата обращения: 09.03.2023).

УДК 534.2

НАПРАВЛЕННАЯ АКУСТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА С УПРАВЛЯЕМОЙ ДИАГРАММОЙ НАПРАВЛЕННОСТИ

Д.А. Лузгин, аспирант ОЭИ НИ ТПУ

*Научный руководитель А.И. Солдатов, проф. ОЭИ НИ ТПУ, д.т.н.
г. Томск, НИ ТПУ, dal35@tpu.ru*

Разработан макет для проведения оценки возможностей направленной акустической системы. Представлена структурная схема системы, приведён принцип работы устройства. Приведены фотографии макета, а также диаграмма направленности макета.

Ключевые слова: направленная звуковая система, акустическая антенная решётка, диаграмма направленности.

Направленная звуковая система – это акустическая система, обеспечивающая распространение звука только в одном направлении, подобные системы имеют угол расхождения меньше 45 градусов, тогда как классические звуковые системы имеют угол расхождения в 360 градусов. Подобные системы позволяют транслировать звуковой сигнал только в определённую узкую область, так чтобы слушатели за пределами этой области ничего не услышали. Такие системы могут быть использованы в общественных местах в качестве звуковых сигналов для помощи слабовидящим людям, но в отличие от классических звуковых систем с круговой диаграммой направленности они будут иметь меньшую степень шумового загрязнения. Существует множество способов получения направленной акустической системы, например, такую систему можно получить с помощью модуляции гармонического сигнала в ультразвуковой частоте [1] или используя купольный динамик, который позволяет отражать звуковые волны от поверхности купола [2].

Однако куда больший интерес представляет система, имеющая не только малый угол расхождения, но и позволяющая управлять лучом диаграммы направленности, так как такая система позволит проецировать звук в несколько точек. Добиться такого эффекта можно, используя акустическую фазированную антенную решётку. Антенная решётка представляет собой одномерную или двухмерную матрицу из излучателей, где между каждым элементом матрицы существует фазовый сдвиг, который обеспечивает отклонения луча на угол φ от перпендикуляра матрицы [3]. Одним из способов получения фазового сдвига является применение цифровой линии задержки между каналами. В этом случае угол отклонения луча будет определяться по формуле

$$\varphi = \arcsin(c\Delta t/d), \quad (1)$$

где Δt – величина задержки между соседними элементами матрицы, d – расстояние между центрами соседних элементов матрицы, c – скорость звука в воздухе.

Принцип работы макета акустической решётки. Акустическая решётка состоит из 4 динамиков KP1530SP1-7021, расстояние между которыми равно 40 см, а общая длина решётки равна 130 см (рис. 1). Каждый динамик имеет свой независимый усилитель и 8-битный ЦАП. Значение для ЦАП генерирует микроконтроллер Atmega 16A, которое ЦАП после получения сигнала от блока генерации задержки преобразует в аналоговое значение. Величина задержки также регулируется контроллером посредством частотно-импульсной модуляции. Функциональная схема макета представлена на рис. 2.

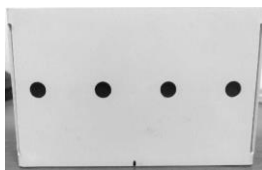


Рис. 1. Внешний вид акустической решётки



Рис. 2. Функциональная схема макета

Для оценки возможностей акустической решётки была измерена диаграмма направленности. Диаграмма измерялась на расстоянии 1 м на электретный микрофон ЕМ6050Р с шагом в 10° в диапазоне от -90 до 90° . На акустическую решётку подавался тональный сигнал на частоте 3,1 кГц, а угол поворота луча был настроен на 20° . Из рис. 3 видно, что основной максимум приходится на 20° , также можно наблюдать вторичный максимум при -40° , это может быть связано с небольшим отличием в коэффициенте усиления между каналами и с разбросом параметров между динамиками.

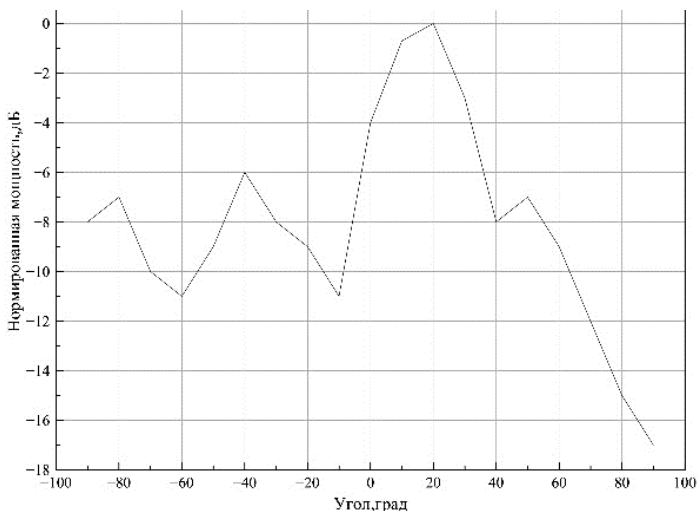


Рис. 3. Диаграмма направленности акустической решётки при $f = 200$ Гц

Заключение. В статье был рассмотрен способ управления лучом с помощью цифровой линии задержки. Результаты эксперимента показали, что управление лучом с помощью задержки возможно, однако сам макет требует доработки, так как наличие нескольких максимумов будет заметно из-за логарифмического восприятия слуха.

ЛИТЕРАТУРА

1. Электронный блок для создания направленного звука /А.С. Ишков, М.К. Маркелов, Н.А. Борисов, Д.А. Новичков // Вестник Пензенского гос. ун-та. – 2022. – № 2. – С. 85–90.
2. Купольные динамики направленного звука [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://sound-tube.ru>, свободный (дата обращения: 1.03.2023).
3. The Science of Phased Arrays [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://support.leapmotion.com/hc/en-us/articles/360004369058-The-Science-of-Phased-Arrays>, свободный (дата обращения: 19.02.2023).

УДК 378.147

ТЕХНОЛОГИЯ АДАПТИВНОГО ОБУЧЕНИЯ: ВЫГОДЫ И ПРОБЛЕМНЫЕ ЗОНЫ ПРИМЕНЕНИЯ

Т.Н. Мосунова, студентка каф. УИ

Научный руководитель И.А. Кречетов, зав. ЛИСМО, к.т.н.

г. Томск, ТУСУР, mosunova2013@mail.ru

Рассматриваются текущее состояние технологии адаптивного обучения, ее достоинства и проблемные области применения.

Ключевые слова: адаптивное обучение, электронное обучение.

В условиях развития технологий появляются новые методы и технологии для реализации обучения. Одной из относительно новых является технология адаптивного обучения. Ее суть заключается в том, что эффективность обучения должна повышаться за счет индивидуализации обучения с учетом личностных особенностей.

Реализовать адаптивные курсы стало технически возможным лишь в начале 2000-х гг., и тогда адаптивные технологии не были распространены. По мнению одного из основоположников технологии П.Л. Брусиловского, направление было молодо, и низкая конкуренция на рынке вела к тому, что адаптивные системы, несмотря на преимущества, конкурировали с неадаптивными [1].

К 2015 г. уже существовали такие адаптивные платформы, как 2U, Wiley, Knewton, а также компании, производящие адаптивный контент: Wiley, Pearson, Mc Graw Hill Education, Jones& Bartlett Learning и др. [2]. Их появление подтверждает если не преимущество адап-

тивных систем над неадаптивными, то по крайней мере возрастающий интерес.

В России системы адаптивного обучения или их элементы есть в сервисе онлайн-образования «Яндекс.Практикум», онлайн-школе «Skysmart», образовательной платформе «Stepik». Постепенно к процессу внедрения адаптивного обучения присоединяются и вузы [3].

За двадцать лет технология адаптивного обучения приобрела большее распространение, однако остаются актуальными вопросы об алгоритмах, используемых в основе формирования системы, параметрах модели обучаемого, построении персональной траектории обучения в рамках курса и т.д.

С ростом вычислительных мощностей стали распространяться такие технологии, как машинное обучение и нейронные сети. Пока они не решают имеющихся проблем, но расширяют поле исследования. Некоторые авторы предполагают, что при их сочетании с имеющимися наработками исследователей и алгоритмами можно оптимизировать процесс сбора данных для модели студента, а также процесс выдачи релевантного контента [4].

К преимуществам и выгодам применения адаптивных курсов можно отнести следующие:

1. Повышается эффективность обучения. Хотя это утверждение пока не заверено многолетним опытом, уже есть достаточно исследований, подтверждающих его [5].

2. Индивидуальный подход к обучению позволяет студентам чувствовать себя более комфортно в процессе обучения.

3. Появляется возможность зачислять на курс обучающихся с разным уровнем входных компетенций и «выравнивать» их знания к завершению курса;

4. Применение адаптивности может сохранить мотивацию студентов к обучению или развить интерес к предмету.

5. На основе имеющейся модели студента можно прогнозировать его будущие результаты. Если фактический результат обучения будет значительно отличаться от прогнозного, можно обнаружить, например, недостатки в самом адаптивном курсе.

6. Возможно сокращение потребности учащегося в участии преподавателя, что позволит выделить время на улучшение контента [5].

Несмотря на то, что сейчас в мире существует достаточно внедренных систем адаптивного обучения [6], есть и барьеры, ограничивающие их распространение. Рассмотрим их подробнее.

1. Трудоемкость разработки, а следовательно, дороговизна. Для создания адаптивного курса необходимо решение множества задач:

разработки или поиска системы адаптивного обучения, формирования требований и методических рекомендаций к контенту, создания контента, сценариев интеграции обучения в учебный процесс и др.

2. Необходимость обучать преподавателей работе с адаптивным курсом. Многие возрастные преподаватели испытывают недостаток цифровых компетенций и со скепсисом относятся к смене привычных технологий обучения.

3. Недостаточность исследований на тему модели обучаемого, а именно: какие факторы влияют больше; как измерять вес факторов; как учитывать факторы, которые нельзя «снять» с помощью адаптивной системы (в идеале при предоставлении контента должны учитываться эмоциональное состояние, особенности восприятия, влияние окружающей среды и др.).

4. Для внедрения адаптивных курсов в систему высшего образования барьером являются ограниченные сроки, заявленные учебной программой. Например, возможно, что обучающемуся нужно будет больше времени на освоение всех необходимых компетенций, чем заявлено в учебном плане.

5. Необходимость полной разработки системы адаптивного обучения или существенной доработки системы дистанционного обучения, чтобы система отвечала всем требованиям ее пользователей.

Основным и самым значимым недостатком из перечисленных являются затраты на производство. Принято, что чем более гибкой предполагается система, тем большее необходимо количество создаваемого вариативного контента. Для того чтобы обеспечить одну осваиваемую компетенцию, нужны десятки вариаций учебных модулей, а для сложных объемных дисциплин количество создаваемого контента увеличивается кратно. Это влечет увеличение временных и финансовых затрат, а за время разработки контент может потерять актуальность.

Важно понимать, для чего еще, кроме самого факта многовариантности, нужно большое количество модулей. Большой набор в дальнейшем при реализации адаптивного обучения может позволить проанализировать, какие модули оказываются востребованы для большинства студентов, каких не хватает и какие требуют доработки или исключения. Остается вопрос о том, как избежать разработки огромного количества модулей на старте, возможно ли для преподавателя-разработчика обходиться необходимым минимумом?

Для этого нужно проводить масштабную аналитическую работу, а именно сохранять и обрабатывать данные обо всех взаимодействиях студентов с контентом неадаптивных, традиционных электронных

курсов. В процессе обработки этих данных для преподавателя станут более очевидными аспекты, на которые нужно делать упор в обучении, и они могут существенно отличаться от его первоначального мнения при разработке учебного пособия. Так, курс может стать более гибким не за счет слепого количества, а за счет естественного наращивания подходящего (что будет выявлено в результате аналитики типовых взаимодействий студентов) контента.

Рассмотрев преимущества и недостатки адаптивного обучения, можно сделать вывод, что пока технология остается дорогостоящей, ее широкого распространения не предвидится. Видится возможным сокращение затрат на разработку, если сделать акцент не на тиражировании различных вариантов модулей, а на более осознанном подходе к разработке, основанном на анализе прошлых взаимодействий обучающихся с контентом.

Технология также найдет больший отклик, когда преподаватели будут иметь больше цифровых компетенций, и если это не случится посредством массового обучения, то произойдет со временем естественным образом. Новые технологии, такие как, например, машинное обучение и нейронные сети, также могут поспособствовать упрощению процесса реализации адаптивного обучения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Брусиловский П.Л. Адаптивные и интеллектуальные технологии в сетевом обучении // *Новости искусственного интеллекта*. – 2002. – № 5. – С. 25–31.
2. Бурняшов Б.А. Персонализация как мировой тренд электронного обучения в учреждениях высшего образования // *Современные проблемы науки и образования*. – 2017. – № 1. – С. 90.
3. Кречетов И.А. Раскрываем потенциал адаптивного обучения: от разработки до внедрения / И.А. Кречетов, М.Ю. Дорофеева, А.В. Дегтярев // *Матер. междунар. конф., Москва, 05–06 декабря 2018 г.* / отв. ред. Е.Ю. Кулик. – М.: Нац. исслед. ун-т «Высшая школа экономики», 2018. – С. 76–88.
4. Кречетов И.А. Искусственный интеллект в образовании: реализация адаптивного обучения на основе учебной аналитики / И.А. Кречетов, В.В. Романенко // *Современное образование: повышение конкурентоспособности университетов: матер. междунар. науч.-метод. конф.: в 2 ч., Томск, 28–29 января 2021 г.* – Ч. 2. – Томск: ТУСУР, 2021. – С. 77–84.
5. Тархов С.В. Адаптивное электронное обучение и оценка его эффективности // *Открытое образование*. – 2005. – № 5. – С. 37–48.
6. Challenges and contexts in establishing adaptive learning in higher education: findings from a Delphi study [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.ssl.stu.neva.ru/psw/crypto.html>, свободный (дата обращения: 09.03.2023).

ВНЕДРЕНИЕ ПОДСИСТЕМЫ ERP НА ПРОИЗВОДСТВЕ ПРИБОРОВ И СРЕДСТВ АВТОМАТИЗАЦИИ

Е.А. Руденко, студентка каф. УИ

Научный руководитель М.Е. Антипин, доцент каф. УИ

г. Томск, ТУСУР, katena.rudenko.58@mail.ru

Рассматривается возможная модернизация функционала ERP-системы «AVAERP» на производственном предприятии. Проанализированы возможности системы.

Ключевые слова: ERP-система, планирование производством, брак.

Для планирования ресурсов предприятия очень важно использовать программное обеспечение для организации производства. Оно поможет легко управлять, контролировать производство и гарантировать, что отгрузки товаров будут совершены согласно планам производства [1].

ERP-системы направлены на достижение определенных целей [2–4]: Сокращения уровня страховых запасов, своевременность пополнения материально-технических ресурсов, повышение оборачиваемости оборотных средств, эффективность контроля расходом материалов, снижение трудозатрат на формирование бухгалтерской отчетности.

Так, на сегодняшний день предприятие ООО «Завод ПСА «Эле-Си» внедрил ERP-систему «AVA ERP». Данная система в первую очередь, является производственным программно-аппаратным комплексом, основанным на принципах теории ограничений Голдратта [5]. Все методики управления внутри данной системы направлены на производство и логистику. Но в системе, безусловно, есть и бухгалтерские, экономические функции. Однако они не являются главными функциями системы.

ERP-системы не всегда могут содержать перечень всех бизнес-процессов, функционирующих на предприятии. Главная задача предприятия сейчас – выстроить автоматизацию отдела технического контроля. Необходимо в системе выстроить процесс технического контроля.

В системе «AVA ERP» изначально были реализованы несколько блоков функций отдела контроля качества. Отдел контроля качества (ОТК) имеет две основные функции: входной контроль и технический контроль. Входной контроль – это проверка продукции на соответствие продукции требуемым нормам перед началом производства, а технический – проверка готового изделия или изделия после завершения одного или нескольких этапов производственного процесса

на соответствие требуемым нормам и конструкторской документации (КД).

Для того чтобы сформировать подсистему технического контроля в ERP-системе, необходимо описать бизнес-процесс технического контроля, определить его основные параметры, наличие которых необходимо для функционирования подсистемы в рамках предприятия, передать данный документ разработчикам системы, для реализации подсистемы технического контроля.

Описание системы. Изделие, которое прошло, все этапы на производстве, поступит на технический контроль в ОТК, но специалист не может его принять в работу. Параметр, отвечающий за прохождение технического контроля, указывается в карточке этого элемента в поле ERP-системы как «Входной контроль».

Позиции, которые должны пройти технический контроль появляются в пункте меню «Очередь ОТК». Но перед тем как оно появится в пункте меню «Очередь ОТК», мастер цеха должен в производственном задании указать движение «Контроль ОТК». Далее из состояния «Контроль ОТК» решения о комплектующих и изделиях принимаются исходя из следующих случаев:

1. В случае если изделие пройдет технический контроль, то менеджер по качеству должен изменить состояние на «Разрешено ОТК».

2. В случае если изделие не прошло технический контроль, то менеджер по качеству должен в производственном задании изменить состояние на «Отказано ОТК», тогда оно появится в пункте меню «Производство» – «Отказ ОТК». Пункт меню «Отказ ОТК» отражает все изделия, не прошедшие технический контроль. Здесь указывается также задание, в котором хранится серийный номер. Пока изделие находится в состоянии «Отказано ОТК», оно не перемещается на склад несоответствующей продукции (НСП), а продолжает числиться в производстве. Пока изделие находится в состоянии «Отказ ОТК», система не покажет его при просмотре остатка, но при этом заказы это изделие удовлетворяет. После того как изделие исправили, мастер цеха должен в производственном задании выбрать движение «Контроль ОТК». Это обязательный шаг, так как необходимо проверить исправность изделия после его доработки.

Далее все было собрано в один документ, который описывает бизнес-процесс технического контроля, к которому были добавлены примеры работы, пожелания.

В созданной разработчиками автоматизированной подсистеме технического контроля есть свои недостатки и свои преимущества относительно описанной системы. Они в силу своих соображений и в

силу возможностей системы сформировали на основе описанной системы свой вариант.

Естественно, чтобы работать в системе, ее необходимо подготовить, так как процессы изменились. Исходя из вышесказанного, в системе появился новый функционал:

1. Добавился склад НСП. На этот склад перемещаются все изделия требующие решения. Склад НСП также выделен «физически на складах».

2. Добавился пункт меню «Отказ ОТК».

3. Добавился пункт меню «Очередь ОТК»

4. Появились движения «Контроль ОТК», «Отказ ОТК», «Разрешено ОТК».

На сегодня работа в системе ведется в тестовом режиме, чтобы проанализировать процесс технического контроля в системе, найти ошибки. Для работы с техническим контролем была написана инструкция, в которой дана последовательность действий. Выделены лицензии для работы в системе. Настроены права доступа.

Данное улучшение является необходимым для технического контроля, ведь чем больше процесс автоматизирован, тем он эффективнее. В данном случае процесс будет эффективен, так как он убирает время на принятие решения, нужно отправлять изделие на технический контроль или нет. Система сразу отвечает на этот вопрос, так как изделие не получится сдать на склад готовой продукции, система просто не даст этого сделать. Также данное решение уменьшает количество возможных ошибок, так как человеческий ресурс остается рискованным, сотрудник может не поставить изделие на технический контроль или поставить изделие, которое не требует проверки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Как автоматизировать процессы без отдела разработчиков [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://izolenta.io/blog/automation> (дата обращения: 06.03.2023).

2. ERP-системы. Официальный сайт компании SAP ERP [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.sap.com/cis/insights/what-is-erp.html> (дата обращения: 06.03.2023).

3. Так зачем внедрять ERP-систему [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://habr.com/ru/post/256959/> (дата обращения: 06.03.2023).

4. Как автоматизировать процессы без отдела разработчиков [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://izolenta.io/blog/automation> (дата обращения: 06.03.2023).

5. Официальный сайт AVAERP [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://avaerp.com/> (дата обращения: 06.03.2023).

**СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ S-ПАРАМЕТРОВ
ИМИТАЦИОННЫХ МОДЕЛЕЙ ШИРОКОПОЛОСНЫХ
ПРОБНИКОВ БЛИЖНЕГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ
НА ОСНОВЕ ДВУХСЛОЙНОЙ И ЧЕТЫРЁХСЛОЙНОЙ
ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ**

***М.И. Самолутченко, аспирант ИШНКБ НИ ТПУ;
А.И. Солдатов, проф. ИШНКБ НИ ТПУ, каф. УИ ТУСУРа, д.т.н.
г. Томск, НИ ТПУ, msamolutchenko@gmail.com***

Получен сравнительный анализ S-параметров имитационных моделей пробников ближнего электрического поля, выполненных на основе двухслойной и четырёхслойной печатных плат. Дано описание моделей, приведены результаты имитационного моделирования, отражающие чувствительность, передаточную характеристику и эффективный частотный диапазон для каждого из типов пробников. Отмечено влияние особенностей конструкции пробника на его конечные характеристики.

Ключевые слова: ближнее электромагнитное поле, электрическое поле, имитационное моделирование, пробник ближнего поля, поверхностное сканирование, чувствительность, частотный диапазон, s-параметры.

Современные электронные устройства имеют в своём составе большое количество высокочастотных блоков различного назначения. В силу их взаимного влияния, а также некорректной топологии и трассировки печатного узла возможно появление паразитных сигналов, нарушающих правильную работу как этих блоков в отдельности, так и всего устройства в целом. Следовательно, при его проектировании и отладке возникает необходимость локализации источников таких паразитных сигналов [1, 2].

Одним из наиболее эффективных методов, применяемых для обнаружения источников высокочастотных помех, является поверхностное сканирование печатного узла исследуемого устройства с использованием пробников ближнего поля [3]. Для оценки характеристик пробников, которые могут отличаться в зависимости от их конструктивного исполнения, повсеместно используются получение и анализ их s-параметров при помощи построения и расчёта полноволновой модели методом конечных элементов [4, 5].

Общий вид имитационной модели пробника ближнего электрического поля, выполненной в программном пакете «ANSYS Electronics Desktop», представлен на рис. 1.

Модель представляет собой трёхмерные объекты, отражающие конструкции пробников ближнего электрического поля для исследуе-

мых вариантов исполнения и микрополосковой линии с волновым импедансом 50 Ом, выступающей в качестве источника электромагнитного излучения.

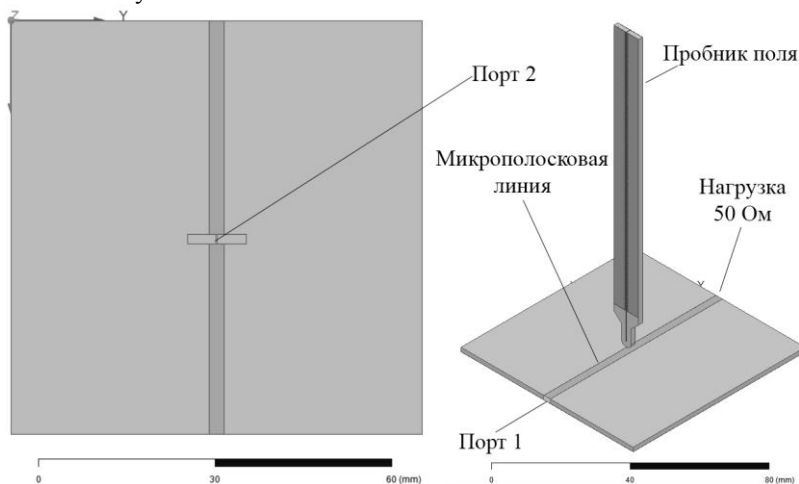


Рис. 1. Имитационная модель для определения S-параметров пробников ближнего электрического поля

В результате моделирования широкополосных пробников ближнего электрического поля в различных исполнениях были определены и сопоставлены их S-параметры. Графики S-параметров представлены на рис. 2.

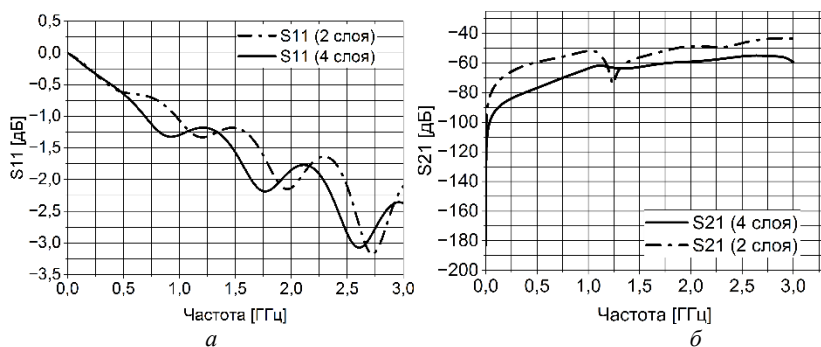


Рис. 2. S-параметры пробников ближнего электрического поля в двухслойном и четырёхслойном исполнениях: *a* – параметр S_{11} , *б* – параметр S_{21}

Согласно полученным результатам, величина возвратных потерь в исследуемом частотном диапазоне находится в пределах $-3,25$ дБ

для обоих типов пробников. Передаточный коэффициент пробника поля в двухслойном исполнении имеет провал на частоте 1,25 ГГц, что свидетельствует о паразитном резонансе, обусловленном несогласованностью импедансов или неидеальностью конструкции пробника. В случае с четырёхслойным пробником данный негативный эффект отсутствует. Значения передаточного коэффициента в диапазоне частот от 0,5 до 3 ГГц варьируются от –80 до –60 дБ для четырёхслойного пробника, и от –60 до –40 дБ для двухслойного пробника, что свидетельствует о лучших значениях чувствительности у пробника поля в двухслойном исполнении. Однако для исследования полей с малыми уровнями напряжённости таких значений чувствительности может оказаться недостаточно. Для повышения значений чувствительности каждый из типов пробников может быть снабжён схемой предварительного широкополосного малощумящего усилителя принимаемого сигнала.

ЛИТЕРАТУРА

1. Соколова М.В. Сверхширокополосная беспроводная связь: история и перспективы развития // Т-Comm-Телекоммуникации и Транспорт. – 2008. – № 2. – С. 50–53.
2. Кузин И.А. Вопросы обеспечения безопасности технологий мобильной связи / И.А. Кузин, Д.М. Михайлов, А.В. Стариковский // Наука и современность. – 2010. – № 5-2. – С. 244.
3. Ромащенко М.А. Измерение эмиссии излучаемых помех РЭС в задачах обеспечения ЭМС // Вестник Воронеж. гос. техн. ун-та. – 2010. – Т. 6, № 7. – С. 20–22.
4. Ren Z.M. Near-field probes for subsurface detection using split-ring resonators / Z.M. Ren, M.S. Boybay, O. Ramahi // IEEE transactions on microwave theory and techniques. – 2010. – Vol. 59, No. 2. – PP. 488–495.
5. Boybay M.S. Experimental and numerical study of sensitivity improvement in near-field probes using single-negative media / M.S. Boybay, O.M. Ramahi // IEEE transactions on microwave theory and techniques. – 2009. – Vol. 57, No. 12. – PP. 3427–3433.

УДК 656.052.2

РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА НАЧАЛЬНОЙ КАЛИБРОВКИ КООРДИНАТ ПРИЁМНИКОВ СИСТЕМЫ АКУСТИЧЕСКОГО ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ

В.С. Дорофеев, А.Н. Шматок, студенты

*Научный руководитель В.В. Егоров, ст. преп. каф. 410
г. Москва, МАИ, dorofeevadimx@yandex.ru*

В закрытых пространствах зачастую возникает проблема точной навигации, частым решением которой является акустическая система позиционирования, работающая на принципах глобальных

навигационных систем. Данная система, состоящая из передатчика и множества приемников звуковых сигналов, позволяет достичь высокой точности измерений, однако проблема заключается в том, что для минимизации погрешности измерений необходимо при первоначальной настройке зафиксировать приемники сигналов с максимальной точностью координат. В качестве решения была предложена модернизация акустической системы позиционирования путем создания калибрующего устройства высокой точности, позволяющего осуществить начальную прецизионную калибровку и повысить точность системы при дальнейшей эксплуатации.

Ключевые слова: локальная система навигации, акустическое позиционирование, псевдодальномерный метод, калибровка системы позиционирования.

В различных задачах, в частности, автоматизации или роботизации того или иного процесса, часто важным становится решение задачи навигации в локальном пространстве. Причем важным критерием при построении систем является точность навигации.

Существуют различные системы локальной навигации, использующие как радиочастотные, так и акустические методы измерения расстояний или иных информативных параметров. Коллективом СКБ-4 МАИ была разработана система акустического позиционирования, структура которой изображена на рис. 1.

Система состоит из пользовательского модуля (снабженного акустическим излучателем и WLAN-модулем для подключения к локальной сети), концентратора (осуществляет управление приёмными датчиками и производит все необходимые вычисления) и приёмных датчиков.

Алгоритм работы системы:

1. Пользовательский модуль отправляет на концентратор запрос на позиционирование.

2. Концентратор ставит запрос в очередь, и когда очередь приходит – отправляет на приёмные датчики команду запуска записи, а на пользовательский модуль – команду разрешения.

3. Пользовательский модуль, получив команду разрешения, излучает звуковой сигнал, структура которого соответствует псевдошумовому сигналу (m-последовательности).

4. Приёмные датчики осуществляют запись звуковых сигналов в течение нескольких секунд, а далее в каждом модуле производится корреляционная обработка с целью определения точного времени прихода акустического сигнала от момента начала записи.

5. По результатам вычисления данные из модулей приёмных датчиков передаются на концентратор, где на их основании проводятся вычисления координат источника сигнала.

формируя в пространстве помещения лучи, вдоль которых необходима установка приёмных датчиков. На приёмных датчиках на торцах корпуса размещены калибровочные мишени, в центре которых располагается фототранзистор. Блоки приёмных датчиков должны быть смонтированы так, чтобы луч указки попадал на фототранзистор.

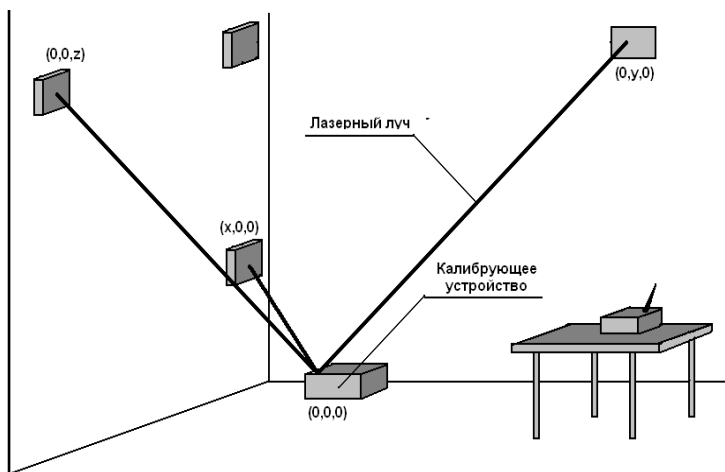


Рис. 2. Начальное определение координат приёмных датчиков

После монтажа блоков приёмных датчиков калибрующее устройство переводится в режим измерения, где использует лазерные указки как систему запуска записи. Приёмные датчики также вводятся в режим калибровки, активируясь по сигналу указки. Таким образом, получается избежать непредсказуемых задержек, и система условно превращается из псевдодальномерной в дальномерную. Калибрующее устройство активирует приёмные датчики включением указок и излучает акустический сигнал. Измеряемые задержки при этом могут быть пересчитаны в точные позиции приёмных датчиков по осям координат, сформированным лазерными лучами.

Важным моментом при таком измерении является необходимость максимально точно знать величину скорости звука. Если при псевдодальномерном методе изменение скорости звука относительно средней величины влияет на линейное изменение оценки расстояния и компенсируется при вычислении координат, то в дальномерном методе это становится важным.

Скорость звука оценивается на борту калибрующего устройства с помощью системы датчиков давления, влажности и температуры.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бесконтактные средства локальной ориентации роботов / С.М. Власов, В.И. Бойков, С.В. Быстров, В.В. Григорьев. – СПб., 2017. – 169 с.
2. Filonenko V. Asynchronous ultrasonic trilateration for indoor positioning of mobile phones / V. Filonenko, C. Cullen, J. D. Carswell // Web and Wireless Geographical Information Systems. – Springer Berlin Heidelberg, 2012. – PP. 101–121.
3. Бурцев А.Г. Сравнение различных численных методов для решения задачи ультразвукового позиционирования подвижного робота в закрытом пространстве / А.Г. Бурцев, Т.А. Жангабулов // Инженерный вестник Дона. – 2016. – № 2. – URL: <http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2016/3595>
4. Конрад Д. Анализ ошибок систем навигационных спутников // Управление в космосе: труды III Междунар. симпозиума ИФАК по автоматическому управлению в мирном использовании космического пространства. – М.: Наука, 1972. – Т. 1.
5. Линник Ю.В. Метод наименьших квадратов и основы математико-статистической теории обработки наблюдений. – М.: Гос. изд-во физ.-мат. лит., 1962. – 2-е изд.

УДК 004.912

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНСТРУМЕНТА SPACY ДЛЯ ИЗВЛЕЧЕНИЯ СОБСТВЕННЫХ ИМЕНОВАННЫХ СУЩНОСТЕЙ ИЗ МЕДИЦИНСКИХ НАБОРОВ ДАННЫХ *Д.Е. Соколовский, аспирант ИШИТР*

*Научный руководитель С.В. Аксенов, доцент ИШИТР, к.т.н.
г. Томск, НИ ТПУ, des16@tpu.ru*

Рассмотрены возможности инструмента для выявления именованных сущностей «Spacy». Для его анализа было проведено обучение своей модели на основе существующей, а также тестирование работы модели на медицинских наборах данных (дневниках пациентов) с COVID-19 для их дальнейшего структурирования. В результате модель на тестовом этапе без доработок оценивалась значением f1-меры 0,80.

Ключевые слова: именованные сущности, машинное обучение, набор данных, структурирование, Spacy.

Именованная сущность при извлечении информации – это объект реального мира, такой как имя человека, локация, названия организаций и т.д., который может быть обозначен собственным именем. Она может быть абстрактной или иметь физическое существование [1].

В настоящее время для извлечения именованных сущностей и обработки естественного языка на языке Python по статистике зачастую используют один из самых популярных инструментов Spacy.

Функционал инструмента позволяет решать очень широкий спектр задач: от определения частей речи и выделения именованных сущностей до создания собственных моделей для анализа, в том числе и медицинских данных, что является очень важным решением для их анализа медицинскими специалистами [2].

Описание и тестирование алгоритма. В работе был рассмотрен процесс обучения модели с помощью инструмента Spacy (версия 3.3), а также процесс тестирования и доработки модели для точного определения частных именованных сущностей [3].

Для начала работы с библиотекой Spacy необходимо выбрать на официальном сайте уже обученную модель языка для работы с текстом, которая будет являться основой, и дополнить ее своими сущностями. В нашем случае выбрана за основу `ru_core_news_lg`, т.к. мы обучаем модель на русскоязычных текстовых данных, и она уже содержит некоторые сущности, которые могут быть использованы при выявлении объектов [4]. Также для перехода к обучению модели был сформирован тренировочный конфиг для выявления NER, необходимый для корректной работы инструмента. Для его создания на официальном сайте инструмента Spacy в разделе Training models Quickstart нужно выбрать русский язык, компонент «NER» и сохранить сгенерированный код [5].

Для обучения модели по выявлению медицинских именованных сущностей были подготовлены и размечены 3 документа в формате pdf (`trainpdf`, `trainpdf2`, `trainpdf3`). Эти файлы представляют собой первичный осмотр врача в приёмном отделении и связаны с Covid-19. В них красным цветом были выделены показатели состояния больного (температура тела, частота дыхательных движений (ЧДД), частота сердечных сокращений (ЧСС), артериальное давление (АД)), а желтым – значения показателей. После подготовки тренировочных файлов и конфига была написана программа для повышения скорости и удобства тренировки модели распознавания медицинских именованных сущностей [6]. Шаблон тренировочных данных “TRAIN_DATA” выглядит следующим образом: «(«Текст», {'entities': [(начальный индекс элемента, конечный индекс элемента, 'Тег')]}))».

Переменные использованные в данном шаблоне:

- текст (любой текст любого размера, который мы используем для обучения);
- начальный индекс элемента (начальный индекс слова, которое мы используем для маркировки);
- конечный индекс элемента (индекс элемента, следующий после последнего индекса слова, которое мы используем для маркировки);
- тег (название найденной именованной сущности).

Процесс обучения также можно контролировать в терминале, и при успешном обучении появится оповещение о пути сохранения модели.

После обучения модель была протестирована на новых и неразмеченных дневниках пациентов в количестве 14 штук. На рис. 1 представлена часть файла, где модель произвела разметку и указала название показателя и название значения показателя, файл «115-pages» распознал моделью полностью успешно, но в некоторых файлах не определялось значение температуры. Проанализировав исходный текст, было выявлено то, что в таких файлах значение температуры указано слитно с единицей измерения, например «36.6С». Доработав программный код, который отделяет значение от единицы измерения, модель стала точно определять все сущности, указанные при тренировке, во всех тестовых файлах.

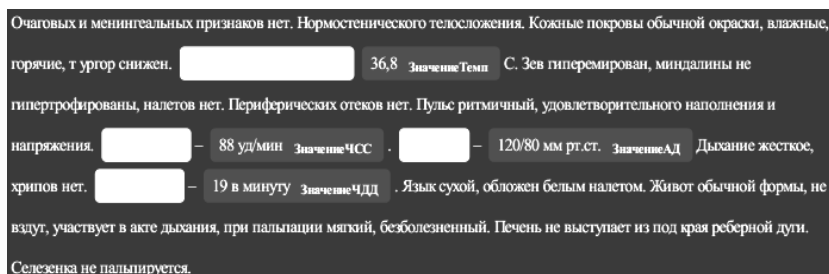


Рис. 1. Распознавание именованных сущностей

Закключение. По результатам экспериментов исследования и тестирования работы Spacy (версия 3.3), который имеет в своем функционале возможность обучения собственных моделей на своем наборе данных, обучена собственная модель и протестирована на медицинских данных. Модель на тестовом этапе без доработок имеет показатель f1-меры 0,80. Протестирован подход по доработке исходных данных с помощью библиотек обработки естественного языка, который увеличил точность модели.

ЛИТЕРАТУРА

1. Taufiq U. Named entity recognition and dependency parsing for better concept extraction in summary obfuscation detection / U. Taufiq, R. Pulungan, Y. Suyanto // Expert Systems with Applications. – 2017.
2. Krauer F. Mapping the plague through natural language processing / F. Krauer, U. Taufiq, R. Pulungan, Y. Suyanto // Epidemics. – 2022. – Vol. 41.
3. Spacy [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://spacy.io>, свободный (дата обращения: 01.02.2023).

4. Spacy Models [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://spacy.io/models/ru>, свободный (дата обращения: 01.02.2023).

5. Training Pipelines & Models [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://spacy.io/usage/training#quickstart>, свободный (дата обращения: 01.02.2023).

6. Evaluating the characteristics of patients with SARS-CoV-2 infection admitted during COVID-19 peaks: A single-center study / Seyede Faezeh Mousavi, Mohammadamin Ebrahimi, Seyed Amirhosein Ahmadpour Moghaddam, Narges Moafi, Mahboobe Jafari, Ayoub Tavakolian, Mohsen Heidary // Vacunas. – 2023. – Vol. 24. – PP. 27–36.

УДК 681.586.783

ПРИМЕНЕНИЕ МАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ В НЕРАЗРУШАЮЩЕМ КОНТРОЛЕ

*Чан Цзянлэй, к.т.н., Институт перспективных исследований
Шэньчжэньского университета, Шэньчжэнь, Китай;*

А.И. Солдатов, проф. каф. УИ, д.т.н.;

А.А. Солдатов, доцент каф. УИ, к.т.н.

г. Томск, ТУСУР, asoldatof@mail.ru

Металлы широко используются в промышленности. В этой статье представлено неразрушающее обнаружение АСФМ с использованием магнитоэлектрического датчика и амплитуды сигнала для характеристики глубины трещины. Он может обнаруживать и количественно анализировать стандартные образцы, а чувствительность обнаружения может достигать 0,1 мм.

Ключевые слова: магнитоэлектрический датчик, АСФМ.

Металлические материалы наиболее широко используются в трубопроводах, транспортных рельсах, сосудах под давлением, резервуарах для хранения, в военных целях, для хранения водорода, в машиностроении, авиационной и атомной промышленности и т.д. Поэтому неразрушающий контроль и мониторинг металлических конструкций и строительной техники является очень важной областью исследования [1, 2].

Вихретоковый метод является одним из перспективных методов для определения размеров поверхностных разрушений и трещин на проводящих поверхностях [3, 4]. Фактически предлагаемый магнитоэлектрический (МЭ) преобразователь работает одновременно на магнитоэлектрическом и гальваноманитном эффекте. Во время измерения в индукционной катушке, осевое направление которой параллельно поверхности испытуемого образца, возбуждается переменное магнитное поле, которое, в свою очередь, индуцирует вихревой ток на поверхности испытуемого проводящего материала, а композит внутри

катушки увеличивает чувствительность и направленность датчика. Такая конструкция упрощает структуру преобразователя, а создаваемое магнитное поле концентрируется вокруг преобразователя. В данной работе использовалась катушка с проволочной обмоткой, а сердечник был изготовлен из ферромагнитного сплава Metglas (FeBSiC) и пьезоэлектрического монокристалла PMN-PZT. Конструкция датчика показана на рис. 1.

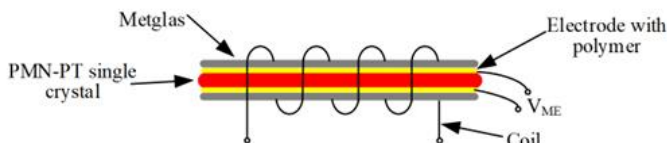


Рис. 1. МЭ-датчик с катушкой

Для того чтобы оценить способность такого датчика обнаруживать дефекты, сначала были протестированы два стандартных образца, изготовленных из стали СТ45, с трещинами шириной 0,1 мм, но разной глубины (0,1; 0,3; 0,5; 0,7; 2,8; 3; 3,2 мм соответственно). В экспериментах скорость сканирования составила 0,3 мм за шаг, а диапазон сканирования охватывал весь исследуемый образец. На рис. 2, *а* и *б* показаны фотографии этих образцов, а на рис. 3 – результаты контроля трещин на этих образцах.

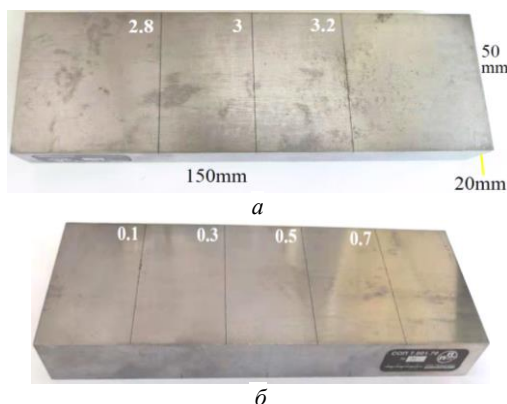


Рис. 2. Фотографии тестируемых образцов

Как видно из рис. 3, предложенная конструкция датчика с сердечником из композита позволяет получить высокую чувствительность, направленность и низкий уровень шума. Такой датчик может быть использован в новейших системах контроля для обнаружения и определения характеристик трещин в металлах.

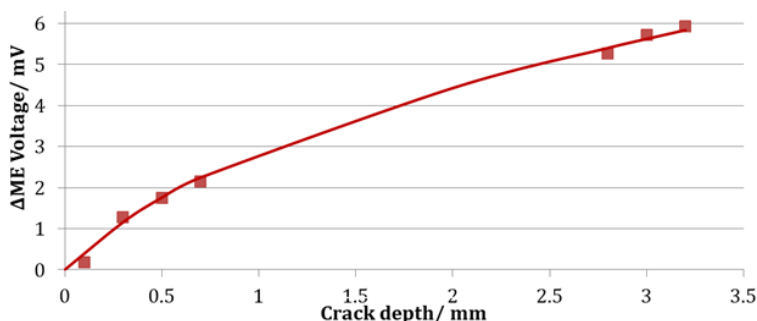


Рис. 3. Зависимость напряжения датчика от глубины трещины

ЛИТЕРАТУРА

1. Nishimura N. Ultrasonic evaluation of spall damage accumulation in aluminum and steel subjected to repeated impact / N. Nishimura, K. Murase, T. Ito, R. Nowak // International Journal of Impact Engineering. – 2011. – Vol. 38 (4). – PP. 152–161.
2. Marcantonio V. Ultrasonic waves for materials evaluation in fatigue, thermal and corrosion damage: A review / V. Marcantonio, D. Monarca, A. Colantoni, M. Cecchini // Mechanical Systems and Signal Processing. – 2019. – Vol. 120. – PP. 32–42.
3. Chu Z. Low-power eddy current detection with 1-1 type magnetoelectric sensor for pipeline cracks monitoring / Z. Chu, Z. Jiang, Z. Mao, Y. Shen, J. Gao, S. Dong // Sensors and Actuators A: Physical. – 2021. – Vol. 318. – P. 112496. <https://doi.org/10.1016/j.sna.2020.112496>.
4. Chacón Muñoz J.M. Railroad inspection based on ACFM employing a non-uniform B-spline approach / J.M. Chacón Muñoz, F.P. García Márquez, M. Papaelias // Mechanical Systems and Signal Processing. – 2013. – Vol. 40(2). – PP. 605–617.

УДК 004.62

МИНИМИЗАЦИЯ СОХРАНЯЕМЫХ ДАННЫХ С ПОМОЩЬЮ COMPRESSIVE SAMPLING

Н.Н. Бобрус, аспирант ОЭИ, НИ ТПУ;

*А.И. Солдатов, д.т.н., проф. ОЭИ НИ ТПУ, проф. каф. УИ ТУСУР
г. Томск, ТУСУР, nikita.bobrus@gmail.com*

Рассмотрены особенности работы и реализации, возможности алгоритма Compressive Sampling, а также представлен пример сжатия данных с помощью данного метода.

Ключевые слова: сжатие данных, кодирование, случайная матрица, Compressive Sampling.

Во многих прикладных задачах важны оперативная регистрация измеряемых параметров, их обработка, хранение и передача. Обычные способы дискретизации сигналов, изображений, видео или других данных подчиняются теореме Котельникова [1, 2]. Во многих приложениях, таких как дистанционное наблюдение или спектроскопия, выборка результатов с частотой, удовлетворяющей теореме Котельникова, является дорогостоящей или физически невозможной. Начиная с 2006 г. алгоритм Compressive Sampling (CS) активно развивается и направлен на решение вышеперечисленных проблем.

В настоящее время данный алгоритм нашёл широкое применение в обработке сигналов, изображений, в биомедицинской инженерии, электронной инженерии, в обработке изображений магнитно-резонансной томографии (МРТ) [3].

Принцип работы алгоритма Compressive Sampling. Предположим, что сигнал f является s -разреженным в некоторой области ψ . Это означает, что $f = \psi x$, и x имеет не более s ($s \ll N$) ненулевых компонентов. Эта система может быть измерена матрицей отсчётов Φ размером $M \times N$ ($M < N$):

$$y = \Phi f = \Phi \psi x = Ax, \quad (1)$$

где y – вектор измерения; A – матрица измерений.

Модель Compressive Sampling показана на рис. 1.

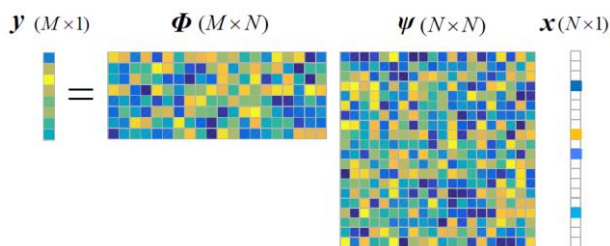


Рис. 1. Модель Compressive Sampling с $s = 4$

Если Φ некогерентна с ψ , вектор коэффициентов x может быть восстановлен точно по нескольким измерениям путём решения неопределённой линейной системы $y = Ax$ с ограничением $\|x\|_0 < s$, т.е. путём решения l_0 -минимизации. В качестве задачи комбинаторной оптимизации описанная выше задача l_0 -минимизации является ресурсозатратной. Один из способов решения такой задачи – преобразовать её в l_1 -минимизацию [4].

Реализация алгоритма Compressive Sampling. Релизуем алгоритм CS с помощью программного обеспечения Matlab. Зададим сумму синусоидальных сигналов $x(t)$ (рис. 2) амплитудой 1 В частотой 50 Гц и апдлитудой 0,25 В частотой 300 Гц длительностью 0,25 с. Опытным путём было установлено, что дискретизированный сигнал $xd(t)$ представляет сигнал с незаметными глазу искажениями при частоте дискретизации 2500 Гц.

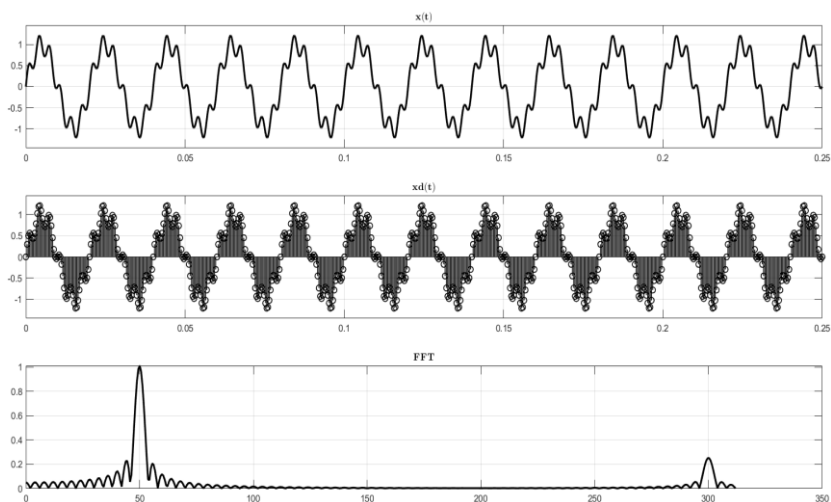


Рис. 2. Сигнал $x(t)$, дискретизированный сигнал $xd(t)$, анализ Фурье FFT

Следующим этапом стала реализация алгоритма CS. Для начала проведём рандомизированную выборку данных из заданного сигнала (Sample from $x(t)$), затем восстановим сигнал с помощью l_1 -минимизации l_1 -magic toolbox ($x(t)$ (CS)) и для дополнительной проверки правильности решения проведём анализ Фурье (FFT(CS)), результаты представлены на рис. 3.

Как видно из представленного выше рисунка, сигнал был восстановлен и повторяет форму исходного сигнала, удалось добиться сжатия сигнала в 5,5 раза, поэтому можно судить, что использование алгоритма CS помогает организовать сжатие информации эффективнее, чем традиционные методы, но в то же время требуется соблюсти ряд условий, необходимых для его реализации под конкретные задачи.

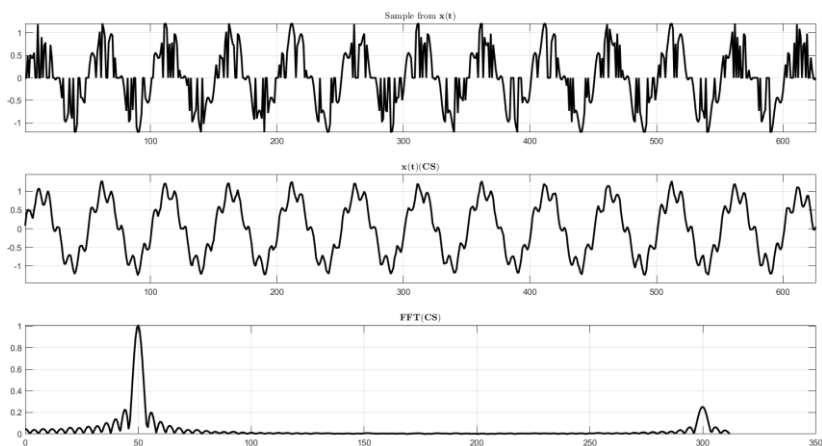


Рис. 3. Результаты работы алгоритма CS при выборке $K = 450$

ЛИТЕРАТУРА

1. Eldar Y. Compressed Sensing: Theory and Application / Y. Eldar, G. Kutinyok // Cambridge University Press. – 2012. – Vol. 4. – PP. 1289–1306.
2. Donoho D.L. Compressed sensing // IEEE Transactions on Information Theory. – 2006. – Vol. 52, No. 4. – PP. 1289–1306.
3. Chen Z. A novel iterative shrinkage algorithm for CS-MRI via adaptive regularization / Z. Chen, Y. Fu, Y. Xiang, R. Rong // IEEE Signal Processing Letters. – 2017. – Vol. 24, No. 10. – PP. 1443–1447.
4. Zhang Y. Conjugate Gradient Hard Thresholding Pursuit Algorithm for Sparse Signal Recovery / Y. Zhang, Y. Huang, H. Li, P. Li // Algorithms. – 2019. – Vol. 12, No. 36. – 15 p.

УДК 005:001.89

КООПЕРАЦИЯ УНИВЕРСИТЕТА И БИЗНЕСА КАК ФАКТОР УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ РЕГИОНА

*Н.Н. Арцемович, Н.В. Козлова, А.Р. Стамкулова, студентки
Научный руководитель Г.Н. Нариманова, зав. каф. управления
инновациями, к.ф.-м.н.
г. Томск, ТУСУР*

В современных условиях для устойчивого развития экономики страны необходима тесная кооперация высшей школы и бизнеса. Показано, что интеграция академической среды и высокотехнологичного производства становится необходимым условием для успешной подготовки конкурентоспособных кадров. В статье при-

ведены примеры эффективного взаимодействия химического факультета ТГУ и промышленных партнеров.

Ключевые слова: кооперация, импортозамещение, промышленный партнер, химический факультет НИ ТГУ, конкурентоспособные кадры, устойчивое развитие, технологическое предпринимательство.

Нестабильность в политике и экономике отражается и на сфере высшего образования и науки. Перед вузами стоят две тесно связанные задачи: технологическое импортозамещение и подготовка кадров для областей, повышающих конкурентные позиции страны. Через государственные программы активно поддерживается сектор науки и высшего образования. Принимая во внимание, что сегодня импортозамещение в России находится в пределах 30%, поставлена задача сделать импортозамещение основой российской экономики. Необходимо отметить, что наибольший ущерб нанесен фармацевтической отрасли и области химических веществ и продуктов. Для преодоления текущего положения важным является использование научно-технологического потенциала вузов.

Национальный исследовательский Томский государственный университет (ТГУ) – один из ключевых участников научно-образовательного центра Томской области [1]. Химический факультет ТГУ – один из старейших факультетов университета, который активизирует процессы кооперации с организациями индустрии. На факультете действует 15 научно-исследовательских лабораторий, более 200 из 255 сотрудников факультета вовлечены в его научную деятельность. Молодые ученые составляют почти 60% от общего числа научно-педагогических кадров. По итогам 2022 г. финансирование научно-исследовательских работ составило 231,2 млн рублей. Отмечается заметный рост публикационной активности научных сотрудников: в 2022 г. количество статей составило 132, из них 78 – Q1/Q2. 42 сотрудника имеют средний индекс Хирша 18, среди всех сотрудников средний индекс Хирша составил 6. За 2022 г. получено 5 патентов, в том числе один международный.

Успешные научные результаты факультета обеспечиваются в том числе за счет тесного взаимодействия с промпартнерами и решения практических задач, стоящих перед химической отраслью. Примером может служить взаимодействие химического факультета с Инжиниринговым химико-технологическим центром (далее – ИХТЦ). Выполнение научных исследований ведется на базе научных лабораторий химического факультета. Следует отметить следующие совместные результаты: создание опытно-промышленных установок по производству гуминовых удобрений, каталитической гидропереработке тяже-

лого сырья (гудрон, мазут) для Газпромнефти. Разработанная технология получения метилэтилкетона, используемого в качестве растворителя в нефтеперерабатывающей промышленности, стала примером реального импортозамещения.

Томский государственный университет – победитель федерального проекта Минобрнауки России «Передовые инженерные школы» (далее – ПИШ), направленного на подготовку современных кадров для экспортно-ориентированных секторов экономики страны [2]. Направления передовой инженерной школы ТГУ «Агробiotек» – искусственный интеллект, цифровые технологии, пищевая промышленность. Программа реализуется при поддержке стратегического партнера – АО «СибАГРО» при партнерстве с ООО «ИХТЦ», ООО «Солагифт». Основная задача партнерства – объединение ресурсов для достижения прорывных результатов в исследованиях, создание системы подготовки инженерных кадров для рынка агробiotехнологий. К этой работе привлечены ведущие менеджеры – представители промпартнеров, более 90 ученых вуза и более 20 студентов-магистров. Подобная кооперация эффективна для промышленного партнера, поскольку решаются его прикладные задачи, а для студентов – это погружение в реальные проекты через формирование гибких навыков, в том числе и в проектной деятельности. Одним из примеров плодотворного взаимодействия является создание Центра исследования компаундов (далее – ЦИК), в котором формируются условия для закрепления талантливой молодежи и привлечения их к научно-исследовательской, опытно-конструкторской и инжиниринговой деятельности.

Химический факультет (ХФ) ведет работу по реализации плана в области подготовки и переподготовки кадров с АО «Фарус» – одним из крупнейших и динамично развивающихся предприятий по производству спиртов и фенолов. ООО «Фарус-синтез» осуществляет строительство первого в России завода по производству синтетических жирных спиртов. В интересах компании ведется разработка вариативной части магистерской программы «Цифровая химия», сетевой программы профессиональной переподготовки преподавателей вузов «Технология производства жирных спиртов», программы повышения квалификации ведущих специалистов лаборатории по индивидуальному плану, программ профессиональной переподготовки технологического персонала на установках высших жирных спиртов.

Также студенты химического факультета вовлечены в поиск идей по решению производственных задач от промышленных партнеров. Это явилось основой для коммерциализации этих идей, которые были поддержаны в рамках конкурса ФСИ «Студенческий стартап».

В 2022 г. 5 студентов ХФ одержали победу, каждый из которых получил 1 млн рублей на реализацию своей идеи. Необходимо отметить, что студентам факультета требуется развитие компетенций в области управления проектами. В целях формирования предпринимательского мышления студентов, изучения инструментов для реализации стартап проектов-студенты ХФ приняли участие в предпринимательском интенсиве.

Приведенные примеры тесного и взаимовыгодного сотрудничества химического факультета с организациями реального производства демонстрируют практический опыт применения научных достижений, направленных на решение реальных промышленных задач, в том числе нацеленных на импортозамещение. Именно подобная кооперация способна обеспечить экономику региона и страны квалифицированными кадрами, конкурентоспособными на современном рынке труда.

ЛИТЕРАТУРА

1. Арцемович Н.Н. Современное состояние и перспективы инновационного развития Томской области / Н.Н. Арцемович, Г.Н. Нариманова // Инновации. – 2019. – № 12 (254). – С. 2–6.
2. Нариманова Г.Н. Подготовка инженерных кадров в рамках передовых школ. Опыт томских вузов / Г.Н. Нариманова, Н.Н. Арцемович, Р.К. Нариманов // Сб. матер. VIII Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием «Инженерные технологии: традиции, инновации, векторы развития. – Абакан, 14–16 ноября 2022 г. – С. 135–138.

УДК 004.588:371.693.4

АНАЛИЗ ПЕРСПЕКТИВ КОМПЬЮТЕРНОЙ ГЕЙМИФИКАЦИИ ВУЗОВСКИХ ДИСЦИПЛИН

Н.И. Тарасов, студент каф. КИПР;

А.Р. Лазарев, студент каф. АСУ

Научный руководитель Н.Н. Кривин, зав. каф. КИПР

Проект ГПО КИПР-2301. Промышленный дизайн радиоэлектронной аппаратуры на игровом движке Unreal Engine 5

г. Томск, ТУСУР, n.i.tarasov@inbox.ru

Исследованы потенциал геймификации вузовских дисциплин и использование компьютерных игр в качестве инструмента обучения. Рассмотрены различные аспекты геймификации, включая мотивацию студентов, повышение вовлеченности и улучшение результатов обучения. Обсуждается реализация геймификации в практике и

предлагаются некоторые рекомендации по выбору и использованию средств разработки компьютерных игр. Подчеркнут потенциал компьютерной геймификации для повышения интереса студентов и эффективности учебного процесса в вузах в согласии с современными трендами и тенденциями цифровизации жизни на всех уровнях социума.

Ключевые слова: геймдизайн, геймификация, образование, профессия, игровой движок, обучение, VR, Unreal Engine.

Бурная цифровизация всех областей жизнедеятельности человека затронула и сферу образования. Активное использование за последние три года электронных информационно-образовательных сред преподавателями и студентами стало неотъемлемой частью процессов обучения в вузах. Существует и другая не менее важная тенденция, развивающаяся в сфере высшего образования параллельно и столь же стремительно, – геймификация процессов обучения [1].

Геймификация (игрофикация) – это подход, который заключается в применении игровых механик и элементов игрового процесса в учебной деятельности с целью повышения мотивации студентов, улучшения их вовлеченности в образовательный процесс и результатов обучения.

Представляется перспективным анализ возможности выработки интегрального метода обучения, вбирающего в себя сильные стороны игры как вида непродуктивной деятельности, мотив которой заключается не в ее результатах, а в самом процессе, и самого обучения как вида продуктивной деятельности, направленной на овладение основами человеческой культуры и широким спектром разных компетенций (учебных, социальных, гражданских, профессиональных и т.д.) [2].

С этой точки зрения геймификация процессов обучения может быть применена в различных областях, включая довузовское, высшее и дополнительное образование, и имеет большой потенциал для создания интересных, вовлекающих и эффективных методов обучения. Игра позволяет студентам лучше понимать и запоминать учебный материал, так как её элементы мотивируют их продолжать работу над задачами.

Анализ проблемной ситуации показывает, что для условий технического вуза реализацию игрового подхода применительно к организации обучения целесообразно осуществлять с помощью специально разработанных компьютерных игр. Последние могут создаваться для отдельных дисциплин (общепрофессиональные) или для групп дисциплин (специальные, профильные).

Прогресс не стоит на месте, и в наших реалиях вполне разумно и адекватно использовать игры не только в развлекательных, но и в образовательных целях.

К примеру, первокурсники конструкторско-технологического направления подготовки (КТЭС) не могут поработать на настоящем заводе, выпускающем спутники, из-за режимности такого рода предприятий и ограниченного допуска, однако побывать в VR-симуляции и побыть непосредственным участником сборки объектов профессиональной деятельности не является проблемой.

Другой пример касается специальности «техническая эксплуатация транспортного радиооборудования» (ТЭТРО). Она предполагает изучение структуры центра организации воздушного движения, сложных и многочисленных технических объектов системы посадки, сосредоточенных по огромной территории. Такой центр по определению является режимным, и неквалифицированному персоналу, в частности, студентам, в большинство технических зон аэродрома доступ строго воспрещен. Однако разобраться в специфике объектов и процессов профессиональной деятельности: эксплуатации, обслуживания, контроля и диагностики, восстановления и ремонта радиооборудования и средств связи поможет компьютерная игра жанра «симулятор».

Рассмотрим другую специальность – квантовая электроника. Студенты данной специальности занимаются изучением атомных и молекулярных систем. Для их изучения мало обыденной теории и книжек. Им необходимо либо хорошее дорогостоящее оборудование, либо качественные симуляции их процессов непосредственно на компьютере. Второй вариант кажется более привлекательным, так как требует меньше финансовых затрат, доступен почти для каждого, наиболее прост в использовании и предполагает отработку навыков без какого-либо риска. Для этого тоже может быть разработана игра в жанре симулятор, но уже со своими особенностями.

Стоит отметить, что проекты по разработке игр, симулирующих профессиональную деятельность или ее элементы, имеют весьма неплохой коммерческий потенциал. Многие игры в жанре «симулятор профессии» очень популярны и продаются в интернет-магазине компьютерных игр Steam.

Наш проект ГПО идет в ногу с развивающимся трендом геймификации высшего образования и нацелен на разработку концепций игр для нескольких самых востребованных специальностей и направлений подготовки, включая КТЭС и ТЭТРО. Результаты нашего проекта также позволят решить другие существенные для вуза проблемы: проблему профориентации и привлечения талантливых абитуриентов.

Основным средством для разработки игр в нашем проекте является современный мощный игровой движок Unreal Engine 5 [3]. Несмотря на свою бесплатность и доступность, он обладает функционалом профессионального уровня и позволяет получить сверхкачественные игры класса AAA+ на сравнительно бюджетном компьютерном оборудовании. А наличие на YouTube множества качественных и бесплатных обучающих видеоматериалов позволит сократить до минимума время обучения команды разработчиков.

Первостепенными задачами являются: анализ отношения специфики моделируемой дисциплины и жанра компьютерной игры; выбор дисциплины и оптимальным образом соответствующего ей жанра игры; разработка принципов переноса и адаптации дескриптивных и процедурных знаний предметной области дисциплины на игровую платформу; разработка сюжета, сеттинга, персонажей, правил, механики и дизайна игры.

Из всего вышесказанного несложно сделать вывод – с помощью игр в наше время можно делать удивительные вещи. Не стоит забывать, что в процессе игры есть возможность не только приятно провести время, но и одновременно с этим освоить необходимые навыки в той или иной профессии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Геймификация: как игровой подход помогает в обучении и на работе [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://trends.rbc.ru/trends/education/605c6f2f9a79473a61646994>, свободный (дата обращения: 06.03.2023).
2. Новиков А.М. Методология [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.anovikov.ru/books/methodology_full.pdf, свободный (дата обращения: 06.03.2023).
3. Unreal Engine 5 и его возможности [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://render.ru/ru/XYZ/post/17759>, свободный (дата обращения: 06.03.2023).

УДК 621.371

РАЗРАБОТКА И ПРОТОТИПИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ОРИЕНТАЦИИ АНТЕННЫ СПУТНИКОВОГО ТЕЛЕВИДЕНИЯ

А.О. Вагин, студент

Научный руководитель В.В. Егоров, ст. преп. каф. 410

г. Москва, МАИ, xx_devergent_xx@mail.ru

Автоматическое наведение телевизионной спутниковой антенны упростит процесс подключения населения к телевидению такого

типа, что соответствует тенденции активной автоматизации человеческой деятельности по всему миру. Для решения данной проблемы было разработано устройство, назначение которого заключается в автоматическом регулировании спутниковой тарелки при помощи червячных передач.

Ключевые слова: спутниковое телевидение, угол места, азимут, промежуточная частота, ориентация антенны, антенна, спутник.

В настоящее время большой популярностью пользуются системы спутникового телевидения, так как они позволяют просматривать телепередачи в хорошем качестве изображения и звука практически в любой местности, в том числе удалённой от телевизионных ретрансляторов. При всех преимуществах спутникового телевидения (большое количество каналов, высокое качество изображения и т.п.) существует ряд недостатков, одним из которых является сложность первоначальной установки и ориентации антенны на спутник.

Базовый комплект спутникового оборудования включает в себя непосредственно антенну («тарелку») с кронштейном крепления, позволяющим ориентировать антенну по двум степеням свободы (углу места и азимуту), конвертер (устройство, размещающееся в точке фокуса антенны) и ресивер, который устанавливается непосредственно рядом с телевизионным приёмником. Ресивер и конвертер соединяются между собой коаксиальным кабелем, по которому помимо радиосигналов поступает также постоянное напряжение питания на конвертер.

Установка антенны в классическом варианте предполагает ориентацию антенны по углу места на необходимый градус относительно земли, характерный для географической широты места установки, и дальнейшее плавное вращение антенны по азимуту до момента получения сигнала необходимого спутника. Без специального оборудования выполнить эти операции достаточно сложно, так как луч диаграммы направленности спутниковой антенны достаточно узкий.

Было предложено решение, при котором стандартная антенна снабжается устройством, позволяющим осуществлять как поиск сигнала необходимого спутника, так и механический поворот антенны на нужный угол места и азимута. Структура такой системы приведена на рис. 1.

В данном решении с целью универсализации предполагается возможность выбора необходимого спутника для поиска, так как различные операторы используют различные спутники. Например, несущая частота для базового мультиплекса фирмы «Триколор ТВ» (на европейской части России) соответствует 12456 МГц (спутник «Экс-

пресс-АМУ1»), частота гетеродина в типовом универсальном конвертере составляет 10750 МГц, таким образом, сигнал спутника «Триколор ТВ» на входе предлагаемого устройства будет наблюдаться на частоте 1706 МГц. На корпусе устройства предполагается многопозиционный переключатель, с помощью которого можно выбрать один из пяти искомых спутников. При этом на генераторе будет устанавливаться соответствующая необходимому спутнику частота таким образом, чтобы после гетеродинирования в случае приема сигнала искомого спутника сигнал появлялся на промежуточной частоте 480 МГц (стандартная ПЧ для спутниковых ресиверов).

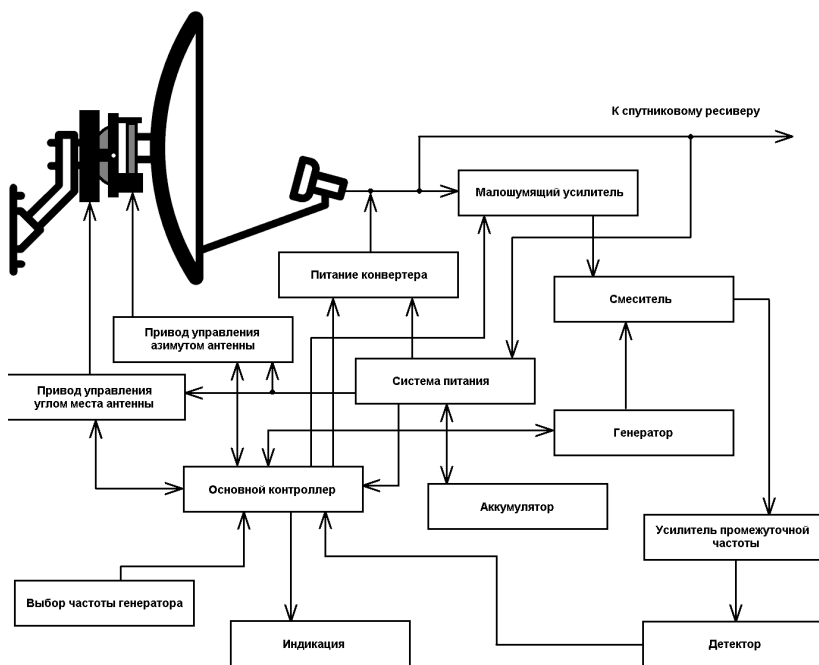


Рис. 1. Структурная схема устройства

Для проведения данной операции удобнее всего использовать существующие модули приёмников из спутниковых ресиверов с некоторыми доработками, в частности с возможностью управления усилением на каскадах (отключение АРУ и прямая регулировка) и доступом к сигналу на промежуточной частоте. Мощность сигнала на данной частоте будет характеризовать точность ориентации антенны на искомый спутник. Данная мощность измеряется с помощью оценки напряжения (выпрямленного) на нагрузке в линии ПЧ и оцифровыва-

ется АЦП микроконтроллера, который управляет двигателями сканирования.

Сканирование производится в два этапа. На первом этапе антенна перемещается по азимуту и углу места «змейкой» (проходя все возможные положения азимута и далее меняя на один шаг значение угла места). Данный этап продолжается до тех пор, пока мощность в канале ПЧ (на максимальном усилении) не достигнет пороговой величины, означающей, что сигнал обнаружен. Далее система переходит на второй этап сканирования, при котором антенна сдвигается на шаги во все стороны от найденного положения. На данном этапе определяется вектор градиента изменения мощности сигнала и движение антенны осуществляется в направлении повышения мощности. По мере достижения предела контроллер снижает коэффициент усиления тракта приёмника, и процесс повторяется до тех пор, пока не будет достигнут максимум возможной мощности.

На основании вышеописанного на базе СКБ-4 МАИ был сконструирован прототип устройства, позволяющий производить отладку электронной и механической составляющей проекта. Используя данный прототип, предполагается изготовление опытного образца, схематическое изображение которого приведено на рис. 2.

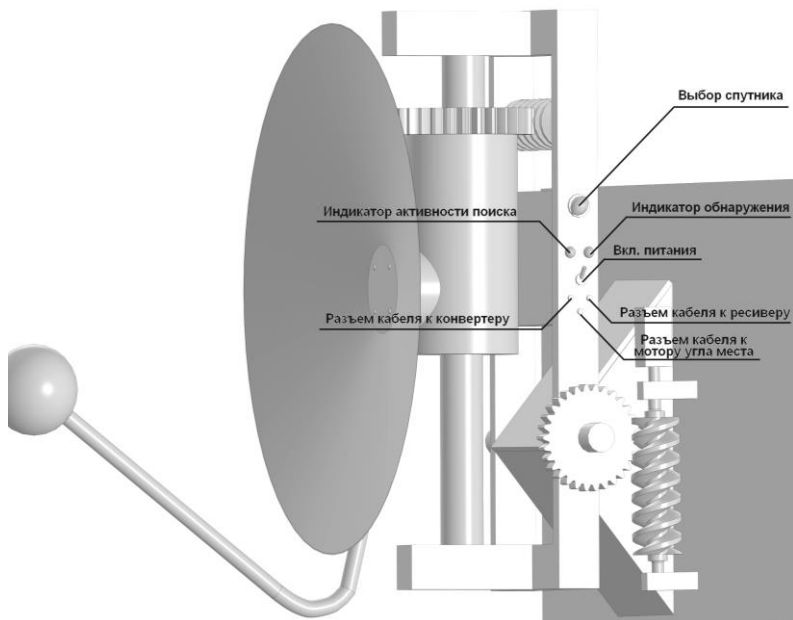


Рис. 2. Предполагаемый вид конечного опытного образца

На рисунке видны основные местоположения разъемов и органов управления прибора, а также его примерные габариты в масштабе конструкции антенны спутникового телевидения. Опытный образец предполагается изготавливать в пыле- и влагозащищенном исполнении, так как его применение актуально как при первичной настройке на спутник, так и при периодических корректировках, вызванных ветровыми, снеговыми или иными деформациями и сдвигами конструкции антенны.

ЛИТЕРАТУРА

1. Макаренко А.А. Устройства приема и преобразования сигналов: учеб. пособие / А.А. Макаренко, М.Ю. Плотников. – СПб.: Университет ИТМО, 2019. – 112 с.
2. Ротхаммель К. Антенны. – Т. 1 / К. Ротхаммель, А. Кришке.; пер. с нем. – М.: ДМК-Пресс. – 416 с.
3. Никитин В.А. Антенны спутниковые, КВ, УКВ, Си-Би, ТВ, РВ. – М.: ДМК-Пресс. – 319 с.
4. Корякин-Черняк С.Л. Энциклопедия спутникового телевидения. Книга + CD. – СПб.: Наука и техника, 2010. – 416 с.
5. Кротова Е.И. Основы конструирования и технологии производства РЭС : учеб. пособие. – М.: Ярославль, 2013. – 192 с.

УДК 654.928

РАЗРАБОТКА И ПРОТОТИПИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ГОРОДСКОГО ИНФОРМИРОВАНИЯ ДЛЯ СЛАБОВИДЯЩИХ ЛЮДЕЙ

А.О. Косолапова, М.К. Золотенкова, студентки

*Научный руководитель В.В. Егоров, ст. преп. каф. 410
г. Москва, МАИ, avelene77@mail.ru*

В рамках создания доступной среды для слабовидящих людей возможно внедрение системы оповещения, использующей ультразвуковой диапазон. В работе приведены варианты установки излучателей на элементах городской инфраструктуры, результаты прототипирования и экспериментов по использованию.

Ключевые слова: инфраструктура, система оповещения, ультразвуковой диапазон, передатчик, приемник, сигнал.

Современные тенденции развития городской инфраструктуры предполагают создание доступной среды для людей с ограниченными возможностями, в частности, для слабовидящих людей. Для этого в инфраструктуру внедряются различные технические и конструктив-

ные элементы. К техническим элементам, в частности, можно отнести системы звукового оповещения.

Необходимо отметить, что звуковые оповещения слышат также и те, для кого эта информация является дополнительной и, возможно, избыточной. К примеру, светофоры у пешеходных переходов снабжены дополнительно звуковыми излучателями, издающими характерные звуковые импульсы, когда переход разрешен. Для слабовидящих людей это решение повышает безопасность перехода, но для простых горожан является избыточным, часто оказывая негативный и раздражающий эффект на людей, живущих в домах недалеко от данного светофора. Встаёт вопрос о необходимости создания системы оповещения, с одной стороны, способной выполнять те же функции, что были описаны выше, а с другой стороны, не снижающей комфорт для горожан.

Одним из возможных решений является установка радиопередатчиков малой мощности и радиуса действия, передающих необходимые сообщения в радиоэфире, и снабжение слабовидящих людей малогабаритными радиоприёмниками для прослушивания сообщения. При этом для остальных людей трансляция была бы не слышна. У такого решения существует ряд недостатков, одним из которых является то, что установка радиопередающей аппаратуры требует достаточно строгих согласований. Ещё одним недостатком является то, что система становится уязвима для радиохулиганов.

Другим решением является применение ультразвукового диапазона. В этом случае для подмены сигнала в хулиганских целях требуется непосредственное присутствие нарушителя недалеко от источника сигнала. Ультразвук неслышим для людей и поэтому не вызовет дискомфорта. Некоторые домашние животные способны слышать ультразвук, но при отсутствии в сообщении резких громких сигналов, как правило, проигнорируют его. На установку ультразвуковых источников малой мощности требуется гораздо меньше согласования, чем в случае с радиопередатчиками, что делает такое решение более удобным и практичным.

Предлагаемая структура системы оповещения приведена на рис. 1.



Рис. 1. Структура системы городского информирования

На рисунке приведены возможные варианты установки излучателей и решаемые задачи. Установка системы над пешеходным переходом (с двух сторон дороги) предполагает замену импульсного звукового оповещения на ультразвуковое, к которому может быть добавлена информация о названии улицы, которую пересекает переход. Установка излучателей на козырьках подъездов домов позволяет узнать о своем местонахождении с указанием адреса, номера подъезда и диапазона номеров квартир. Установка излучателей на остановках общественного транспорта позволяет сообщать, какие номера маршрутов и с какими конечными станциями останавливаются на данной остановке, а также, при наличии технической возможности, сколько минут предполагается ожидать транспорт.

При этом приёмник ультразвуковых сигналов предполагается вмонтировать в рукоятку трости, которую, как правило, имеет при себе слабовидящий человек. Возможны также варианты крепления приёмников на одежде.

Техническое устройство приёмников и передатчиков приведено в виде структурной схемы на рис. 2.

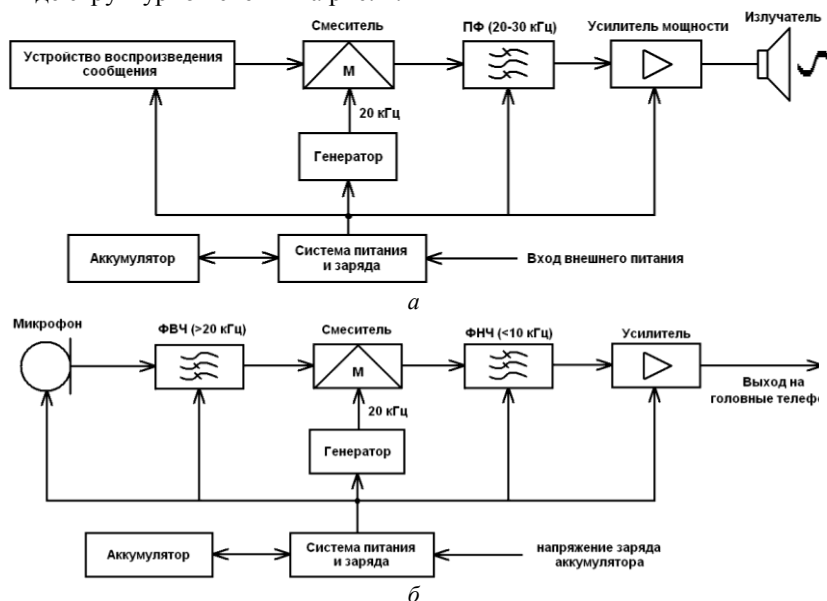


Рис. 2. Структурная схема передатчика (а) и приёмника (б) сигналов

Информационное сообщение формируется в виде звукового сигнала в устройстве воспроизведения сообщения. Далее сигнал поступа-

ет на смеситель, где происходит операция его перемножения с гармоническим сигналом опорного генератора 20 кГц. В результате перемножения образуется набор комбинационных частот, который поступает на полосовой фильтр, подавляющий все частоты, кроме диапазона 20–30 кГц. Полученный сигнал поступает на усилитель мощности и далее излучается с помощью ультразвукового излучателя. Также в структуре передатчика присутствует система питания, позволяющая обеспечивать бесперебойное питание устройства от аккумулятора и при этом подзаряжать аккумулятор от сетей электропитания городской инфраструктуры (рассматривается вариант питания системы от линии уличного освещения).

Приёмник построен на похожем принципе. Ультразвуковые колебания принимаются микрофоном, после чего сигнал поступает на фильтр верхних частот. После ФВЧ-сигнал поступает на смеситель, где перемножается с гармоническим сигналом частотой 20 кГц, поступающим с генератора. Сигнал на выходе смесителя поступает на ФНЧ, подавляющий все частоты выше 10 кГц. Далее сигнал усиливается и подаётся на головные телефоны. Система питания в данном случае предполагает питание от миниатюрного литиевого аккумулятора.

На базе СКБ-4 МАИ был сконструирован прототип такого передатчика и приёмника. С помощью этих изделий были проведены различные эксперименты по вариантам применения системы. На основании экспериментов был сделан вывод о том, что данная система способна решать поставленные задачи информирования и при этом не создавать дискомфорт для людей и домашних животных.

ЛИТЕРАТУРА

1. Устройства приёма и обработки сигналов / Ф.В. Зандер, Ю.В. Ветров, А.С. Груздев, С.В. Волвенко. – Электрон. учеб.-метод. комплекс дисциплины. – Красноярск: ИПК СФУ, 2008. – 155 с.
2. Григорьев А.А. Лекции по теории сигналов: учеб. пособие – М.: МФТИ, 2014. – 237 с.
3. Невзорова П.А. Городская навигация как критерий формирования комфортной среды // Научное сообщество студентов: междисциплинарные исследования: сб. ст. по мат. XXII Междунар. студ. науч.-практ. конф. – № 11(22). – Новосибирск: АНС «СибАК», 2017. – С. 24–29.
4. Журавлева Л.М. Теория передачи сигналов: учеб. пособие – М.: МИИТ, 2017. – 149 с.
5. Устройства обнаружения и цифровой обработки ультразвуковых сигналов / Е.В. Богатилов, А.Н. Шебанов, К.Э. Ангарита Лорес // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Информатика. Телекоммуникации. Управление. – 2019. – Т. 12, № 3. – С. 25–36.

УСТАНОВКА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

*А.А. Абуеллаиль, к.т.н., доцент, Сфинкс Университет
г. Асьют, Египет, ahmed.abouellail@sphinx.edu.eg*

Дано краткое описание управляемой компьютером экспериментальной установки, предназначенной для изучения характеристик термопар, таких как зависимости напряжения от температуры и сопротивления нагрузки. Напряжение следует измерять при различных значениях сопротивления нагрузки и различных температурах в широком диапазоне. Термокамера поддерживает температуру максимально стабильной.

Ключевые слова: термоэлектрический метод, термопара, термокамера.

Термоэлектрический метод широко используется в области неразрушающего контроля металлов и сплавов в приложениях, требующих сортировки и проверки образцов [1–5], для учета в процессе оценки таких факторов, как шероховатость поверхности и неоднородность, возникающая в результате пластической деформации [6–8]. Эти факторы могут влиять на процесс сортировки, поэтому необходимо исследовать степень их влияния [9, 10]. Представленная экспериментальная установка исследует неоднородную поверхность через различные типы термоэлектрических материалов, создающих термоЭДС [11].

Экспериментальная установка. Установка способна проверять термоэлектрические характеристики различных термопар, которые могут быть подключены параллельно, при разных температурах и для разных значений сопротивления нагрузки. Важно экспериментировать с широкими диапазонами значений температуры, чтобы найти оптимальную температуру с наивысшим качеством электроэнергии для достижения наилучших результатов термоэлектрических испытаний. При этом изменение значений сопротивления нагрузки необходимо для определения степени влияния контактного сопротивления горячих и холодных электродов термоэлектрических испытательных приборов на результаты контроля при ручном контроле. Экспериментальная установка также позволяет легко переключаться между различными исследуемыми значениями сопротивления нагрузки, как показано на блок-схеме экспериментальной установки, которая приведена на рис. 1.

Установка состоит из термопары, которая может быть разных типов, нагружена сопротивлением нагрузки, которое может изменяться

на различные значения сопротивления с помощью переключателей. Напряжение нагрузки измеряется вольтметром, который передает все экспериментальные данные в персональный компьютер.

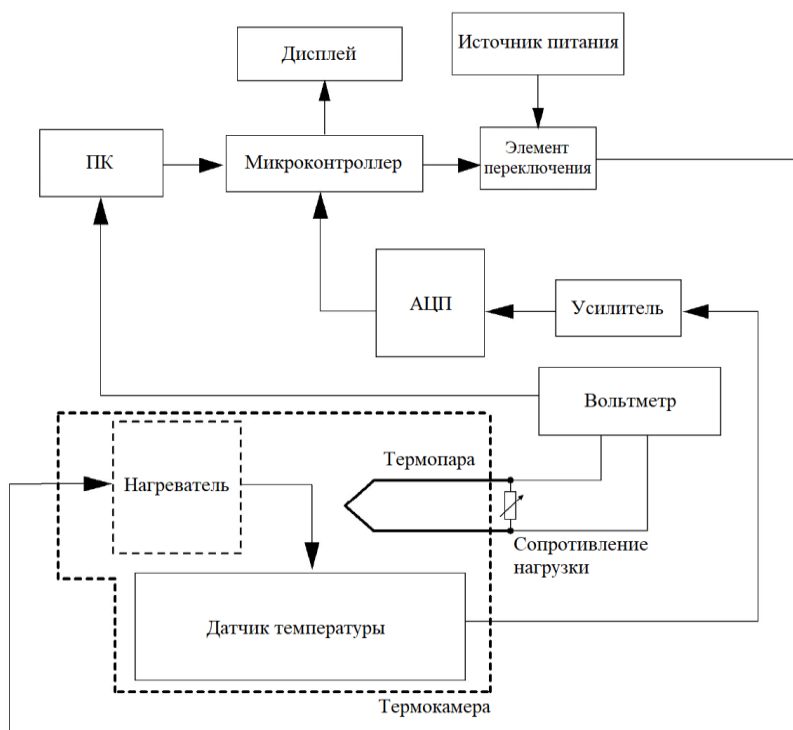


Рис. 1. Структурная схема экспериментальной установки

Исследуемые термопары помещаются в термокамеру, которая приводится в действие системой управления и температура которой поддерживается датчиком температуры. Сигнал с датчика усиливается и преобразуется АЦП, который подключен к микроконтроллеру, отвечающему за работу системы управления отопителем. К микроконтроллеру подключен дисплей, который отображает измеренную температуру в реальном времени.

Заключение. Для того чтобы исследуемые зависимости от термоэлектрических материалов имели высокую точность, необходима управляемая компьютером измерительная система, обеспечивающая надежные экспериментальные измерения за счет температурной ста-

бильности, которая может быть достигнута с помощью системы управления термокамерой.

Несмотря на то, что требуется ручная установка сопротивления нагрузке, представленная экспериментальная модель может автоматически записывать измерения напряжения при всех рассматриваемых температурах с возможностью достижения высокой повторяемости измерений, особенно с помощью разработанной системы управления термокамерой, не оставляющая необходимости в ручном вмешательстве для многократной установки нужной температуры, для стабильного температурного режима в помещении.

ЛИТЕРАТУРА

1. Stuart C. Thermoelectric Differences Used for Metal Sorting // *Journal of Testing and Evaluation*. – 1987. – Vol. 15, No. 4. – PP. 224–230.
2. Paul E. Mix. Introduction to Nondestructive Testing: A Training Guide, Second Edition // 27 Jan 2005. Print ISBN: 9780471420293. DOI: 10.1002/0471719145.
3. Denisov V.V. The principle of measuring differential thermo emf in the device «thermotest» / V.V. Denisov, A.I. Soldatov, S.A. Cechanovskiy // 11-th International Scientific and Practical Conference of Students, Postgraduates and Young Scientists «Modern Techniques and Technologies», MTT–2005 – Proceedings, 4493166. – PP. 33–34.
4. Denisov V.V. Metal and alloy monitoring by thermoelectromotive measuring method / V.V. Denisov, A.I. Soldatov, S.A. Cechanovskiy // 11-th International Scientific and Practical Conference of Students, Postgraduates and Young Scientists «Modern Techniques and Technologies», MTT–2005. – Proceedings, 4493167. – PP. 34–35.
5. Kikuchi M. Dental Alloy Sorting By the Thermoelectric Method // *European Journal of Dentistry*. – 2010. – No. 4 (1). – PP. 66–70.
6. Experimental studies of thermoelectric characteristics of plastically deformed steels ST3, 08KP and 12H18N10T / A.I. Soldatov, A.A. Soldatov, M.A. Kostina, O.A. Kozhemyak // *Key Engineering Materials*. – 2016. – No. 685. – PP. 310–314.
7. Nondestructive proximate testing of plastic deformations by differential thermal EMF measurements / A.A. Soldatov, A.I. Seleznev, I.I. Fiks, A.I. Soldatov, Kh.M. Kröning // *Russian Journal of Nondestructive Testing*. – 2012. – No. 48 (4). – PP. 255–258.
8. Hu Jiangtao & Nagy. On the role of interface imperfections in thermoelectric nondestructive materials characterization / Hu Jiangtao & Nagy, B. Peter // *Applied Physics Letters*. – 1998. – No. 73. – PP. 467–469.
9. High-performance nanostructured thermoelectric materials / J.F. Li, W.S. Liu, L.D. Zhao, M. Zhou // *Npg Asia Mater*. – 2010. – No. 2. – PP. 152–158.
10. Zhang X. Thermoelectric materials: Energy conversion between heat and electricity / X. Zhang, Li-D. Zhao // *Journal of Materiomics*. – 2015. – No. 1(2). – PP. 92–105.
11. Control system for device «thermotest» / A.I. Soldatov, A.A. Soldatov, P.V. Sorokin, O.A. Kozhemyak, S.I. Bortalevich // *SIBCON–2016*. – Proceedings, 2016. – P. 7491869.

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., старший разработчик
ООО «Синкретис»*

УДК 004.4

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ СПОРТИВНЫХ СОРЕВНОВАНИЙ

Р.Е. Богачев, Л.В. Букреев, студенты каф. АОИ
*Научный руководитель Н.В. Зариковская, доцент каф. АОИ, к.т.н.
г. Томск, ТУСУР*

Описана схема реализации серверной части системы, отвечающей за организацию проведения спортивных соревнований по спортивной аэробике, приведено описание архитектуры, используемой на серверной части, а также взаимодействие сервисов между собой.

Ключевые слова: веб-разработка, веб-системы, микросервисная архитектура, серверное программирование.

Система для организации соревнований по гимнастическим видам спорта «Судейская система» (далее – Система) – это сложная информационная система, реализованная в виде веб-системы, основной задачей которой является автоматизация процесса работы организационного комитета и судейских бригад при организации и проведении спортивных соревнований. В качестве пилотного проекта автоматизируется процесс проведения соревнований по спортивной аэробике. Система позволяет решать следующие задачи:

- формировать и подавать заявки на участие в соревнованиях как в качестве спортсмена, так и в качестве судьи;
- собирать и обрабатывать заявки на участие в соревнованиях;
- формировать списки участников соревнований по возрастам и номинациям;
- формировать программу соревнований по дням и часам;
- формировать стартовый протокол соревнований;
- изменять списки участников соревнований до начала соревнований при возникновении форс-мажорных ситуаций;
- формировать список участников финальных соревнований;

- передавать сформированные списки в часть системы, отвечающую за выставление оценок для формирования итоговых протоколов соревнований.

В основе реализуемой Системы использована клиент-серверная архитектура. Серверная часть Системы реализована в виде набора микросервисов или автономных служб, каждая из которых реализовывает определенный функционал Системы в ограниченном контексте [1]. Ниже представлен список сервисов Системы:

- сервис управления пользователем;
- сервис управления справочниками;
- сервис формирования стартовых протоколов;
- сервис подачи заявок;
- сервис выставления оценок.

Все сервисы являются изолированными. и доступ к ним предоставляется через шлюз API (API Gateway), как представлено на рис. 1.

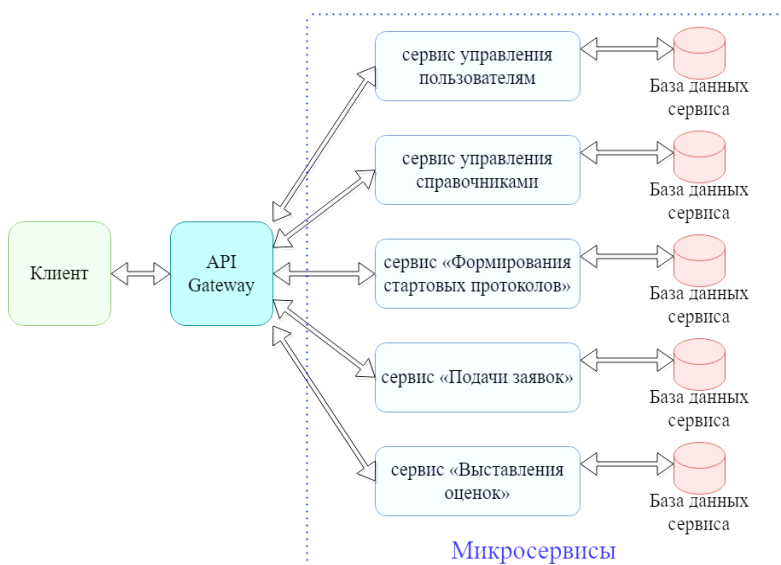


Рис. 1. Архитектура серверной части системы

При таком подходе все запросы клиента направляются сначала на шлюз, затем передаются на соответствующий сервис, и от сервиса шлюз возвращает клиенту ответ. Такой подход имеет несколько преимуществ. Во-первых, абстрагирование серверной части и интерфейсов. Клиент не знает о том, что система состоит из нескольких серви-

сов – для него есть только шлюз API. Также клиент имеет доступ только к тем интерфейсам, которые ему предоставляет шлюз – к «закрытым» интерфейсам он никогда не получит доступ. Во-вторых, дополнительная обработка запросов и ответов. Это позволяет обогащать данные, когда они отправляются на сервис или возвращаются клиенту, что делает каждый сервис более независимым от других. В-третьих, Система обладает единой точкой входа, что упрощает процесс взаимодействия с системой и позволяет сконцентрировать документацию в одном месте.

Для реализации сервисов был использован язык программирования Python [2] и фреймворк FastAPI [3]. Для работы с базой данных была выбрана PostgreSQL [4]. Для увеличения портативности сервисов и их независимости от системы развертки используется контейнеризатор приложений Docker [5].

Серверная часть основана на архитектуре под названием «Звезда». Данный подход подразумевает выделение отдельного сервиса, основной задачей которого является передача сообщений между разными частями приложения. Схематичное изображение данного подхода представлено на рис. 2.

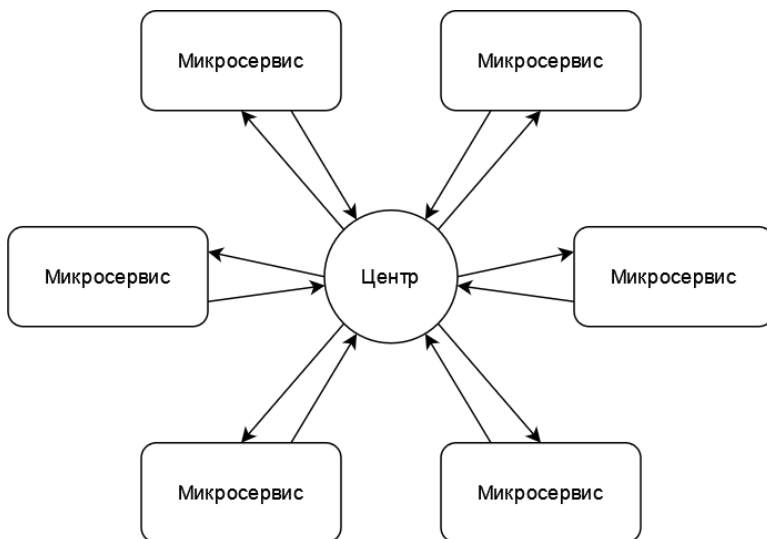


Рис. 2. Архитектура организации микросервисов

Таким образом, достигается изоляция сервисов друг от друга, при которой каждый сервис знает только о существовании центрального

сервиса обмена данными. Реализация взаимодействия микросервисов между собой на основе архитектуры под названием «Звезда» гарантирует расширяемость и масштабирование итоговой системы. При добавлении нового функционального блока достаточно настроить сервис обмена данными.

Данный сервис обмена данными (далее – шина данных) реализован на основе метода под названием webhook (вебхук) [6]. Каждый сервис при необходимости отправляет в шину данных запрос с названием вебхука и получает в ответ данные из нужного сервиса, который определяет шина данных.

На основе описанных выше подходов и архитектурных решений реализована серверная часть веб-системы. Благодаря используемому подходу с шиной данных достигается расширяемость и масштабируемость серверной части системы. Реализация API Gateway позволяет разрабатывать клиентскую часть без знаний реализации и подходов, используемых на серверной стороне Системы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Microservice architecture style [Электронный ресурс]. – URL: <https://learn.microsoft.com/en-us/azure/architecture/guide/architecture-styles/microservices> (дата обращения: 08.03.2023).
2. Python [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.python.org/> (дата обращения: 08.03.2023).
3. FastAPI [Электронный ресурс]. – URL: <https://fastapi.tiangolo.com/> (дата обращения: 08.03.2023).
4. PostgreSQL [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.postgresql.org/> (дата обращения: 02.03.2022).
5. Docker [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.docker.com/> (дата обращения: 08.03.2023).
6. Webhooks [Электронный ресурс]. – URL: <https://learn.microsoft.com/en-us/aspnet/webhooks/> (дата обращения: 09.03.2023).

УДК 004.415.25

БИЗНЕС-ЛОГИКА ПРИЛОЖЕНИЯ HEX FORMER

Г.П. Лубов, И.А. Ершов, Н.А. Набережнев, В.С. Швоев

*Проект ГПО КСУП-2203. Разработка программного обеспечения
в области радиоэлектроники
г. Томск, ТУСУР, glubov@yandex.ru*

Описана реализация программы для формирования команд управления измерительным оборудованием HEX Former. Программа позволяет быстро формировать и отображать байтовые команды в

удобной для восприятия форме. Архитектура приложения основана на паттерне MVVM.

Ключевые слова: автоматизированное управление измерительным оборудованием, бизнес-логика, MVVM, C#, .NET, WPF.

Для создания автоматизированных комплексов современные измерительные приборы или устройства позиционирования предоставляют протокол обмена данных. Протокол позволяет отдавать устройству управляющие команды и получать ответную телеметрию, содержащую, например, результаты измерений или текущее состояние прибора. Команды могут быть представлены как последовательность байт, где каждый фрагмент команды описывает настройки или параметры. Например, команда для управления термовакуумной камерой (ТВК) может иметь структуру, показанную в таблице.

Команда для управления термовакуумной камерой

Тип данных	Размер, байты	Описание	Пример значения	Значение в виде HEX
Int16	2	Шапка команды, фиксированное число	24415	0x5F5F
Int16	2	Число, указывающее тип команды: 0 – остановка; 1 – установка давления; 2 – установка температуры; 3 – сброс в нормальные условия; 4 – сброс ошибок; 5 – аварийная остановка (отключение питания)	2	0x0002
Float	4	Значение параметра (температуры в °C или давления в кПа). Если значение типа команды не 1 или 2, значение параметра должно быть равно 0	32.5	0x42020000

Общая длина команды равна 8 байтам. Примеры команд согласно вышеописанной структуре:

- 5F5F 0002 4202 0000 – установить температуру 32,5 °C;
- 5F5F 0001 37E2 7E0F – установить давление $2,7 \times 10^{-5}$ кПа;
- 5F5F 0005 0000 0000 – выполнить аварийную остановку.

Разные устройства имеют разные структуры управляющих и ответных команд, что создаёт сложности для разработчиков автоматизированных комплексов при отладке удаленного управления оборудованием – необходимо вручную формировать разные команды с разными значениями параметров в байтовые последовательности, а так-

же вручную преобразовывать ответную команду из последовательности байт в числовые значения. При этом отображение команд в виде последовательности бит/байт неудобно для восприятия человеком. Более компактным является представление в виде HEX-строки (как в примерах выше), когда разработчик может визуально проверить правильность тех или иных частей сформированной команды. Задачу формирования байтовых команд по заданной структуре и вывод её в виде HEX-строки и обратно можно автоматизировать с помощью ПО.

Целью данной работы является описание реализации разработанной программы HEX Former, выполняющей:

- задание структуры управляющей и ответной команды в виде набора фрагментов заданного типа (int16, int32, float и др.);
- формирование байтового пакета по введенным пользователем в структуру значениям;
- вывод байтовой команды в виде HEX-строки пользователю и парсинг HEX-строки обратно в набор значений заданного типа согласно структуре команды.

Данная программа упрощает отладку драйверов управления измерительным оборудованием во время разработки автоматизированных измерительных комплексов. Сформированные байтовые команды могут быть отправлены на измерительный прибор с помощью отдельного ПО, выполняющего сетевое подключение к оборудованию.

Программа HEX Former. В качестве платформы был выбран фреймворк для создания оконных приложений WPF [1]. Пользовательский интерфейс программы состоит из панели создания управляющих команд (рис. 1) и панели распознавания ответных команд. Каждая из панелей содержит пользовательский шаблон команды, составляемый из фрагментов команд. Каждый фрагмент команды представляет определённый тип данных, задаваемый пользователем. Всего в программе представлено 12 различных типов данных.

Описание архитектуры. Архитектура программы основана на паттерне MVVM [2]. На рис. 2 представлена UML-диаграмма классов [3] модели.

Главным классом модели является класс Project, содержащий два экземпляра класса PackagePattern, один из которых отвечает за панель формирования управляющих команд, а второй – за панель парсинга ответных команд. Каждый экземпляр класса PackagePattern содержит множество экземпляров FragmentContainer. FragmentContainer содержит одного из наследников класса FragmentBase, создаваемых при помощи FragmentFactory. Всего существует 12 таких наследников, каждый из которых реализует один из типов данных, например: Int16Fragment, FloatFragment и т.д. (не показаны на диаграмме).

Make HEX

1:
Choose data type:
Int32 (4 bytes)
Little Endian
Value:
102
HEX:
00 00 00 66

2:
Choose data type:
Float (4 bytes)
Little Endian
Value:
102e-2
HEX:
D1 17 A1 A1

3:
Choose data type:
Boolean flags (1 byte)
Little Endian

☐
☐
☒
☒
☐
☒
☐
☒

HEX:
35

4:
Choose data type:
Text
Little Endian
Length:
20
Text:
Some text
HEX:
DA BB 12 16 ..

+

FF 00 12 1B

To HEX

Рис. 1. Панель задания управляющей команды

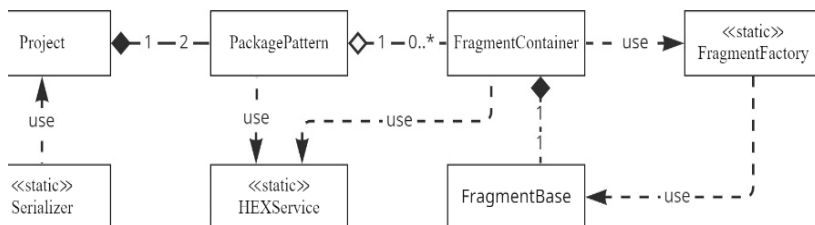


Рис. 2. UML-диаграмма классов модели

За преобразование значений различных типов данных в шестнадцатеричный вид и обратно отвечает класс HexService. Serializer позволяет сохранять и загружать ранее созданные пользователем шаблоны команд из JSON-файла [4], а также сохранить состояние программы в момент её закрытия для восстановления при следующем запуске.

Заключение. Было разработано программное обеспечение, призванное ускорить анализ пользователем правильности отправляемых и получаемых команд с измерительного прибора путём проверки соответствия этих команд протоколу взаимодействия прибора. ПО стало инструментом для проверки правильности отправляемых и получаемых команд с измерительного прибора, что упрощает отладку драйверов и ПО для автоматизации измерений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Общие сведения о WPF [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://learn.microsoft.com/ru-ru/dotnet/desktop/wpf/introduction-to-wpf?view=netframeworkdesktop-4.8>, свободный (дата обращения: 01.03.2023).
2. Vice R. MVVM Survival Guide for Enterprise Architectures in Silverlight and WPF / R. Vice, M. Shujaat Siddiqi. – Packet Publishing, 2012. – 490 p.
3. UML Class Diagram Tutorial [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.visual-paradigm.com/guide/uml-unified-modeling-language/uml-class-diagram-tutorial>, свободный (дата обращения: 01.03.2023).
4. Introducing JSON [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.json.org/json-en.html>, свободный (дата обращения: 01.03.2023).

УДК 004.932.2

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВОДНЫХ ИНДЕКСОВ ДЛЯ ОТСЛЕЖИВАНИЯ СОСТОЯНИЯ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ

В.Е. Бажинов, А.М. Фролов, студенты каф. АСУ

Научный руководитель А.К. Лукьянов, доцент каф. АСУ, к.т.н.

Проект ГПО АСУ 2302. Мониторинг водных объектов

г. Томск, ТУСУР, lukyanov.ak@asu.tusur.ru

Проект предполагает разработку программного комплекса обнаружения и оценки состояния водных объектов по спутниковым снимкам.

Ключевые слова: спутниковые снимки, водные объекты, водные индексы, водная маска.

Постоянное изменение климатических условий, развитие технологической промышленности приводят к изменениям различных компонент атмосферы, в особенности поверхности Земли. Водные объекты являются жизненно важным элементом существования различных экосистем. Большое количество отраслей народного хозяйства зависит от состояния водной среды. В связи с этим обнаружение водных объектов и непрерывный мониторинг их состояния является важным процессом во всех сферах человеческой жизнедеятельности. Перио-

дическое отслеживание состояния водоёмов позволяет своевременно обнаруживать возможные загрязнения, изменения в использовании земли вокруг водных объектов, наводнения или засуху. В этом вопросе во многом помогают спутниковые средства наблюдения за поверхностью Земли, основная особенность которых – возможность получения информации на большой территории без необходимости физического присутствия на месте [1].

Спутники проводят периодическую съёмку поверхности Земли в различных цветовых спектрах. Чтобы понять, какие объекты на спутниковых снимках являются водными, применяется нормализованный водный индекс – NDWI, который рассчитывается на основе уровней отражения спектральных составляющих для различных типов поверхностей [2]. В данном случае используются данные о поглощении и отражении ближнего инфракрасного и зелёного цветов. Более подробный принцип работы приведён ниже.

Первый этап заключается в загрузке необходимых данных. Одним из спутниковых приборов, позволяющих получать многоспектральные изображения, является Sentinel-2. Данные находятся в открытом доступе и представляют собой как сами изображения, так и дополнительную информацию (вероятность облачности, снега, направление движения спутника и т.д.).

Вторым шагом идёт обработка загруженных датасетов. Используя библиотеки для работы со спутниковыми данными, из всех изображений выбираются данные по зелёному и ближнему инфракрасному спектрам. На основе изображений рассчитывается водный индекс по формуле $NDWI = (R_{GREEN} - R_{NIR}) / (R_{GREEN} + R_{NIR})$ и строится одноканальное изображение, отображающее значения индекса. Далее из датасета загружаются данные о вероятности появления облаков и обрабатываются параллельно с полученным изображением: в том месте снимка, где вероятность облачности превышает допустимое значение, на изображении ставится метка об отсутствии данных. Таким образом, конечное изображение будет отображать только те пиксели, в местах которых облака отсутствуют. На рис. 1 представлен водный индекс, рассчитанный вблизи г. Томска по состоянию на 13.06.2022 г., на рис. 2 – то же изображение, но с учётом облачности. В последнем случае области, затянутые облаками, показываются белым цветом.

Данный процесс проходит для каждого датасета, в конечном итоге мы получаем сразу несколько изображений такого рода – данные об изменении NDWI в течение определённого периода времени.

Третий этап заключается в заполнении пустот в данных. Так как при фильтрации NDWI в местах с облаками данные помечаются как

недействительные, нужно интерполировать пустоты, опираясь на соседние значения индекса для этого пикселя в остальных изображениях. Затем, опираясь на значения NDWI в конкретном месте в различных изображениях за определённый период, мы можем построить график изменения водного индекса для каждого пикселя, тем самым отслеживая состояние водных объектов в течение нужного нам времени.



Рис. 1. Отображение значений водного индекса на изображении



Рис. 2. Значения водного индекса с учётом облачности

Следующий шаг заключается в переносе всех вычислений на сервер, который будет представлять собой интерактивную карту с возможностью выбора места и анализа состояния водных объектов за определённый период.

Заключение. Таким образом, мониторинг водных объектов с помощью спутниковых снимков и индексов NDWI имеет большую актуальность и может использоваться в различных областях, включая гидрологию, экологию, сельское хозяйство и геологию. Использование данного метода позволяет определять влияние человеческой деятель-

ности на водные ресурсы, а также предсказывать возможные последствия природных катастроф, связанных с водными процессами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Комарова А.Ф. Открытые мультиспектральные данные и основные методы дистанционного зондирования в изучении растительного покрова / А.Ф. Комарова, И.В. Журавлева, В.М. Яблоков // Принципы экологии. – 2016. – № 1. – С. 40–47.
2. Кондратьев К.Я. Аэрокосмические исследования почв и растительности / К.Я. Кондратьев, В.В. Козодеров, П.П. Федченко. – Л.: Гидрометеиздат, 1986. – 231 с.
3. Sun F. Comparison and improvement of methods for identifying waterbodies in remotely sensed imagery / F. Sun, W. Sun, J. Chen, P. Gong // International Journal of Remote Sensing. – 2012. – Vol. 33, No. 21. – PP. 6854–6875.

УДК 66.011:519.6

АЛГОРИТМ ФОРМИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ УРАВНЕНИЙ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ПОТОКОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ МЕТОДОМ КОНТУРНЫХ РАСХОДОВ

В.А. Кривобородько, студент ИЯТШ ОЯТЦ

Научный руководитель О.В. Егорова, доцент ОЯТЦ, к.т.н.

г. Томск, НИ ТПУ, vak99@tpu.ru

Рассматривается вопрос формирования матриц коэффициентов математической модели гидравлической цепи по ее принципиальной схеме для решения задачи потокораспределения методом контурных расходов (МКР) в рамках разработки программного модуля для моделирования потокораспределения в сетях трубопроводов технологических схем замкнутого ядерного топливного цикла для программного комплекса КТ-NIMFA.

Ключевые слова: матрица контуров, метод контурных расходов, обход графа.

В матричном виде математическая модель потокораспределения гидравлической цепи, основанная на МКР, выглядит следующим образом [1]:

$$\begin{cases} \mathbf{A} \cdot \mathbf{x} = \mathbf{Q}, \\ \mathbf{B} \cdot \mathbf{S} \cdot \mathbf{X} \cdot \mathbf{x} = \mathbf{B} \cdot \mathbf{H}, \end{cases} \quad (1)$$

где \mathbf{A} – матрица соединений гидравлической цепи; \mathbf{x} – вектор расходов на участках; \mathbf{Q} – вектор расходов в узлах; \mathbf{B} – матрица контуров; \mathbf{S} – диагональная матрица сопротивлений участков; \mathbf{X} – диагональная матрица из абсолютных значений расходов на участках; \mathbf{H} – вектор действующих напоров.

Заполнение матриц **Q**, **S**, **H** в системе уравнений (1) происходит на основе информации об используемых элементах гидравлической цепи, а матриц **A** и **B** – на основе ее топологии. В первом случае гидравлические параметры могут быть описаны с использованием существующих научных изысканий для каждого типа элемента.

Предлагается следующий алгоритм формирования системы уравнений для решения задачи потокораспределения, основанный на идеях А.П. Меренкова и В.Я. Хасилева [1]:

1. Формируется исходная гидравлическая цепь (при необходимости применяется эквивалентирование), в соответствии с которой составляется матрица **A** (рис. 1), а также заполняются матрицы **Q**, **S**, **H** на основе информации об используемых элементах.

2. Выделяется остовное дерево в топологии гидравлической цепи при помощи обхода графа поиском в глубину [2]. В результате поиска участки, которые не были включены в дерево, являются хордами, количество которых будет равно количеству независимых контуров.

3. Составляется матрица контуров **B** (см. рис. 1) путем поиска простых циклов, начиная с найденных хорд, используя обход графа поиском в ширину [2], который будет фиксировать маршруты с минимальным количеством участков в контуре. При этом нумерация осуществляется так, что числовое значение номера хорды соответствует номеру контура.

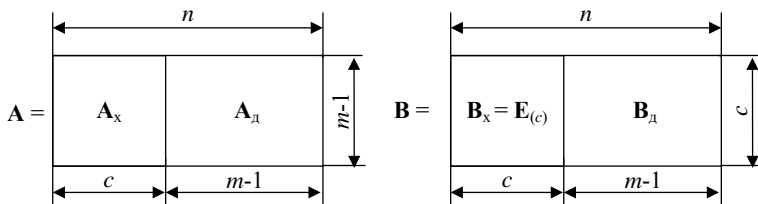


Рис. 1. Структура матрицы соединений **A** и матрицы контуров **B**: **A_x** – матрица соединений, составленная из хорд; **A_d** – матрица соединений, составленная из дерева; **B_x** – матрица контуров, составленная из хорд; **B_d** – матрица контуров, составленная из дерева; n – количество участков схемы; c – количество контуров схемы; m – количество узлов схемы

4. Осуществляется исключение линейных комбинаций в матрице **B** с применением критерия уменьшения количества участков в контуре, получая, таким образом, систему, в которой каждый участок принадлежит не более чем двум контурам.

5. Если сумма участков, принадлежащих только одному контуру, меньше количества хорд, то проводится линейная комбинация для

контура, не обладающего таким участком, с соседним контуром минимальной длины.

6. Далее производится расчет расходов и давлений по МКР.

Следует отметить, что в представленном выше алгоритме формирование матрицы **V** осуществляется на основе выделения системы главных контуров (данная задача является вариативной), обеспечивающей минимальное заполнение **V**, от которого зависит количество арифметических операций, возникающих при решении системы (1), что, в свою очередь, влияет на время расчета.

Для демонстрации работы приведенного алгоритма использован граф, представленный в графическом виде вместе с найденной системой главных контуров на рис. 2.

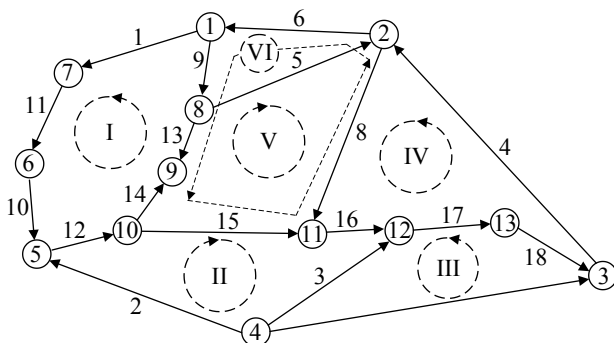


Рис. 2. Найденная система главных контуров: 1–18 – индексы участков; I–VI – номера контуров

Таким образом, предложен алгоритм, формирующий матрицы коэффициентов системы уравнений, необходимой для расчета потокораспределения в гидравлической цепи заданной топологии методом контурных расходов или его модификаций. Предложенный в алгоритме подход к выделению системы главных контуров позволяет уменьшить количество арифметических операций при проведении расчетов по МКР.

ЛИТЕРАТУРА

1. Меренков А.П. Теория гидравлических цепей / А.П. Меренков, В.Я. Хасилев. – М.: Наука, 1985. – 279 с.
2. Иванов Б.Н. Дискретная математика. Алгоритмы и программы: учеб. пособие. – М.: Лаборатория базовых знаний, 2003. – 288 с.

ОПТИМИЗИРОВАННАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ АЛГОРИТМА TF-IDF ДЛЯ ОЦЕНКИ ВАЖНОСТИ СЛОВ В КОЛЛЕКЦИИ ДОКУМЕНТОВ

Д.Е. Кузьменко, магистрант ИШИТР

*Научный руководитель А.Ю. Кайда, ст. преп. ОИТ ИШИТР
г. Томск, ТПУ, dek29@tpu.ru*

Рассматривается оптимизация реализации алгоритма TF-IDF. Выявляются недостатки уже существующих решений. Собственный программный модуль реализован на языке программирования Python с использованием различных модулей текстовой обработки, модулей работы с DataFrame.

Ключевые слова: IF-IDF, текстовый корпус, DataFrame, Pandas.

В современном мире терабайты информации публикуются в различных источниках или сохраняются на разных площадках. Большинство этой информации представляется в виде текста. Его обработка – это очень трудоемкий процесс, так как сам текст является неструктурированными данными.

Для того чтобы иметь возможность правильно анализировать и извлекать информацию из текста, требуются сложные подходы, такие как, к примеру, тематическое моделирование, LSA – латентно семантический анализ, TF-IDF – (от англ. TF – term frequency, IDF – inverse document frequency) [1, 2].

Метод TF-IDF позволяет определить некую величину (коэффициент), которая показывает ценность определенного слова в каком-то документе. Один текст может входить в группу (корпус/коллекция) документов [2].

Из этого следует, что чем больше определенное слово появляется в тексте, тем выше величина коэффициента TF, чем реже определенное слово появляется во всем корпусе документов, тем выше коэффициент IDF. При перемножении этих величин получается значение (TF-IDF).

TF – это величина, указывающая на пропорцию объема встречаемости определенного слова ко всему количеству слов в документе. Для каждого документа устанавливается значимость слова t_i (1) [2].

$$tf(t, d) = n_t / \sum_k n_k, \quad (1)$$

здесь n_t – количественное значение, показывающее, сколько раз слово t встречается в документе; $\sum_k n_k$ – количество всех слов в целом информационном файле.

IDF – видоизмененная повторяемость, с которой определенное слово попадает в целой коллекции документов [2].

Значимость употребляемых в широком кругу слов снижается, при вычислении IDF. Имеется лишь единая величина IDF для всякого особо ценного слова в диапазоне определенной коллекции документов (2) [2].

$$idf(t, D) = \log \frac{|D|}{|\{d_i \in D | t \in d_i\}|}, \quad (2)$$

здесь $|D|$ – количественное число документов; $|\{d_i \in D | t \in d_i\}|$ – количественное значение, показывающее, сколько раз слово t встречается в коллекции документов.

Если менять основание логарифма, то это не приведет к особо значимым результатам, так как при этом будет меняться и вес каждого слова, на определенный постоянный множитель. В данной работе будет использоваться десятичный логарифм.

Величина TF-IDF – это произведение двух коэффициентов (3) [2].

$$tf-idf(t, d, D) = tf(t, d) \times idf(t, D). \quad (3)$$

Изначально был проанализирован модуль от группы разработчиков Scikit-Learn. Они изменили изначальную формулу для расчета величины IDF и в логарифме прибавили единицу (4). Это было сделано для того, чтобы у тех слов, которые вообще один раз в коллекции не получились нулевые значения при расчете логарифма [3].

$$idf(t, D) = \log \frac{|D|}{|\{d_i \in D | t \in d_i\}|} + 1. \quad (4)$$

Данная реализация не удовлетворяет требованиям автора статьи, поэтому был написан собственный модуль для расчета TF-IDF.

Для разработки собственного программного модуля был выбран язык программирования Python. Так как для данного языка создано достаточно много различных библиотек для обработки текста и работы с DataFrame при помощи библиотеке Pandas [4]. Формулы для подсчета коэффициентов остались оригинальными (1)–(3).

Первая реализация использовала перебор всех имеющихся слов в корпусе документов с помощью двух циклов, и при нахождении совпадений значения записывались в DataFrame при помощи модуля Pandas и метода append.

Вторая реализация использовала метод merge в модуле Pandas. Данный метод позволяет объединять DataFrame по горизонтали, что приводит к дополнению его новыми данными по определенному столбцу. У данного метода существует четыре различных способа со-

единения: INNER, OUTER, LEFT, RIGHT [4]. В данном случае использовалось левое соединение основного DataFrame, в котором содержались все слова из корпуса документов с рассчитанными значениями TF-IDF.

Первая реализация просчитывала значения TF-IDF 265,4 с для корпуса из 100 документов, в котором было порядка 16000 слов. Во второй реализации благодаря использованию встроенного метода `merge` библиотеке Pandas увеличилась скорость выполнения алгоритма. При таком же объеме корпуса документов время просчета коэффициентов всех слов заняло около 33,5 с – это в 8 раз быстрее, по сравнению с первой реализацией. Зависимость выполнения расчета коэффициента TF-IDF для двух собственных реализаций представлена на рис. 1.

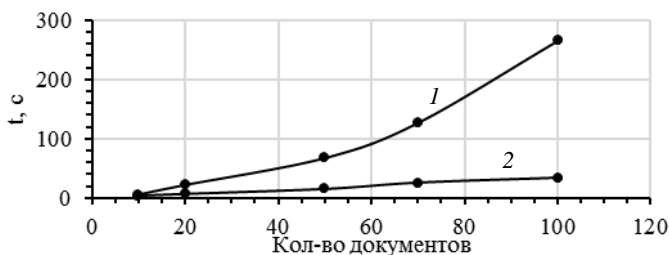


Рис. 1. Зависимость времени расчета коэффициентов TF-IDF от количества документов: 1 – первая реализация, 2 – вторая реализация

Как видно из рис. 1, время выполнения у первой реализации с увеличением количества документов возрастает практически экспоненциально, а у второй реализации – линейно.

ЛИТЕРАТУРА

1. Indexing by latent semantic analysis [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://asistdl.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/%28SICI%291097-4571%28199009%2941%3A6%3C391%3A%3AAID-ASI1%3E3.0.CO%3B2-9,> свободный (дата обращения: 15.01.2023).
2. Salton G. Introduction to modern information retrieval / G. Salton, M.J. McGill. – New York: McGraw-Hill Book Co., 1983. – 448 p.
3. Scikit learn TF-IDF [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://scikit-learn.org/stable/modules/feature_extraction.html, свободный (дата обращения: 15.01.2023).
4. Pandas DataFrame merge [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://pandas.pydata.org/docs/reference/api/pandas.DataFrame.merge.html>, свободный (дата обращения: 15.01.2023).

ВИЗУАЛИЗАЦИЯ СХЕМНОГО РЕШЕНИЯ В ПРИЛОЖЕНИИ СИНТЕЗА МАЛОШУМЯЩЕГО УСИЛИТЕЛЯ

В.С. Швоев, Н.А. Набережнев, Е.В. Кабанова, студенты;

А.А. Калентьев, к.т.н., доцент каф. КСУП

г. Томск, ТУСУР, shvov.work@gmail.com

Описана реализация отображения схемного решения принципиальной интегральной схемы малошумящего усилителя. Была показана реализация в виде диаграммы пакетов, а также продемонстрирован результат в виде визуализированного схемного решения.

Ключевые слова: малошумящий усилитель, синтез, генетический алгоритм.

В настоящее время активно разрабатываются методики, алгоритмы и приложения, выполняющие автоматизированное и автоматическое проектирование СВЧ-устройств [1–3], таких как малошумящие усилители (МШУ), многоступенчатые аттенюаторы и фазовращатели. Одной из задач, стоящих перед разработчиками подобных приложений, является отрисовка спроектированной принципиальной схемы пользователю. Алгоритм отрисовки во многом зависит от программного представления цепи. В общем случае принципиальная схема представляется в виде графа (рис. 1), где узлами являются электрические элементы. Однако в алгоритмах автоматизированного структурно-параметрического синтеза для упрощения моделирования схема может быть представлена в виде дерева, где листья – это элементы цепи, а узлы – типы их соединения.

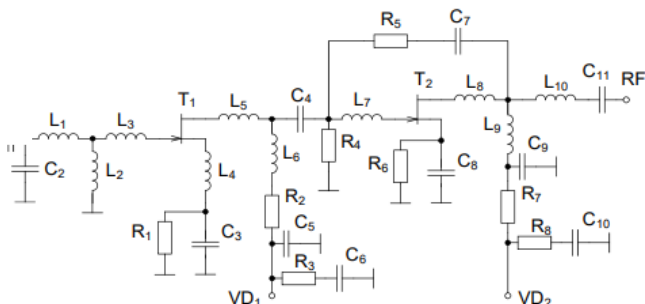


Рис. 1. Пример представления схемного решения

Целью данной работы является описание реализации алгоритма отрисовки принципиальных схем, представленных в виде древообразной структуры. Реализованный алгоритм применяется в программе

структурно-параметрического синтеза СВЧ МШУ [3]. Архитектура предложенного решения представлена на диаграмме пакетов (рис. 2), результат работы представлен на рис. 3.

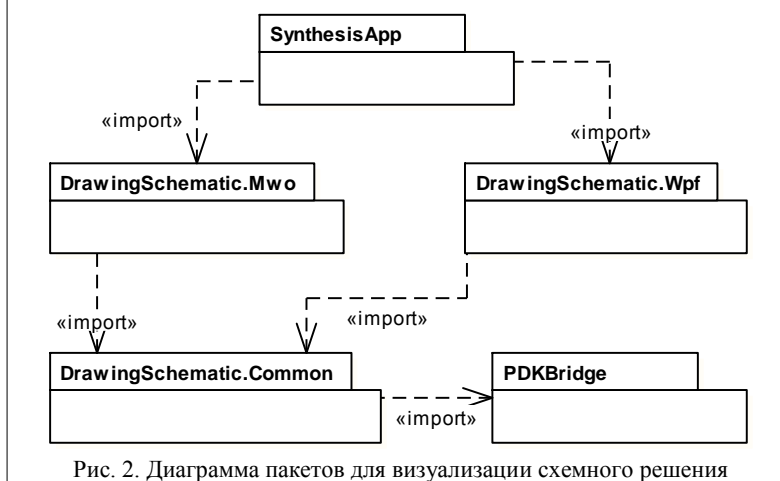


Рис. 2. Диаграмма пакетов для визуализации схемного решения

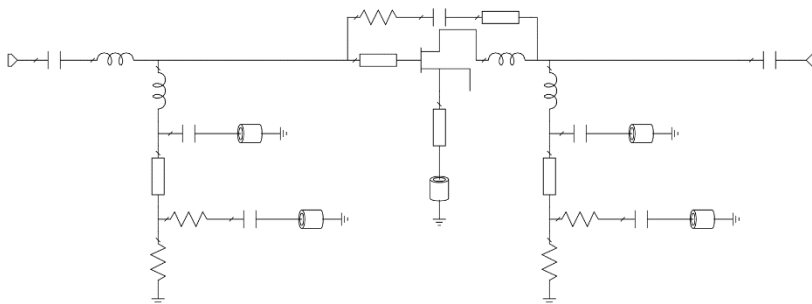


Рис. 3. Визуализация схемного решения
в приложении синтеза МШУ

Ключевой пакет приложения SynthesisApp (см. рис. 2) содержит в себе логику окон и их отображение. Пакет DrawingSchematic.Common содержит в себе общую логику для визуализации схемных решений. В нем рассчитываются положения, повороты и точки соединений. В проекте PDKBridge находится логика получения данных об элементах для визуализации и расчета характеристик схемного решения. Проект DrawingSchematic.Mwo визуализирует принципиальную схему в программе AWR Microwave Office [4]. DrawingSchematic.Wpf визуализирует принципиальную схему в программе синтеза МШУ.

Разработанное решение внедрено в программу структурно-параметрического синтеза СВЧ МШУ. Алгоритм может быть доработан для отображения подробных аннотаций к элементам цепи, где требуется вывод информации не только о названии и типе элемента, но и об его параметрах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Babak L.I., Kokolov A.A., Kalentyev A.A., Garays D.V. A new genetic-algorithm-based technique for low noise amplifier synthesis // Microwave Integrated Circuits Conference (EuMIC), 2012 7th European. – 2012. – PP. 381–384.
2. Получение коммутационного транзистора с использованием библиотек моделей элементов для синтеза СВЧ-устройств / Ю.А. Новичкова, А.А. Метель, Н.А. Набережнев, В.С. Швоев // Интеллектуальные системы проектирования технических устройств: материалы докл. междунар. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых «Научная сессия ТУСУР–2022»: в 3 ч. – Томск: В-Спектр, 2022. – Ч. 1. – С. 146–144.
3. Горяинов А.Е. Алгоритмы в задаче синтеза линейных интегральных СВЧ-усилителей с распределенным усилением / А.Е. Горяинов, Т.Н. Файль, Ю.А. Новичкова, А.А. Калентьев, А.С. Сальников // Матер. XVI Междунар. науч.-практ. конф. «ЭССУ»: в 2 ч. – Томск: В-Спектр, 2020. – Ч. 1. – С. 64–67.
4. AWR Microwave Office [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.cadence.com/ko_KR/home/tools/system-analysis/rf-microwave-design/awr-microwave-office.html, свободный (дата обращения: 14.03.2023).

УДК 004.93

РАЗРАБОТКА И ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ АЛГОРИТМА ОБРАБОТКИ ПОТОКОВОГО ВИДЕО НА ОСНОВЕ АППАРАТА СВЕРТОЧНЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

*А.С. Волков, ассистент; Е.М. Портнов, проф., д.т.н.,
институт «СПИНТех»*

*г. Зеленоград, Национальный исследовательский университет
«МИЭТ», alex.volkov9595@inbox.ru, evgen_uis@mail.ru*

Рассмотрены некоторые наиболее актуальные вопросы применения алгоритмов распознавания объектов в видеопотоке с помощью беспилотных летательных аппаратов, методика их использования для проведения экологического мониторинга, контроля охранных объектов, анализа возможности возникновения техногенных катастроф. Разработан алгоритм обработки потокового видео и представлена его программная реализация.

Ключевые слова: потоковое видео, сверточные нейронные сети, точность, быстродействие, математическая модель.

В настоящее время предъявляются повышенные требования к точности и быстрдействию обработки потокового видео, которое характеризует состояние контролируемых объектов в процессе проведения экологического мониторинга, контроля охранных объектов, анализа возможности возникновения техногенных катастроф. В этом случае широко используются беспилотные летательные аппараты, позволяющие значительно повысить эффективность процессов контроля и мониторинга за счет своей мобильности и относительно простой реализации. Недостатком существующих систем мониторинга является невозможность обработки в режиме реального времени больших массивов видеоданных и распознавания объектов с высокой точностью.

В связи с этим актуальной задачей является создание технологии обработки больших потоковых данных с высокой точностью. Был разработан алгоритм обработки видеопотока, который записывает информацию о всех квадратных частях изображения, которые потенциально могут содержать объект изображения, данные части кадра описываются координатами самого левого нижнего пикселя, входящего в эту часть, и размером стороны окаймляющего квадрата [1].

Разработанный метод был программно реализован в виде программного модуля, который использует шаблон проектирования MVC (Model-View-Controller – модель-представление-контроллер), основной концепцией которого является разделение данных, пользовательского интерфейса и бизнес-логики на три отдельных компонента: Model; View; Controller.

Программный модуль обработки потокового видео состоит из следующих компонентов: обработка REST-запросов; работа с аппаратом нейронных сетей; работа с БД; работа с файловым хранилищем. Компоненты ПМОПВ объединены сервисным слоем, обеспечивающим их взаимодействие. Структурная схема продемонстрирована на рис. 1.

Общий принцип работы программного модуля показан на рис. 2.

Каждый кадр видеопотока анализируется разработанным алгоритмом детектирования, записывает информацию о всех квадратных частях изображения, которые потенциально могут содержать объект изображения, данные части кадра описываются координатами самого левого нижнего пикселя, входящего в эту часть, и размером стороны окаймляющего квадрата. Далее каждая выделенная часть изображения сжимается до размера входа в соответствии с процессом обучения нейронной сети и осуществляется идентифицирование объектов блочной декомпозиции.

Примеры работы модуля приведены на рис. 3, детектированные объекты выделены квадратной рамкой.

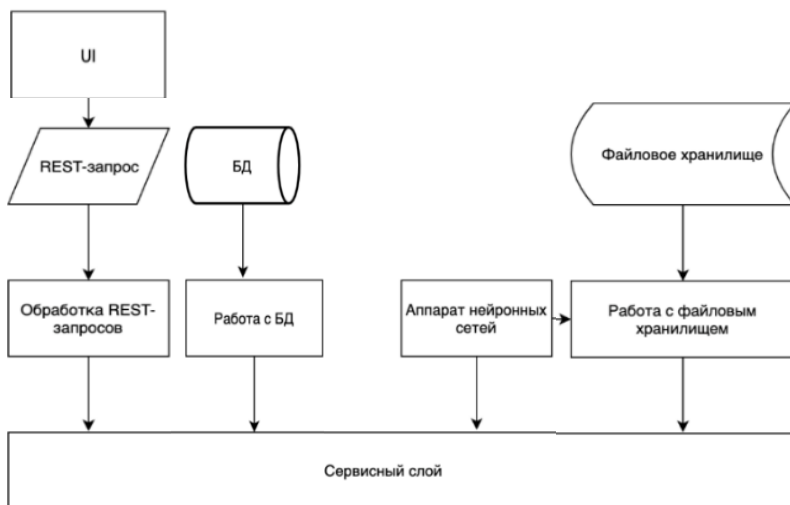


Рис. 1. Структурная схема ПМОПВ

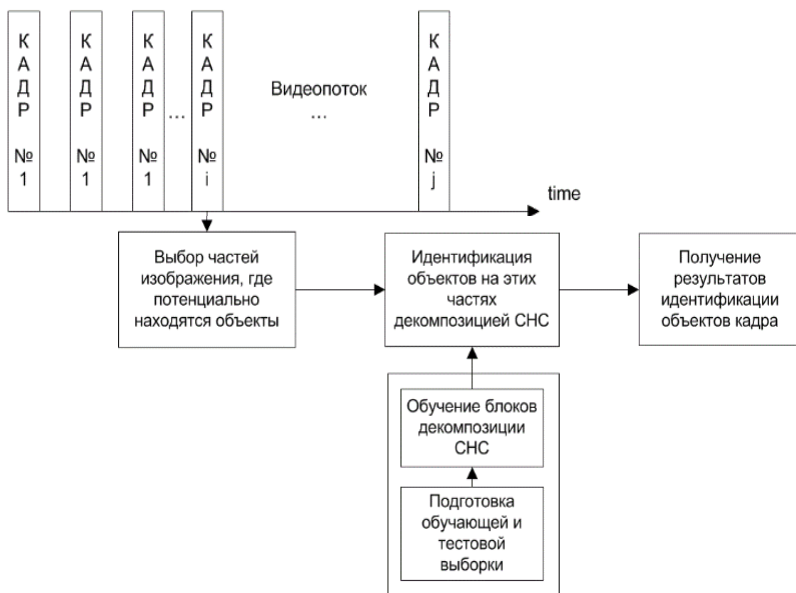


Рис. 2. Общий принцип работы программного модуля



Рис. 3. Пример работы детектирования и идентификации объектов изображения

Для наглядного изучения процесса работы алгоритмов нейросетевой обработки разработан модуль, визуализирующий процесс работы алгоритмов. Примеры работы данного модуля представлены на рис. 4.



Рис. 4. Визуализация процесса работы алгоритмов нейросетевой обработки входных видеопотоков

По результатам выполнения можно сделать следующие выводы:

Разработан алгоритм подготовки данных для обучения представленной нейронной сети. С помощью данного алгоритма тренировочная выборка изображений была расширена на 80%, а качество распознавания разрабатываемым алгоритмом снизилось на 10% по числу ошибок первого рода и на 14% по числу ошибок второго рода.

Разработан модифицированный алгоритм, позволивший увеличить скорость обработки одного кадра в 4 раза по сравнению с модифицируемым алгоритмом. В рамках алгоритма разработаны две конфигурации нейросети, которые справляются с задачей распознавания объектов в видеопотоке лучше исходной модели на 4,01 и 1,45%. Также они обладают достаточно большой скоростью обработки изображений, что позволяет использовать их в системах распознавания видеопотоков с БПЛА.

ЛИТЕРАТУРА

1. Sen-Ching S.C. Robust techniques for background subtraction in urban traffic video / S.C. Sen-Ching, C. Kamath // Visual Communications and Image Processing. International Society for Optics and Photonics. – 2004. – Vol. 5308. – PP. 881–892.
2. Stauffer C. Learning patterns of activity using real-time tracking / C. Stauffer, W.E.L. Grimson // Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. – 2000. – Vol. 22, No. 8. – PP. 747–75.
3. Гончаров А. Беспилотники России // Армейский сборник: журнал. – 2015, февраль. – Т. 248, № 2. – С. 39–43.
4. Гагарина Л.Г. Автоматизированные информационные системы. – М.: МИЭТ, 2012. – 378 с.

УДК 621.3.011.733

РЕАЛИЗАЦИЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ МНОГОКАСКАДНОГО МАЛОШУМЯЩЕГО УСИЛИТЕЛЯ

Н.А. Набережнев, В.С. Швоев, Е.В. Кабанова, А.А. Калентьев
г. Томск, ТУСУР, каф. КСУП, supovik@gmail.com

Представлены реализация алгоритма моделирования схем СВЧ-многокаскадного малошумящего усилителя (МШУ), результаты верификации предложенного решения.

Ключевые слова: синтез СВЧ-устройств, МШУ, моделирование электрических схем.

В последние годы бурное развитие получили подходы к автоматизированному проектированию СВЧ-устройств, таких как, например,

малошумящие усилители (МШУ) [1–3]. Работа алгоритмов, основанных на подобных подходах, тесно связана с использованием алгоритмов моделирования характеристик электрических цепей. Так, в процессе структурно-параметрического синтеза СВЧ-устройства, основанного на применении генетического алгоритма, моделирование различных схем может вызываться до нескольких миллионов раз. Это ставит обязательным требование к скорости моделирования, его эффективности.

Целью данной работы является описание реализации алгоритма моделирования принципиальных схем СВЧ-устройств, представленных в виде комбинации соединений четырехполюсников [4]. Реализованный алгоритм применяется в программе структурно-параметрического синтеза СВЧ МШУ [2]. В качестве примера схемного решения на рис. 1 представлена схема трехкаскадного МШУ.

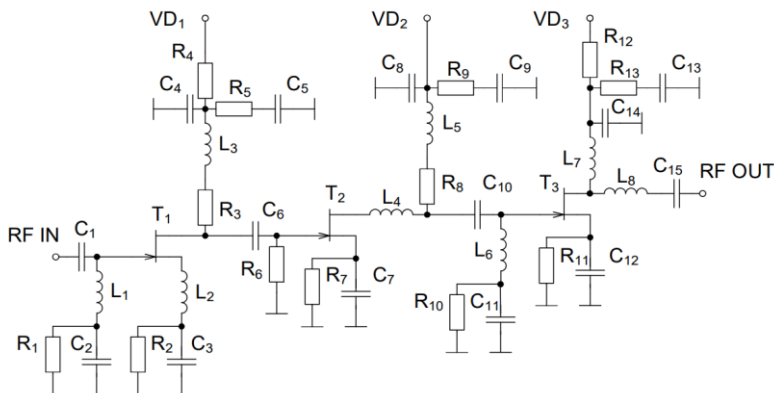


Рис. 1. Пример принципиальной схемы СВЧ МШУ

Алгоритм предполагает представление цепи в виде древовидной структуры, где листьями дерева являются элементы, а узлами – типы их соединения. Структура решения представлена на диаграмме пакетов (рис. 2).

Всего в программе выделяется четыре вида соединения элементов: каскадное, параллельное, шунтирующее и активный блок.

Пакет Model содержит в себе классы и пакеты, которые отвечают за представление элементов, вариантов их соединения и инструментов работы с ними в программе.

Пакет Model.Schematic содержит сущности, которые отвечают за представление вариантов соединений схем. Интерфейс ISimulatable предоставляет методы для моделирования. От него наследуется ин-

терфейс IElement, описывающий элемент в древовидной структуре. Реализациями IElement являются модель СВЧ-элемента (резистора, конденсатора, транзистора и т.д.) или соединение подцепей (каскадное, параллельное и т.д.), реализующие также интерфейс ISchematic.

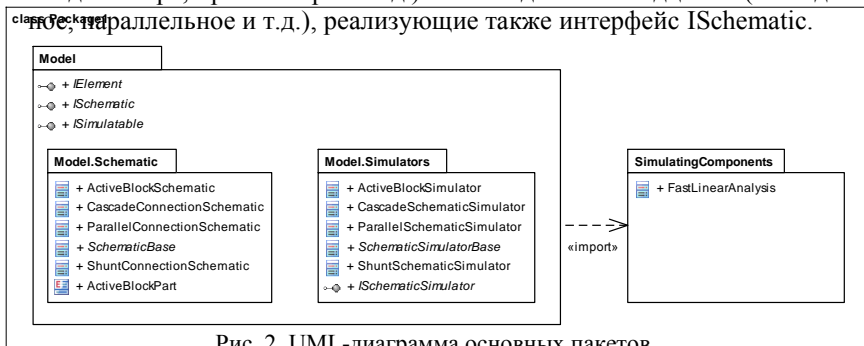


Рис. 2. UML-диаграмма основных пакетов для работы с моделированием МШУ

Пакет Model.Simulators содержит классы, которые отвечают за моделирование каждого варианта соединения схемы.

В свою очередь, пакет SimulatingComponents содержит класс FastLinearAnalysis, который содержит формулы для расчета характеристик различных специализированных видов соединений элементов и цепей.

Интерфейс IElement композирует коллекцию дочерних элементов IElement. Таким образом, представление схемы в программе реализовано в виде дерева. Моделирование схемы происходит путем обхода дерева элементов в глубину и вызова у них метода Simulate.

В предложенном алгоритме реализация IElement описывает табличную модель СВЧ-элемента, полученную из библиотеки элементов в САПР [3]. Для схематиков моделирование представляет собой сложение результатов моделирования дочерних элементов по формулам сложения четырехполюсников, которые зависят от типа соединения [4].

Максимальная относительная ошибка параметров рассеяния схем, смоделированных с помощью предложенного алгоритма в сравнении с параметрами, смоделированными в сторонней САПР, составила $1,1 \cdot 10^{-10} \%$, что говорит о высокой точности решения. Описанный алгоритм внедрен в программу структурно-параметрического синтеза СВЧ МШУ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Babak L.I. A new genetic-algorithm-based technique for low noise amplifier synthesis / L.I. Babak, A.A. Kokolov, A.A. Kalentyev, D.V. Garays // Microwave Integrated Circuits Conference (EuMIC), 2012 7-th European. – 2012. – PP. 381–384.

2. Горяинов А.Е. Применение генетического алгоритма в задаче синтеза линейных интегральных СВЧ-усилителей с распределенным усилением / А.Е. Горяинов, Т.Н. Файль, Ю.А. Новичкова, А.А. Калентьев, А.С. Сальников // Матер. XVI Междунар. науч.-практ. конф. «ЭССУ»: в 2 ч. – Томск: В-Спектр, 2020. – Ч. 1. – С. 64–67.

3. Новичкова Ю.А. Проблема использования библиотек моделей компонентов для синтеза СВЧ-устройств / Ю.А. Новичкова, Т.Н. Файль, А.Е. Горяинов, А.А. Калентьев // Интеллектуальные системы проектирования технических устройств: матер. докл. Междунар. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых «Научная сессия ТУСУР–2021»: в 3 ч. – Томск: В-Спектр, 2021. – Ч. 1. – С. 109–111.

4. Бакалов В.П. Основы теории электрических цепей и электроники. – М.: Радио и связь, 1989. – 528 с.

УДК 528.8

ПРОТОТИП МОДУЛЯ ОБРАБОТКИ СПЕКТРАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МАТРИЦ ДЛЯ ПОЛУЧЕННЫХ С БПЛА ИЗОБРАЖЕНИЙ

Д.С. Смирнов, аспирант каф. АСУ

Научный руководитель М.Ю. Катаев, проф. каф. АСУ, д.т.н.

г. Томск, ТУСУР, the.smd.public@gmail.com

Описаны входные данные для проведения обработки спектральных характеристик матриц. Проведен анализ результатов обработки БПЛА-изображений.

Ключевые слова: БПЛА, ДЗЗ, EXIF, RGB, цифровые камеры, матрицы.

В современном мире одной из сфер с быстрым технологическим развитием является область дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). Все большую популярность набирает тренд использования беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) в качестве средств для сбора изображений, содержащих информацию о поверхности Земли. Немаловажной проблемой ДЗЗ остается задача получения достоверных данных о реальном состоянии почвы и растительности, поскольку правильное восприятие отраженного от них солнечного излучения затрудняется множеством ограничивающих факторов, одними из которых являются спектральные характеристики матриц [1].

Работа с исходными изображениями без использования коррекции возможна, но недостаточная достоверность обрабатываемых данных приводит к понижению качества как результатов анализа текущей ситуации касательно почвенно-растительного слоя, так и прогноза будущего состояния почвы.

В рамках решения данной задачи был разработан прототип программного обеспечения в виде модуля, позволяющего производить обработку изображений, полученных с БПЛА, по спектральным характеристикам матриц. В качестве исходных данных использовались изображения, полученные на изучаемом поле, которое находится в Заречном участке 2-м Томской области в период с июня по август 2019 г., на котором выращивалась пшеница озимая. Снимки были сделаны на цифровую камеру, установленную на БПЛА DJI-2 в следующие временные точки: 10.08.2019 11:38 и 17.08.2019 11:13. Исходные снимки содержат метаданные в формате EXIF [2], позволяющие хранить GPS-координаты, а также высоту камеры в момент съемки. Изображения содержат координаты 56.62301 и 56.462288 северной широты, 84.91852 и 84.918536 восточной долготы соответственно. В момент съемки азимутальные углы Солнца составляли 134,7 и 136,2, зенитные – 42,1 и 40,3 соответственно [3].

Большинство производителей фотоаппаратуры разрабатывают и настраивают собственные матрицы. Соответственно, характеристики матриц разных производителей отличаются. На рис. 1 представлены спектральные характеристики матриц Canon 5D и Kodak-DCS-200. Первая матрица достаточно равномерно поглощает все спектры солнечного излучения, из общей картины немного выбивается красный канал. Вторая матрица поглощает в красном и зеленом спектре практически всю энергию, которая проходит через объектив. Синий канал наоборот – фиксирует лишь около 20% солнечного излучения. Спектральные характеристики матриц представлены заранее загруженным набором данных.

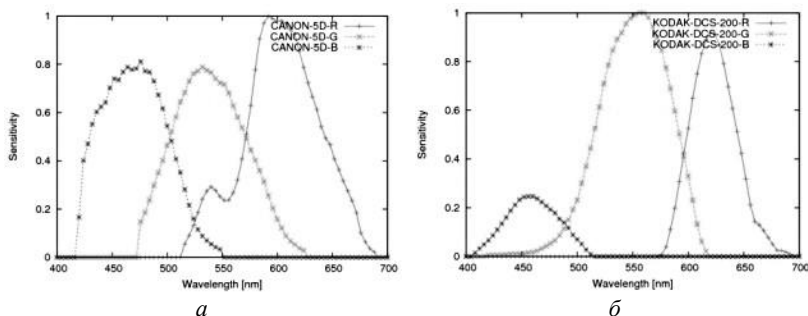


Рис. 1. Спектральные характеристики матриц цифровых камер:
а – Canon 5D; б – Kodak-DCS-200

Распределения исходных и обработанных пикселей для каждого канала представлены на рис. 2.

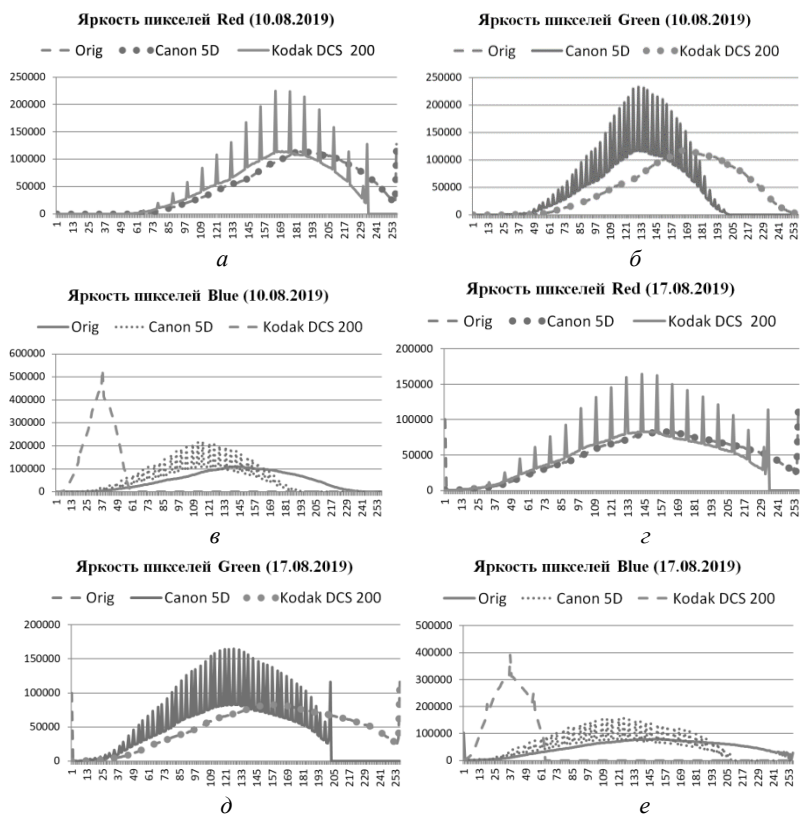


Рис. 2. Яркости пикселей для исследуемых изображений и матриц

Из рис. 2 можно сделать следующие выводы:

1. Исходные яркости имеют значительный вес в красном и зеленом спектре и менее значительный в синем. Для зеленого канала данная особенность объясняется тем, что растения содержат пигмент хлорофилл, который отражает солнечное излучение в зеленом спектре. Красный канал находится достаточно близко к инфракрасному (ИК) спектру, благодаря которому происходит тепловое воздействие на растения и их листья.

2. Между матрицами Canon 5D и Kodak-DCS-200 возникла весовая разница в синем спектре. На рис. 1 можно видеть, что вторая матрица воспринимает энергию синего канала только на 20% что и сдвигает для нее пик яркости синего спектра в левую область графика.

3. На момент 17.08.2019 озимая пшеница подходила к концу своего вегетационного цикла, за счет чего некоторые ее элементы начинали отражать всю яркость спектров, что отображено в виде пиков в правой части графиков. Соответственно, в момент коррекции данные пики переместились в конец обработанных графиков, что представлено как резкие обрывы яркостей.

Таким образом, анализ существующих методов обработки яркости полученных с БПЛА изображений, а также разработка собственных модулей коррекции является важной и крайне актуальной задачей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Методика измерения спектральных характеристик матричных приемников любительских и профессиональных фотокамер и их применение для задач цифровой голографии [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?doi=10.7868/S0030403413100097>, свободный (дата обращения: 01.03.2023).

2. Метаданные в цифровой фотографии [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.ixbt.com/digimage/metadxphtml>, свободный (дата обращения: 04.03.2023).

3. Азимут и высота солнца над горизонтом [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://planetcalc.ru/320>, свободный (дата обращения: 08.03.2023).

УДК 004.054

ТЕСТИРОВАНИЕ API WEB-ПРИЛОЖЕНИЙ

Н.С. Вершинина, З.А. Чепурова;

Н.В. Зариковская, доцент каф. АОИ, к.ф.-м.н.

г. Томск, ТУСУР, ООО «АльдераСофт», vershininans@aldera-soft.ru

Рассматриваются особенности ручного тестирования API Web-приложений.

Ключевые слова: тестирование, Web-приложение, API, Application Programming Interface.

В текущих реалиях развития рынка разработки программных комплексов важным этапом стабилизации Web-приложения является тестирование backend (серверной составляющей). Слой API (Application Programming Interface, программный интерфейс приложения) – важная часть любой системы с клиент-серверной архитектурой, так как он является способом взаимодействия backend и frontend (клиентская составляющая), а также позволяет различным сервисам использовать функциональные возможности друг друга. Тестирование

API – критически важный этап тестирования не только backend, но и всего Web-приложения, так как оно позволяет минимизировать количество затрачиваемых ресурсов на исправление дефектов высокого приоритета на ранних стадиях разработки (например, еще до появления клиентского интерфейса).

В Web-приложениях чаще всего используются API, которые базируются на HTTP (HyperText Transfer Protocol, протокол передачи гипертекста). Для тестирования необходимо понимать, на основе какого программного интерфейса спроектирована система, так как от этого зависит, какие инструменты и форматы обмена данными будут использоваться в работе. Наиболее распространены HTTP Web API, представленные в списке:

- SOAP (Simple Object Access Protocol, простой протокол доступа к объектам);
- REST (Representational State Transfer, передача состояния представления).

Кроме того, от типа доступа API выбираемые способы тестирования также могут изменяться. Классификация программных интерфейсов по виду доступа:

- внутренние API (доступны внутренним разработчикам компании и сотрудникам);
- партнерские API (доступны бизнес-партнерам и потребителям продукта или услуги);
- публичные API (доступны всем).

Помимо проверки реализации бизнес-логики на соответствие заявленным к системе требованиям, во время тестирования API проверяются:

- HTTP код ответа;
- заголовки ответа;
- тело ответа и содержащаяся в нём полезная информация;
- соответствие атрибутов, передаваемых в запросе, со связанными полями в базе данных;
- время отработки запроса;
- требования к авторизации запроса и политикам доступа.

Во время тестирования также учитываются:

- типы вызываемых запросов – синхронные или асинхронные;
- субъекты, инициирующие вызовы, – пользователь или система;
- время и способ вызова, например, по заданному расписанию или после соответствующего действия пользователя или системы.

Для тестирования API существует множество инструментов, которые отличаются поддерживаемыми форматами передачи данных,

широтой предоставляемого функционала и наличием или отсутствием графического интерфейса. Наиболее популярными инструментами являются:

- Postman – инструмент с графическим интерфейсом для работы с REST API;
- Swagger – инструмент документирования API;
- SOAP UI – инструмент с графическим интерфейсом для работы с REST API и SOAP;
- cURL – универсальная кроссплатформенная утилита командной строки, которая может работать не только с HTTP-протоколом, но и с другими.

Используя информацию, приведенную в статье, можно минимизировать количество затрачиваемых ресурсов на исправление дефектов путем выявления их на ранних этапах разработки Web-приложения.

ЛИТЕРАТУРА

1. API–MDN Web Docs [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://developer.mozilla.org/ru/docs/Glossary/API>, свободный (дата обращения: 14.02.2023).
2. SoapUI: The World's Most Popular API Testing Tool [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.soapui.org>, свободный (дата обращения: 17.02.2023).
3. What Is API Testing? [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.postman.com/api-platform/api-testing>, свободный (дата обращения: 12.02.2023).
4. What is REST [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://restfulapi.net>, свободный (дата обращения: 20.02.2023).

ПОДСЕКЦИЯ 3.7

ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ СРЕДСТВА ПОДДЕРЖКИ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ

*Председатель – Хабибулина Н.Ю., декан ФВС,
доцент каф. КСУП, к.т.н.;
зам. председателя – Потапова Е.А., ст. преп. каф. КСУП*

УДК 004.94

ВЛИЯНИЕ ПОРИСТОСТИ КЕРАМИКИ НА ОСНОВЕ ГИДРОКСИАПАТИТА НА ИНТЕНСИВНОСТЬ ТЕРАГЕРЦОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Д.Д. Скоробогатов, студент каф. АСУ;

Г.В. Белоус, студент каф. АОИ;

А.Е. Резванова, Б.С. Кудряшов, ИФПМ СО РАН

*Научный руководитель А.Н. Пономарев, доцент каф. КСУП, к.ф.-м.н.
г. Томск, ТУСУР, danilskor2000@mail.ru*

Построены модели керамических материалов на основе гидроксиапатита с добавлением многостенных углеродных нанотрубок при помощи программного пакета Comsol Multiphysics. Проведено моделирование пор в структуре материалов в диапазоне диаметров, соответствующих экспериментальным данным.

Ключевые слова: гидроксиапатит, углеродные нанотрубки, COMSOL Multiphysics, ТГц-излучение, интенсивность излучения.

Создание и исследование керамических материалов из гидроксиапатита (ГА) с добавлением многостенных углеродных нанотрубок (МУНТ) является трудозатратным и трудоемким процессом, требующим дорогостоящего оборудования для производства. Для оптимизации данного процесса можно применить компьютерное моделирование различных свойств материалов, варьируя их геометрические параметры.

Работа направлена на создание компьютерных моделей керамических материалов на основе ГА, а также с добавками МУНТ. Модели были построены при помощи программного пакета Comsol Multiphysics. Параметры для моделей были основаны на экспериментальных данных.

Алгоритм создания моделей пористых материалов с включениями в виде МУНТ нанотрубок:

1. При создании модели за основу берется цилиндр с радиусом 20 мкм и высотой 40 мкм.

2. Далее в цилиндре вырезаются поры в виде шаров со случайно заданными радиусами (от 0,1 мкм до 1 мкм).

3. Затем в каждую из пор добавляется случайное количество (от 5 до 15) МУНТ в виде цилиндров с радиусом 9 нм и длиной 5 мкм.

4. Вокруг внешнего слоя МУНТ накладывается слой в виде трубок из ГА с радиусом 45 нм и длиной, равной длине МУНТ, так как при создании керамических образцов также происходит налипание ГА на МУНТ.

5. Затем МУНТ и внешний слой ГА обрезаются по контуру основного цилиндра из ГА, так как при спекании образцов на поверхности выгорают МУНТ.

Создание модели композитной керамики на основе ГА с добавлением МУНТ представлено на рис. 1.

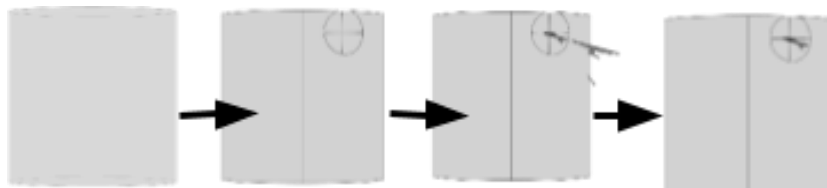


Рис. 1. Этапы создания модели композитной керамики на основе ГА с добавлением МУНТ

В результате выполнения представленного алгоритма действий были созданы модели образцов с количеством пор от 1 до 7 и с пористостью 0,8; 1,6; 3,1; 5,8; 6,7; 7,8; 12,3% соответственно.

При помощи моделирования распространения ТГц-излучения через образцы получены значения интенсивностей излучения прохождения через модели. Для создания модели ТГц-излучения были проанализированы литературные данные и заданы показатели преломления для ГА, равные 1,64 [1] и для МУНТ, равные 1,55 [2]. При этом вокруг модели образца находится вакуум, показатель преломления которого равен 1.

Результаты моделирования представлены в таблице, где модели 1 – керамика ГА с добавками МУНТ, покрытых слоем ГА; 2 – керамика ГА с трубками из ГА, которые являются покрытием МУНТ; 3 – керамика ГА без добавок МУНТ.

Интенсивность излучения после прохождения через модели образцов

Количество пор	Модель 1		Модель 2		Модель 3	
	Пористость, %	Интенсивность, мВт/м ²	Пористость, %	Интенсивность, мВт/м ²	Пористость, %	Интенсивность, мВт/м ²
1	0,815	878382	0,827	878389	0,865	878634
2	1,630	835761	1,642	835041	1,71	839413
3	3,081	832862	3,093	832085	3,170	833413
4	5,839	824972	6,175	824329	6,187	825254
5	6,659	819076	6,672	811397	6,824	819565
6	7,754	765008	7,665	762408	7,919	750604
7	12,337	748048	12,377	748852	12,553	742168

Установлено, что с увеличением пористости материала выходная интенсивность излучения уменьшается, так как при прохождении через сферическую поверхность поры излучение рассеивается. При этом наименьшее значение интенсивности показывают образцы с трубками из ГА. Таким образом, основное влияние на прохождение ТГц-излучения оказывают не добавки МУНТ, а уменьшение пористости при добавлении ГА в модель образца.

Заключение. В результате использования программного пакета COMSOL Multiphysics были созданы модели керамических материалов на основе ГА, а также с добавлением МУНТ. Для анализа изменения интенсивностей ТГц-излучения при прохождении через полученные модели образцов количество пор в моделях варьировалось от 1 до 7. Пористость моделей составляла 0,8; 1,6; 3,1; 5,8; 6,7; 7,8; 12,3%. Установлена обратная зависимость выходной интенсивности от пористости моделей образцов. Наименьшие значения интенсивности при прохождении излучения выявлены у образцов с трубками из ГА, что говорит о том, что наибольший вклад в изменение интенсивности ТГц-излучения вносит изменение пористости.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИФПМ СО РАН, тема № FWRW-2022-0002.

ЛИТЕРАТУРА

1. Holzmann D. et al. Hydroxyapatite nanoparticles as novel lowrefractive index additives for the longterm UVphotoprotection of transparent composite materials // Journal of Materials Chemistry. – 2009. – Vol. 19, No. 43. – P. 81028106.
2. Song B. et al. Giant gate-tunability of complex refractive index in semiconducting carbon nanotubes // ACS Photonics. – 2020. – Vol. 7, No. 10. – PP. 2896–2905.

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 504.054

ВЛИЯНИЕ КОМБИНИРОВАННОГО ДЕЙСТВИЯ СМЕСИ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В АТМОСФЕРНОМ ВОЗДУХЕ

Г. ТОМСКА

О.В. Бадер, студент каф. РЭТЭМ

*Научный руководитель А.А. Мицель, проф. каф. РЭТЭМ, д.т.н.
г. Томск, ТУСУР, baderolga6@gmail.com*

Целью работы является изучение воздействия смеси загрязняющих веществ, обладающих эффектом суммации. В ходе выполнения данного исследования необходимо оценить влияние комбинированного действия смеси оксида углерода и взвешенных частиц пыли на качество атмосферного воздуха в г. Томске. Используя данные по загрязнителям за 2022 г., следует выяснить, превосходит ли сумма отношения концентраций веществ заданной нормативной величины, вследствие чего можно сделать вывод о качестве воздуха города.

Ключевые слова: эффект суммации, оксид углерода, взвешенные частицы пыли, фактическая и предельно допустимая концентрации вещества.

Под эффектом суммации понимается взаимодействие двух или более загрязняющих веществ, оказывающих одностороннее пагубное влияние на организм человека. Действие таких веществ поражает одни и те же органы человека, что в любом случае приводит к ухудшению общего самочувствия [1].

Принято считать, что сумма веществ, одновременно содержащихся в воздухе, не должна превышать единицы. Используя данные по концентрациям содержания загрязнителей и их предельно допустимые концентрации, возможно оценить качество воздуха по территории города, используя нижеприведенную формулу [1]:

$$\frac{C_1}{ПДК_1} + \frac{C_2}{ПДК_2} + \dots + \frac{C_n}{ПДК_n} \leq 1, \quad (1)$$

где C_1, C_2, \dots, C_n – данные по концентрациям содержания загрязняющих веществ; ПДК₁, ПДК₂, ПДК_n – предельно допустимые концентрации загрязняющих веществ.

Среди загрязняющих веществ, обладающих эффектом суммации, были рассмотрены оксид углерода СО и взвешенные частицы пыли РМ. Данные по веществам были собраны по районам города. В каждом районе рассматривалось фиксированное количество улиц – 5 (табл. 1).

Таблица 1

Данные по концентрациям СО и РМ по г. Томску

Ленинский район					
Наименование вещества	пл. Ленина	пр. Мира – Дальне-Ключевская	пл. Ленина – Дальне-Ключевская	ул. К. Ильмера, 6	пр. Мира – ул. Ф. Мюнниха
Оксид углерода	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4
Взвешенные частицы пыли	0,15	0,15	0,26	0,15	0,15
Кировский район					
Наименование вещества	Лагерный сад	ул. Мокрушина – ул. Нефтяная	ул. Красноармейская (Факел)	пр. Кирова – ул. Елизаровых	пр. Кирова, 37
Оксид углерода	2,4	2,56	2,4	2,4	2,4
Взвешенные частицы пыли	0,56	0,26	0,48	0,96	0,26
Советский район					
Наименование вещества	пр. Фрунзе – ул. Красноармейская	ул. Никитина, 26	ул. Крылова, 2	Буфф-сад	ул. Сибирская – пр. Комсомольский
Оксид углерода	2,4	2,56	2,4	2,4	2,4
Взвешенные частицы пыли	0,77	0,26	0,38	2,9	2,7
Октябрьский район					
Наименование вещества	ул. Суворова – Иркутский тракт	пр. Комсомольский – ул. Пушкина	ДНТ Авангард	ул. Герасименко – ул. Бирюкова	ул. Беринга – ул. Лазо
Оксид углерода	2,4	2,56	2,4	2,4	2,4
Взвешенные частицы пыли	0,28	0,92	0,24	0,26	0,95

Проведем расчет и проверим выполнение неравенства (1) для каждого района города. Расчеты были проведены в программной среде Mathcad 15 (табл. 2).

Отметим, что ПДК_{сс} СО и РМ составляет 5 и 0,5 м/м³ соответственно.

Таблица 2

Результаты проведения расчетов в г. Томске

Ленинский район				
пл. Ленина	пр. Мира – Дальне- Ключевская	пл. Ленина – Дальне- Ключевская	ул. К. Ильмера, 6	пр. Мира – ул. Ф. Мюнниха
0,78 < 1	0,78 < 1	1	0,78 < 1	0,78 < 1
Кировский район				
Лагерный сад	ул. Мокрушина – ул. Нефтяная	ул. Красноар- мейская (Факел)	пр. Кирова – ул. Елизаровых	пр. Кирова, 37
1,6 > 1	1,03 > 1	1,44 > 1	2,4 > 1	1
Советский район				
пр. Фрунзе – ул. Красноар- мейская	ул. Никитина, 26	ул. Крылова, 2	Буфф-сад	ул. Сибир- ская – пр. Комсо- мольский
2,02 > 1	1,03 > 1	1,24 > 1	6,28 > 1	5,88 > 1
Октябрьский район				
ул. Суворова – Иркутский тракт	пр. Комсомоль- ский – ул. Пуш- кина	ДНТ Авангард	ул. Герасимен- ко – ул. Бирю- кова	ул. Беринга – ул. Лазо
1,07 > 1	2,32 > 1	0,96 < 1	1	2,38 > 1

В ходе проведения исследования рассчитали оценку влияния смеси СО и РМ на состояние атмосферного воздуха г. Томска. В трех районах города выявлено повышенное суммарное действие двух веществ.

По завершении работы выстроили градацию районов по степени загрязнения атмосферного воздуха от «наименее» к «наиболее»: Ленинский, Октябрьский, Кировский и Советский.

Повышенное содержание данных загрязняющих веществ и их смесь в целом оказывает негативное воздействие преимущественно на органы дыхательной системы человека, что впоследствии может привести к возникновению и дальнейшему развитию таких заболеваний, как фарингит, бронхит, пневмония и бронхиальная астма [3].

ЛИТЕРАТУРА

1. Действие смесей загрязняющих веществ в атмосферном воздухе [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://studfile.net/preview/1978597/page:4/> (дата обращения: 10.02.2023).
2. Данные по загрязняющим веществам атмосферного воздуха в г. Томске [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://depnature.tomsk.gov.ru/> (дата обращения: 16.09.2022).
3. Заболевания, возникающие вследствие загрязнения атмосферного воздуха [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://prana.moscow/o_kislorode/articles/bolezni-cheloveka-voznikayushchie-vsledstvie-zagryazneniya-atmosfernogo-vozdukha/ (дата обращения: 10.02.2023).
4. Вершинин В.Л. Экология города: учеб. пособие. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2014. – 88 с.

УДК 631.963.3

РАЗРАБОТКА УСТОЙЧИВЫХ И ЭФФЕКТИВНЫХ АГРОЭКОСИСТЕМ ДЛЯ КОСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

А.Н. Грицина, Н.В. Белов, студенты

Научные руководители: Н.Н. Терещенко, д.биол.н., доцент;

Е.Г. Незнамова, к.биол.н., доцент

*Проект ГПО РЭТЭМ-2002. Создание резистентных агросистем
малого объема*

*г. Томск, ТУСУР, каф. РЭТЭМ, neznamova@main.tusur.ru,
natalia.n.tereshchenko@tusur.ru? Grizina02@yandex.ru*

Описана методика, направленная на проверку стабильности небольшой агроэкосистемы, которая могла бы представлять собой космическую оранжерею. Эксперимент включал моделирование лунного грунта с добавлением к нему органической части субстрата и создание органоминерального субстрата экосистемы с редуцентами в трех вариантах. Изложены этапы создания субстрата и сроки, объект исследования, адаптация червей, моделирование лунной почвы, создание органических добавок для почвы, а также результаты эксперимента, который показал возможность сборки органической части субстрата будущей экосистемы с тремя видами пищевых добавок, пригодных для жизни калифорнийских червей.

Ключевые слова: лунный грунт, субстрат, базилик, искусственное освещение, черви.

В последние годы растет интерес к разработке устойчивых и эффективных методов производства продуктов питания, особенно в контексте освоения и колонизации космоса. Поскольку люди продолжают выходить за пределы нашей планеты, необходимость в самодостаточ-

ных сельскохозяйственных системах, которые могут работать во внеземных условиях, становится все более актуальной. Одним из предлагаемых решений является использование космических теплиц, которые могут обеспечить закрытую и контролируемую среду для роста растений. Однако успех таких систем зависит от стабильности агроэкосистемы, которая, в свою очередь, зависит от состава и качества используемого субстрата. Целью эксперимента было проверить стабильность небольшой агроэкосистемы, которая могла бы представлять собой космическую теплицу, путем имитации лунного грунта с добавлением органической части субстрата. Задачи эксперимента включали: создание органоминерального субстрата экосистемы с редуцентами, которыми были калифорнийские черви, в трех различных вариантах [1].

На первом этапе калифорнийские черви используются в качестве редуцентов для создания оптимальной среды для роста растений в экосистеме. Черви прошли период адаптации, роста и развития в 8-литровом ведре, наполненном торфом с влажностью 80%, где им раз в неделю давали банановые шкурки в качестве пищи. После этого их переселили в контейнеры с органическими добавками, где их познакомили с органической частью субстрата. На втором этапе была смоделирована лунный грунт с использованием габбро-диабазовой породы и органической части, состоящей из торфа, смешанного с растительными отходами в соотношении 1:1. Были сформированы три различные органические добавки, а именно: торф с банановыми шкурками, торф с овощными очистками и торф с остатками тепличных растений. На третьем этапе в полученную среду были высажены базилик и руккола для обеспечения плодородности субстратов. Исследование представляет собой перспективный подход к разработке устойчивой сельскохозяйственной системы для освоения космоса [2].



Рис. 1. Базилик при искусственном освещении

После того как был разработан идеальный субстрат для выращивания растений, было обращено внимание на вопрос обеспечения достаточного освещения для процветания зеленых растений. Естественный солнечный свет может быть недоступен в космосе, поэтому необходимо использовать искусственные источники света. Нами были выбраны различные типы светодиодных ламп, которые излучали 10 000 люкс света, чтобы определить оптимальные условия освещения для растений.

Когда растения подвергаются воздействию искусственного света светодиодных ламп, излучающих 10 000 люкс, они могут расти и развиваться быстрее, чем в условиях естественного освещения. Это происходит потому, что искусственный свет можно настроить таким образом, чтобы он излучал свет определенной длины волны, необходимый растениям для оптимального роста [3].

Например, базилик, популярная трава, используемая в кулинарии, требует много солнечного света для роста и процветания. Так как у нас не было достаточно естественного света, было решено использовать искусственное освещение, которое позволяет продлить время нахождения базилика на свету, что способствует более быстрому росту и здоровым листьям. Кроме того, использование искусственного освещения позволяет контролировать световой цикл и интенсивность света, гарантируя, что наше растение базилика получает оптимальное количество света для его стадии роста [4].

В заключение следует отметить, что разработка устойчивых агросистем для освоения космоса становится все более актуальной. Использование космических теплиц может обеспечить закрытую и контролируемую среду для роста растений, но успех таких систем зависит от стабильности агроэкосистемы, которая, в свою очередь, зависит от состава и качества используемого субстрата.

В эксперименте проверялась стабильность небольшой агроэкосистемы путем моделирования лунного грунта с добавлением органической части субстрата. Результаты эксперимента показали перспективность подхода к разработке устойчивой агроэкосистемы для внедрения космических оранжерей. Кроме того, использование искусственного освещения позволяет создать оптимальные условия для зеленых растений. Дальнейшие исследования и в этой области будут иметь решающее значение для успеха долгосрочного освоения космических оранжерей [5].

ЛИТЕРАТУРА

1. Космические оранжереи: настоящее и будущее / Ю.А. Беркович, Н.М. Кривобок, С.О. Смолянина, А.Н. Ерохин. – М.: Слово, 2005 – 368 с.

2. Чачина С.Б. Использование дождевых червей: навозный червь и калифорнийский червь для разложения отходов. – Омск: ОмГТУС. – С. 5–15.
3. A Physical Modeling Approach for Higher Plant Growth in Reduced Gravity / Lucy Poulet, Jean-Pierre Fontaine, Claude-Gilles Dusap. – France, 2018.
4. Нетёсов С.В. Влияние светодиодных ламп на рост растений / С.В. Нетёсов, И.П. Лапшин, А.В. Козлов // Мир инноваций. – 2020. – № 1. – С. 11–14.
5. Разработка технологии выращивания и выбор овощных листовых культур для космических оранжерей / М.А. Левинских, О.Б. Сигналова, Т.А. Дерендяева, О.Г. Ливанская и др. // Авиакосмическая и экологическая медицина. – 2001. – Т. 35, №1. – С. 61–67.

УДК 339.97:338.2

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ НЕФТЯНОГО ПЯТНА В ВОДОЕМАХ НЕЙРОСЕТЕВЫМИ АЛГОРИТМАМИ

Я.В. Гребнев, А.Э. Петрунина,

А.К. Москалев, проф. каф. ЭФииТ, к.ф.-м.н.

*г. Красноярск, ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет»,
Институт инженерной физики и радиоэлектроники,
yaroslav.grebnev@gmail.com, biowolf-kras@mail.ru,
ak_moskalev@mail.ru*

Рассмотрен подход к задаче прогнозирования масштабов разлива нефтепродуктов на гидротехнических сооружениях на примере аварии, произошедшей на Саяно-Шушенской ГЭС в 2009 г. Произведен сравнительный анализ использования методов математического моделирования и нейросетевого прогнозирования к задачам прогнозирования масштабов разлива нефтепродуктов на гидротехнических сооружениях. В работе решалась задача расчета распределения концентрации загрязняющих веществ и прогнозирование площади загрязнения с момента возникновения и до момента ее локализации аварии.

Ключевые слова: моделирование, прогнозирование, нейронные сети, математическое моделирование, мониторинг чрезвычайных ситуаций.

Вопреки предпринимаемым мерам по защите промышленного сектора от различного рода аварий, их количество не сокращается и имеет тенденцию к росту масштабов и ущерба, наносимого экономике и окружающей среде. В настоящей работе приводится пример одной из таких техногенных аварий, произошедшей 17.09.2009 г. на Саяно-Шушенской ГЭС, где в результате разрушения и затопления машинного зала, произошла утечка трансформаторного масла. В р. Енисей

попало более 80 т масла и образовалось нефтяное пятно. Поскольку в течение первых 4 дней все аварийно-спасательные работы были направлены на ликвидацию последствий аварии на гидротехническом сооружении и разбор завалов, ресурсов для ликвидации нефтяного пятна было недостаточно, и производился лишь мониторинг распространения нефтепродуктов. Распространяясь естественным образом, данная аварийная ситуация позволяет наилучшим образом произвести имитационное моделирование и составление прогнозной модели для аналогичных случаев возникновения аварийных ситуаций и произвести корректировку плана действия на ликвидацию нефтяных разливов на гидротехнических сооружениях.

Математически решение задачи прогнозирования распространения нефтепродуктов в водоеме сводится к решению уравнений Рейнольдса для турбулентного течения, а также концентрации загрязняющих веществ и уравнений энергии [1].

Имитационное моделирование и прогнозирование развития аварийной ситуации на гидротехническом сооружении производилось с использованием программно-аналитического комплекса Phoenix [2] и библиотеки Scikit-Learn на языке программирования Python основанной на методологии теории нейронных сетей [3]. Массив данных о нефтяном разливе, произошедшем в районе Саяно-Шушенской ГЭС, для целей имитационного моделирования и прогнозирования был получен из ФГБУ «Среднесибирский УГМС» и Главного управления МЧС России по Красноярскому краю. Входные параметры для прогнозирования нейронной сетью и размерность векторов признаков были установлены эмпирическим путем. Для прогнозирования разлива нефтепродуктов на реке Енисей использовалась многослойная нейронная сеть с 12 слоями и числом нейронов скрытых слоев, равным 204. Процент достоверности результатов был в пределах 83–87%.

Задача распространения нефтяного пятна по течению реки Енисей решалась посредством имитационного моделирования и нейросетевого прогнозирования. Обучение и тестирование нейронной сети осуществлялось по заранее заданным характеристикам в соответствии с данными ежедневного мониторинга распространения нефтепродуктов, таких как данные о площади загрязнения, скорость ветра, скорость течения реки и другие параметры.

Применяя описанные выше данные, было выполнено обучение нейронной сети и произведено моделирование распространения нефтяного пятна по течению реки Енисей нейронной сетью и программным продуктом phoenix. Результаты решений верифицировались с численным методом решения данной задачи посредством ис-

пользования метода уменьшения размеров контрольных объемов и данных ежедневного мониторинга. Полученные результаты представлены в таблице.

**Анализ результатов моделирования в сравнении
с данным ежедневного мониторинга**

Дата	Площадь фак- тическая, м ²	Площадь расчетная phoenics, м ²	Площадь расчетная, полу- ченная нейронной сетью, м ²
17.08.2009	14500	12140	14640
18.08.2009	28100	19513	30460
19.08.2009	40300	29651	38360
20.08.2009	48000	38413	56820
21.08.2009	53500	47621	63460
22.08.2009	64800	56331	66860
23.08.2009	66050	65123	67900

Проведенное моделирование демонстрирует острую проблему незамедлительного реагирования на токсическое заражение окружающей среды, поскольку данные о площади растекшихся нефтепродуктов демонстрируют острую проблему. Задержать распространение нефтепродуктов получилось только на 4-е сутки после начала загрязнения путем установления боновых заграждений и применения сорбентов, что отразилось на адекватности результатов, получаемых нейросетевой моделью, в сторону увеличения ошибки, поскольку посредством модели спрогнозировать время начала применения сорбентов и боновых заграждений невозможно. Однако уже на 6-е сутки удалось скорректировать модель с учетом новых вводных параметров и снова получить результаты, не выходящие за рамки доверительного интервала.

Численная модель, полученная посредством применения программного продукта PHOENICS, продемонстрировала более скромные результаты эффективности в сравнении с реальными значениями мониторинговых данных, однако в целом позволяет оценить порядок распространения нефтепродуктов. Нейросетевая модель учитывает большее количество параметров и позволяет получать более точную модель прогнозирования, однако требует больше времени для подготовки массива данных и обучения нейронной сети. Полученные результаты продемонстрировали возможность применения методов нейросетевого прогнозирования для решения задачи прогнозирования площади разлива нефтепродуктов.

Исследование выполнено при поддержке Красноярского краевого фонда науки в рамках реализации проекта «Применение технологий

искусственного интеллекта для решения задач оценки рисков возникновения чрезвычайных ситуаций, вследствие климатических особенностей северных и арктических территорий» № КФ-915.

ЛИТЕРАТУРА

1. Белов И.А., Моделирование турбулентных течений: учеб. пособие / И.А. Белов, С.А. Исаев. – СПб.: Балт. гос. техн. ун-т, 2001. – 108 с.
2. Python [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.python.org/>
3. Official website of Phoenix software [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.cham.co.uk/phoenics.php>

УДК 574.24

КОМПЬЮТЕРНАЯ МОДЕЛЬ ВЛИЯНИЯ НЕФТИ НА ПРЕСНОВОДНЫХ РАКОВИННЫХ АМЕБ

А.А. Карулин, студент

*Научный руководитель А.Г. Карташев, проф. каф. РЭТЭМ, д.б.н.
г. Томск, ТУСУР, каф. РЭТЭМ, karulin.tusur@gmail.com*

Проведено исследование по влиянию нефтезагрязнений на пресноводных раковинных амёб. Разработана программа, способная оценить уровни загрязнений нефтью для сообществ раковинных амёб, и упрощающая работу с большими объемами экспериментальных данных.

Ключевые слова: пресноводные раковинные амёбы, нефтезагрязнения, характеристики сообществ.

Раковинные амёбы составляют необходимую компоненту биологического сообщества, участвуют в процессах разложения и используются при биоиндикации антропогенных загрязнений [1]. Пресноводные раковинные амёбы исследованы в меньшей мере относительно почвенных амёб. Сообщества почвенных раковинных амёб используются при биондикации нефтезагрязнений. Влияние нефти на пресноводных раковинных амёб не исследовано, и представлялось целесообразным изучить биотропность нефтезагрязнений пресноводных тестаций в лабораторных условиях.

Цель работы: разработка компьютерной модели влияния нефти на сообщества пресноводных раковинных амёб.

Задачи:

1. Изучение методов компьютерного моделирования.
2. Выдвижение гипотезы о характере влияния факторов на объект исследования.
3. Создание компьютерной модели.

Проведено математическое и компьютерное моделирование влияния нефти на сообщества раковинных амёб.

Проведен анализ экспериментальных данных средствами программы STADIA. В частности, использовались критерии Пирсона и Спирмена. На основе полученных данных разработана программа на языке Python.

Результаты и их обсуждение. На основании полученных данных построена реляционная модель влияния нефтезагрязнений на сообщества пресноводных раковинных амёб (табл. 1).

Таблица 1

Реляционная модель воздействия нефти на сообщества

Концентрация нефти, г/л	Время воздействия нефти, сутках	Разнообразие (индекс Шеннона)	Общая численность	Устойчивые семейства раковинных амёб
50	7	2,815	226	<i>Centropyxidae</i>
50	14	2,493	151	<i>Centropyxidae</i>
50	21	2,326	125	<i>Centropyxidae</i>
50	28	2,118	75	<i>Centropyxidae</i> , <i>Difflogiidae</i>
100	7	2,65	127	<i>Centropyxidae</i>
100	14	2,76	129	<i>Centropyxidae</i> , <i>Netzeiliidae</i>
100	21	2,23	55	<i>Centropyxidae</i> , <i>Difflogiidae</i>
100	28	2,157	44	<i>Centropyxidae</i>
200	7	2,763	52	<i>Centropyxidae</i> , <i>Netzeiliidae</i>
200	14	2,52	35	<i>Centropyxidae</i> , <i>Netzeiliidae</i>
200	21	2,23	32	<i>Centropyxidae</i>
200	28	2,46	34	<i>Centropyxidae</i>

Средствами программ STADIA и Excel получена корреляционная матрица, отражающая связи между переменными (табл. 2).

Таблица 2

Корреляционная матрица

	Концентрация нефти, г/л	Время, сут.	Разнообразие
Концентрация нефти, г/л	1,000		
Время, сут	0,000	1,000	
Разнообразие (индекс Шеннона)	-0,332	-0,689	1,000
Общая численность	-0,841	-0,424	0,727

Установлена сильная отрицательная связь между численностью особей в сообществе амёб и концентрацией нефти. Корреляция имеет обратный характер, что говорит о снижении численности пресноводных раковинных амёб при повышении концентрации нефти. Выделена умеренная обратная корреляция между индексом Шеннона и продолжительностью воздействий нефтезагрязнений на сообщества. Следовательно, разнообразие видов в сообществе амёб снижается с увеличением периода действия нефти.

На основе полученных данных была разработана программа на языке Python. Программа имеет большой потенциал для дальнейшего совершенствования и добавления новых функций. С помощью программы получилось подтвердить наличие нефтезагрязнений в среде обитания сообществ.

Заключение. Разработанная программа позволяет моделировать сообщества раковинных амёб путем ввода их характеристик, что позволяет оценить концентрации загрязнителя. С её помощью показано наличие нефтезагрязнений в среде обитания сообществ раковинных амёб. Код программы доступен по ссылке:

<https://colab.research.google.com/drive/1kA5wmqISU7XC64uwNf-HLbqXy92tOEJS>.

ЛИТЕРАТУРА

1. Карташев А.Г. Биоиндикация антропогенных загрязнений. – Томск: Изд. ТУСУР, 2019. – 226 с.
2. Карташев А.Г. Влияние нефти и нефтепродуктов и сеноманских растворов на сообщества раковинных амёб / А.Г. Карташев, Т.В. Денисова, Е.В. Кулюкина [Электронный ресурс] – Томск: ТУСУР, 2020. – 188 с.
3. Королев А.Л. Компьютерное моделирование и экология / А.Л. Королев, Е.С. Фролова. – М.: Инновационная наука, 2018.
4. Молокова Н.В. Математическое моделирование процессов нефтезагрязнения пористой среды // Вестник Сибирского гос. аэрокосмического ун-та им. акад. М.Ф. Решетнева. – 2010. – № 5(31). – С. 142–148.

УДК 622.882

РЕКУЛЬТИВАЦИЯ НАРУШЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ ДЛЯ ГАЗОТРАНСПОРТИРУЮЩИХ КОМПАНИЙ

Е.Р. Курылова, студентка каф. РЭТЭМ

*Научный руководитель А.П. Шкарупо, ст. преп. каф. РЭТЭМ
г. Томск, ТУСУР, 12.04.01.ekaterina41@gmail.com*

Рассмотрено влияние газотранспортирующих компаний на литосферу. Обоснована необходимость проведения рекультивационных работ. Предложены способы проведения биологического этапа ре-

культивации нарушенных земель в целях восстановления ландшафтных групп.

Ключевые слова: рекультивация, нарушенные земли, газовая промышленность, природные ландшафты, антропогенное воздействие.

Центральная подсистема биосферы – литосфера – ежегодно подвергается повышенному антропогенному воздействию. Нарушение функционирования минеральной плодородной части литосферы в результате техносферных процессов приводит к искажению структурных, качественных и количественных показателей почвы и уменьшению биомассы. Принимая во внимание тот факт, что ухудшение микробиологических и биологических почвенных процессов неминуемо отражается на функционировании круговоротов химических элементов и энергии в целом, необходимость в защитных, охранных и восстановительных экологических мероприятиях возрастает.

Газовая промышленность является важнейшей составляющей топливно-энергетического комплекса, а также приносящая большой вклад в экономику страны. Однако эта отрасль негативно влияет на литосферу, разнообразно изменяя ландшафты, разрушая пласты недр и загрязняя почву.

Главными источниками загрязнения являются нефтяной и газовый шлам, сточные и попутные воды, углеводороды, оксиды серы, газовый конденсат, нефть и нефтепродукты. Причинами загрязнения могут стать аварии при транспортировке или разработке скважин, разрывы нефтегазопроводов, нарушение герметичности технологического оборудования, несоблюдение правил пожарной безопасности и др. Причем, помимо аварийной обстановки окружающей среды, почвы, обладающие способностью накапливать весьма опасные загрязняющие вещества, долгое время могут сохранять их в цепочке круговоротов, что, в свою очередь, может пагубно отразиться на состоянии животного мира и в дальнейшем привести к возникновению серьезных заболеваний у населения.

Для предотвращения экологических катастроф или восстановления территорий вследствие антропогенного воздействия необходимы комплексные мероприятия, которые направлены на улучшение и сохранение элементов экосистемы. Российское законодательство предполагает необходимость выполнения рекультивационных работ нарушенных земель на этапе разработки технологических проектов.

Рекультивационные работы должны предусматривать восстановление всех элементов ландшафта с учетом хозяйственных, природных, санитарно-гигиенических и других требований общественности. Согласно ГОСТу 59057–2020, при сельскохозяйственных и лесохозяй-

зяйственных целях нарушенные земли должны проходить мелиоративную подготовку [1]. Помимо сведений о категории земель, формах собственности и правообладателях и размерах земельных участков для объектов распределения газа, необходимы характеристика природных условий района, опасных экзогенных процессов, наличие нарушенных земель и их формы нарушения вместе с причинами, почвенная характеристика участка.

Характеристика основывается на результатах инженерных изысканий, благодаря полученным данным от метеостанций, органов Росгидромета и местного самоуправления по запросам координаторов рекультивации [2].

В перечень работ биологического этапа могут входить:

- Посев семян растений. Наиболее часто используют многолетние травы: горчицу белую, овсяницу красную и клевер луговой.
- Посадка деревьев и кустарников. Традиционно используют березу, сосну обыкновенную и можжевельник.
- Внесение минеральных и органических удобрений.
- Предпосевное и послепосевное прикатывание почвы.
- Восстановительные работы по озеленению и благоустройству территорий.
- Залужению земель в границах водоохранных зон и др.

Целью данного этапа является восстановление земель до уровня, предшествовавшего строительным работам.

Исходя из общего положения и опираясь на совокупность научных фактов, заблаговременно запланированные и доброкачественно выполненные рекультивационные работы способны восстановить плодородие и продуктивность нарушенных земель, а также при ликвидации или сведении к минимуму негативного воздействия газотранспортирующих компаний можно создать более оптимизированные и организованные ландшафтные группы.

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ Р 59057–2020 «Охрана природы. Земли. Общие требования к рекультивации земель».
2. СТО Газпром 2-1.12-386–2009.

РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ ПЛАТФОРМЫ НА ОСНОВЕ ЛУНОЧНОГО ПОЛИСТИРОЛОВОГО ПЛАНШЕТА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ИОНОВ РТУТИ В ВОДЕ

Д.В. Логунова, студентка ОХИ ИШПР

*Научный руководитель Е.В. Дорожко, доцент ОХИ ИШПР, к.х.н.
г. Томск, НИ ТПУ, dvl14@tpu.ru*

Возросший интерес к электрохимическим (э/х) методам анализа объектов органической и неорганической природы представляет собой актуальную задачу для аналитической химии. Представлена методика создания электрохимической платформы на основе полистиролового планшета и углеродной черни, модифицированных наночастицами золота, для определения в воде, искусственно контаминированной ртутью с помощью инверсионной вольтамперометрии, а также установлены основные электрохимические условия регистрации сигнала окисления ртути. Предложен альтернативный метод мониторинга содержания ртути в водных объектах.

Ключевые слова: электрохимический метод анализа, наночастицы золота, определение ртути, инверсионная вольтамперометрия, углеродные чернила, луночный полистироловый планшет.

Одним из первых мест по токсичности среди веществ занимают соединения ртути, которые даже в незначительных количествах губительно влияют на живые организмы. Основная опасность вызвана способностью ртути накапливаться и вступать в реакции с белками и ферментами, что приводит к проблемам с иммунной, нервной и пищеварительной системами [1]. Поэтому содержание предельно допустимых концентраций ртути в воде строго регламентируется (0,00005 мг/мл) [2], а к чувствительности методик ее определения предъявляются высокие требования. Одним из таких высокочувствительных методов определения является инверсионная вольтамперометрия (ИВА).

В связи с этим впервые предлагается разработка электрохимического сенсора для определения содержания ионов ртути в водных объектах. Предложенная платформа позволит параллельно определять до 96 анализов, а также сократить время анализа и погрешность за счет отсутствия переноса анализируемого вещества в электрохимическую (э/х) ячейку. Также за счет устройства ячеек возможна работа с микрообъемами раствора, что удешевляет стоимость анализа за счет экономии реактивов.

В качестве рабочего электрода выступала поверхность углеродной черни, состоящая из $(0,020 \pm 0,005)$ г связующего полимера, рас-

творенного в $0,5 \text{ см}^3$ ацетоне с добавлением $(0,180 \pm 0,005) \text{ г}$ углеродной сажи, объем чернил, изолирующих медный контакт, составил 200 мкл.

Принцип создания многоканальных э/х ячеек представлен на рис. 1.

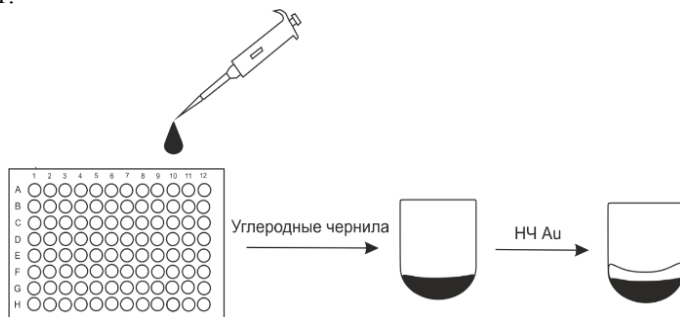


Рис. 1. Последовательность создания электрохимических ячеек в многоканальном сенсоре

В работе автора [3] использование золота в качестве металла-модификатора позволило снизить концентрацию определения ртути методом ИВА. На основании этого в данной работе предлагается модификация поверхности углеродных чернил наночастицами золота (НЧ Au) для достижения минимально возможного порога определения ртути.

Наночастицы золота синтезировали по следующему протоколу: при интенсивном перемешивании к закипевшему раствору $0,01\%$ $\text{HAuCl}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ объемом 20 мл прибавляли 400 мкл 1% раствора цитрата натрия до образования частиц размером от 17,0 до 24,5 нм (оранжевый цвет).

Испытание разработанных многоканальных э/х ячеек проводилось на воде, искусственно загрязненной $\text{Hg}_2(\text{NO}_3)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ с концентраций $5,88 \cdot 10^{-10}$ и $5,88 \cdot 10^{-11} \text{ М}$. Для восстановления ртути из раствора использовался метол с концентрацией 1 мг/мл в соотношении 1:1. Фоновый электролит 1:1 1 М HNO_3 и 0,1 М KCl . Для регистрации э/х-сигнала выбрана вольтамперометрия с линейной развёрткой потенциала в диапазоне $-0,2$ до $0,9 \text{ В}$ со скоростью 50 мВ/с. Условия электрохимической регистрации сигнала от хлорида ртути: потенциал накопления $-0,6 \text{ В}$, время накопления 60 с. В качестве вспомогательного электрода и электрода сравнения использовались Pt и Ag/AgCl соответственно. Наглядные вольтамерограммы представлены на рис. 2.

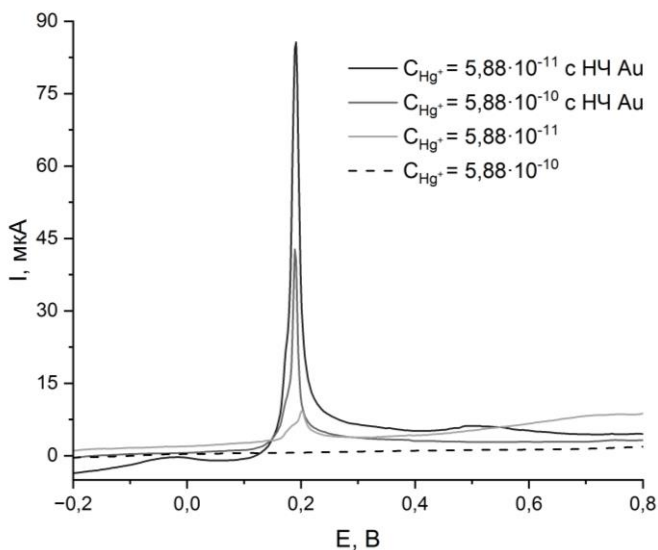


Рис. 2. Вольтамперограммы определения ртути различных концентраций

Проведя анализ полученных вольтамперограмм (рис. 2), можно сделать вывод о том, что модификация поверхности углеродной черни НЧ Au позволила снизить порог чувствительности определения ионов ртути.

В дальнейшем разработанная электрохимическая платформа может быть использована для исследований в области определения иммунобиологических компонентов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гусева М.А. Современные представления о влиянии ртути на организм человека // Наука и прогресс: время перемен. – 2021. – С. 138–139.
2. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Сан.ПиН. 2.1.4.559–96. – М.: Госкомэпиднадзор России, 1996. – 111 с.
3. Ким Н.О., Ивановская Е.А. Определение микропримесей ртути в лекарственном средстве протамина сульфат методом инверсионной вольтамперометрии // Разработка и регистрация лекарственных средств. – 2019. – Т. 8, № 2. – С. 103–107.

**АВТОНОМНАЯ СЕТЬ УСТРОЙСТВ УДАЛЕННОГО
МОНИТОРИНГА ПАРАМЕТРОВ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ**
*И.Н. Минин, А.В. Перевалов, студенты; М.С. Южаков, аспирант;
А.В. Бадьин, доцент каф. радиоэлектроники, к.ф.-м.н.
Научный руководитель А.В. Бадьин, доцент каф. радиоэлектроники, к.ф.-м.н.
г. Томск, ТГУ, ilya.kirit@gmail.com*

Описывается разработанная сеть агро-зондов. Приведена концепция программно-аппаратного комплекса мониторинга микроклиматических параметров окружающей среды. Описан принцип работы системы и приведены результаты показателей почвы на одном из тестовых полигонов.

Ключевые слова: агрокультура, LPWAN, базовая станция, агро-зонд, ESP-8266.

В каждой стране продовольствие является одной из важнейших переменных как для пропитания населения, так и экспортной составляющей. С ростом населения Земли потребность в сельскохозяйственных культурах увеличивается.

Климатические параметры имеют большое влияние на количество и качество агрокультур. Следовательно, знание показателей окружающей среды позволяет выбрать нужное время для посева, а также сделать прогнозы на ближайшее будущее. Для решения данной проблемы предлагается внедрить цифровые технологии в процесс выращивания сельскохозяйственных культур [1].

Автономный сбор климатических параметров сократит финансовые затраты, за счет уменьшения рабочей силы и времени на необходимые процедуры. Это позволит снизить расходы на ручной труд, уменьшить денежные издержки и увеличить качество выращиваемых культур.

Зарубежные компании уже применяют данные технологии, у российских же разработчиков имеются существенные недостатки, это относительно дешевый продукт с существенными недочетами в виде малой зоны сбора почвенно-климатических параметров либо приемлемыми показателями, но высокой стоимостью. Мы же предлагаем программно-аппаратный комплекс с существенной зоной покрытия за счет сети из таких устройств и относительно недорогой стоимостью.

Материалы и методы. Построение сети сбора микроклиматических параметров осуществляется по шаблону сети LPWAN, где используются оконечные устройства, станции LPWAN, сервер и прило-

жения [2]. Система состоит из зондов, базовых станций, сервера и веб-интерфейса.

Зонды спроектированы легко устанавливаемыми и снимаемыми, оснащены солнечной панелью, вследствие чего они полностью автономны и могут устанавливаться в различные труднодоступные места. Дальность связи между зондами и базовой станцией варьируется от 3 до 7 км в зависимости от установленной на них антенны и типа рельефа местности. Базовая станция разработана на основе микроконтроллера ESP-8266. Для хранения программ оснащена внешней flash памятью размером 16 Мб. Показатели состояния подключенных зондов отображаются на встроенном AMOLED-дисплее. Круглосуточную непрерывную работу базовой станции обеспечивают аккумуляторные батареи и поликристаллическая солнечная панель. Данные с базовой станции поступают на сетевой веб-интерфейс для отображения конечному пользователю.

Результаты апробации. Тестирование сети проводилось на сельскохозяйственных полях Томской области, посредством удаленного мониторинга температуры почвы на глубине 10 см.

На рис. 1 приведены зависимости (июль 2022 г.) температуры почвы на поле № 1 и № 2, расстояние между которыми 2 км.

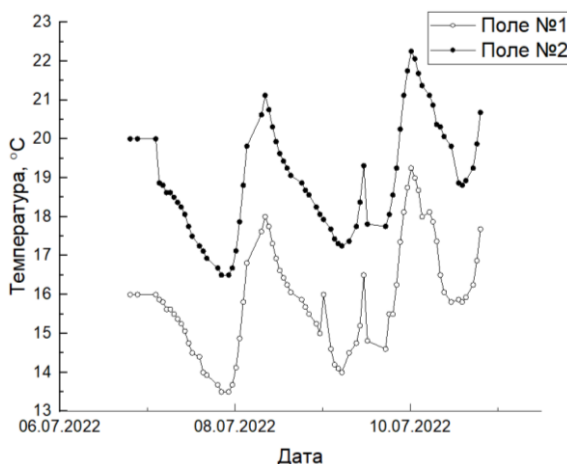


Рис. 1. Динамика температуры почвы на тестовых полях № 1 и № 2

Сравнение полученных данных показывает, что температура почвы на поле № 1 на 3–4 градуса меньше относительно поля № 2. Общая тенденция температуры почвы со временем совпадает на тестовых полях.

Закключение. В приведенной статье разработана сеть агрозондов, позволяющая получать большие объемы данных о состоянии окружающей среды. Представлены концепция и структура комплекса для мониторинга агропараметров. Описан принцип работы, приведены результаты тестирования на примере динамики изменения температуры почвы на двух тестовых полях.

Внедрение данной системы позволит в короткие сроки принимать решения о засеивании и сборе сельскохозяйственных культур, уменьшив расходы на рабочую силу и увеличив качество культур.

Работа выполнена в рамках проекта «Разработка информационной системы непрерывного мониторинга процессов депонирования и эмиссии углерода и оценки агропотенциала почв Сибири» в рамках программы развития Томского государственного университета (Приоритет-2030).

ЛИТЕРАТУРА

1. Южаков М.С. и др. Применение технологии LoRa в IoT-системе сбора климатических данных для агробизнеса России // СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии / Севастопольский гос. ун-т. – № 3. – С. 101–102.

2. Смольянинов И. Новая технология связи для беспроводных АСКУЭ // Энергетика и промышленность России. – 2016. – № 01-02. – С. 28.

УДК 004.9

ОЦЕНКА ПОСЛЕДСТВИЙ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ В ГОРНОМ УЛУСЕ РЕСПУБЛИКИ САХА (ЯКУТИЯ) ПО ДАННЫМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

Р.А. Охлопков, студент ОИТ ИШИТР

Научные руководители: М.И. Захаров, доцент ИЕН СВФУ, д.г.н.;

О.С. Токарева, доцент ОИТ ИШИТР, к.т.н.

г. Томск, НИ ТПУ, raob@tpu.ru

На территории Республики Саха (Якутия) ежегодно происходят лесные пожары, приводящие к негативным экологическим последствиям. В статье приводятся результаты анализа последствий лесных пожаров на примере Горного улуса Республики Саха с применением данных дистанционного зондирования Земли из космоса, методов машинного обучения и индекса гарей.

Ключевые слова: анализ данных, дистанционное зондирование Земли, индекс гарей, космический снимок, машинное обучение.

Общая площадь лесных пожаров на территории Республики Саха (Якутия) в 2021 г. значительно превысила максимумы предыдущих

лет. Для оценки последствий лесных пожаров широко используются данные дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) из космоса.

Объектом исследования является территория Горного улуса, наиболее пострадавшего в результате лесных пожаров, расположенного в центральной части Якутии. Общая площадь улуса составляет 45624 км². Преобладающим типом растительности являются хвойные леса, представленные лиственницей даурской (*larix dahurica*) и елью сибирской (*Picea obovata*) [1].

Целью данной работы является анализ последствий лесных пожаров в Горном улусе с использованием данных ДЗЗ.

Для проведения анализа использовалась платформа Google Earth Engine [2], которая представляет собой каталог геопространственных данных, в том числе космических снимков, с возможностями их обработки и анализа. Особенность данного сервиса заключается в том, что все вычисления происходят в облаке.

Были выбраны безоблачные снимки, покрывающие территорию Горного улуса, полученные со спутника Landsat-8 (Collection 02, TOA), в период с конца августа по конец сентября 2020 и 2021 г. Были созданы единые композиты из выбранных снимков за указанные годы, которые в дальнейшем были обрезаны по границе объекта исследования.

Классификация композита для выявления лесных гарей 2021 г. проводилась с использованием достаточно простого и универсального метода случайного леса. Для классификации были выделены четыре класса: гарь, водные объекты, хвойные лесные массивы и прочая растительность (лиственные деревья, кустарники и болота). Для тренировки модели были отобраны 160 обучающих точек – по 40 на каждый класс.

Результаты классификации приведены на рис. 1. Общая площадь лесных гарей по состоянию на конец сентября 2021 г. составила 15730,29 км² (34% от общей площади территории Горного улуса и 0,5% от площади территории Якутии).

Валидация результатов, полученных методом случайного леса, проводилась путём их сравнения с индексом гари NBR и разностным индексом dNBR [2, 3], которые используются для выявления и оценки лесных гарей и рассчитываются по следующим формулам:

$$NBR = \frac{NIR - SWIR2}{NIR + SWIR2}, \quad dNBR_{2020} = NBR_{2020} - NBR_{2021},$$

где NIR – значение яркости пикселя в ближнем инфракрасном канале, а SWIR2 – значение яркости пикселя в среднем инфракрасном канале.

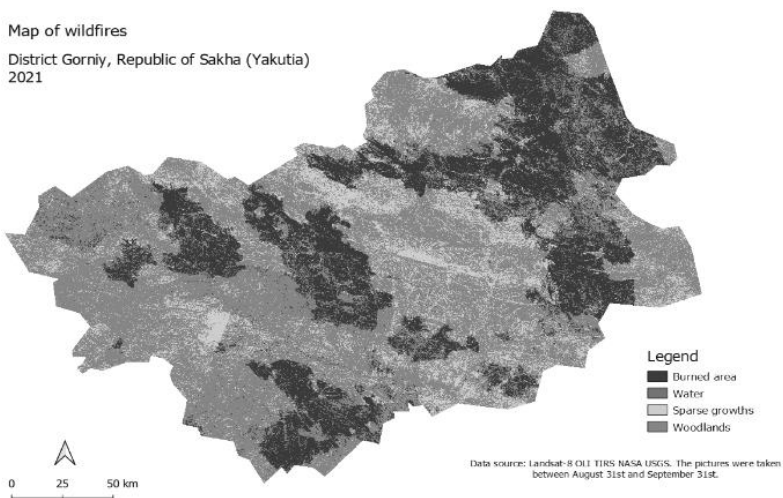


Рис. 1. Результат классификации

Были построены карты территории Горного улуса, показывающие значение индекса гарей NBR в 2020 и 2021 г., и разностного индекса dNBR (рис. 2), позволяющего оценить степень повреждения растительного покрова в результате лесных пожаров 2021 г. Общая площадь лесных гарей, рассчитанная по карте dNBR, составила 16804,58 км², что показывает приемлемую точность классификации методом случайного леса.

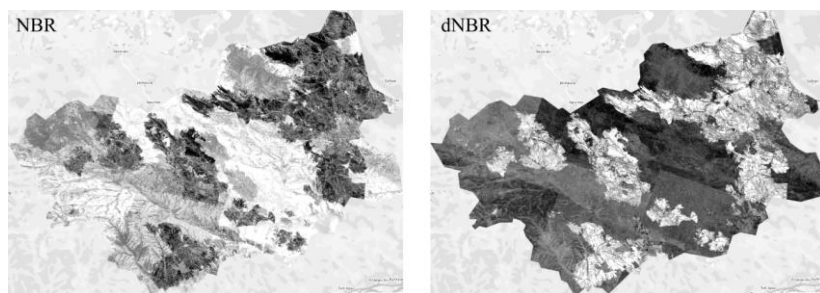


Рис. 2. Карты NBR и dNBR территории Горного улуса

Далее были проведены оценки площадей, пройденных лесными пожарами, территорий в зависимости от степени повреждения огнём растительного покрова (таблица).

**Площади выгоревших территорий в зависимости
от степени повреждения растительного покрова**

Степень повреждения	Значение dNBR	Площадь, км ²
Низкая	0,084–0,25	5632,59
Средняя	0,25–0,6207	9295,95
Сильная	Больше 0,6207	1876,034

Из таблицы следует, что на территории Горного улуса в 2021 г. преобладали повреждения средней интенсивности. Визуальный анализ полученных карт показал, что территории, на которых происходит восстановление растительного покрова после лесных пожаров предыдущих лет, практически не подвержены возникновению новых лесных пожаров.

ЛИТЕРАТУРА

1. Основные особенности растительного покрова Якутской АССР / В.Н. Андреев, Т.Ф. Галактионова, В.И. Перфильева, И.П. Щербаков. – Якутск, 1987. – 156 с.
2. 30 m Resolution Global Annual Burned Area Mapping Based on Landsat Images and Google Earth Engine / T. Long, Z. Zhang, G. He, W. Jiao, C. Tang, B. Wu, X. Zhang, G. Wang, R. Yin [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://doi.org/10.3390/rs111050489>, свободный (дата обращения: 20.11.2022).
3. Токарева О.С. Оценка восстановительной динамики растительного покрова лесных гарей с использованием данных со спутников Landsat / О.С. Токарева, А.Д. Алшайби, О.А. Пасько // Изв. Том. политехн. ун-та. Инжиниринг георесурсов. – 2021. – Т. 332, № 7. – С. 191–199. <https://doi.org/10.18799/24131830/2021/7/3283>.

УДК 550.4.08

ВЛИЯНИЕ ЧАСТИЦ МИКРОПЛАСТИКА НА СООБЩЕСТВО ПРЕСНОВОДНЫХ ИНFUЗОРИЙ

Е.И. Нижевич, М.В. Князев, А.О. Лазарева, студенты;

А.П. Шкарупо, ассистент

Научный руководитель А.Г. Карташев, проф. каф. РЭТЭМ, д.б.н.

г. Томск, ТУСУР, каф. РЭТЭМ, ekaterinanizevic@gmail.com,

knzvmatvej@gmail.com, alena.o.lazareva@tusur.ru,

schkarupo.anastasia@yandex.ru

Непрерывный рост производства синтетического пластика и неправильное обращение с пластиковыми отходами приводят к увеличению и накоплению пластика в водной среде. Приведен обзор литературных данных по влиянию частиц микропластика на сообщество пресноводных инфузорий.

Ключевые слова: микропластик, инфузории, биоиндикаторы, тест-объекты, загрязнение.

Микропластики размером менее 5 мм производятся и остаются как в морской, так и в пресноводной среде [1].

Микропластики обнаружены почти в каждой морской среде обитания по всему миру, состав пластика и условия окружающей среды существенно влияют на их распространение. Морская биота взаимодействует с микропластиками, включая птиц, рыб, черепах, млекопитающих и беспозвоночных. Биологические последствия зависят от размера микропластиков, меньшие размеры оказывают большее влияние на организмы на клеточном уровне. Микроскопические пластмассы легко проглатываются и выделяются, пластмассы нанометрического размера могут проходить через клеточные мембраны. Последствия проглатывания микропластика в естественных популяциях и последствия для пищевых сетей не изучены. Есть данные, позволяющие предположить, что микропластик попадает в пищевые цепи, и происходит трофический перенос между хищниками и добычей. Необходимы дальнейшие исследования различных морских организмов, чтобы более подробно понять экологические последствия микропластика и установить воздействие на естественные популяции [2].

Перспективным объектом для биоиндикации являются инфузории [3].

Инфузории являются природными биоиндикаторами, и многие исследования указывают, что инфузории – одни из первых, кто способен реагировать на изменение условий среды обитания.

Инфузории являются гетеротрофными организмами. Пищевая специализация инфузорий выстроена таким образом, что главной их особенностью является способность избирательно отыскивать и поглощать пищевые объекты, которые необходимы для удовлетворения своих потребностей в биохимических соединениях [4].

Таким образом, микропластик способен скапливаться в инфузориях как показатель загрязненности среды.

ЛИТЕРАТУРА

1. Microplastics in freshwater systems: A review on occurrence, environmental effects, and methods for microplastics detection / Jingyi Li, Huihui Liu, J. Paul Chen [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.researchgate.net/publication/322106623_Microplastics_in_freshwater_systems_A_review_on_occurrence_environmental_effects_and_methods_for_microplastics_detection (дата обращения: 17.03.2023).

2. The distribution and ecological effects of microplastics in an estuarine ecosystem // J.A. Hope, S.M. Ladewig, Thrush, G. Coco [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.researchgate.net/publication/353095341_The_distribution_and_ecological_effects_of_microplastics_in_an_estuarine_ecosystem (дата обращения: 17.03.2023).

3. Инфузории как биоиндикаторы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=49897327> (дата обращения: 07.03.2023).

4. Инфузории [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%98%D0%BD%D1%84%D1%83%D0%B7%D0%BE%D1%80%D0%B8%D0%B8> (дата обращения: 07.03.2023).

УДК 592

ВЛИЯНИЕ НЕФТЕЗАГРЯЗНЕНИЙ НА СООБЩЕСТВО ПРЕСНОВОДНЫХ ИНFUЗОРИЙ

***Е.И. Нижевич, М.В. Князев, А.О. Лазарева, студенты ;
А.П. Шкарупо, ассистент***

*Научный руководитель А.Г. Карташев, проф. каф. РЭТЭМ, д.б.н.
г. Томск, ТУСУР, каф. РЭТЭМ, ekaterinanizevic@gmail.com,
knzymatvej@gmail.com, alena.o.lazareva@tusur.ru,
schkarupo.anastasia@yandex.ru*

Приведен обзор литературных данных по влиянию нефтезагрязнений на сообщество пресноводных инфузорий.

Ключевые слова: инфузории, нефть, нефтезагрязнения, загрязнение.

Инфузории Ciliophora являются высшим типом простейших, их численность насчитывает около 6–7 тыс. видов. Инфузории – высокоорганизованные представители простейших, могут обитать в водоемах, живых организмах и почвах, являются одним из неотъемлемых компонентов как техногенных, так и природных экосистем [1].

Инфузории – перспективный объект для биоиндикации, являясь хорошими природными биоиндикаторами, инфузории способны реагировать на малейшие изменения в среде их обитания. Именно поэтому исследование по влиянию нефтезагрязнений на сообщество пресноводных инфузорий является актуальным.

Нефтепродукты и нефть – смесь углеводородов с разной степенью растворимости в воде [2].

К одному из самых вредных химических загрязнений относят нефтепродукты и нефть. Танкеры способны загрязнять гидросферу из-за утечки нефти и нефтепродуктами при подводном бурении. Часто нефтяное загрязнение приводит к появлению пятен нефти, тонна нефти способна создать пленку до 12 км², и процессы фотосинтеза в воде затрудняются, вследствие чего животные и растения погибают [3]. К закупориванию капилляров почвы приводит загрязнение нефтепродуктами и нефтью, объем порового пространства значительно уменьшается [4].

Сведений о влиянии загрязнений нефтью на сообщество пресноводных и почвенных нематод в общедоступной литературе крайне мало. Почвенные простейшие адаптируются при загрязнении нефти по следующим направлениям: токсическое влияние нефти и нефтепродуктов, а также адаптации к снижению почвенной аэрации [5].

В работе [5] изучалось воздействие нефтезагрязнения на почвенных инфузорий с различной концентрацией нефти. Оценку воздействия нефти на сообщество почвенных инфузорий проводили в течение тридцати восьми суток. В ходе эксперимента установлено, что влияние нефти и ее загрязнений на видовое разнообразие и численный состав инфузорий носит исключительно дифференцированный характер.

Также выявлено, что с увеличением концентрации водного раствора дизельного топлива активность парамеций становится значительно ниже. Значительная часть инфузорий начинает активно делиться, при этом движение части инфузорий значительно замедляется, часть вовсе находится в обездвиженном положении.

Таким образом, нефтезагрязнения способны оказывать влияние на сообщество пресноводных инфузорий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Инфузории [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://textarchive.ru/c-2360963-p4.html> (дата обращения: 01.03.2023).
2. Нефтяное загрязнение [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://oblasti-ekologii.ru/ecology/vozdjeystvie-na-vodnuu-sredu/osnovnye-zagraznaushie-veschestva/neftyanoje-zagryaznenie> (дата обращения: 01.03.2023).
3. Загрязнение гидросферы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://natural-sciences.ru/ru/article/view?id=8564#:~:text=%D0%97%D0%B0%D0%B3%D1%80%D1%8F%D0%B7%D0%BD%D1%8F%D1%8E%D1%82%20%D0%B3%D0%B8%D0%B4%D1%80%D0%BE%D1%81%D1%84%D0%B5%D1%80%D1%83%20%D1%82%D0%B0%D0%BD%D0%BA%D0%B5%D1%80%D1%8B%20%D0%B8%20%D1%83%D1%82%D0%B5%D1%87%D0%BA%D0%B0,%D0%BF%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%BA%D1%83%20%D0%B4%D0%BE%2012%20%D0%BA%D0%BC2> (дата обращения: 01.03.2023).
4. Залялетдинова Н.А. Влияние нефтезагрязнений на сообщества почвенных инфузорий и нематод в лабораторных условиях / Н.А. Залялетдинова, С.А. Антропова, А.Г. Карташев [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26203751> (дата обращения: 17.03.2023).
5. Карташев А.Г. Влияние нефтезагрязнения на сообщество инфузорий / А.Г. Карташев, Н.А. Залялетдинова // Теоретические и прикладные аспекты современной науки: сб. науч. трудов по матер. VI Междунар. науч.-практ. конф.; под общ. ред. М.Г. Петровой. – Белгород, 2015. – С. 82–87.

УДК: 614.841

ОЦЕНКА ФОРМИРОВАНИЯ ПОЖАРООПАСНОЙ ОБСТАНОВКИ НА ОСНОВЕ СПУТНИКОВЫХ И МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ДАННЫХ

А.А. Смирнов, студент

*Научный руководитель О.С. Токарева, к.т.н., доцент
г. Томск, НИ ТПУ, отделение информационных технологий,
aas161@tpu.ru*

Исследованы территории, подверженные лесным пожарам. Определены основные тенденции изменения характеристик земной поверхности при формировании пожароопасной обстановки на тестовых участках с использованием космических снимков. Разработана методика, позволяющая оценить пожарную обстановку на земной поверхности с использованием космических снимков и метеоданных. Результаты могут быть использованы организациями, занимающимися мониторингом и предотвращением лесных пожаров.

Ключевые слова: лесной пожар, дистанционное зондирование, вегетационный индекс, космический снимок, индекс Нестерова, мониторинг.

Применение данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) значительно повышает эффективность в задачах поиска лесных возгораний и управления в районах ЧС. Однако устранять последствия лесных пожаров в некоторых случаях ресурсозатратно, в других – практически невозможно. Поэтому актуальным и важным является не только принятие мер для устранения пожаров, но и нахождение территорий, на которых формируются условия, благоприятные для их возникновения, для своевременного выявления мест возможного возгорания.

Целью работы является оценка формирования пожароопасной обстановки на лесной зоне с использованием ДЗЗ и метеоданных.

В качестве объекта исследования были выбраны четыре тестовых участка на территории Республики Саха (Якутия), на которых произошел пожар летом 2021 г. Для поиска мест лесных пожаров был использован сервис NASA FIRMS [1]. Также были выбраны два фоновых участка рядом с местами возгораний для сравнения показателей с областями, где произошел пожар.

Были проанализированы метеорологические показатели, полученные с метеостанций поблизости с исследуемыми участками, на протяжении месяца до появления первых очагов возгорания. Для оценки состояния растительности были рассчитаны вегетационные и водные индексы NDVI, NDMI и NDWI на исследуемых участках. Для

расчета индексов был выбран спутник Sentinel-2 с уровнем обработки Level-2A. Со спутника Landsat-8 Collection 2 Level-1 были получены данные о температуре поверхности Земли. Отбор космических снимков и расчет индексов и температуры поверхности Земли осуществлялись с помощью сервиса Sentinel Hub EO Browser [2]. Было выбрано 12 безоблачных снимков со спутника Sentinel-2 и три – с Landsat-8.

Был произведен анализ полученных данных, что позволило установить базовые тенденции изменения параметров на выбранных областях (рис. 1).

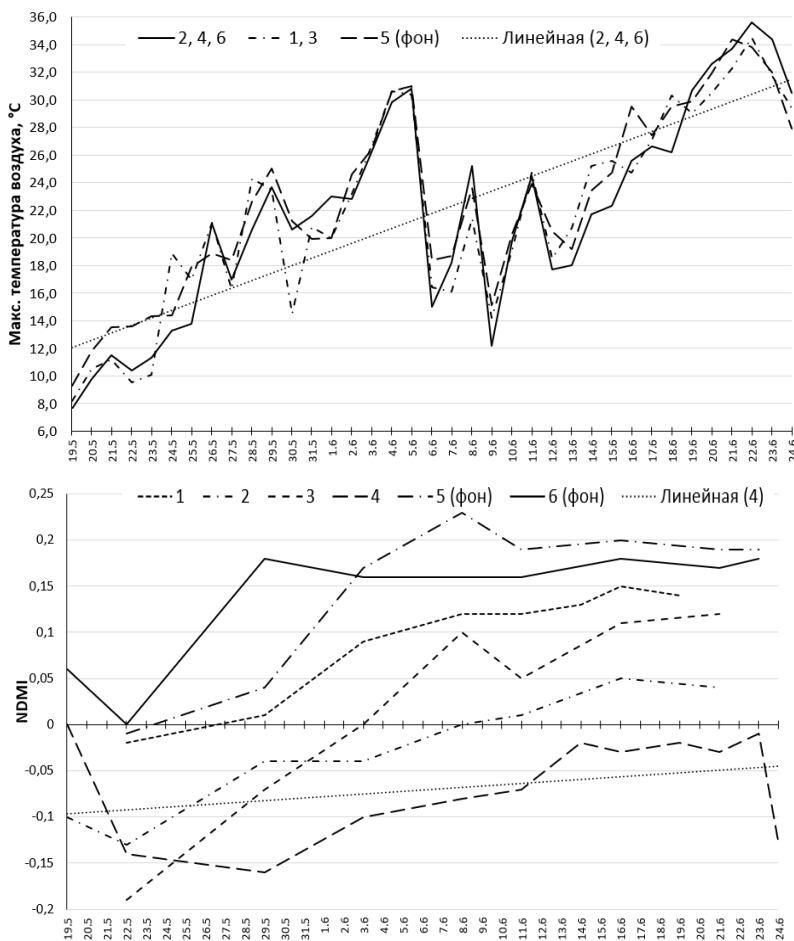


Рис. 1. Графики изменения максимальной температуры воздуха и NDVI по датам до момента возгорания

Для каждого участка был рассчитан индекс Нестерова для анализа потенциальной опасности возгорания леса (таблица).

Распределение классов пожарной опасности по участкам

№ участка	Возгорание	Метеостанция	Индекс Нестерова	Уровень пожарной опасности
1	19.06.21	п. Сангар	2 712	Средний
2	22.06.21	с. Бердигестях	5 502	Высокий
3	23.06.21	п. Сангар	3 682	Средний
4 и 6 (фон)	24.06.21	с. Бердигестях	5 754	Высокий
5 (фон)	–	с. Намцы	5 027	Высокий

Было выявлено, что индекс NDMI находится в диапазоне от $-0,19$ до $0,23$ для всех областей, что соответствует водному стрессу растительности. Анализ NDWI показал, что все области соответствуют растительности. К моменту возгорания значение NDWI равнялось от $-0,61$ до $-0,35$ для областей 1–4. Для всех участков имел место плавный восходящий тренд NDWI к дате возгорания, следовательно, содержание влаги в растительности уменьшалось. NDVI для участков 1–4 находился в диапазоне от $0,41$ до $0,72$ к моменту возгорания. Имело место снижение влаги в растительности к моменту возгорания на областях 1, 4 и 6. Как видно на рис. 1, с 13.06 имел место восходящий тренд температуры воздуха для всех участков. На областях 2, 4 и 6 к моменту возгорания максимальная температура воздуха составляла $34,4\text{--}35,6\text{ }^{\circ}\text{C}$, а на 1 и 3 – 29 и $31,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ соответственно. Начиная с 10.06 осадки выпадали 2 раза на фоновом участке и 1 раз на месте возгорания в количестве менее 1 мм. По космическим снимкам был обнаружен тренд на повышение средней температуры поверхности Земли. Исходя из этих данных и полученных значений индекса Нестерова, можно сделать вывод, что области 2, 4, 5 и 6 к концу выбранного временного промежутка соответствуют состоянию с высокой степенью пожароопасности.

В ходе выполнения исследовательской работы была разработана методика, позволяющая оценить сформированность пожароопасной обстановки:

- вычислить индексы NDVI, NDWI, NDMI. При нахождении значений NDMI, NDWI, NDVI в диапазонах $(-0,3; -0,1)$, $(-0,35; -0,15)$, $(0,15; 0,3)$, соответственно, фиксируется водный стресс растительности;
- проанализировать уровень выпавших осадков. Если осадки отсутствуют в течение недели, отмечается достаточная для возникновения пожара засуха;

– проанализировать максимальную температуру воздуха и поверхности Земли. В случае превышения температуры воздуха и поверхности земли 30 °С фиксируется возможность возникновения возгорания;

– вычислить индекс Нестерова. При значении индекса выше среднего отмечается высокая вероятность возгорания.

В результате проведенных исследований была разработана методика, позволяющая оценить сформированность пожароопасной обстановки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Fire Information for Resource Management System / NASA [Электронный ресурс]. – URL: <https://firms.modaps.eosdis.nasa.gov/map/> (дата обращения: 20.02.2023).

2. Sentinel Hub EO Browser / Sentinel Hub [Электронный ресурс]. – URL: <https://apps.sentinel-hub.com/eo-browser/> (дата обращения: 23.02.2023).

УДК 504.054

БИОМОНИТОРИНГ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ С ПОМОЩЬЮ МХОВ

М.А. Татаринцева, студентка

*Научный руководитель Н.С.Рогова, доцент ОЯТЦ, к.т.н.
г. Томск, НИ ТПУ, Gort_ig@outlook.com*

Рассматриваются метод биомониторинга атмосферного воздуха на тяжелые металлы, выбор оптимального биоиндикатора. Возможна реализация контроля, обнаружения и оценки изменений качества воздуха, что актуально на территории таких крупных промышленных городов, как Кемерово.

Ключевые слова: мхи-биоиндикаторы, аккумуляционные способности, биомониторинг, тяжелые металлы, нейтронно-активационный анализ, атомно-эмиссионная спектрометрия, *Pyralisia polyantha* (Hedw.) B.S.G.

В настоящее время многие виды загрязнений атмосферного воздуха обусловлены техногенным воздействием. Загрязнители переносятся на большие расстояния и аккумулируются в различных организмах. Являясь особо опасными токсикантами, переносимыми с воздушными массами, тяжелые металлы (далее – ТМ) представляют особую опасность для жизнедеятельности.

Содержание ТМ в организме человека имеет накопительный характер. Вследствие чего регулярный мониторинг атмосферного воздуха на содержание ТМ и других опасных элементов имеет важное значение для оценки существующего и прогнозируемого загрязнения. Получение средних уровней загрязнения воздуха ТМ на урбанизированных территориях возможно при реализации долгосрочных наблюдений.

Продолжительным периодом экспозиции обладают биоиндикаторы. Свою ценность в качестве биоиндикаторов загрязнения атмосферного воздуха доказали мхи [1]. Вследствие отсутствия корневой системы мхи получают питание из атмосферы.

Эпифитный мох *Pylaisia polyantha* (Hedw.) B.S.G. является оптимальным тест-объектом в силу своих высоких аккумуляционных способностей, продолжительного цикла жизни и широкого распространения [2].

Данный вид мха прорастает на коре деревьев (осин, тополей, берез). Пробоотбор выполняется на высоте, соответствующей слою воздуха, которым дышит человек. Это также удобно для активного биомониторинга (мох пересаживается на планшеты и размещается на исследуемых территориях), который является более эффективным [3]. Однако критерии выбора точных мест размещения образцов незначительно варьируются.

Пробоподготовка напрямую влияет на качество результата дальнейшего анализа. Отобранные пробы подвергаются промывке, сушке и гомогенизации. После образцы подвергаются нейтронно-активационному анализу и атомно-эмиссионной спектрометрии. НАА позволяет определить более 40 химических элементов, а такие химические элементы, как Be, Cd, Cu, Pb, Si, Sn, Te, Ti, V, определяются с помощью АЭС [4].

Выводы о загрязнении воздуха получаются путем статистической обработки и сравнения значений концентраций тяжелых металлов в образцах мха, собранных на исследуемой и фоновой территориях (отсутствует методика выбора фоновой территории). В результате анализа полученных данных производится контроль, обнаружение и оценка изменений качества воздуха. Данные мероприятия особенно необходимы в городах, имеющих предприятия химической, машиностроительной и угольной промышленности.

Одним из таких городов является Кемерово – крупный промышленный город, столица Кузбасса, одного из самых крупных угольных месторождений мира.

На этапе пробоподготовки находится оценка загрязнения атмосферного воздуха города Кемерово посредством биомониторинга с помощью мха *Pylaisia polyantha* (Hedw.) B.S.G.

ЛИТЕРАТУРА

1. Steinnes E., Rambaek J.P., Hanssen J.E. Large-scale multi-element survey of atmospheric deposition using naturally growing moss as a biomonitor // *Chemosphere*. – 1992. – Vol. 25. – PP. 735–752.
2. Рогова Н.С. и др. Изучение аккумуляционных свойств мхов, используемых при мониторинге загрязнения атмосферы = Study of moss accumulation properties, used in the atmospheric pollution monitoring /// *Оптика атмосферы и океана*. – 2011. – Т. 24, № 1. – С. 79–83.
3. Świsłowski P. The influence of preparation methodology on the concentrations of heavy metals in *Pleurozium schreberi* moss samples prior to use in active biomonitoring studies / P. Świsłowski, G. Kosior, M. Rajfur // *Environ Sci Pollut.* – 2021. – Res. 28. – PP. 10068–10076 Режим доступа: <https://doi.org/10.1007/s11356-020-11484-7> (дата обращения: 14.10.2022).
4. Богданова Я.А. Особенности накопления тяжелых металлов и металлоидов в фитомассе боклоплодного мха *Pleurozium schreberi* (brid.) Mitt. в условиях Красносамарского лесного массива (Самарская область) и национального парка «Бузулукский бор» (Оренбургская область) / Я.А. Богданова, Н.В. Прохорова, К.Н. Вергель, М.В. Фронтасьева // *СНВ*. – 2022. – № 1. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-nakopleniya-tyazhelyh-metallov-i-metalloidov-v-fitomasse-bokoplodnogo-mha-pleurozium-schreberi-brid-mitt-v-usloviyah> (дата обращения: 14.10.2022).

УДК 331.4

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ТРАВМАТИЗМА НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ТРАНСПОРТА И СВЯЗИ

А.Е. Трифонов, аспирант каф. РЭТЭМ

*Научный руководитель Н.Н. Несмелова, доцент каф. РЭТЭМ, к.б.н.
г. Томск, ТУСУР, alexander.trifonov@yandex.ru*

Разработана регрессионная модель для построения прогноза травматизма для предприятий транспорта и связи Российской Федерации.

Ключевые слова: моделирование травматизма, программа Excel.

Производственный травматизм остаётся серьезной проблемой современного общества. Несмотря на предпринимаемые усилия, уровень индивидуального риска для работников многих отраслей экономики остается высоким. Один из способов снижения травматизма – это прогноз. Прогноз позволит, где нужно усилить меры, а где-то воз-

можно снизить финансовые расходы на меры. Одна из моделей, которая подходит для прогнозирования, это регрессионная модель.

Цель проекта: создание регрессионной модели травматизма для предприятий транспорта и связи РФ.

Для достижения поставленной цели были выбраны данные РОССТАТа по обрабатывающим производствам за период с 2014 по 2020 г. [1]. В эти данные входит: количество несчастных случаев с утратой трудоспособности на 1 рабочий день и более (НС) и со смертельным исходом, количество несчастных случаев среди женщин с утратой трудоспособности на 1 рабочий день и более (НС жен) и со смертельным исходом, несчастные случаи со смертельным исходом (ЛИ), несчастные случаи среди женщин со смертельным исходом (ЛИ жен). Данные были как по России в целом, так и по каждому федеральному округу.

На основе этих данных была построена регрессионная модель травматизма с использованием программы Excel [2].

Для линии Тренда и для оператора ПРЕДСКАЗ (используется метод линейной регрессии) отрезок времени до прогнозируемого периода не должен превышать 30% от всего срока, за который накапливалась база данных. Поэтому был произведён прогноз на два года (2021–2022). Также была проведена проверка адекватности прогноза, для оператора ПРЕДСКАЗ был посчитан коэффициент детерминации (использовался оператор КВПИРСОН для линейной функции). Результаты проверки: коэффициент детерминации (КВПИРСОН):

Российская Федерация: НС 14-22 $R^2 = 0,94$; НС жен 14-22 $R^2 = 0,96$; ЛИ 14-22 $R^2 = 0,53$; ЛИ жен 14-22 $R^2 = 0,48$.

Центральный Федеральный округ: НС 14-22 $R^2 = 0,62$; НС жен 14-22 $R^2 = 0,77$; ЛИ 14-22 $R^2 = 0,38$; ЛИ жен 14-22 $R^2 = 0,4$.

Северо-Западный федеральный округ: НС 14-22 $R^2 = 0,89$; НС жен 14-22 $R^2 = 0,57$; ЛИ 14-22 $R^2 = 0,15$; ЛИ жен 14-22 $R^2 = 0,22$;

Южный федеральный округ: НС 14-22 $R^2 = 0,57$; НС жен 14-22 $R^2 = 0,48$; ЛИ 14-22 $R^2 = 0,0$; ЛИ жен 14-22 $R^2 = 0,0$.

Северо-Кавказский федеральный округ: НС 14-22 $R^2 = 0,63$; НС жен 14-22 $R^2 = 0,57$; ЛИ 14-22 $R^2 = 0,32$; ЛИ жен 14-22 $R^2 = 0,06$;

Приволжский федеральный округ: НС 14-22 $R^2 = 0,89$; НС жен 14-22 $R^2 = 0,9$; ЛИ 14-22 $R^2 = 0,65$; ЛИ жен 14-22 $R^2 = 0,21$;

Уральский федеральный округ: НС 14-22 $R^2 = 0,53$; НС жен 14-22 $R^2 = 0,59$; ЛИ 14-22 $R^2 = 0,03$; ЛИ жен 14-22 $R^2 = 0,47$.

Сибирский федеральный округ: НС 14-22 $R^2 = 0,98$; НС жен 14-22 $R^2 = 0,93$; ЛИ 14-22 $R^2 = 0,24$; ЛИ жен 14-22 $R^2 = 0,23$.

Дальневосточный федеральный округ: НС 14-22 $R^2=0,32$; НС жен 14-22 $R^2=0,22$; ЛИ 14-22 $R^2=0,04$; ЛИ жен 14-22 $R^2=0,00$.

Результаты прогноза на 2021–2022 гг.:

Российская Федерация: НС 2021 = 2982; 2022 = 2833; НС жен 2021 = 954; 2022 = 863; ЛИ 2021 = 164; 2022 = 161; ЛИ жен 2021 = 11; 2022 = 10;

Центральный федеральный округ: НС 2021 = 907; 2022 = 925; НС жен 2021 = 245; 2022 = 227; ЛИ 2021 = 39; 2022 = 31; ЛИ жен 2021 = 2; 2022 = 2.

Северо-Западный федеральный округ: НС 2021 = 338; 2022 = 307; НС жен 2021 = 134; 2022 = 126; ЛИ 2021 = 18; 2022 = 17; ЛИ жен 2021 = 3; 2022 = 3.

Южный федеральный округ: НС 2021 = 275; 2022 = 264; НС жен 2021 = 87; 2022 = 106; ЛИ 2021 = 22; 2022 = 20; ЛИ жен 2021 = 2; 2022 = 2.

Северо-Кавказский федеральный округ: НС 2021 = 37; 2022 = 34; НС жен 2021 = 14; 2022 = 12; ЛИ 2021 = 1; 2022 = 2; ЛИ жен 2021 = 0; 2022 = 0.

Приволжский федеральный округ: НС 2021 = 457; 2022 = 428; НС жен 2021 = 197; 2022 = 188; ЛИ 2021 = 29; 2022 = 21; ЛИ жен 2021 = 2; 2022 = 2.

Уральский федеральный округ: НС 2021 = 311; 2022 = 299; НС жен 2021 = 89; 2022 = 82; ЛИ 2021 = 20; 2022 = 25; ЛИ жен 2021 = 0; 2022 = 0.

Сибирский федеральный округ: НС 2021 = 434; 2022 = 359; НС жен 2021 = 132; 2022 = 87; ЛИ 2021 = 15; 2022 = 23; ЛИ жен 2021 = 0; 2022 = 0.

Дальневосточный федеральный округ: НС 2021 = 283; 2022 = 277; НС жен 2021 = 72; 2022 = 69; ЛИ 2021 = 15; 2022 = 15; ЛИ жен 2021 = 1; 2022 = 1.

Данную модель можно использовать для прогнозирования травматизма в Российской Федерации в целом и как для какой-то экономической деятельности, но для предприятий транспорта и связи она требует доработки. Так для большинства федеральных округов линейная регрессия уже не подходит, значения небольшие и функция для линейной функции не подходит. В целом модель может быть использована как в государственных органах, так и в крупных компаниях, но требует доработки.

Данная модель подходит для построения прогноза по стране в целом и для некоторых федеральных округов (Приволжский, Сибирский и Центральный).

ЛИТЕРАТУРА

1. РОССТАТ [Электронный ресурс]. – URL: <https://rosstat.gov.ru/> (дата обращения: 07.04.2021).
2. Трифонов А.Е. Прогнозирование травматизма в Российской Федерации // III Междунар. науч.-практ. конф. «Цифровизация агропромышленного комплекса». – Тамбов: ТГТУ, 2022. – С. 229–232.
3. Графкина М.В. Моделирование существующей тенденции и прогнозирования изменений показателей производственного травматизма / М.В. Графкина, М.А. Клиндух, Е.Ю. Свиридова // Экономика труда. – 2018. – С. 101–113.

УДК 620.92

ВЛИЯНИЕ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ СОЛНЕЧНЫХ БАТАРЕЙ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

Т.А. Яптуев, студент каф. РЭТЭМ

*Научный руководитель Е.Г. Незнамова, к.б.н., доцент каф. РЭТЭМ
г. Томск, ТУСУР, misbelieverbu@gmail.com*

Рассматривается влияние солнечных электростанций на окружающую среду.

Ключевые слова: солнечные панели, солнечные электростанции, окружающая среда, влияние.

Изучено влияние на окружающую среду промышленного использования солнечных батарей.

Солнечные электростанции во время своей активной эксплуатации не выбрасывают в атмосферу или почву вредных веществ, как это делают тепловые электростанции.

Еще одним положительным аспектом эксплуатации солнечных электростанций, с экологической точки зрения, является использование возобновляемого источника энергии – солнечной энергии. Это позволяет электростанциям и человечеству не тратить ограниченные ресурсы планеты.

Также к положительным аспектам данных электростанций относится отсутствие звукового и вибрационного загрязнения, присущего другому перспективному виду альтернативной энергетики – ветроэнергетике.

Однако из-за того, что солнечные электростанции требуют огромные площади, так как отдельная солнечная панель имеет низкое КПД, электростанции данного типа сильно влияют на видовое разнообразие на территории, которые они занимают, что сходно с влиянием гидроэлектростанций, расположенных на больших территориях и ме-

няющих привычные условия обитания местной флоры и фауны. Также из-за этого солнечные электростанции создают эстетическое загрязнение, изменяя природный ландшафт на большем пространстве, чем иные виды традиционных электростанций, такие как тепловые электростанции или атомные электростанции.

На территориях, занятых солнечными электростанциями, значительно уменьшается температура. Это вызвано тем, что солнечная энергия, которая обычно поступает на поверхность земли, поглощается солнечными панелями. А из-за того, что атмосферный воздух нагревается от поверхности земли, температура над солнечными электростанциями падает. Это может влиять на жизнедеятельность растений и животных, обитающих ранее на территориях электростанций или прилегающих к ним. Также некоторые виды солнечных электростанций, наоборот, могут значительно повышать температуру, из-за чего могут погибать насекомые и птицы. Однако эта проблема свойственна промышленным солнечным электростанциям, занимающим большие площади.

Наибольшее влияние на окружающую среду солнечные электростанции имеют в периоды их ввода в эксплуатацию, ремонта и замены энергоустановок. Это вызвано тем, что для производства каждой солнечной панели используются токсичные материалы, а также химические вещества, такие как мышьяк, хром, ртуть. Данные материалы при добыче и производстве наносят серьёзный вред окружающей среде, а также при ошибках во время их использования при непосредственном создании солнечных панелей могут нанести серьёзный вред окружающей среде, из-за чего солнечные панели требуют повышенного контроля не только над производственным процессом, но и над процессом утилизации отработанных панелей, так как при нарушении данных мероприятий в земную поверхность могут попасть токсичные вещества, такие как кремний, кадмий, свинец и силен, приводящие к нарушению почвенного баланса среды, на которой находится неправильно утилизированная солнечная панель.

Подводя итог, можно сделать вывод, что в зависимости от площади и вида солнечной электростанции заметно меняется ее влияние на окружающую среду. А этапы производства и утилизации солнечных панелей являются наиболее опасными, требующими повышенного контроля.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дмитренко В.П. Управление экологической безопасностью в технике / В.П. Дмитренко, Е.М. Мессинева, А.Г. Фетисов. – 2-е изд., стер. – СПб.: Лань, 2016. – 428 с.

2. Энергосберегающие технологии в электроэнергетике: учеб. пособие / Г.П. Корнилов, М.М. Лыгин, Р.А. Закирова, И.Р. Абдулвелеев. – Магнитогорск: МГТУ им. Г.И. Носова, 2020. – 104 с.

3. Юдаев И.В. Возобновляемые источники энергии: учеб. для вузов / И.В. Юдаев, Ю.В. Даус, В.В. Гамага. – 3-е изд., стер. – СПб.: Лань, 2022. – 328 с.

УДК 303.732.4

ОБОСНОВАНИЕ НЕОБХОДИМОСТИ РАЗРАБОТКИ НОВЫХ ИННОВАЦИОННЫХ ХИМИЧЕСКИХ СОСТАВОВ ДЛЯ ТУШЕНИЯ ЛАНДШАФТНЫХ ПОЖАРОВ

Н.А. Богатов, ст. препода. каф. физики, магистрант каф. ЛогЭКИ;

*А.С. Савина, ст. преп. каф. физики, аспирант каф. ИМиЗК,
магистрант каф. ЛогЭКИ;*

*А.П. Зоткин, Е.И. Пентюхин, лаборанты каф. физики
г. Москва, РХТУ им. Д.И. Менделеева, nikitabogatov@list.ru*

Приводится обоснование необходимости проведения инновационного реинжиниринга химико-технологических систем для производства средств для тушения возгорания опавшей хвои.

Ключевые слова: инноватика, санкции, химико-технологические системы, инжиниринг.

Ежегодно на территории Российской Федерации возникают лесные пожары, охватывающие территории от 0,5 до 2 млн га [1]. Некоторые регионы России являются особенно горящими в летнее время года. Например, значительных масштабов достигали пожары на территории Республики Саха (Якутия) в 2020 и в 2021 г. [2, 3].

Отдельным антропогенным фактором, имеющим значительное негативное влияние на качественные показатели атмосферного воздуха, является задымление территории при возникновении лесных пожаров, которое, кроме того, отрицательно влияет на здоровье населения и создает условия ухудшения горизонтальной дальности видимости, что приводит к повышенному риску возникновения дорожно-транспортных происшествий [4].

Во многих пожароопасных регионах России основной лесообразующей породой являются лиственницы и хвойные деревья [5]. На почве скапливаются горючие материалы, их состав является пирологической особенностью напочвенного покрова лесных участков, от которой зависит скорость развития будущего пожара и отнесение леса к тому или иному классу пожарной опасности.

От того, как скоро произойдет созревание напочвенных покровов, будет зависеть степень пожароопасности лесного участка на протяже-

нии бездождевого периода. Равномерное высыхание проводников горения и затяжные бездождевые периоды приводят к формированию пожарной зрелости лесов [3].

Существующие работы [5] подтверждают данные, что на территории ряда регионов Российской Федерации крайне распространены являются хвойные и смешанные леса, которые активно формируют лесную подстилку, выступающую в роли проводника горения. Напочвенный покров состоит из мхов, опада, лишайника и их смесей в различных пропорциях.

Если рассмотреть фракционный анализ лесной подстилки, то она формируется из хвои, мелких веток, шишек, а нижний горизонт достаточно пронизан корнями растений. Такая подстилка обладает высокой неоднородностью с большим количеством пустот между материалами, формирующими ее, что позволяет легко пропускать влагу через себя и приводит, при определённых внешних условиях, к быстрой пожарной зрелости в течение 4–6 дней [6]. В свою же очередь, разрежённость лесного полога позволяет свободно проникать солнечным лучам и ветру, что создает условия для быстрого высыхания горючих материалов.

Таким образом, разработка инновационных способов и методов борьбы с возгоранием опавшей хвои, являющихся экологически дружественными и экономически целесообразными, является актуальной задачей для химической промышленности, особенно для создания нового поколения химических средств борьбы с ландшафтными пожарами.

Существуют данные о том, что вся российская противопожарная техника и ее базовые компоненты производятся на территории Российской Федерации, поэтому вводимые санкционные ограничения в меньшей степени влияют на выпуск техники и ее обслуживание [7]. Однако введение санкций спровоцировало уход внушительного числа поставщиков оборудования химико-технологических систем, а также реактивов и расходных материалов [8].

Сложившиеся в мире экономические условия создают новые вызовы для химической промышленности в Российской Федерации.

Одной из ключевых задач в рамках сложившейся экономической ситуации в промышленном секторе является создание альтернативных, легко интегрируемых в существующие химико-технологические системы новых химико-технологических процессов, предназначенных для производства средств для тушения возгораний опавшей хвои, как дополнительный продукт по отношению к основному производству. Кроме того, разработка таких технологических процессов не требует

дополнительных затрат на обучение высококвалифицированных сотрудников с особыми компетенциями для введения в эксплуатацию и обслуживания линии производства.

ЛИТЕРАТУРА

1. Белоусова Е.П. Природные факторы возникновения лесных пожаров на территории Иркутской области / Е.П. Белоусова, И.В. Латышева, С.В. Латышев и др. // Биосфера. – 2016. – Т. 8, № 4. – С. 390–400.
2. Федоров Р.В. Анализ лесных пожаров в Якутии за 2020 год // Молодой ученый. – 2020. – № 51 (341). – С. 405–407.
3. Протопопова В.В. Горимость лесов Верхоянского района (Северо-Восточная Якутия) / В.В. Протопопова, Л.П. Габышева // Успехи современного естествознания. – 2017. – № 5. – С. 66–71.
4. Panina O.Yu. A study of the influence of forest fires on soil broad-leaved forests (as exemplified with the Jewish Autonomous Oblast) // Regional'nye Problemy. – 2010. – Vol. 13, No. 1. – PP. 67–70.
5. Курбатский Н.П. Исследование количества и свойств лесных горючих материалов // Вопросы лесной пирологии. – Красноярск: ИЛИД СО РАН СССР, 1970. – С. 5–58.
6. Лыткина Л.П. Лесные пожары как экологический фактор формирования лесов Центральной Якутии / Л.П. Лыткина, В.В. Протопопова // Наука и образование. – 2006. – № 2. – С. 50–56.
7. Глава Рослесхоза: Санкции не повлияют на тушение леса [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://rg.ru/2022/06/08/glava-rosleshoza-sankcii-ne-povliiaut-na-tushenie-lesa.html>, свободный (дата обращения: 03.03.2023).
8. Реагенты для лабораторий могут включить в список параллельного импорта [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.vedomosti.ru/business/articles/2022/05/23/923174-reagenti-dlya-laboratorii>, свободный (дата обращения: 03.03.2023).

УДК 623.827

МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ОБШИВКИ КОРПУСА ПРИ ПОЖАРЕ В ОТСЕКЕ ПОДВОДНОЙ ЛОДКИ НА ЭТАПЕ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

***Б.Г. Иванов, к.т.н., доцент каф. военного кораблестроения;
И.О. Чакляров, ст. оператор научной роты; П.С. Рыбаченко,
оператор научной роты; П.С. Филичкин, оператор научной роты
г. Санкт-Петербург, Военный учебно-научный центр ВМФ
«Военно-морская академия», ichaklyarov@mail.ru***

Рассмотрено моделирование напряженно-деформированного состояния обшивки корпуса при пожаре в отсеке подводной лодки.

Ключевые слова: моделирование, пожар, обшивка, корпус, подводная лодка.

Среди задач снижения и предупреждения аварийности особое место занимает прогнозирование потенциальных рисков уже на начальной стадии развития аварии с учётом влияния различных, в том числе эксплуатационных факторов [1]. Современный вектор развития кораблестроения говорит о том, что на смену технике безопасности или теории надёжности должна прийти новая теория безопасности, так называемая теория риска, которая нацелена на предотвращение событий, приводящих к тяжёлым авариям [2]. Поэтому моделирование напряженно-деформированного состояния обшивки корпуса при пожаре в отсеке подводной лодки является актуальной важной задачей, которая может стать одним из составных элементов теории риска при исследовательском проектировании подводной лодки.

Рассмотрим цилиндрическую оболочку, которая загружена внутренним p_v и наружным p_n давлениями, причем $p_v \neq p_n$. Внутри оболочки происходит процесс горения, в результате которого повышается температура $T_{вн}(t)$, а снаружи обшивка омывается средой с температурой $T_{ср}$. Материал оболочки считаем изотропным и линейно-упругим. При этом физико-механические свойства: модуль упругости E , предел текучести σ_T , коэффициенты линейного температурного расширения α , теплоемкости C , теплопроводности λ – являются функциями температуры. Практика расчета температурных напряжений, возникающих при сварке, показала, что гипотеза о независимости от температуры теплофизических и механических свойств применима не для всех материалов и температур. Для выбора адекватной изучаемому процессу схемы расчета необходимо знать функциональную зависимость свойств материала от температуры. Остановимся на этом вопросе более подробно.

Экспериментальные исследования свидетельствуют о том, что для металлических материалов – высокопрочных сталей, сплавов титана и алюминия – характерно линейное изменение теплофизических и механических свойств с повышением температуры. Так, например, коэффициент линейного температурного расширения с возрастанием температуры материала хотя и незначительно, но увеличивается (рис. 1). Функциональная зависимость α от температуры может быть установлена путем аппроксимации экспериментальных данных в достаточно простом виде

$$\alpha(T) = \alpha_0(T_0) \left(1 + \frac{d_1 \Delta T}{T_{2кр}} \right), \quad \Delta T = T - T_0, \quad (1)$$

где $\alpha_0(T_0)$ – постоянная, экспериментально определяемая для конкретного материала при температуре T_0 . Для высокопрочной стали

$\alpha_0 = 6 \cdot 10^{-6}$ 1/град, титановых сплавов – $\alpha_0 = 8 \cdot 10^{-6}$ 1/град, алюминиевых сплавов – $\alpha_0 = 25 \cdot 10^{-6}$ 1/град – все при комнатной температуре $T_0 = 293$ К. Эмпирический коэффициент d_1 выбирается в зависимости от марки материала. Например, для алюминиевых сплавов типа АМг $d_1 = 0,2$, для титановых сплавов $d_1 = 0,3$, для высоколегированных сталей $d_1 = 0,4$.

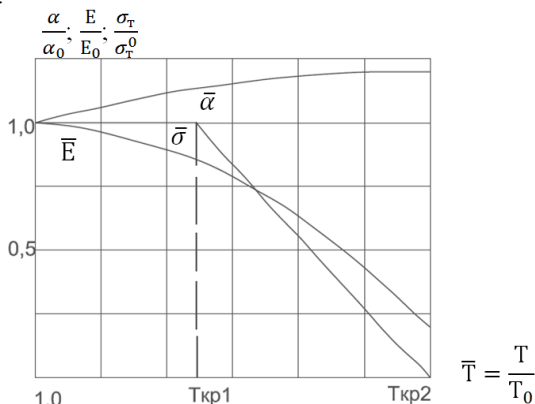


Рис. 1. Коэффициент линейного температурного расширения

Зависимости модуля упругости E и предела текучести σ_T от температуры имеют довольно сложный характер (см. рис. 1). На диаграмме можно выделить два участка – до $T_{1кр}$ и между $T_{1кр}$ и $T_{2кр}$. На первом участке E и σ_T незначительно изменяются с повышением температуры, и этим изменением можно пренебречь в расчетах, т.е. считать $\sigma_T = \sigma_T^0$ и $E = E_0$ при $T < T_{1кр}$. Второй участок кривой может быть с достаточной точностью описан следующей функциональной зависимостью:

$$\begin{aligned} \sigma_T(T) &= \sigma_T^0 \left(1 - \frac{T - T_{1кр}}{T_{2кр} - T_{1кр}} \right), \quad T \geq T_{1кр}, \\ E(T) &= E_0 \left(1 - d_2 \frac{T - T_{1кр}}{T_{2кр} - T_{1кр}} \right), \quad T \geq T_{1кр}. \end{aligned} \quad (2)$$

Эмпирический коэффициент d_2 выбирают для каждой марки материала свой, однако его значения лежат в узком диапазоне, $d_2 = 0,35 \dots 0,30$ [3].

Физический смысл критических температур $T_{1кр}$ и $T_{2кр}$ состоит в том, что при $T_{1кр}$ напряжения начинают интенсивно уменьшаться с

одновременным ростом пластических деформаций, а при $T = T_{2кр}$ первые достигают 0 ($\sigma_r = 0$), а вторые – максимума. Следовательно, температуру $T_{1кр}$ можно назвать температурой текучести материала, а $T_{2кр}$ является по своей сути температурой плавления материала.

Таким образом, моделирование напряженно-деформированного состояния обшивки корпуса при пожаре в отсеке подводной лодки на этапе исследовательского проектирования в рамках развития теории риска сопряжено с определением температурных напряжений, деформаций, характера изменения температурного поля в обшивке корпуса.

ЛИТЕРАТУРА

1. Быков Д.В. Параметрическая база потенциальных рисков судовых энергетических комплексов / Д.В. Быков, В.А. Горбачёв, Г.В. Иванов, В.И. Ануфриев // Сборник матер. конф. «Управление в морских системах» (УМС–2018). – СПб.: Концерн «Центральный научно-исследовательский институт «Электронприбор», 2018. – С. 48–52.

2. Котов В.С. Обоснование применения теории риск-анализа в судостроении / В.С. Котов, К.П. Воронин, Н.А. Мальков, А.Я. Лапидус // Труды Крыловского гос. научного центра S1, 2021. – С. 283–284.

3. Недосека А.Я. Основы расчеты сварных конструкций. – Киев: Высшая шк., 1988.

УДК 504.03

СОХРАНЕНИЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ЗА СЧЕТ ВНЕДРЕНИЯ НОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ ДЕРЕВЯННЫХ ШПАЛ

В.В. Романенко, аспирантка каф. ВХиЭ

г. Гомель, БелГУТ, vromanenko@mail.ru

Железнодорожное подрельсовое основание выполняется в основном в виде шпал и переводных брусьев. Вся продукция для Белорусской железной дороги выпускается ОАО «Борисовский шпало-пропиточный завод», после изготовления которой появляются остатки пиловочного бревна, которые целесообразно использовать для замены цельнобрусковых шпал составными. Такая замена позволит сократить объемы потребляемой древесины и сохранить до 14 га леса в год.

Ключевые слова: древесина, деревянная шпала, производство.

Одним из основных положений охраны окружающей среды является деятельность, направленная на сохранение и восстановление природной среды, рациональное использование природных ресурсов, предотвращение вредного воздействия на окружающую среду вследствие какой-либо хозяйственной деятельности. В рамках народного

хозяйства можно выделить транспортную отрасль, которая в силу своей специфики оказывает отрицательное воздействие на экосистему. Любой вид транспорта оказывает прямое и косвенное воздействие на подземные и поверхностные воды, земельные ресурсы, растительность.

Одним из негативных источников по количеству факторов является железная дорога. Кроме вредных выбросов, шума, огораживания дорог, которое создает препятствия на путях миграции животных, можно выделить потребление больших объемов древесины для изготовления деревянного подрельсового основания для железнодорожного пути. Чаще всего для изготовления деревянных железнодорожных шпал и переводных брусьев используют деревья хвойных пород – ель и сосну.

С каждым годом Белорусской железной дорогой (БЖД) объемы замены деревянного основания железобетонным увеличиваются, однако в пути еще остается лежать значительное количество деревянных шпал и брусьев [1].

Несмотря на существенные преимущества эксплуатации деревянного основания, существенным недостатком был и остается срок его службы, который составляет в самых благоприятных случаях 12–15 лет, а зачастую – 7–9 лет. После выхода шпалы из эксплуатации ее необходимо заменить. Производством деревянных шпал для БЖД занимается ОАО «Борисовский шпалопропиточный завод» (БШПЗ) (рис. 1).



Рис. 1. Объемы деревянного подрельсового основания, изготавливаемые БШПЗ

При изготовлении шпал расход древесины на 1 км пути составляет около 2 га леса с деревьями диаметром 26–28 см возраста 80–100 лет. С учетом среднего ежегодного объема изготавливаемых шпал и

брусьев (см. рис. 1), а это – 535 комплектов брусьев и 141 тыс. шпал, расход древесины составляет порядка 300 га леса в год. Такое потребление древесины ведет к проблемам удовлетворения нужд БЖД.

В настоящее время ведутся разработки конструкций комбинированных деревянных шпал (многослойные клееные и слоистые шпалы и переводные брусья с параллельными усиливающими бандажистяжками), а также рассматривается возможность внедрения модифицированной древесины [2]. Однако все подобные конструкции требуют внедрения дополнительных технологий, что, с одной стороны, экономит объемы древесины, а с другой – увеличивает себестоимость продукции.

На БШПЗ поступают пиловочные бревна, имеющие длину порядка 5,5 м, из которых нарезают шпалы и переводные брусья. Длина стандартной шпалы составляет 2,75 м, из чего следует, что из такого бревна можно изготовить две шпалы. Переводные брусья, в отличие от шпал, имеют длину от 3,0 до 5,5 м с шагом 0,25 м. После их нарезки образуются остатки пиловочного бревна длиной до 2,5 м, которые уже не могут быть применены для изготовления шпал [3].

Для рационального использования остатков пиловочного бревна различной длины без разработки технологий на изготовление дополнительных элементов предлагается разработка конструкции составных шпал, которые соединят остатки бревен не горизонтально, а продольно, так называемым «сращиванием».

Исходя из длин остатков бревен и возможных мест расположения сращивания, рассматриваются два варианта конструкции: с одним соединением посередине шпалы; с двумя соединениями в околоподрельсовой зоне. Для первого варианта возможно использовать остатки длиной 1,5 м и более, а второго – 1,0 м и более. С учетом количества брусьев различной длины из остатков после изготовления одного комплекта возможно изготовить до 20 составных шпал, а с учетом объема изготавливаемых БШПЗ комплектов брусьев для стрелочных переводов 535 шт./год количество составных шпал составит порядка 10 700 шт., что покроет потребность для 7,4 км.

Реализация отходов позволит не только сократить непроизводительные расходы БШПЗ, но и снизить расход значимых сырьевых продуктов – древесины. Исходя из того, что составными шпалами будут заменять цельнобрусковые шпалы на участке протяженностью более 7 км в год, ежегодно возможно сохранить до 14 га леса.

ЛИТЕРАТУРА

1. Романенко В.В. Комплексный подход к оценке факторов, влияющих на надежность работы деревянных шпал / В.В. Романенко, А.Б. Невзорова //

Труды БГТУ. – Сер. 1: Лесное хозяйство, природопользование и переработка возобновляемых ресурсов (Минск). – 2023. – № 1 (264). – С. 147–155.

2. Состояние вопроса производства и эксплуатации железнодорожных шпал из различных материалов / Т.К. Курьянова и др. // Лесотехнический журнал. Сер.: Древопереработка. Химические технологии (Воронеж). – 2017. – № 4 (28). – С. 175–166.

3. Анализ технологий шпалопропиточного производства ОАО «Борисовский шпалопропиточный завод» / В.П. Новик и др. // Вестник БелГУТ: наука и транспорт (Гомель). – 2021. – № 1 (42). – С. 65–67.

СОДЕРЖАНИЕ

СЕКЦИЯ 2 ЭЛЕКТРОНИКА И ПРИБОРОСТРОЕНИЕ

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.

М.Т. Нгуен, А. Алхадже Хасан

Коническая рупорная антенна, разреженная с помощью соединённой аппроксимации оптимальной токовой сеткой 17

М.Т. Нгуен, А. Алхадже Хасан

Эквивалентная проводная сетка для развертываемой космической зеркальной антенны из композитных материалов 22

М.Т. Нгуен, А. Алхадже Хасан

Оптимальные разреженные антенны с минимальной массой 26

К.Н. Абрамова, А.А. Дроздова

Влияние расстояния между переходным отверстием и проводником на матрицу ёмкостей 31

К.Н. Абрамова, Т.И. Третьяков, А.А. Дроздова

влияние расстояния между проводниками, расположенными на разных слоях печатной платы, на матрицу ёмкостей 33

Д.М. Мочалов, Д.В. Клюкин

Оценка влияния качества расчетной сетки на параметры и характеристики прямоугольной спиральной антенны при моделировании методом моментов 37

С.А. Сальников, Д.В. Клюкин

Алгоритм расчета погонной емкости линии передачи методом конечных разностей 40

Д.Е. Харахордина, М.В. Храпцов, В.П. Костелецкий

Разработка устройства для разделения синфазной и дифференциальной составляющих помехи 44

С.Р. Морозов, А.В. Медведев

Характеристики структуры с проводниками на внешнем слое печатной платы с модальным резервированием 48

Т.И. Третьяков

Устройство для автоматизированного измерения статических вольт-амперных характеристик биполярных транзисторов ... 51

Д.Ж. Жапова, Е.Б. Черникова

Анализ разложения сверхкороткого импульса в четырехпроводной структуре с опорным проводником сверху и снизу 54

П.А. Попов

3D-печатная ТЕМ-камера открытого исполнения 58

П.А. Попов

ТЕМ-камера открытого исполнения из фольгированного стеклотекстолита	62
--	----

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.В. Андреева

Исследование гранулометрического состава люминофоров для изготовления люминофорной композиции	66
--	----

Н.Д. Чан

Анализ применения алюмомагнетитовой шпинели с активаторами Eu^{3+} , Ce^{3+} , Er^{3+} , Mn^{2+} в качестве люминофора для светодиодов	68
---	----

Р.Г. Герасимов, М.А. Афанасьев, М.Х. Фам, В.С. Солдаткин

Отвод тепла от светодиодного модуля промышленного светильника	71
---	----

Д.А. Жаворонков, К.М. Калачев, А.В. Медведев, В.Д. Микеладзе

Обзор кинематики пятикоординатной системы позиционирования	74
--	----

Ю.И. Стасенко, А.А. Максименко

Применение технологии интернета вещей для объединения уличного освещения в единую автоматизированную систему	77
---	----

Е.В. Шнайдер, Ю.С. Цуриков, В.Д. Войцеховский

Исследование светотехнических, колориметрических и тепловых характеристик макета светодиодного светильника с ИК-обогревателем ..	80
---	----

Р.Г. Герасимов, М.А. Афанасьев, Е.И. Нижевич, В.С. Солдаткин

Влияние температуры эксплуатации на светотехнические характе- ристики светодиодной матрицы для промышленного светильника	83
---	----

А.О. Лазарева, А.А. Сайнакова, В.С. Солдаткин

Влияние освещения на рост томатов черри	86
---	----

Л.Ш. Юлдашова, С.А. Шмидт

Функциональная схема антибактериального полупроводникового облучателя	89
--	----

Л.Ш. Юлдашова, Д.С. Сысоева, С.С. Голубева

Классификация УФ-установок для дезинфекции воды	93
---	----

Д.А. Жаворонков

Автоматическое нанесение проводящих материалов с помощью системы аэрозольного нанесения	96
--	----

Е.И. Александрова, В.С. Чернова, В.С. Солдаткин

Влияние света на жизненный цикл рыб и их реакция на свет	99
--	----

Д.И. Засухин, Р.А. Гальченко, О.Н. Минин

Разработка синего светодиодного кристалла планарной конструкции	102
--	-----

Н.В. Амбарникова

Влияние концентрации люминофора в чипе светодиода на неравномерность цветности и световую отдачу	105
---	-----

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.*

Е.В. Викторенко

Методы векторизации текстовой информации 108

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.О. Аглиуллин, М.Е. Дорошенко, Д.О. Плеханов,

К.И. Шахманов, А.Е. Бондарев, Е.А. Бородулин

Влияние концентрации углекислого газа на изменение
параметров системы управления заслонкой приточной вентиляции 111

Д.И. Мингалеев, Е.Е. Елескин, А.К. Халимова

Базовые компоненты для процедурной генерации 3D-сцены
в CM MARC 113

А.М. Емельянов, И.С. Надеждин

Снижение погрешности измерений расходомеров
за счет применения нейронных сетей 116

Е.Т. Гарипов

Использование теории массового обслуживания
для оценки параметров информационных систем 119

Е.С. Петрова, Н.А. Коновалов

Обзор библиотек для интеграции кода Python в приложение на C++ 121

И.В. Ковкин, Н.В. Москаленко, Ю.А. Кремзуков

Автоматизация контроля сопротивления изоляции систем
электропитания космических аппаратов 123

В.А. Пайор, А.В. Бойков

Методика определения положения металла
во взвешенном состоянии в высокочастотном индукторе 127

С.Д. Томилина, М.А. Чолокозлы

Планирование и разработка электронного курса
с применением лент времени 130

Е.А. Зачиняев

Оптимизация процесса исследования и получения биокompозита ГА-МУНТ. 133

Е.В. Конюхов

Особенности моделирования управления совмещением
и позиционированием элементов при автоматизированной сборке
изделий микроэлектроники..... 135

А.А. Дрозд

Обзор средств моделирования и 3D-визуализации
физико-геометрических задач 138

М.В. Липовка, А.М. Тернов

Применение цифрового двойника в нефтегазовой отрасли 142

А.В. Токарева

Автоматизация систем прослеживаемости и идентификации
сложных технических изделий 143

В.В. Зайцев

Алгоритм формирования конфигураций автоматизированных
систем управления технологическими процессами и производствами 146

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.

А.В. Герасимов, М.Б. Бардамова

Построение нечеткого классификатора на основе львиного
алгоритма для выявления мошеннических банковских операций 149

М.А. Илюткин, М.Б. Бардамова

Применение модифицированного совиного алгоритма
для настройки нечеткого классификатора В задаче анализа трафика..... 152

Р.Е. Коломников

Извлечение признаков динамической рукописной подписи
на основе скрытой марковской модели 156

Р.Е. Коломников, К.С. Сарин

Нечеткий классификатор типа min-max для аутентификации
личности по динамической рукописной подписи 159

Р.Е. Коломников, К.С. Сарин

Модифицированный нечеткий классификатор типа Min-Max 163

Н.П. Корышев

Потоковая кластеризация данных на основе метаэвристического
алгоритма «китов» 167

Д.К. Нгуен, С.В. Муравьев

Особенности фильтрации входного изображения
при автоматическом распознавании дефектов сварного шва 171

Р.О. Остапенко

Применение гибридного алгоритма «саранчи» с методом замены
для формирования базы правил нечёткого классификатора
для работы со смешанными данными..... 174

Р.С. Шуклин, М.Б. Бардамова

Оптимизация нечеткого классификатора метаэвристическим алгоритмом рыб-парусников при обнаружении DDoS-атак 177

М.О. Светлаков

Извлечение признаков методами дискретного вейвлет-преобразования и матриц ковариации с использованием данных электроэнцефалограммы для решения задачи классификации подростковых пациентов с симптомами шизофренического расстройства 181

Б.П. Гондран Альмега, Т.В. Батура

Реализация алгоритма на основе коллаборативной фильтрации для ITEM-based-подхода 184

Н.П. Корышев

Краткий обзор использования метаэвристических алгоритмов в кластеризации потоковых данных 186

Р.О. Остапенко

Алгоритм «саранчи» и его применение для отбора информативных признаков нечёткого классификатора 190

П.Ю. Лаптев, С.А. Литовкин

Определение состояния алкогольного опьянения с помощью искусственного интеллекта на основании устной речи 191

А.С. Зазуля

Распознавание лесных пожаров с помощью моделей CNN 195

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.

А.В. Кададова, Д.М. Кадочников, В.В. Уткин

Разработка полезной нагрузки спутника в рамках Space-π 199

Д.А. Лузгин

Направленная акустическая система с управляемой диаграммой направленности 201

Т.Н. Мосунова

Технология адаптивного обучения: выгоды и проблемные зоны применения 204

Е.А. Руденко

Внедрение подсистемы ERP на производстве приборов и средств автоматизации 208

М.И. Самолутченко, А.И. Солдатов

Сравнительный анализ S-параметров имитационных моделей широкополосных пробников ближнего электрического поля на основе двухслойной и четырёхслойной печатных плат 211

В.С. Дорофеев, А.Н. Шматок	
Разработка устройства начальной калибровки координат приёмников системы акустического позиционирования	213
Д.Е. Соколовский	
Использование инструмента Spasy для извлечения собственных именованных сущностей из медицинских наборов данных	217
Чан Цзянлэй, А.И. Солдатов, А.А. Солдатов	
Применение магнитоэлектрических датчиков в неразрушающем контроле	220
Н.Н. Бобрус, А.И. Солдатов	
Минимизация сохраняемых данных с помощью Compressive Sampling	222
Н.Н. Арцемович, Н.В. Козлова, А.Р. Стамкулова	
Кооперация университета и бизнеса как фактор устойчивого развития региона	225
Н.И. Тарасов, А.Р. Лазарев	
Анализ перспектив компьютерной геймификации вузовских дисциплин	228
А.О. Вагин	
Разработка и прототипирование системы автоматической ориентации антенны спутникового телевидения	231
А.О. Косолапова, М.К. Золотенкова	
Разработка и прототипирование системы городского информирования для слабовидящих людей	235
А.А. Абуеллаиль	
Установка для исследования термоэлектрических материалов	239

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., старший разработчик
ООО «Синкретис»*

Р.Е. Богачев, Л.В. Букреев	
Разработка системы для организации спортивных соревнований	242
Г.П. Лубов, И.А. Ершов, Н.А. Набережнев, В.С. Швоев	
Бизнес-логика приложения HEX Former	245
В.Е. Бажинов, А.М. Фролов	
Использование водных индексов для отслеживания состояния водных объектов	249
В.А. Кривобородько	
Алгоритм формирования системы уравнений для решения задачи потокораспределения методом контурных расходов	252
Д.Е. Кузьменко	
Оптимизированная реализация алгоритма TF-IDF для оценки важности слов в коллекции документов	255

В.С. Швоев, Н.А. Набережнев, Е.В. Кабанова, А.А. Калентьев Визуализация схемного решения в приложении синтеза малошумящего усилителя.....	258
А.С. Волков, Е.М. Портнов Разработка и программная реализация алгоритма обработки поточкового видео на основе аппарата сверточных нейронных сетей	260
Н.А. Набережнев, В.С. Швоев, Е.В. Кабанова, А.А. Калентьев Реализация моделирования многокаскадного малошумящего усилителя	264
Д.С. Смирнов Прототип модуля обработки спектральных характеристик матриц для полученных с БПЛА изображений.....	267
Н.С. Вершинина, З.А. Чепурова, Н.В. Зариковская Тестирование API web-приложений	270

Подсекция 3.7

ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ СРЕДСТВА ПОДДЕРЖКИ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ

*Председатель – Хабибулина Н.Ю., декан ФВС,
доцент каф. КСУП, к.т.н.
зам. председателя – Потапова Е.А., ст. преп. каф. КСУП*

Д.Д. Скоробогатов, Г.В. Белоус, А.Е. Резванова, Б.С. Кудряшов Влияние пористости керамики на основе гидроксиапатита на интенсивность терагерцового излучения	273
---	-----

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.*

О.В. Бадер Влияние комбинированного действия смеси загрязняющих веществ в атмосферном воздухе г. Томска	276
А.Н. Грицина, Н.В. Белов Разработка устойчивых и эффективных агроэкосистем для космических исследований	279
	327

Я.В. Гребнев, А.Э. Петрунина, А.К. Москалев Моделирование распространения нефтяного пятна в водоемах нейросетевыми алгоритмами	282
А.А. Карулин Компьютерная модель влияния нефти на пресноводных раковинных амёб	285
Е.Р. Курылова Рекультивация нарушенных земель для газотранспортирующих компаний	287
Д.В. Лозунова Разработка электрохимической платформы на основе луночного полистиролового планшета для определения ионов ртути в воде.....	290
И.Н. Минин, А.В. Перевалов, М.С. Южаков, А.В. Бадьин Автономная сеть устройств удаленного мониторинга параметров окружающей среды.....	293
Р.А. Охлопков Оценка последствий лесных пожаров Горном улусе Республики Саха (Якутия) по данным дистанционного зондирования	295
Е.И. Нижевич, М.В. Князев, А.О. Лазарева, А.П. Шкаруп Влияние частиц микропластика на сообщество пресноводных инфузорий.	298
Е.И. Нижевич, М.В. Князев, А.О. Лазарева, А.П. Шкарупо Влияние нефтезагрязнений на сообщество пресноводных инфузорий	300
А.А. Смирнов Оценка формирования пожароопасной обстановки на основе спутниковых и метеорологических данных	302
М.А. Татаринцева Биомониторинг загрязнения атмосферного воздуха тяжелыми металлами с помощью мхов	305
А.Е. Трифонов Прогнозирование травматизма на предприятиях транспорта и связи.....	307
Т.А. Янтусев Влияние промышленной эксплуатации солнечных батарей на окружающую среду	310
Н.А. Богатов, А.С. Савина, А.П. Зоткин, Е.И. Пентюхин Обоснование необходимости разработки новых инновационных химических составов для тушения ландшафтных пожаров	312
Б.Г. Иванов, И.О. Чакляров, П.С. Рыбаченко, П.С. Филичкин Моделирование напряженно-деформированного состояния обшивки корпуса при пожаре в отсеке подводной лодки на этапе исследовательского проектирования	315
В.В. Романенко Сохранение окружающей среды за счет внедрения новых конструкций деревянных шпал	318

Научное издание

Сборник избранных статей научной сессии ТУСУР

**По материалам
международной научно-технической конференции
студентов, аспирантов и молодых ученых
«Научная сессия ТУСУР–2023»**

17–19 мая 2023 г., г. Томск

В трех частях

Часть 2

Корректор – **В.Г. Лихачева**
Верстка **В.М. Бочкаревой**

Сдано на верстку 25.05.2023. Подписано к печати 25.06.2023.
Формат 60×84¹/₁₆. Печать трафаретная. Печ. л. 20,6
Тираж 100 экз. Заказ 7.

Издано ТУСУР (заказчик)
г. Томск, пр. Ленина, 40, к. 205, т. 70-15-24
Тираж отпечатан в издательстве 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