



Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники



РАДИОТЕХНИЧЕСКИЙ
ФАКУЛЬТЕТ



РАДИОКОНСТРУКТОРСКИЙ
ФАКУЛЬТЕТ



ФАКУЛЬТЕТ
ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ



ФАКУЛЬТЕТ
СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ



ФАКУЛЬТЕТ
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ



ГУМАНИТАРНЫЙ
ФАКУЛЬТЕТ



ФАКУЛЬТЕТ
БЕЗОПАСНОСТИ



ЭКОНОМИЧЕСКИЙ
ФАКУЛЬТЕТ



ФАКУЛЬТЕТ
ИННОВАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ



ЮРИДИЧЕСКИЙ
ФАКУЛЬТЕТ



ЗАОЧНЫЙ И ВЕЧЕРНИЙ
ФАКУЛЬТЕТ



ФАКУЛЬТЕТ
ДИСТАНЦИОННОГО
ОБУЧЕНИЯ

**ВЫБИРАЯ БУДУЩЕЕ,
ВЫБИРАЙ TUSUR!**

634050, г. Томск, пр. Ленина, 40, каб. 129 E-mail: onir@main.tusur.ru
Телефон/Факс: (3822) 900-100 Сайт: <http://tusur.ru/>

Информационный центр абитуриента: magistrant.tusur.ru

Сборник избранных статей научной сессии TUSUR



ПО МАТЕРИАЛАМ МЕЖДУНАРОДНОЙ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ
СТУДЕНТОВ, АСПИРАНТОВ
И МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ
«НАУЧНАЯ СЕССИЯ TUSUR–2021»

г. Томск, 19–21 мая 2021 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–2021»**

19–21 мая 2021 г., г. Томск

В трех частях

Часть 2

В-Спектр
2021

УДК 621.37/.39+681.518 (063)

ББК 32.84я431+32.988я431

С 23

С 23 Сборник избранных статей научной сессии ТУСУР (Томск, 19–21 мая 2021 г.): в 3 частях. – Томск: В-Спектр, 2021. – Ч. 2. – 276 с.

ISBN 978-5-91191-453-0

ISBN 978-5-91191-454-7 (Ч. 1)

ISBN 978-5-91191-455-4 (Ч. 2)

ISBN 978-5-91191-456-1 (Ч. 3)

Сборник избранных статей научной сессии ТУСУР включает 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 978-5-91191-453-0

ISBN 978-5-91191-455-4 (Ч. 2)

© Том. гос. ун-т систем управления
и радиоэлектроники, 2021

Международная научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Научная сессия ТУСУР–2021», 19–21 мая 2021 г.

ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ

- Рулевский В.М. – председатель Программного комитета, ректор ТУСУРа, д.т.н.;
- Лощилов А.Г. – заместитель председателя Программного комитета, проректор по научной работе и инновациям ТУСУРа, к.т.н.;
- Абдрахманова М.В., директор библиотеки ТУСУРа;
- Афонасова М.А., зав. каф. менеджмента ТУСУРа, д.э.н., проф.;
- Бабур-Карателли Г.П., к.т.н., PhD (TU Delft), научный сотрудник каф. TOP ТУСУРа;
- Беляев Б.А., зав. лаб. электродинамики и СВЧ-электроники Ин-та физики СО РАН, д.т.н., г. Красноярск;
- Ботаева Л.Б., руководитель направления по оказанию инжиниринговых услуг, АНО «Томский региональный инжиниринговый центр», к.т.н.;
- Васильковская Н.Б., доцент каф. экономики ТУСУРа, к.э.н.;
- Голиков А.М., доцент каф. РТС ТУСУРа, к.т.н.;
- Дмитриев В.М., проф. каф. КСУП ТУСУРа, д.т.н.;
- Еханин С.Г., проф. каф. КУДР ТУСУРа, д.ф.-м.н.;
- Заблоцкий А.М., проф. каф. ТУ ТУСУРа, д.т.н.;
- Зариковская Н.В., доцент каф. АОИ ТУСУРа, к.ф.-м.н.;
- Зейниденов А.К., PhD, декан физико-технического факультета Карагандинского университета имени Е.А. Букетова, проф., г. Караганда (Казахстан);
- Исакова А.И., доцент каф. АСУ ТУСУРа, к.т.н.;
- Issakov V., professor at University Otto-von-Guericke Magdeburg, Germany;
- Caratelli D., PhD (Sapienza University of Rome), technical director of the company «The Antenna Company Nederland B.V.»;
- Карташев А.Г., проф. каф. РЭТЭМ ТУСУРа, д.б.н.;
- Карауш А.С., ген. директор Государственной публичной научно-технической библиотеки России (ГПНТБ России), к.т.н., г. Москва;
- 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.;
- Krozer V., professor at Goethe University, Frankfurt am Main;
- Лукин В.П., зав. лаб. когерентной и адаптивной оптики ИОА СО РАН, почетный член Американского оптического общества, д.ф.-м.н., проф., г. Томск;
- Малюк А.А., проф. отделения интеллектуальных кибернетических систем офиса образовательных программ, Институт интеллектуальных кибернетических систем НИЯУ МИФИ, к.т.н., г. Москва;
- Малютин Н.Д., гл.н.с. НИИ Систем электрической связи, проф. каф. КУДР ТУСУРа, д.т.н.;
- Мелихов С.В., проф. каф. РТС, д.т.н.;
- Мицель А.А., проф. каф. АСУ ТУСУРа, д.т.н.;

- Мозгунов А.В., начальник ОНИР ТУСУРа;
- Озеркин Д.В., декан РКФ ТУСУРа, к.т.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 НГТУ, д.т.н., г. Новосибирск;
- Рогожников Е.В., доцент каф. ТОР ТУСУРа, к.т.н.;
- Ромашко Р.В., член-корреспондент РАН, директор ИАПУ ДВО РАН, проф. ДВФУ, д.ф.-м.н., г. Владивосток;
- Сарсикеев Е.Ж., PhD, зав. каф. «Эксплуатация электрооборудования» Казахского агротехнического университета им. С. Сейфуллина, г. Астана (Казахстан);
- Семенов В.Д., проф. каф. ПрЭ ТУСУРа, к.т.н.;
- Семенов Э.В., проф. каф. РСС ТУСУРа, д.т.н.;
- Сенченко П.В., проректор по учебной работе ТУСУРа, доцент каф. АОИ, к.т.н.;
- Соломин С.К., зав. каф. ГП ТУСУРа, д.ю.н.;
- Суслова Т.И., декан ГФ ТУСУРа, д.ф.н., проф.;
- Титов В.С., зав. каф. вычислительной техники Юго-Западного государственного университета, д.т.н., проф., заслуженный деятель наук РФ, академик Международной академии наук ВШ, г. Курск;
- Троян П.Е., зав. каф. ФЭ ТУСУРа, д.т.н., проф.;
- Туев В.И., зав. каф. РЭТЭМ ТУСУРа, д.т.н.;
- Ходашинский И.А., проф. каф. КИБЭВС 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;
- Шарангович С.Н., проф., зав. 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.

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, к.т.н.;
- 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.;
- Покровская Е.М., зав. каф. ИЯ, доцент, 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 секции – Мелихов Сергей Всеволодович, проф. каф. РТС, д.т.н.; зам. председателя – Аникин Алексей Сергеевич, доцент каф. РТС, к.т.н.

Подсекция 1.2. Проектирование и эксплуатация радиоэлектронных средств. Председатель секции – Шостак Аркадий Степанович, проф. каф. КИПР, д.т.н.; зам. председателя – Озёркин Денис Витальевич, декан РКФ, к.т.н.

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

Подсекция 1.4. Аудиовизуальная техника, цифровое телерадиовещание и информационный сервис. Председатель секции – Курячий Михаил Иванович, доцент каф. ТУ, к.т.н.

Подсекция 1.5. Инфокоммуникационные технологии и системы широкополосного беспроводного доступа. Председатель секции – Рогожников Евгений Васильевич, доцент каф. ТОР, к.т.н.

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

Подсекция 1.7. Интеллектуальные системы проектирования технических устройств. Председатель секции – Шурыгин Юрий Алексеевич, директор департамента управления и стратегического развития ТУСУРа, зав. каф. КСУП, д.т.н., проф.; зам. председателя – Черкашин Михаил Владимирович, декан ФВС, доцент каф. КСУП, к.т.н.

Секция 2. Электроника и приборостроение

Подсекция 2.1. Проектирование биомедицинских электронных и нанoeлектронных средств. Председатель секции – Еханин Сергей Георгиевич, проф. каф. КУДР, д.ф.-м.н.; зам. председателя – Романовский Михаил Николаевич, доцент каф. КУДР, к.т.н.

Подсекция 2.2. Разработка контрольно-измерительной аппаратуры. Председатель секции – Лоцилов Антон Геннадьевич, проректор по научной работе и инновациям ТУСУРа, 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 секции – Троян Павел Ефимович, зав. каф. ФЭ, д.т.н., проф.; зам. председателя – Смирнов Серафим Всеволодович, проф. каф. ФЭ, д.т.н.

Подсекция 2.4. Промышленная электроника. Председатель секции – Семёнов Валерий Дмитриевич, проф. каф. ПрЭ, к.т.н.; зам. председателя – Мехальченко Сергей Геннадьевич, зав. каф.

ПрЭ, д.т.н.; Оскирко Владимир Олегович, н.с. лаборатории прикладной электроники ИСЭ СО РАН, технический директор ООО «Прикладная электроника», к.т.н.

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

Подсекция 2.6. Электромагнитная совместимость. Председатель секции – Заболоцкий Александр Михайлович, проф. каф. ТУ, д.т.н.; зам. председателя – Куксенко Сергей Петрович, доцент каф. ТУ, д.т.н.

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

Секция 3. Информационные технологии и системы

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

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

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

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

Подсекция 3.5. Современные библиотечные технологии. Председатель секции – Абдрахманова Марина Викторовна, директор библиотеки ТУСУРа; зам. председателя – Карауш Александр Сергеевич, генеральный директор ГПНТБ России, г. Москва, к.т.н.

Подсекция 3.6. Молодежные инновационные научные и научно-технические проекты. Председатель секции – Костина Мария Алексеевна, доцент каф. УИ, к.т.н.; зам. председателя – Нариманова Гуфана Нурлабековна, зав. каф. УИ, к.ф.-м.н.

Подсекция 3.7. Разработка программного обеспечения. Председатель секции – Зариковская Наталья Вячеславовна, доцент каф. АОИ, зам. ген. директор ООО «АльдераСофт», к.ф.-м.н.

Подсекция 3.8. Инструментальные средства поддержки автоматизированного проектирования и управления. Председатель секции – Хабибулина Надежда Юрьевна, доцент каф. КСУП, к.т.н.; зам. председателя – Потапова Евгения Андреевна, ст. преподаватель каф. КСУП.

Секция 4. Информационная безопасность

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

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

Подсекция 4.3. Экономическая безопасность. Председатель секции – Кузьмина Елена Александровна, доцент каф. КИБЭВС, к.т.н.; зам. председателя – Колтайс Андрей Станиславович, преподаватель каф. КИБЭВС.

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

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

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

Подсекция 5.3. Современные методы финансового планирования. Председатель секции – 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 секции – Афонасова Маргарита Алексеевна, зав. каф. менеджмента, д.э.н., проф.; зам. председателя – Богомолова Алена Владимировна, декан ЭФ, доцент каф. менеджмента, к.э.н.

Подсекция 5.5. Современные социокультурные технологии в организации работы с молодежью. Председатель секции – Сулова Татьяна Ивановна, декан ГФ, проф. каф. ФиС, д.филос.н.; зам. председателя – Орлова Вера Вениаминовна, и.о. зав. каф. ФиС, директор НОЦ «СГТ», д.соц.н.

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

Подсекция 5.7. Правовые проблемы современной России. Председатель секции – Соломин Сергей Константинович, зав. каф. ГП, д.ю.н., доцент; зам. председателя – Газизов Родион Маратович, ст. преподаватель каф. ИП.

Секция 6. Экология и мониторинг окружающей среды. Безопасность жизнедеятельности. Председатель секции – Карташев Александр Георгиевич, проф. каф. РЭТЭМ, д.б.н., проф.; зам. председателя – Денисова Татьяна Владимировна, доцент каф. РЭТЭМ, к.б.н.

Секция 7. Открытия. Творчество. Проекты. (Секция для школьников). Председатель секции – Мозгунов Алексей Викторович, начальник ОНиР; зам. председателя – Колесник Анастасия Викторовна, инженер ОНиР.

Секция 8. Postgraduate and Master Students' Research in Electronics and Control Systems. (Секция на английском языке). Председатель секции – Покровская Елена Михайловна, зав. каф. ИЯ, к.филос.н.; зам. председателя – Шпит Елена Ирисметовна, ст. преподаватель каф. ИЯ; Соболевская Ольга Владимировна, ст. преподаватель каф. ИЯ; Таванова Эльвира Борисовна, ст. преподаватель каф. ИЯ.

Адрес оргкомитета:

**634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 40,
ФГБОУ ВО «Тусур»**

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

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

2 часть – 2-я секция (подсекции 2.5 – 2.7); 3-я секция (подсекции 3.1 – 3.8);

3 часть – 4-я секция (подсекции 4.1 – 4.3); 5-я секция (подсекции 5.1 – 5.4, 5.7); 6-я секция; 8-я секция.

7-я секция (для школьников) печатается отдельным сборником.

СЕКЦИЯ 2

ЭЛЕКТРОНИКА И ПРИБОРОСТРОЕНИЕ

(стр. 11–126)

СЕКЦИЯ 3

**ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
И СИСТЕМЫ**

(стр. 127–266)

СЕКЦИЯ 2

ЭЛЕКТРОНИКА И ПРИБОРОСТРОЕНИЕ

ПОДСЕКЦИЯ 2.5

ОПТИЧЕСКИЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, НАНОФОТОНИКА И ОПТОЭЛЕКТРОНИКА

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

УДК 621.396.41

СПЕКТР ОПТИЧЕСКОГО ОТРАЖЕНИЯ КРИСТАЛЛА НИОБАТА ЛИТИЯ, ЛЕГИРОВАННОГО МЕДЬЮ

К.Г. Аксёнов, А.В. Михайленко, студенты каф. ЭП

Научный руководитель С.М. Шандаров, зав. каф. ЭП, д.ф.-м.н., проф.

г. Томск, ТУСУР, avtlnp@gmail.com и nastyamih1999@mail.ru

Проект ГПО ЭП-0701. «Исследование спектральных характеристик

динамики фотоиндуцированного поглощения света в кристаллах

силленитов в условиях внешней некогерентной подсветки

и влияния температуры»

Представлены результаты экспериментального исследования спектральной зависимости коэффициента отражения кристалла $\text{LiNbO}_3:\text{Cu}$ с диффузионным легированием в диапазоне от 185 до 900 нм.

Ключевые слова: ниобат лития, спектральные зависимости коэффициента отражения, двухлучевой спектрофотометр.

Сегнетоэлектрические кристаллы ниобата лития обладают хорошими фотогальваническими и пирозлектрическими свойствами, открывающими широкие возможности для создания на их основе компактных кристаллических ускорителей электронных пучков, источников рентгеновского излучения [1] и оптических пинцетов [2]. Для увеличения фотогальванических свойств ниобата лития перспективным является его диффузионное легирование ионами Fe [3] и Cu [4, 5]. Информативным методом определения концентрации легирующей

примеси является оптическая спектроскопия [4, 5]. В настоящей работе представлены результаты исследования спектральной зависимости коэффициентов отражения от X -граней кристалла ниобата лития, легированного медью.

В экспериментах использовалась оптически полированная пластина X -среза из конгруэнтного ниобата лития, имеющая размеры $1,3 \times 10 \times 13,5$ мм по осям x , y и z соответственно. Легирование производилось К.М. Мамбетовой методом высокотемпературной диффузии из металлической пленки меди по методике, описанной в работе [5]. Исследования коэффициента отражения проводились на двухлучевом спектрофотометре Shimadzu UV-2700 в стандартном режиме измерения спектральной зависимости зеркального коэффициента отражения $R_s(\lambda)$ от плоской оптически полированной грани образца [6] для ширины щели $\Delta\lambda = 5$ нм. Данная стандартная методика использует сравнение интенсивностей света, отраженных от исследуемого образца и от эталонного алюминиевого зеркала, коэффициент отражения которого в этом случае принимается спектрально-независимым и равным единице, $R_{et} = 1$.

Полученные по данной методике экспериментальные данные представлены на рис. 1 зависимостями 1 (красные точки) и 2 (бирюзовые точки), соответствующими коэффициентам отражения R_{s1} и R_{s2} от двух плоскостей образца, измеренных относительно эталонного зеркала. На первую плоскость в процессе реализации поверхностного легирования наносилась пленка металлической меди, и концентрация ионов Cu вблизи неё после проведения высокотемпературного отжига была максимальной, составляющей около $7,3 \cdot 10^{25} \text{ м}^{-3}$ [7]. Приведенные в [2, 7] данные о распределении ионов Cu в исследуемой пластине свидетельствуют об их отсутствии вблизи грани 2. Для расчета абсолютных значений соответствующих коэффициентов отражения R_1 и R_2 , показанных на рис. 1 зависимостями 3 (синие точки) и 4 (коричневые точки), использовались данные по коэффициенту отражения $R_{A1}(\lambda)$, измеренные ранее в [8].

Как видно из рисунка, абсолютные значения коэффициентов отражения R_1 и R_2 значительно отличаются от относительных R_{s1} и R_{s2} для спектральных областей от 185 до 460 и от 540 до 900 нм. Сравнение зависимостей 3 и 4 показывает, что в спектральном диапазоне 400–570 нм зависимости коэффициента отражения для обеих сторон образца практически идентичны. Однако в диапазонах 570–900 и 185–400 нм разность коэффициентов отражения увеличивается к границам диапазона и достигает 7% у длинноволновой и 20% у коротковолновой границ спектра.

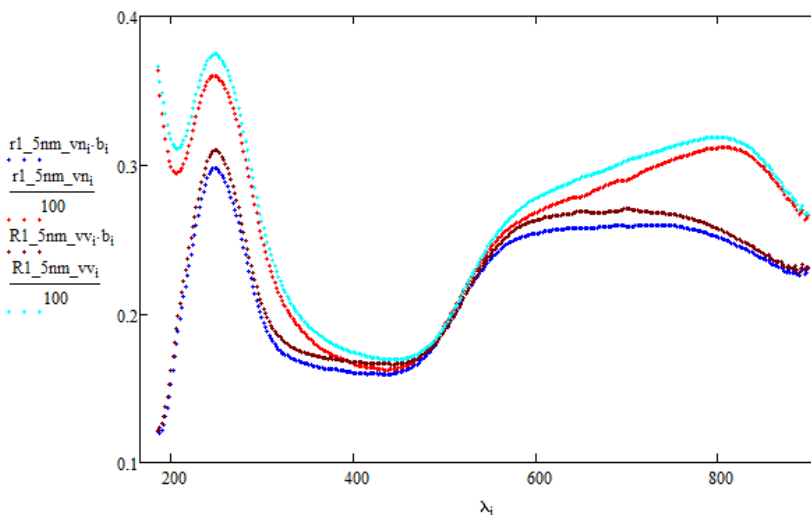


Рис. 1. Спектральные зависимости коэффициентов отражения от плоскостей 1 (концентрация ионов меди максимальна) и 2 (ионы меди вблизи неё отсутствуют) легированного образца X-среза $\text{LiNbO}_3:\text{Cu}$. Зависимости 1 и 2 – для относительных коэффициентов отражения R_{s1} и R_{s2} ; 3 и 4 – для абсолютных значений R_1 и R_2

Таким образом, при данной концентрации меди в приграничном слое образца его вклад в спектральную зависимость коэффициента отражения в видимой области спектра незначителен.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках Госзадания на 2020–2022 годы (задание FEWM-2020-0038/3).

ЛИТЕРАТУРА

1. Орликов Л.Н., Мамбетова К.М., Злобин А.О., Шандаров С.М. Генерация рентгеновского излучения при термическом воздействии на ниобат лития // Известия вузов. Физика. – 2018. – Т. 61, № 9-2. – С. 211–215.
2. Мамбетова К.М., Шандаров С.М., Татьянников А.И., Смирнов С.В. Агрегирование диэлектрических наночастиц на X-срезе кристалла $\text{LiNbO}_3:\text{Cu}$ электрическими полями фоторефрактивных голограмм // Известия вузов. Физика. – 2019. – Т. 62, № 4. – С. 89–93.
3. Башкиров А.И., Шандаров В.М. Исследование оптических волноводов в ниобате лития, полученных диффузией железа // ЖТФ. – 1989. – Т. 59, № 8. – С. 66–69.
4. Peithmann K., Hukriede J., Buse K., Krätzig E. Photorefractive properties of LiNbO_3 crystals doped by copper diffusion Phys. // Rev. B. – 2001. – Vol. 61, No. 7. – P. 4615–4620.

5. Мамбетова К.М., Смаль Н.Н., Шандаров С.М., Орликов Л.Н., Арестов С.И., Смирнов С.В. Динамика формирования пропускающих голограмм в кристаллах ниобата лития, легированных медью методом высокотемпературной диффузии // Известия вузов. Радиофизика. – 2014. – Т. 57, № 8–9. – С. 675–682.

6. Руководство по эксплуатации спектрофотометра УФ-видимой области фирмы Шимадзу Shimadzu UV-2600/2700. – 2014. – 162 с.

7. Мамбетова К.М., Шандаров С.М., Орликов Л.Н., Арестов С.И., Смирнов С.В., Серебренников Л.Я., Краковский В.А. Формирование динамических фоторефрактивных решеток в кристалле $\text{LiNbO}_3:\text{Cu}$ с поверхностным легированием // Оптика и спектроскопия. – 2019. – Т. 126, № 6. – С. 858–863.

8. Шандаров С.М., Акрестина А.С., Михайленко А.В., Аксенов К.Г. Измерения спектральной зависимости коэффициента отражения комплектного алюминиевого зеркала спектрофотометра Shimadzu UV-2700 // Шарыгинские чтения. I Всерос. науч. конф., 18–19 сент. 2019 г. – Томск, 2019. – С. 68–72.

УДК 535.215.6

МОДЕЛИРОВАНИЕ ИНТЕРФЕРОМЕТРА МАХА–ЦЕНДЕРА НА ОСНОВЕ ТОНКОПЛЕНОЧНОГО НИОБАТА ЛИТИЯ

В.А. Алтухов, И.В. Кузнецов, студенты каф. СВЧиКР

Научный руководитель А.С. Перин, доцент каф. СВЧиКР, к.т.н.

г. Томск, ТУСУР, anton.s.perin@tusur.ru

Проект ГПО СВЧиКР-2102 «Исследование и разработка электрооптического преобразователя для измерения напряженности электрического поля»

Приведены результаты моделирования распространения световых пучков через интерферометр Маха–Цендера, сформированного на основе волноводных структур тонкопленочного ниобата лития с учетом приложенного внешнего электрического поля.

Ключевые слова: ниобат лития, эффект Поккельса, интерферометр Маха–Цендера, напряженность электрического поля.

Оптические сенсорные системы являются важными инструментами при проведении высокоточных измерений, например при испытании электронной компонентной базы на электромагнитную совместимость. Требования к датчикам электрического поля, предъявляемые на сегодняшний день: широкая полоса частот, большой динамический диапазон, высокое пространственное разрешение, низкие помехи по отношению к исходному полю, высокая стабильность и точность. Несмотря на то, что в настоящее время разработано множество сенсорных модулей, датчики на основе интегрально-оптических элементов с фотонными связями уменьшают и/или устраняют некоторые

неточности и систематические ошибки, которые влияют на методы измерения с использованием обычных датчиков электромагнитного поля. Оптические системы измерения обеспечивают гальваническую развязку, которая устраняет контуры заземления и синфазные электрические наводки между чувствительной областью датчика и электронным модулем. Кроме того, оптические волокна и диэлектрические компоненты создают минимальные искажения поля, могут сохранять как фазу, так и амплитуду высокочастотных полей с хорошей точностью и низкими потерями. Одним из основных принципов, лежащих в основе построения оптических сенсоров, является модуляция оптического сигнала электрическим полем благодаря электрооптическому эффекту Поккельса.

В частности, в качестве функциональной основы для построения основы сенсора предлагается использовать фотонные интегральные схемы в конфигурации интерферометра Маха–Цендера с микрополосковой антенной [1] на основе волноводных структур, сформированных на базе тонкопленочного ниобата лития (LiNbO_3) [2, 3]. В этих работах показана возможность получения оптических волноводных структур на основе тонкопленочного ниобата лития.

Целью данной работы является распространения световых пучков через интерферометр Маха–Цендера, сформированного на основе волноводных структур тонкопленочного ниобата лития с учетом приложенного внешнего электрического поля.

На основе анализа и сопоставления данных из источников [1–3] была построена модель интерферометра Маха–Цендера на основе волноводных структур тонкопленочного ниобата лития и микрополосковых электродов.

В качестве среды для моделирования была выбрана САПР OpticBPM (бесплатная пользовательская версия), методом исследования являлся метод распространяющегося пучка. В одном из плеч интерферометра располагается пара электродов. Фазовая задержка света, проходящего через это плечо, описывается известными выражениями, учитывающими длину волны света, необыкновенный показатель преломления, приложенное напряжение, толщину кристалла по направлению распространения электрического поля.

При моделировании принимались следующие параметры излучения: волна с необыкновенной поляризацией; длина волны света 532 нм; входная интенсивность 1 Вт/м^2 . Основные размеры элементов интерферометра: толщина волноводов 5 мкм; длина плеч 11 см, длина электродов по направлению распространения света 11 см.

Результаты моделирования распространения оптической волны через интерферометр Маха–Цендера на основе волноводных структур тонкопленочного ниобата лития приведены на рис. 1 (приведена часть структуры интерферометра). В случае отсутствия напряжения интенсивность световых пучков на выходе интерферометра приблизительно равна, что демонстрируется профилями интенсивности (см. рис. 1, справа). Следовательно, интерферометр изначально был установлен на точку половинной мощности 3 дБ. В то время как управляющее напряжение увеличивалось от 0 до 5 В, интенсивность в верхнем плече интерферометра уменьшалась, а интенсивность нижнего плеча увеличивалась. При подаче 7,5 В интенсивность света верхнего плеча стала минимальной, интенсивность света нижнего плеча достигла максимального значения (см. рис. 1, слева).

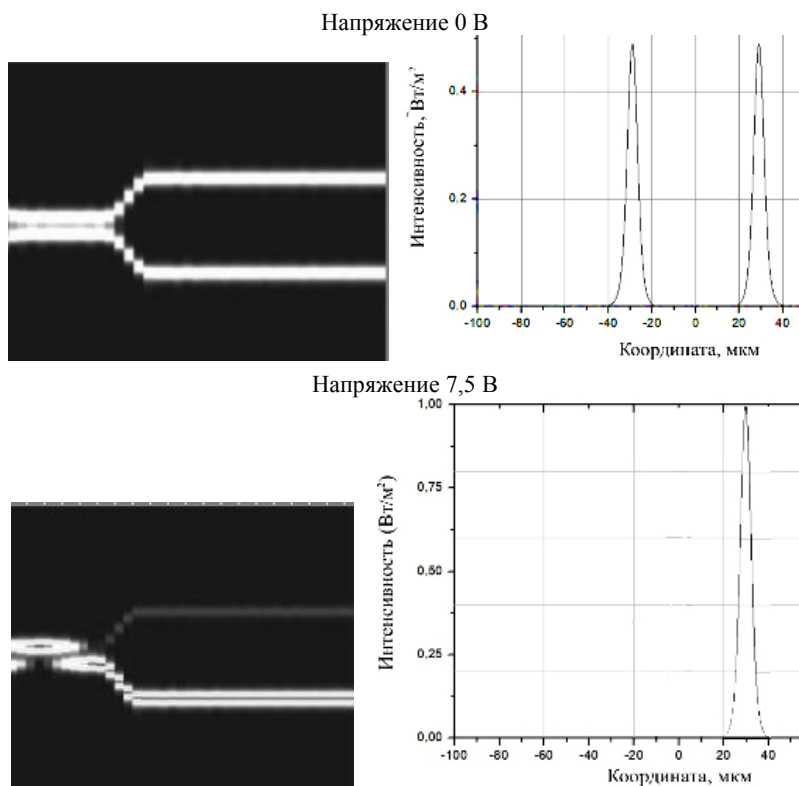


Рис. 1. Результаты моделирования при различном приложенном напряжении: картины распределения интенсивности (приведена часть структуры интерферометра), слева; профили интенсивности (справа)

Таким образом, можно теоретически подтвердить, что напряжение переключения, необходимое для модуляции интенсивности света любой ветви интерферометра от состояния максимальной интенсивности до минимального значения, составляет $\sim 7,5$ В при данной конфигурации интерферометра и параметрах излучения.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых ученых МК-3217.2021.4.

ЛИТЕРАТУРА

1. Jung H. An integrated photonic electric-field sensor utilizing a 1×2 YB Mach-Zehnder interferometric modulator with a titanium-diffused lithium niobate waveguide and a dipole patch antenna // Crystals. – 2019. – Vol. 9, № 9. – P. 459.
2. Poberaj G. Lithium niobate on insulator (LNOI) for micro- photonic devices / G. Poberaj, H. Hu, W. Sohler, P. Guenter // Laser & photonics reviews. – 2012. – Vol. 6, № 4. – P. 488–503.
3. Wang Y. Analysis of waveguides on lithium niobate thin films / Y. Wang, Z. Chen, H. Hu // Crystals. – 2018. – Vol. 8, № 5. – P. 191.

УДК 535.44

ФЛЕКСОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ВКЛАД В ФОТОРЕФРАКТИВНЫЙ ОТКЛИК ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ СВЕТОВЫХ ВОЛН НА ОТРАЖАТЕЛЬНЫХ ГОЛОГРАММАХ В КРИСТАЛЛЕ $\text{Vt}_{12}\text{SiO}_{20}$ СРЕЗА (110)

*М.А. Костеников, В.А. Леванисов, К.К. Ежова, студенты;
С.С. Шмаков, доцент, к.т.н.; С.М. Шандаров, проф., д.ф.-м.н.;
Н.И. Буримов, проф. каф. ЭП, д.ф.-м.н.*

г. Томск, ТУСУР, hack17777@mail.ru

*Проект ГПО ЭП-1801 «Адаптивная голографическая
интерферометрия»*

Использование адаптивной голографической интерферометрии при встречном взаимодействии сильного стационарного опорного пучка со слабым фазомодулированным сигнальным пучком [1], сохраняющим круговые поляризации разных знаков вращения, на динамических отражательных голограммах в кубических фоторефрактивных кристаллах, позволяет выявлять дополнительные вклады в фоторефрактивный отклик, например вклад обратного флексоэлектрического и фотоупругого эффектов [2, 3], а также анализировать их количественно. Подобный анализ необходим в первую очередь для описания новых явлений, наблюдаемых в устройствах динамической голографии. В настоящем сообщении представлены результаты исследования сигнала фазовой демодуляции голографического интерферометра при встречном взаимодействии на отражательной

голограмме стационарного пучка накачки и фазово-модулированного сигнального пучка, сохраняющих круговые поляризации разных знаков вращения, в кристалле $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$ среза (110).

Ключевые слова: флексоэлектрический эффект, отражательная голограмма, силленит, фоторефрактивный эффект, фазовая демодуляция.

Ранее вклад обратного флексоэлектрического эффекта в фоторефрактивный отклик с использованием эффекта фазовой демодуляции [1] при взаимодействии сильной стационарной опорной волны, имеющей левую круговую поляризацию со слабой фазово-модулированной сигнальной волной, сохраняющей правую круговую поляризацию, на отражательных голограммах был обнаружен в фоторефрактивном монокристалле титаната висмута $\text{Bi}_{12}\text{TiO}_{20}$ среза (100) [2, 3]. В кристалле силиката висмута $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$ с ориентацией (110) флексоэлектрический вклад в фоторефрактивный отклик исследовался при попутном взаимодействии световых пучков на пропускающих голограммах [4].

Теоретическое описание выходного сигнала фазовой демодуляции адаптивного голографического интерферометра на основе встречного взаимодействия проводилось по подходу аналогичному в работах [1–3]. Предполагалось, что в фоторефрактивный отклик дает дополнительный вклад обратный флексоэлектрический и фотоупругий эффекты. Нулевая, первая и вторая гармоники выходного сигнала фазовой демодуляции описывались следующими соотношениями:

$$M_0 = 1 + J_0(\phi_m) \left\{ \exp(\Gamma_\alpha d) - 1 + \frac{\Gamma_{il}^2}{\Gamma_\alpha^2 + (4\rho - \Gamma_f)^2} \times \right. \\ \left. \times \left[1 + \exp(\Gamma_\alpha d) - 2 \exp\left(\frac{\Gamma_\alpha}{2} d\right) \cos\left(\left(2\rho - \frac{\Gamma_f}{2}\right) d\right) \right] \right\}, \quad (1)$$

$$M_1 = -4J_0(\phi_m) J_1(\phi_m) \exp\left(\frac{\Gamma_\alpha}{2} d\right) \sin\left(\frac{\Gamma_f}{2} d\right), \quad (2)$$

$$M_2 = 4J_0(\phi_m) J_2(\phi_m) \left[\exp\left(\frac{\Gamma_\alpha}{2} d\right) \sin\left(\frac{\Gamma_f}{2} d\right) - 1 \right], \quad (3)$$

где $J_n(\phi_m)$ – функция Бесселя n -го порядка от амплитуды синусоидальной фазовой модуляции $\phi_m \approx 4\pi l/\lambda$; l – амплитуда колебаний зеркала, задающего модуляцию сигнального пучка; ρ – удельное оптическое вращение; d – толщина кристалла.

Коэффициенты связи Γ_α , Γ_{il} и Γ_f , входящие в выражения (1)–(3), характеризуют вклады в фоторефрактивный отклик амплитудной составляющей отражательной голограммы, линейного электрооптического эффекта и обратного флексоэлектрического эффекта соответственно.

Стоит отметить, что используемая математическая модель (1)–(3) упрощена вследствие того, что не учитывает закон распределения интенсивности по профилю взаимодействующих пучков.

Экспериментальные исследования проводились на установке адаптивного голографического интерферометра [1], модуляция сигнального пучка в котором задавалась зеркалом с амплитудой колебаний l , определяющей амплитуду фазовой модуляции φ_m и изменяющейся от 0,6 до 200 нм. Сигнал фазовой демодуляции фиксировался фотоприемником, подключенным к цифровому осциллографу.

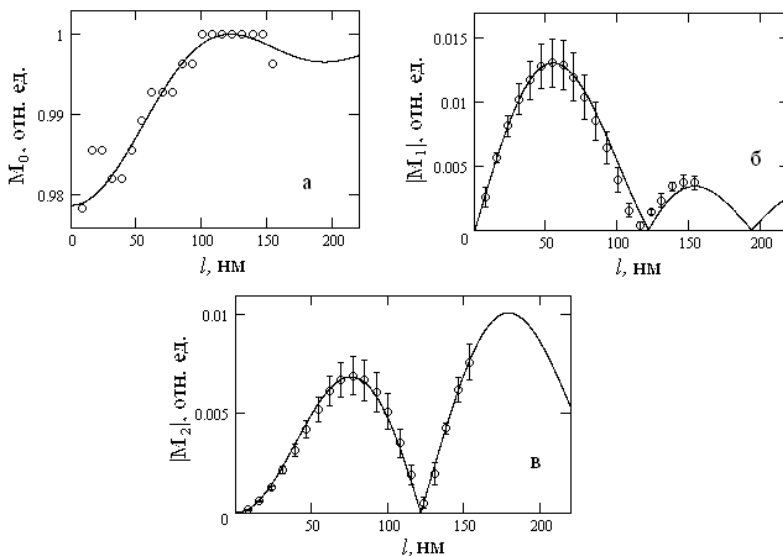


Рис. 1. Зависимости нулевой (а), первой (б) и второй (в) гармоник сигнала фазовой демодуляции от амплитуды колебания зеркала

Сплошные кривые на данном рисунке соответствуют расчету с использованием соотношений (1)–(3) при следующих значениях коэффициентов, характеризующих рассматриваемое взаимодействие:

$$\Gamma_\alpha = -11 \text{ см}^{-1}; \quad \Gamma_{il} = -11 \text{ см}^{-1}; \quad \Gamma_f = 7,4 \text{ см}^{-1}.$$

Из рисунка видно, что результаты расчета по рассматриваемой модели согласуются с экспериментальными данными.

ЛИТЕРАТУРА

1. Адаптивная интерферометрия, использующая динамические отражательные голограммы в кубических фоторефрактивных кристаллах / А.А. Колегов, С.М. Шандаров, Г.В. Симонова и др. // Квантовая электроника. – 2011. – Т. 41, № 9. – С. 847–852.
2. Обнаружение вклада обратного флексоэлектрического эффекта в фоторефрактивный отклик в монокристалле титаната висмута / С.М. Шандаров, С.С. Шамаков, Н.И. Буримов и др. // Письма в ЖЭТФ. – 2012. – Т. 95, № 11. – С. 699–702.
3. Вклад обратного флексоэлектрического эффекта во встречное двух-волновое взаимодействие световых пучков в фоторефрактивных кристаллах / С.М. Шандаров, С.С. Шамаков, П.В. Зуев и др. // Оптический журнал. – 2013. – Т. 80, № 7. – С. 5–12.
4. Фазовая демодуляция при попутном взаимодействии световых волн на динамических голограммах диффузионного типа в кристалле силиката висмута / Н.И. Буримов, А.О. Злобин, А.А. Шмидт и др. // Труды школы-семинара «Волны-2016». Когерентная и нелинейная оптика. – 2016. – С. 80–83.

УДК 621.383

СИСТЕМА ИЗМЕНЕНИЯ НАПРАВЛЕНИЯ РАСПРОСТРАНЕНИЯ СВЕТА

О.В. Тертишная, А.А. Согомояни, студенты каф. ЭП;

А.А. Гуляева, м.н.с. каф. ФЭ;

И.В. Кулинич, н.с. ИОА СО РАН, к.т.н.

г. Томск, ТУСУР, каф. ЭП, tertishnayaolya@gmail.com

Для поворота оптического волновода в фотонных интегральных схемах (ФИС) применяется плавное закругление по радиусу. Такой метод позволяет получить низкие вносимые потери, однако занимает большую площадь на полупроводниковой подложке, что значительно снижает степень интеграции и увеличивает стоимость готового изделия. В работе представлены исследования, которые позволяют определить концепцию высокоэффективной системы изменения направления распространения света.

Ключевые слова: фотонная интегральная схема, система изменения направления света.

В настоящее время стремительно развивается такое направление, как радиофотоника. Главным ее преимуществом является высокое быстродействие и устойчивость к внешним помехам [1]. Благодаря этому за последние годы увеличился объем исследований в области создания ФИС. ФИС, по сравнению с электронной схемой, не подвержены внешним электромагнитным полям и обладают возможностью передачи нескольких частот по одному каналу (волноводу) [2].

Актуальной задачей является интеграция ФИС с полупроводниковой электроникой, в которой существует тенденция уменьшения габаритов устройств, для высокой плотности интеграции элементов на одной подложке [3]. Размеры элементов ФИС, в том числе, зависят от габаритов области поворота света, так как изменение направления света является одной из важных задач в работе каждого оптического устройства. Изменение направления света осложняется возникновением больших оптических потерь на отражение из-за резкого угла поворота волновода. Поэтому в настоящее время для уменьшения потерь поворот света осуществляется с помощью плавного закругления волновода по радиусу, минимальные габариты которого превышают 100×100 мкм, что ограничивает степень интеграции микросхемы [4].

Исходя из вышеизложенного, целью работы является определение концепции системы изменения направления распространения света на 90° с малыми габаритами и низкими потерями.

На первом этапе был исследован метод изменения направления распространения света для ФИС с длиной волны 1550 нм с помощью закругленной геометрии гребенчатого волновода. При этом в качестве сердцевины волновода выступает диоксид кремния (SiO_2) с показателем преломления $n_1 = 1,5$, а в качестве оболочки – воздух ($n_2 = 1$). Данный волновод представлен на рис. 1.

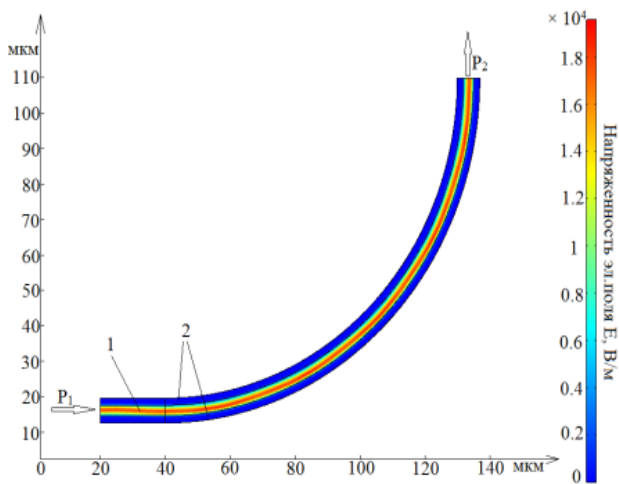


Рис. 1. Графическое представление распространения света в волноводе с углом поворота 90° с закругленной геометрией;

P_1 и P_2 – порт ввода и вывода света; 1 – сердцевина, 2 – оболочка

Были проведены исследования, в результате которых выявлено, что при значении радиуса кривизны волновода менее 70 мкм потери на отражение хуже чем -15 дБ, что является недопустимым. Отсюда можно сделать вывод, что минимальным размером такого волновода, при котором потери на отражение находятся в допустимых пределах, является 70×70 мкм.

Один из путей уменьшения габаритов области изменения направления распространения света в ФИС описан в работе [5] (рис. 2).

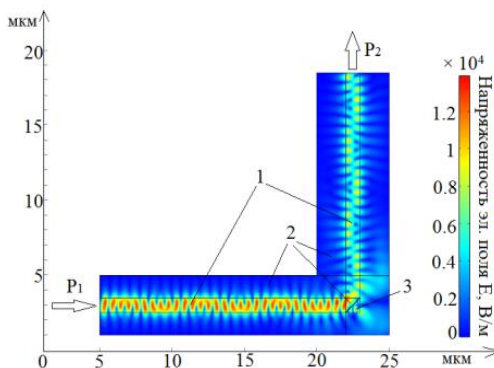


Рис. 2. Графическое представление распространения света в волноводе с углом поворота 90° с помощью микрозеркала; P_1 и P_2 – порт ввода и вывода света; 1 – сердцевина, 2 – оболочка, 3 – микрозеркало

Конструкция включает два перпендикулярно расположенных волновода, а изменение направления распространения света на 90° осуществляется с помощью микро-зеркала (М-З) из диоксида титана – рутила ($n_3 = 2,7$) длиной 1 мкм под углом 45° . Описанный способ позволяет значительно уменьшить габариты области изменения направления распространения света в ФИС, однако недостатком данного метода являются высокие потери $S_{11} = -15$ дБ. При реализации ФИС с множеством поворотов такие потери будут вызывать накопление ошибки, что приведет к отказу ФИС.

Проведенные исследования по улучшению конструкции с использованием М-З показали, что из-за рассеивания света на выходе из волновода снижение потерь таким способом не является возможным. Для снижения потерь необходимо компенсировать рассеивание света на выходе из волновода.

Проведенный анализ показал, что наиболее эффективным способом уменьшения рассеивания света на выходе волновода является разработка системы изменения распространения света за счет реализации интегральной коллимирующей линзы (ИКЛ) в оптическом гре-

бенчатом волноводе. ИКЛ позволяет получить на выходе из волновода параллельный пучок света, что позволяет отражать максимальное количество света, вышедшего из волновода, и направить его в выходной волновод.

Заключение. В результате проделанной работы было выявлено, что минимальный допустимый радиус кривизны для волноводов с закругленной геометрией составляет 70 мкм. Применение М-3 в системе поворота света позволило уменьшить габариты элементов примерно в 3,5 раза. Однако такой способ недостаточно эффективный, так как потери на отражение выходят за рамки допустимых значений. Для уменьшения потерь авторами данной работы был предложен способ ИКЛ на выходе из горизонтально лежащего волновода перед зеркалом для получения параллельного пучка света.

ЛИТЕРАТУРА

1. Белкин М.Е., Кудж С.А., Сигов А.С. Новые принципы построения радиоэлектронной аппаратуры СВЧ-диапазона с использованием радиофотонной технологии // Российский технологический журнал. – 2016. – Т. 10, № 1. – С. 4–20.
2. Якушенко П.О. Фотонные интегральные схемы // Фотоника (Photonics Russia). – 2017. – Т. 68, № 8. – С. 58–67.
3. Макушин М., Хомчик А. Наноантенные преобразователи волноводных мод // Экспресс-информация по зарубежной электронной технике. – 2017. – Вып. 10 (6633). – С. 14–16.
4. Арыков В.С. Основы элементной базы ВОЛС в СВЧ-электронике / В.С. Арыков, П.Е. Троян, И.В. Кулинич // Электронные средства и системы управления. – 2017. – № 1-2. – С. 242–244.
5. Noriki A. 45-degree curved micro-mirror for vertical optical I/O of silicon photonics chip / A. Noriki, T. Amano, D. Shimura, Y. Onawa, H. Yaegashi, H. Sasaki, M. Mori // Optics express. – 2019. – Vol. 14, No. 12. – P. 19749–19757.

УДК 535.421

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИФРАКЦИИ СВЕТА НА НАЛОЖЕННЫХ МНОГОСЛОЙНЫХ НЕОДНОРОДНЫХ ФПМ ДИФРАКЦИОННЫХ СТРУКТУРАХ

***В.О. Долгирев, аспирант; В.Г. Иванченко, Д.С. Растрьгин, магистранты; С.Н. Шарангович, проф. каф. СВЧиКР, к.ф.-м.н.
г. Томск, ТУСУР, каф. СВЧиКР, vital2@mail.ru***

Представлено исследование дифракции света на наложенных многослойных неоднородных голографических дифракционных структурах (НМНГДС) в фотополимерном материале (ФПМ). В результате исследования продемонстрировано изменение вида селективного отклика для каждой из записанных наложенных дифракцион-

ных структур (ДС) вследствие неоднородности профиля показателя преломления по глубине решеток.

Ключевые слова: НМНГДС, ФПМ, дифракция, ФИП.

В настоящее время многослойные дифракционные структуры интенсивно исследуются учеными. Это связано с их применимостью в таких оптических устройствах связи, как мультиплексоры, спектральные фильтры, сенсоры и т.д. [1, 2].

Такие структуры эффективно и удобно формировать голографическим методом в фоточувствительных средах. Использование ФПМ в качестве материала для голографической записи дифракционных структур (ДС) является одним из наиболее эффективных [3]. Манипулируя условиями записи и составом материала, возможно записывать различно сложные ДС. Так, например, на основе ФПМ возможно осуществить запись наложенных голографических дифракционных структур (НГДС) [3], что, в свою очередь, расширяет возможности дифракционных характеристик элемента по сравнению с одиночными решетками.

В работах [1, 2] проведены исследования голографического формирования и считывания МНГДС в ФПМ. В работе [1] показывается, что неоднородность профиля решетки для каждого слоя МНГДС влияет на вид селективного отклика. Причем изменение профиля показателя преломления по глубине решеток автор работы связывает с ослаблением интенсивности света по закону Бугера–Ламберта–Бера. В работе [2] показывается, что неоднородность профилей решеток может быть вызвана фотоиндуцированным поглощением (ФИП) материала, при котором профили решеток могут трансформироваться в пространстве во время записи, что отличается от работы [1]. Вместе с тем в описанных работах не рассматривается случай формирования НМНГДС. Таким образом, исследование дифракции света на НМНГДС в ФПМ становится актуальным.

В данной работе исследуется двухслойная ГДС в ФПМ, разделенная однородным промежуточным слоем. Для расширения дифракционных возможностей МНГДС было последовательно записано еще по 2 ДС для каждого слоя. Экспериментальная схема установки для записи и считывания НМНГДС представлена на рис. 1 и 2. He-Ne лазер с длиной волны 633 нм мощностью 2 мВт и апертурой пучка 2 мм разделялся с помощью светоделительного кубика (с.к.) на два пучка E_0 и E_1 . Углы падения пучков составляли 10 градусов. Для образования наложенных голограмм после записи первой ДР через время t_1 и t_2 образец поворачивался поворотным механизмом (п.м.) на угол Ψ . Таким образом, были записаны 3 голограммы при углах поворота

$\Psi = 5; 0; -5$ градусов. Для считывания НМНГДС шторкой (ш.) перекрывался один из пучков, и п.м. производил вращение образца, тем самым снимались дифракционные характеристики элемента. Образец состоял из двух ФПМ пленок «ГФПМ633.5» производства ООО «Полимерные голограммы – Новосибирск» с толщиной слоя 45 ± 5 мкм на стеклянной подложке толщиной $1 \pm 0,1$ мм и защитной пленки 135 мкм. Толщина однородного промежуточного слоя составляла 270 мкм. Анализаторами фиксировалась интенсивность прошедшего излучения.

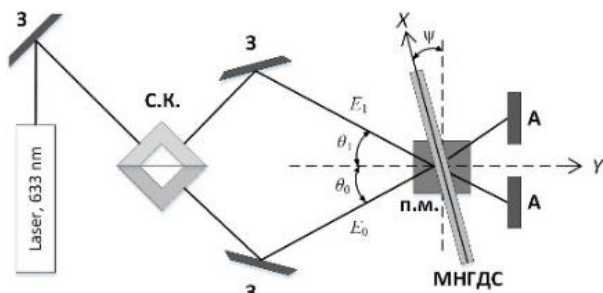


Рис. 1. Схема формирования НМНГДС

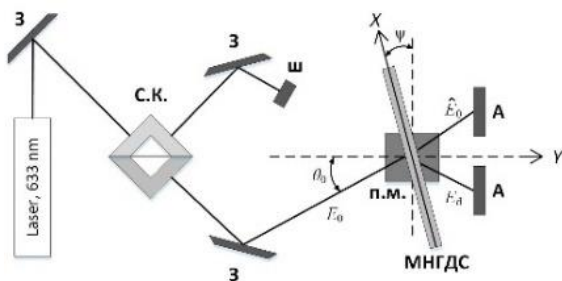


Рис. 2. Схема считывания НМНГДС

Для получения сравнительных данных также были сняты селективности дифрагировавших пучков для одиночных однослойной и двухслойной ГДС. Время записи таких структур составляло 120 с. На основе параметров записи для одиночных голограмм были подобраны времена записи для формирования более сложных наложенных ДС. Причем время для записи каждой последующей структуры становится больше. Это объясняется уменьшением концентрации мономера, приводящей к увеличению времени полимеризации и как следствие увеличению вклада диффузии в формирование решетки. Таким образом, для получения практически равных эффективностей каждой наложенной ГДС было выбрано соответствующее время записи: $t_1 = 25$ с; $t_2 = 40$ с; $t_3 = 50$ с.

На рис. 3 приведены нормированные зависимости дифракционной эффективности от угла поворота образца для однослойной, двухслойной и наложенной двухслойной ГДС.

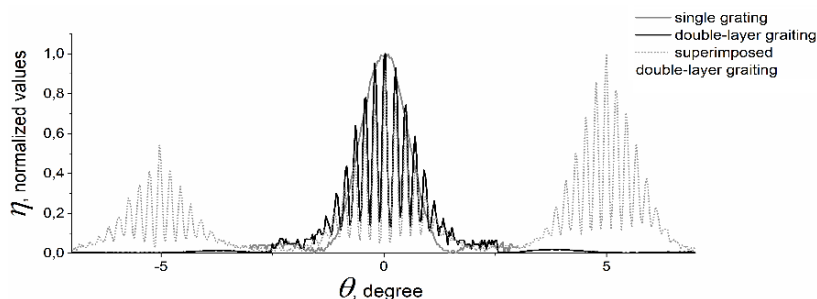


Рис. 3. Схема считывания НМНГДС

Как видно из рис. 3, локальные минимумы для двухслойной и наложенной двухслойной ГДС не достигают нуля. Для последующих наложенных двух голограмм заметно увеличение уровня боковых локальных минимумов, что свидетельствует о неоднородности профиля показателя преломления по глубине решетки, которое вызвано ФИП. При этом огибающая контура селективности для двухслойной и наложенной двухслойной ГДС совпадает с однослойной ГДС.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках Госзадания на 2020–2022 годы (задание FEWM-2020-0038/3).

ЛИТЕРАТУРА

1. Пен Е.Ф., Родионов М.Ю. Свойства многослойных неоднородных голографических структур // Квантовая электроника. – 2010. – Т. 40, № 10. – С. 919–924.
2. Дудник Д.И., Шарангович С.Н. Дифракция квазимонохроматических световых пучков на многослойных неоднородных голографических фотополимерных дифракционных структурах // Информационные технологии и нанотехнологии: матер. VI Междунар. конф. и молодежной школы «ИТНТ», 26–29 мая 2020 г., Самара. – С. 489–496.
3. Довольнов Е.А., Устюжанин С.В., Шарангович С.Н. Последовательная запись наложенных голографических структур в фотополимерных композиционных материалах с учетом фотоиндуцированного поглощения // Доклады ТУСУР. – 2008. – № 1. – С. 34–40.

НАБЛЮДЕНИЕ АНИЗОТРОПНОЙ ДИФРАКЦИИ СВЕТА НА РЕГУЛЯРНОЙ ДОМЕННОЙ СТРУКТУРЕ В КРИСТАЛЛЕ ТАНТАЛАТА ЛИТИЯ

*Д.А. Губинская, М.А. Федянина, студентки каф. ЭП;
Е.Н. Савченков, аспирант каф. ЭП*

*Научный руководитель С.М. Шандаров, проф. каф. ЭП, д.ф.-м.н.
г. Томск, ТУСУР, m_fedyanina@inbox.ru*

*Проект ГПО ЭП-0711 «Исследование спектральных характеристик
динамики развития отражательных фоторефрактивных решеток
в кристаллах силленитов в условиях внешней некогерентной
подсветки и влияния температуры»*

Представлены результаты экспериментов и расчета углов изотропной и анизотропной дифракции света в различные порядки на регулярной доменной структуре в кристалле танталата лития.

Ключевые слова: изотропная и анизотропная дифракция света, регулярные доменные структуры, танталат лития.

Регулярные доменные структуры (РДС) в сегнетоэлектрических кристаллах, эффективно использующиеся для реализации устройств квазисинхронного нелинейного преобразования частоты и управления параметрами лазерного излучения [1, 2], отличаются от идеальных в связи с недостаточным совершенством технологии их формирования. Неразрушающим методом контроля качества РДС, позволяющим определить их параметры, является линейная дифракция света [3]. О наблюдении дифракции света различных типов (изотропной, анизотропной и коллинеарной) на РДС в кристаллах ниобата лития сообщалось в [4].

В настоящем сообщении представлены результаты экспериментального наблюдения, а также измерения и расчета углов Брэгга изотропной и анизотропной дифракции света в различные порядки на РДС в кристалле танталата лития.

В экспериментах исследовалась РДС, сформированная в компании Labfer LTD методом переключения поляризации во внешнем пространственно-периодическом поле в стехиометрическом кристалле $\text{LiTaO}_3:1\%\text{MgO}$. Образец имел размеры $5 \times 2 \times 1$ мм по осям X , Y и Z соответственно. Переключенные области кристалла с доменными стенками Y -типа имели пространственный период $\Lambda = 7,99$ мкм вдоль оси X . Соответствующий необыкновенной (e) волне зондирующий пучок гелий-неонового лазера с длиной волны $\lambda = 633$ нм и радиусом $r_0 = 0,34$ мм проходил через середину грани $y = 0$ образца с РДС, раз-

мещенного на поворотном столике, и испытывал дифракцию на возмущениях оптических свойств, создаваемых доменными стенками, при выполнении условий Брэгга. Измерение положений дифракционных максимумов с порядками $m = 1-8$ относительно максимума, соответствующего зондирующему пучку ($m = 0$) на экране, расположенном на расстоянии $L = 1650$ мм, позволило рассчитать экспериментальные значения углов анизотропной дифракции θ_m^{e-o} , с преобразованием в обыкновенные (o) волны, и изотропной дифракции, θ_m^{e-e} , которые приведены в таблице. Тип волны (o или e) определялся с помощью дихроичного поляризатора.

Экспериментальные и расчетные углы брэгговской дифракции

m	θ_m^{e-o} , угл. град.	θ_m^{e-o} , угл. град.	θ_m^{e-e} , угл. град.	θ_m^{e-e} , угл. град.
	эксперимент	расчет	эксперимент	расчет
1	-2,25	-2,25	2,25	2,27
2	4,56	4,56	4,53	4,54
3	6,81	6,81	6,75	6,82
4	9,14	9,14	9,14	9,11
5	11,42	11,42	11,49	11,42
6	13,77	13,77	13,77	13,75
7	16,11	16,11	16,11	16,09
8	18,52	18,52	18,52	18,47

В качестве примера на рис. 1, *a* и *б* представлены векторные диаграммы для изотропной брэгговской дифракции в порядок $m = 1$ и анизотропной брэгговской дифракции в порядок $m = 2$ соответственно.

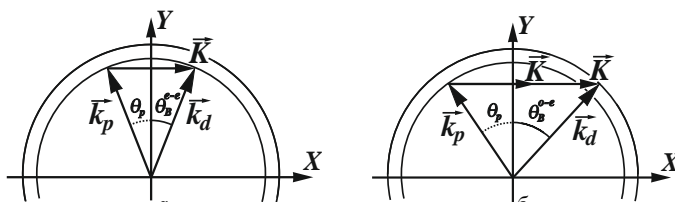


Рис. 1. Векторные диаграммы для дифракции:
изотропной – *a*; анизотропной – *б*

Учитывая, что измеряемые углы в воздухе θ_m^{e-o} и θ_m^{e-e} определяются суммой углов θ_p и θ_B^{e-o} (или θ_B^{e-e}) между кристаллофизической осью Y и векторами \vec{k}_p и \vec{k}_d для падающей и дифрагирован-

ной волн соответственно и законом Снеллиуса, и рассматривая длину вектора РДС $m\vec{K}$ при дифракции в m -й порядок как $mK = m(2\pi/\Lambda)$, получаем

$$\theta_m^{e-e} = 2 \arcsin\left(m \frac{\lambda}{2\Lambda}\right), \quad (1)$$

$$\theta_1^{e-o} = -\arcsin\left\{n_o \sin\left[\arccos\frac{n_e}{n_o} \cos\left(\arcsin\left[\frac{\lambda}{2\Lambda n_e} - \frac{(n_o^2 - n_e^2)\Lambda}{2\lambda n_e}\right]\right)\right]\right\} - \arcsin\left[\frac{\lambda}{2\Lambda} - \frac{(n_o^2 - n_e^2)\Lambda}{2\lambda}\right], \text{ при } m = 1, \quad (2)$$

$$\theta_m^{e-o} = \arcsin\left\{n_o \sin\left[\arccos\frac{n_e}{n_o} \cos\left(\arcsin\left[m \frac{\lambda}{2\Lambda n_e} - \frac{(n_o^2 - n_e^2)\Lambda}{2\lambda n_e m}\right]\right)\right]\right\} + \arcsin\left[m \frac{\lambda}{2\Lambda} - \frac{(n_o^2 - n_e^2)\Lambda}{2\lambda m}\right], \text{ при } m \geq 2, \quad (3)$$

где n_o и n_e – обыкновенный и необыкновенный показатели преломления кристалла, значения которых на длине волны $\lambda = 633$ нм были найдены из [5] как $n_o = 2,17159$ и $n_e = 2,16908$.

Сравнение представленных в таблице расчетных и экспериментальных данных показывает, что они хорошо согласуются между собой для всех восьми наблюдаемых дифракционных порядков.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках Госзадания на 2020–2022 годы (задание FEWM-2020-0038/3).

ЛИТЕРАТУРА

1. Ferraro P., Grilli S., DeNatale P. (eds.). *Ferroelectric Crystals for Photonic Applications*. – Berlin-Heidelberg: Springer-Ferlag, 2009, 2014.

2. Шандаров С.М., Савченков Е.Н. и др. Электрически управляемая дифракция света на периодических доменных структурах в сегнетоэлектрических кристаллах // HOLOEXPO–2018: XV Междунар. конф. по голографии и прикладным оптическим технологиям: тез. докл. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2018. – С. 66–69.

3. Shandarov S.M., Mandel A.E., Andrianova A.V. et al. Linear diffraction of light waves on periodic domain structures in lithium niobate crystals // *Ferroelectrics*. – 2017. – Vol. 508. – P. 49–57.

4. Shandarov S.M., Mandel A.E., Akylbaev T.M. et al. Linear diffraction of light waves on periodically poled domain structures in lithium niobate crystals: collinear, isotropic, and anisotropic geometries // *Journal of Physics: Conf. Series*. – 2017. – Vol. 867. – Art. 012017.

5. Dolev I., Ganany-Padowics A., Gayer O. et al. Linear and nonlinear optical properties of MgO:LiTaO₃ // *Appl. Phys. B*. – 2009. – Vol. 96. – P. 423–432.

УДК 535.215.6

ЗАТУХАНИЕ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В КАНАЛЬНОМ ВОЛНОВОДЕ, СФОРМИРОВАННОМ МЕТОДОМ ОПТИЧЕСКОГО ИНДУЦИРОВАНИЯ В КРИСТАЛЛЕ НИОБАТА ЛИТИЯ

*Д.К. Романенко, В.Е. Бодренин, А.В. Шукин,
студенты каф. СВЧМКР*

*Научный руководитель А.С. Перин, доцент каф. СВЧМКР, к.т.н.
г. Томск, ТУСУР, romanenko_dima1999@mail.ru*

Приведены результаты исследования затухания оптического излучения в канальном волноводе, сформированном в кристалле ниобата лития методом оптического индуцирования.

Ключевые слова: ниобат лития, взаимодействие, фоторефрактивный эффект, электрооптический эффект, пироэлектрический эффект.

Сегнетоэлектрический кристалл ниобат лития – один из самых распространенных материалов для изготовления оптических волноводов, которые, в свою очередь, являются базовыми элементами современных интегрально-оптических схем. На основе кристалла ниобата лития разработаны различные способы формирования волноводных структур, но большая часть из них отличается сложной технической реализацией. Относительно простым и экономичным методом является метод оптического индуцирования [1]. Его суть заключается в том, что формирование волноводных структур происходит путем модуляции показателя преломления кристалла при проявлении фоторефрактивного и пироэлектрического эффектов [2]. Однако характеристики таких структур исследованы не в полной мере. Одним из важнейших параметров оптического волновода является коэффициент затухания.

Таким образом, целью данной работы являлось исследование затухания лазерного излучения в канальном волноводе, сформированном в кристалле ниобата лития методом оптического индуцирования.

В экспериментах исследовался волновод диаметром 10 мкм и длиной 7 мм, сформированный в нелегированном кристалле ниобата лития методом оптического индуцирования [3]. Источником излучения для записи волноводной структуры являлся твердотельный лазер YAG:Nd³⁺ с длиной волны 532 нм. Волновод формировался излучением мощностью 150 мкВт с поляризацией, соответствовавшей необыкновенной волне в кристалле. Нагрев образца осуществлялся керамическим резистором. Мощность лазерного излучения контролировалась с помощью измерителя оптической мощности Thermal Power Sensors PM100D.

Для исследования потерь мощности излучения, проходящего через сформированный волновод, к кристаллу подводилось одномодовое оптическое волокно с конусной линзой LEN-T-1-Y(47/56-90-SMF28). Данный тип волокна представляет собой пигтейл с выплавленной конусовидной линзой на конце, позволяющей выходящему из неё излучению быть сфокусированным. Фокусное расстояние такой линзы составляет примерно 1 мм, что позволяет эффективно вводить излучение в волновод. Источником излучения являлся инфракрасный лазерный диод с длиной волны 850 нм. Мощность излучения в фокусе волоконной линзы составляла 5 мкВт. После кристалла устанавливалась линза, передающая увеличенное изображение с граней образца на анализатор лазерных пучков. На рис. 1 представлена схема установки для изучения затухания оптического излучения.

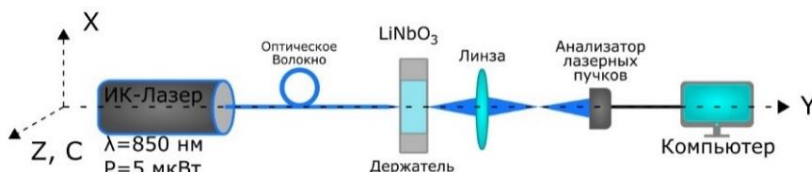


Рис. 1. Схема установки для изучения затухания оптического излучения

На рис. 2 приведены результаты экспериментального исследования. Профили распределения интенсивности ($a-z$, нижний ряд) и соответствующие картины поля ($a-z$, верхний ряд) иллюстрируют процесс записи волноводной структуры в образец. На рис. 2, d приведены картина распределения интенсивности и соответствующий профиль при считывании волновода инфракрасным излучением.

На рис. 2, a приведено изображение с входной грани кристалла и сфокусированный на ней пучок света диаметром 10 мкм. Изображение светового пучка на рис. 2, b иллюстрирует эффект естественной дифракции и уширения за счет фоторефрактивного эффекта. На рис. 2, $в$ видно, как в результате нагрева образца неоднородности на

пути луча исчезают, а рассеивание света уменьшается. Рисунок 2, *г* иллюстрирует сформированный волновод диаметром 10 мкм.

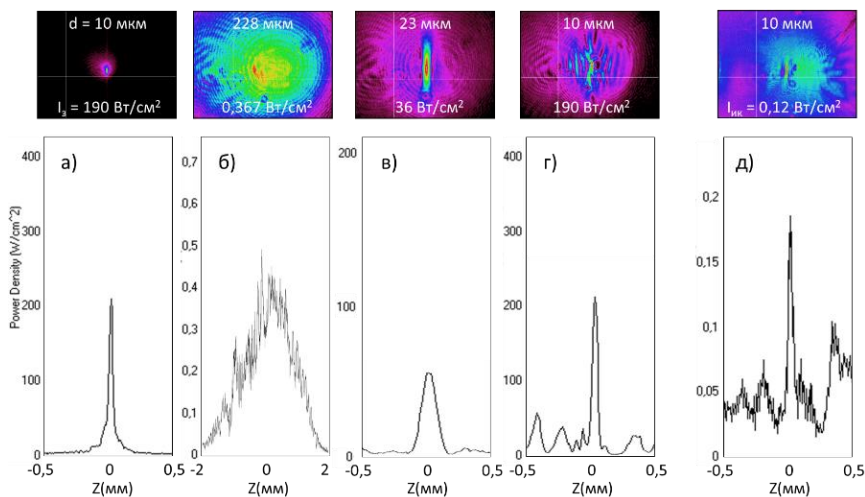


Рис. 2. Картины распределения интенсивности (верхний ряд) и соответствующие им профили (нижний ряд) в процессе формирования волновода (*а–г*); считывание полученной структуры (*д*)

При засветке сформированной структуры излучением с длиной волны 850 нм и интенсивностью $1,6 \text{ Вт/см}^2$ (см. рис. 2, *д*) было получено, что коэффициент затухания оптического волновода составляет 15 дБ/см.

Таким образом, в данной работе было исследовано затухание лазерного излучения в канальном волноводе, сформированном методом оптического индуцирования в кристалле ниобата лития.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых ученых МК-3217.2021.4.

ЛИТЕРАТУРА

1. Courjal N. et al. Lithium Niobate Optical Waveguides Microwaveguides // Emerging Waveguide Technology. – 2018. – P. 153–174.
2. Shandarov V., Ryabchenok V., Perin A. Discrete diffraction of light in 1D photonic lattice induced in lithium niobate by means of the pyroelectric effect // Physics Procedia. – 2015. – Vol. 70. – P. 754–757.
3. Perin A. S. et al. Investigation of the interaction of a pair of bright optical spatial pyroelectric solitons during their in-phase propagation in an undoped lithium niobate crystal at a wavelength of 532 nm // Journal of Physics: Conference Series. – IOP Publishing, 2020. – Vol. 1697, № 1. – P. 012151.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПИРОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА В НИОБАТЕ ЛИТИЯ

*М.С. Цехановская, Д.М. Хамзин, студенты каф. ЭП
Научный руководитель Л.Н. Орликов, проф. каф. ЭП, д.т.н.
г. Томск, ТУСУР, oln4@yandex.ru*

*Проект ГПО ЭП 0710 «Электрофизическая обработка
композиционных материалов»*

На основе анализа осциллограмм исследовались условия проявления пироэлектрического эффекта, заключающегося в генерации импульсов электронов с поверхности кристалла ниобата лития при нагревании и охлаждении при атмосферном давлении. Кристалл имел диаметр 13 мм и высоту 7 мм с Z-ориентированной осью поляризации. Обнаружено, что импульсы формируются в наносекундном диапазоне с амплитудой 30–80 кВ и током до 400 мА и заканчиваются в микросекундном диапазоне. Приоритетный интервал температур для проявления пироэффекта проявляется в диапазоне 300–400 К.

Ключевые слова: ниобат лития, нагрев, осциллограмма.

Актуальность исследования динамики пироэлектрического эффекта в ниобате лития обусловлена перспективностью этого материала для создания малогабаритных кристаллических источников электронов на пироэффекте. Модели физики процесса [1, 2] предполагают, что при нагреве или охлаждении кристалла происходит переполяризация доменов и возникают локальные области высокой напряженности электрического поля. В процессе пробойных явлений возникает серия генераций электронного тока.

Одной из проблем пироэлектрической генерации является малое число генераций электронного излучения при малой интенсивности, что ограничивает практическое применение устройств на пироэффекте.

Целью данной работы является экспериментальное исследование условий, при которых проявляется максимальное число генераций электронов при нагреве и охлаждении кристалла.

Исследование количества импульсов генерации электронов проводится подсчетом числа осциллограмм тока разряда при искровом пробое с прогреваемого кристалла на анод при атмосферном давлении.

Проведенные исследования и полученные результаты

На рис. 1 представлена схема измерений, состоящая из кристалла, анода (А), измерительного и согласующего сопротивлений, а также осциллографа марки АКИП 4119. На этом же рисунке представлено

общее суммарное число пробоев N при нагреве образца со скоростью 6 градусов в минуту и естественном охлаждении.

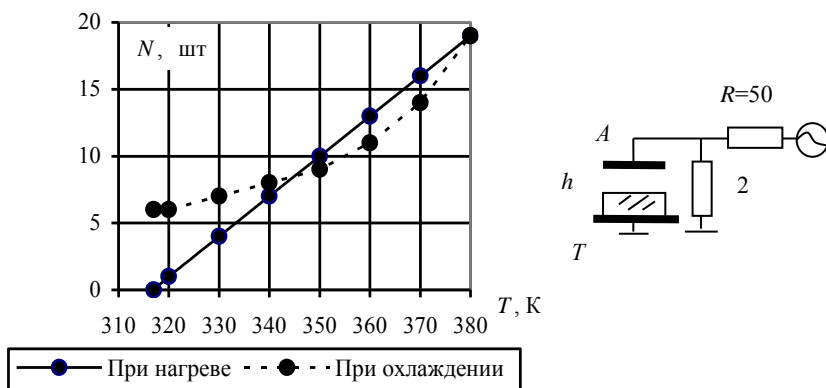


Рис. 1. Зависимость числа пробоев от температуры при нагреве и охлаждении образца для расстояния между кристаллом и анодом 2 мм

При скорости нагрева более 6 градусов в минуту в одном цикле нагрева наблюдается до 17 пробоев, в цикле естественного охлаждения – до 7–8. На рис. 2 представлена осциллограмма тока пробоя при атмосферном давлении.

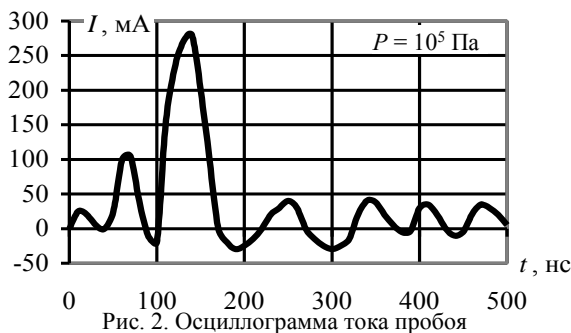


Рис. 2. Осциллограмма тока пробоя

Разряд начинается в наносекундном диапазоне и продолжается в микросекундном диапазоне. Амплитуда напряжения достигает 30–80 кВ. После 3–4 циклов нагрева и охлаждения со скоростью 6–8 градусов в минуту происходит уменьшение числа пробоев. Наблюдается «усталость» кристалла. При скорости нагрева менее 4 градуса в минуту пирозффект проявляется слабо. Уменьшение расстояния между

кристаллом и анодом способствует увеличению числа пробоев при относительном постоянстве амплитуды тока.

Обсуждение результатов. При нагреве кристалла ниобата лития в нем возникают внутренние напряжения. На поверхности кристалла формируются локальные области напряженности электрического поля и зоны ионизации газа. Заряженные частицы дрейфуют по поверхности, попадают в область повышенной локальной напряженности электрического поля и провоцируют пробой с кристалла на анод. После пробоя поляризационный ток подпитывает заряд и провоцирует следующий пробой. Место пробоя и его параметры имеют случайный характер. Так наблюдается до тех пор, пока продолжается изменение температуры кристалла. С увеличением нагрева более 400 К нарастают электролитические процессы в кристалле ниобата лития и число пробоев уменьшается.

Выводы. Постоянство амплитуды тока при уменьшении расстояния свидетельствует об ограничении эмиссионной способности поверхности кристалла и вероятности возникновения импульсного тлеющего разряда. «Усталость» кристалла, вероятно, связана с десорбцией газа вследствие прогрева кристалла и уменьшением доли ионизованных частиц.

В итоге работы определены условия, при которых достигается максимальное число генераций электронного тока. Это: +Z-ориентация кристаллографической оси на анод, минимальное расстояние между кристаллом и анодом, темп нагрева кристалла 6–8 градусов в минуту. Проведенные исследования представляют интерес для разработки приборов квантовой и оптической электроники.

ЛИТЕРАТУРА

1. Fullem T.Z. Electrostatics of pyro electric accelerators / T.Z. Fyllem, Y. Danon // J. Appl. Phys.– 2009. – Vol. 106. – P. 074101.
2. Mambetova K.M. Kinetics of pyroelectric generation of pulse electron flows by lithium niobate crystals / K.M. Mambetova, L.N.Orlikov, S.I. Arestov, S.M. Shandarov, N.I. Burimov, B.I. Avdochenko, A.A. Elchaninov // 7 th International Congress on Energy Fluxes and Radiation Effects (EFRE–2020 online) September 14–25, 2020 Tomsk, Russia: Abstract – Tomsk: Publishing House of IAO SB RAS, 2020. – P. 427.

ПОДСЕКЦИЯ 2.6

ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ СОВМЕСТИМОСТЬ

Председатель секции – Заболоцкий А.М., проф. каф. ТУ, д.т.н.;
зам. председателя – Куксенко С.П., доцент каф. ТУ, д.т.н.

УДК 621.391.825

АНАЛИТИЧЕСКОЕ УСЛОВИЕ ВЫРАВНИВАНИЯ РАЗНОСТЕЙ ЗАДЕРЖЕК МОД ЗЕРКАЛЬНО-СИММЕТРИЧНОГО МОДАЛЬНОГО ФИЛЬТРА

Е.Б. Черникова, аспирант каф. ТУ

*Научный руководитель А.М. Заболоцкий, проф. каф. ТУ, д.т.н.
г. Томск, ТУСУР, chiernikova96@mail.ru*

Представлено аналитическое условие для выравнивания разностей задержек мод структур с зеркальной симметрией. Обеспечение данных условий позволяет усовершенствовать защиту от СКИ: предупредить наложение импульсов на выходе структур и как следствие, рост общей амплитуды импульсов разложения, а также максимизировать длительность СКИ, который будет разлагаться полностью.

Ключевые слова: электромагнитная совместимость, сверхкороткий импульс, модальная фильтрация, зеркальная симметрия.

Обеспечение электромагнитной совместимости (ЭМС) радиоэлектронных средств (РЭС) с каждым годом все более актуально. Это связано в первую очередь со значительным ростом числа различной РЭС и увеличивающейся сложностью ее реализации. Одной из важнейших задач ЭМС является повышение помехозащищенности при разработке таких систем [1]. Известно, что мощные электромагнитные импульсные помехи малой длительности, также называемые сверхкороткими импульсами (СКИ), способны нарушить функционирование РЭС или же вовсе вывести ее из строя [2]. Для защиты РЭС от СКИ предложена технология модальной фильтрации, которая основана на модальном разложении помехового импульса на последовательность импульсов меньшей амплитуды [3].

Для совершенствования технологии модальной фильтрации предложен зеркально-симметричный МФ [4] (рис. 1). Предупреждение наложения импульсов разложения на выходе МФ, а также увели-

чение длительности входного воздействия в структурах с зеркальной симметрией возможно достичь с помощью выравнивания разностей погонных задержек мод ($\Delta\tau_i$). Между тем до сих пор не сформулировано аналитическое условие, позволяющее это выполнить. Цель работы – восполнить этот пробел.

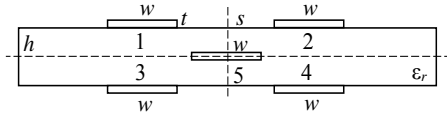


Рис. 1. Поперечное сечение зеркально-симметричного МФ

В работе [5] приведены аналитические выражения для расчета погонных задержек мод (τ_i) применительно к 4-проводной линии передачи, в которых используются элементы матрицы \mathbf{A} , являющейся произведением матриц коэффициентов электростатической (\mathbf{C}) и электромагнитной (\mathbf{L}) индукций. В [6] выявлено, что из-за симметрии исследуемой структуры относительно вертикальной и горизонтальной осей равны коэффициенты $A_{11} = A_{22} = A_{33} = A_{44}$, $A_{12} = A_{21} = A_{34} = A_{43}$, $A_{13} = A_{31} = A_{24} = A_{42}$ и $A_{14} = A_{41} = A_{23} = A_{32}$, что позволяет получить аналитические выражения в кратком виде для зеркально-симметричного МФ:

$$\tau_1 = \sqrt{(A_{11} - A_{14} - A_{12} + A_{13})}, \quad (1)$$

$$\tau_2 = \sqrt{(A_{11} + A_{14} - A_{12} - A_{13})}, \quad (2)$$

$$\tau_3 = \sqrt{(A_{11} - A_{14} + A_{12} - A_{13})}, \quad (3)$$

$$\tau_4 = \sqrt{(A_{11} + A_{14} + A_{12} + A_{13})}. \quad (4)$$

Условия равенства $\Delta\tau_i$ получены на основе вышеуказанных аналитических выражений. На выход 4-проводной структуры приходит 4 импульса мод, соответственно временных интервалов будет три. Тогда приравняв их, имеем:

$$\Delta\tau_1 = \Delta\tau_2 = \Delta\tau_3, \quad (5)$$

$$\begin{cases} \Delta\tau_1 = \Delta\tau_2, \\ \Delta\tau_2 = \Delta\tau_3, \end{cases} \rightarrow \begin{cases} \tau_2 - \tau_1 = \tau_3 - \tau_2, \\ \tau_3 - \tau_2 = \tau_4 - \tau_3, \end{cases} \rightarrow \begin{cases} \tau_4 - \tau_1 = 3(\tau_3 - \tau_2), \\ \tau_4 + \tau_1 = \tau_3 + \tau_2. \end{cases} \quad (6)$$

Используя метод умножения при решении систем уравнений [7], можно заменить первое уравнение произведением обоих уравнений системы, оставив второе уравнение без изменений

$$\begin{cases} \tau_4^2 - \tau_1^2 = 3(\tau_3^2 - \tau_2^2), \\ \tau_4 + \tau_1 = \tau_3 + \tau_2. \end{cases} \quad (7.1)$$

$$\tau_4 + \tau_1 = \tau_3 + \tau_2. \quad (7.2)$$

Подставляем выражения из (1)–(4) в (7.1)

$$\begin{aligned} & \sqrt{(A_{11} + A_{14} + A_{12} + A_{13})^2} - \sqrt{(A_{11} - A_{14} - A_{12} + A_{13})^2} = \\ & = 3 \left(\sqrt{(A_{11} - A_{14} + A_{12} - A_{13})^2} - \sqrt{(A_{11} + A_{14} - A_{12} - A_{13})^2} \right). \end{aligned} \quad (8)$$

После преобразований, в результате получим

$$A_{12} = 2A_{14}. \quad (9)$$

Далее преобразуем (7.2), возведя правую и левую части в квадрат:

$$(\tau_4 + \tau_1) = (\tau_3 + \tau_2) \rightarrow \tau_4^2 + 2\tau_4\tau_1 + \tau_1^2 = \tau_3^2 + 2\tau_3\tau_2 + \tau_2^2, \quad (10)$$

$$\frac{\tau_1^2 - \tau_2^2 - \tau_3^2 + \tau_4^2}{2} = \tau_3\tau_2 - \tau_4\tau_1. \quad (11)$$

Рассмотрим левую и правую части равенства (11) по отдельности, подставив в каждую выражения из (1)–(4) и после преобразования и обратной подстановки получившихся выражений в (11), получим

$$\sqrt{(A_{11} - A_{13})^2 - (A_{14} - A_{12})^2} - \sqrt{(A_{11} + A_{13})^2 - (A_{14} + A_{12})^2} = 2A_{13}. \quad (12)$$

В результате преобразований получим

$$2A_{11}A_{12}A_{13}A_{14} = A_{12}^2A_{13}^2 + A_{14}^2A_{12}^2 + A_{14}^2A_{13}^2. \quad (13)$$

В итоге система (7) примет вид

$$\begin{cases} A_{12} = 2A_{14}, & (14.1) \end{cases}$$

$$\begin{cases} 2A_{11}A_{12}A_{13}A_{14} = A_{12}^2A_{13}^2 + A_{14}^2A_{12}^2 + A_{14}^2A_{13}^2. & (14.2) \end{cases}$$

Решим систему (14), подставив (14.1) в (14.2). Получится квадратное уравнение, где A_{13} – неизвестное:

$$2A_{11}2A_{14}A_{13}A_{14} = 4A_{14}^2A_{13}^2 + A_{14}^22A_{14}^2 + A_{14}^2A_{13}^2, \quad (15)$$

$$5A_{13}^2 - 4A_{11}A_{13} + 4A_{14}^2 = 0. \quad (16)$$

Корни квадратного уравнения

$$A_{13_{1/2}} = \frac{A_{11} \pm \sqrt{A_{11}^2 - 5A_{14}^2}}{2,5}. \quad (17)$$

Таким образом, выражение (17) является условием выравнивания значений $\Delta\tau_i$ в структурах с зеркальной симметрией. Для проверки (17) возьмем ранее вычисленную матрицу \mathbf{A} для зеркально-симметричного МФ с оптимальными параметрами [6], которые позволили получить практически выравненные значения $\Delta\tau_i$.

Подставляем коэффициенты матрицы \mathbf{A} в (17)

$$A_{13_{1/2}} = \frac{38,979 \pm \sqrt{38,979^2 - 5 \cdot 3,05864^2}}{2,5} = 30,9412/0,24192.$$

Отбросим ненужный первый корень и сравним значение оставшегося с коэффициентом A_{13} из матрицы \mathbf{A} (0,26273). Отклонение между этими значениями равно 7,92%. Такой результат можно объяснить тем, что изначально взята матрица, в которой $\Delta\tau_i$ выравнены не идеально. Отклонения $\Delta\tau_1$ (0,489 нс/м) и $\Delta\tau_3$ (0,515 нс/м) относительно $\Delta\tau_2$ (0,494 нс/м) равны 5,04 и 4,077% соответственно.

Таким образом, получено аналитическое условие для зеркально-симметричного МФ, позволяющее выравнить значения $\Delta\tau_i$. Благодаря этому возможно предупредить наложение импульсов на выходе структур и как следствие рост общей амплитуды импульсов разложения, а также максимизировать длительность входного воздействия. Кроме того, условие можно использовать как целевую функцию при оптимизации структур, например, генетическими алгоритмами.

Работа выполнена в рамках проекта FEWM-2020-0041 Министерства науки и высшего образования России.

ЛИТЕРАТУРА

1. Radasky W.A., Bau C.E., Wik M.W. Introduction to the special issue on High-Power Electromagnetics (HPEM) and Intentional Electromagnetic Interference (IEMI) // Special issue of IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility. – 2004. – Vol. 46, No. 3. – P. 314–321.
2. Mora N., Vega F., Lugrin G., Rachidi F., Rubinstein M. Study and classification of potential IEMI sources // System and assessment notes. – Note 41. – 8 July 2014.
3. Gazizov A.T., Zabolotsky A.M., Gazizov T.R. UWB pulse decomposition in simple printed structures // IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility. – 2016. – Vol. 58, No. 4. – P. 1136–1142.
4. Chernikova E.B., Belousov A.O., Gazizov T.R., Zabolotsky A.M. Using reflection symmetry to improve the protection of radio-electronic equipment from ultrashort pulses // Symmetry. – 2019. – Vol. 11(7), No. 883. – P. 1–25.
5. You H., Soma M. Crosstalk analysis of high-speed interconnects and packages // IEEE Proceedings of the Custom Integrated Circuits Conference. – 1990. – P. 11.2.1–11.2.5.
6. Черникова Е.Б., Белоусов А.О. Аналитические выражения для вычисления погонных задержек мод зеркально-симметричного модального фильтра // Сб. избр. статей по матер. междунар. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых «Научная сессия ТУСУР–2018». г. Томск, 16–18 мая 2018. – С. 240–243.
7. Гусев В.А., Мордкович А.Г. Математика: справочные материалы. – М.: Просвещение, 1988. – 416 с.

**ОЦЕНКА ВОСПРИИМЧИВОСТИ СИЛОВОЙ ШИНЫ
ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ С РАЗНЫМИ ПОПЕРЕЧНЫМИ
СЕЧЕНИЯМИ К ВОЗДЕЙСТВИЮ
ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО РАЗРЯДА**

А.А. Дроздова, магистрант каф. ТУ

*Научный руководитель М.Е. Комнатнов, доцент каф. ТУ, к.т.н.
г. Томск, ТУСУР, anasrasiya.drozdova.00@list.ru*

Выполнен квазистатический анализ восприимчивости силовой шины электропитания (СШЭП) с разными поперечными сечениями (прямоугольное, коаксиальное, спиральное) к воздействию электростатического разряда (ЭСР). Выявлено, что максимальное (21,4 дБ) и минимальное (0,86 дБ) ослабление наблюдается на СШЭП с коаксиальным и спиральным поперечными сечениями соответственно.

Ключевые слова: электромагнитная совместимость, силовая шина электропитания, электростатический разряд.

В настоящее время стремительно развивается освоение космического пространства. Повышение помехоустойчивости и надежности создаваемых космических аппаратов (КА) позволяет повысить срок их активного существования. Однако в результате взаимодействия КА с окружающей его средой происходит накопление заряда на его поверхности, что влечет за собой появление разности потенциалов между различными элементами конструкции и как следствие появление электростатических разрядов (ЭСР). Так, разность потенциалов на поверхностях КА достигает 20 кВ, а среднее значение энергии ЭСР составляет 6–200 мДж. При этом на поверхности корпуса КА протекают импульсные токи амплитудой до 100 А, которые приводят к возникновению электромагнитных помех (ЭМП), способных повредить радиоэлектронные средства (РЭС) КА [1].

Силовая шина электропитания (СШЭП) является одним из важных компонентов бортовой кабельной сети, от которой зависит существование КА, поскольку СШЭП не резервируется, но электрически связывает жизненно важные системы электропитания КА. Поэтому важно испытывать СШЭП на восприимчивость к воздействию ЭСР. СШЭП в основном изготавливают с прямоугольным поперечным сечением, так как это является наиболее простым и известным конструкторским решением. При этом СШЭП с коаксиальным поперечным сечением является более эффективной за счёт компенсации вихревых магнитных полей в окружении СШЭП [2]. Предложена конструкция СШЭП со спиральным поперечным сечением, которая имеет

ряд преимуществ по сравнению с другими видами поперечных сечений [3].

Цель работы – оценить восприимчивость СШЭП с прямоугольным, коаксиальным и спиральным поперечными сечениями к воздействию ЭСР.

В работе использовались система TALGAT и квазистатический анализ. Так, созданы модели СШЭП с прямоугольным, коаксиальным и спиральным поперечными сечениями. Модель с прямоугольным поперечным сечением (рис. 1, *а*) содержит проводники для прямых *1* и обратных *2* токов, выполненные в виде металлических пластин, и изоляторы: лак ЭП-730 ($\epsilon_r = 4$) *3*; полиамидная пленка с односторонним липким слоем ($\epsilon_r = 2,3$) *4* и стеклотекстолит ($\epsilon_r = 4,3$) *5*. Снаружи СШЭП покрыта лентой из арамидных нитей с обмоткой из медной посеребренной проволоки (ЛМAMс) *6* для защиты её от ЭСР. Модель СШЭП с коаксиальным поперечным сечением представлена на рис. 1, *б* с параметрами: радиус $r = 3,6$ мм, расстояние между цилиндрами $w = 0,1$ мм, толщина стенок цилиндров $t = 0,1$ мм. Параметры модели со спиральным поперечным сечением (рис. 1, *в*): $r = 1$ мм, $w = 0,1$ мм, $t = 0,1$ мм, количество витков $N = 7$. Значение ϵ_r для коаксиальной и спиральной СШЭП принято равным 1. Потери в проводниках и диэлектриках не учитывались. Во всех случаях площадь поперечного сечения проводников для прямых и обратных токов составляет 50 мм^2 .

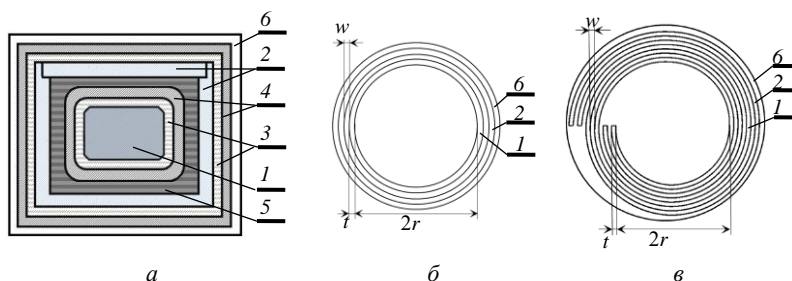


Рис. 1. Поперечные сечения прямоугольной (*а*), коаксиальной (*б*) и спиральной (*в*) СШЭП

На рис. 2 представлена схема воздействия ЭСР, состоящая из проводников для прямых (узлы *V1*, *V4*), обратных (узлы *V2*, *V5*) токов протекания и ЛМAMс (узлы *V3*, *V6*). Начало и конец каждого проводника нагружены на сопротивления $R1-R6 = 50$ Ом для псевдосогласования с измерительным трактом. При моделировании высота СШЭП над плоскостью земли составляла $h = 0,1$ м, а её длина $l = 0,5$ м.

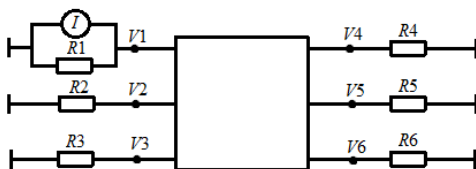


Рис. 2. Схема воздействия ЭСР

Для оценки воздействия ЭСР на СШЭП выполнено моделирование форм сигнала на «+» шине (V1, V4), «-» шине (V2, V5) и ЛМAMс (V3, V6). Для этого параллельно сопротивлениям R1–R3 поочередно подключался генератор тока, имитирующий воздействие ЭСР. Форма тока выбрана по четверной степени жесткости ($\tau_1 = 1,1$ нс, $\tau_2 = 2$ нс, $\tau_3 = 12$ нс, $\tau_4 = 37$ нс, $I_1 = 30$ А, $I_2 = 16$ А, $n = 1,8$) согласно ГОСТ Р 51317.4.2–2010 [4]. В таблицу сведены полученные результаты ослабления амплитуды при воздействии ЭСР на СШЭП.

Результаты ослабления амплитуды ЭСР

Воздействие	СШЭП	«+» шина, дБ	«-» шина, дБ	ЛМAMс, дБ
«+» шина	Прямоугольная	1,36	9,2	9,2
	Коаксиальная	4,2	11,8	21,4
	Спиральная	5,4	6,4	18,8
«-» шина	Прямоугольная	9,2	4,6	11,4
	Коаксиальная	11,8	4,6	10,8
	Спиральная	6,5	5,8	17,5
ЛМAMс	Прямоугольная	9,2	11,4	6
	Коаксиальная	21,4	10,8	2,3
	Спиральная	18,9	17,5	0,82

Из таблицы видно, что при воздействии ЭСР на «+» шину минимальное (1,36 дБ) ослабление наблюдается для прямоугольной формы поперечного сечения. При воздействии ЭСР на «-» шину минимальное (4,6–5,8 дБ) ослабление наблюдается для всех форм поперечного сечения. При воздействии ЭСР на ЛМAMс минимальное (0,82–2,3 дБ) ослабление наблюдается для коаксиальной и спиральной форм поперечного сечения. Наибольшее ослабление (21,4 дБ) имеет СШЭП с коаксиальным поперечным сечением.

Таким образом, выполнена оценка воздействия ЭСР на СШЭП с прямоугольным, коаксиальным и спиральным поперечными сечениями. Показано, что максимальная амплитуда ЭСР во всех случаях наблюдается в начале СШЭП и ослабляется при ее прохождении. Минимальное (0,82 дБ) и максимальное (21,4 дБ) значения ослабления

наблюдаются при воздействии ЭСР на ЛМAMc при использовании СШЭП с коаксиальным и спиральным поперечными сечениями соответственно.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований проект № 19-37-51017.

ЛИТЕРАТУРА

1. Соколов А.В. Обеспечение стойкости бортовой радиоэлектронной аппаратуры космических аппаратов к воздействию электростатических разрядов: дис. ...д-ра техн. наук. – М., 2009. – 238 с.
2. Ehrich M. Electrical properties and magnetic fields of a coaxial bus bar // Proc. Asia-Pacific conf. on environmental electromagnetics, Shanghai, China. – 2000. – P. 11–16.
3. Komnatnov M.E. Electrical modeling of the spiral bus bar / M.E. Komnatnov, T.R. Gazizov // IEEE 21th international conference on micro/nanotechnologies and electron devices EDM 2020, Chemal, Russia. – 29 June. – 3 July 2020. – 5 p.
4. ГОСТ Р 51317.4.2–2010 (МЭК 61000-4-2:2008). Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость к электростатическим разрядам. Требования и методы испытаний, 2010. – 26 с.

УДК 621.37

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ МЕАНДРОВОЙ МИКРОПОЛОСКОВОЙ ЛИНИИ ИЗ ДВУХ ВИТКОВ, СОЕДИНЕННЫХ КАСКАДНО

***А.Ю. Фидирко, магистрант; А.В. Носов, к.т.н., ст. преп.**
г. Томск, ТУСУР, каф. ТУ, fidirko94@mail.ru*

Выполнен анализ влияния изменения температуры от –150 до 150 °С на характеристики меандровой микрополосковой линии из двух витков соединенных каскадно. Выявлено, что ее изменение оказывает слабое влияние на изменение элементов матриц **C**, **L**, **Z** и погонные задержки мод (не более 0,21%), а также амплитуды импульсов в конце линии (не более 4,79%).

Ключевые слова: меандровая микрополосковая линия, температурное воздействие, сверхкороткий импульс, электромагнитная совместимость.

В зависимости от сферы эксплуатации радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) проводятся климатические испытания в соответствующей среде и производится выбор материалов, удовлетворяющих техническим требованиям [1]. Так, изменение температуры окружающей среды может приводить к изменению химико-физических и механических свойств материалов [2]. Проведение натуральных климатических

испытаний требует больших временных и финансовых затрат, поэтому учет климатических факторов на раннем этапе проектирования устройства минимизирует эти затраты. Для этого необходимо математическое моделирование влияния климатических факторов на изменение параметров материалов, которое может быть реализовано на основе математических моделей.

Сегодня предъявляются жесткие требования к электромагнитной совместимости РЭА. Особенно актуальна защита РЭА от СКИ. Для этого зачастую используются печатные устройства на основе полосковых линий. В этой связи анализ влияния климатических условий на защитные свойства устройств является важной и актуальной задачей, поскольку они имеют сложную конфигурацию и изменение параметров может привести к изменению их характеристик. Цель работы – выполнить исследование влияния температуры на характеристики защитной меандровой микрополосковой линии (МПЛ) из двух витков, соединенных каскадно.

Чтобы выполнить анализ влияния температуры на характеристики линии, воспользуемся математической температурной моделью из [3], которая имеет общий вид $P(T)$, где P – характеристика конструкции, T – температура окружающей среды. Для этого использована модель термического расширения, представленная известной формулой

$$x = x_0(1 + \alpha\Delta T), \quad (1)$$

где x – значение параметра проводника с учетом термического расширения; x_0 – исходное значение параметра; α – коэффициент линейного термического расширения материала; ΔT – разница температур. На языке TALGAT script с помощью этой модели описан каждый из параметров проводников линии.

Поперечное сечение исследуемой линии и её схема соединения представлены на рис. 1. В качестве воздействия выбран СКИ в форме трапеции с амплитудой ЭДС 1 В, длительностью плоской вершины 100 пс, а фронта и спада – по 50 пс. $R1$ и $R2$ приняты равными $(Z_e Z_o)^{0.5}$ первого и второго витка соответственно.

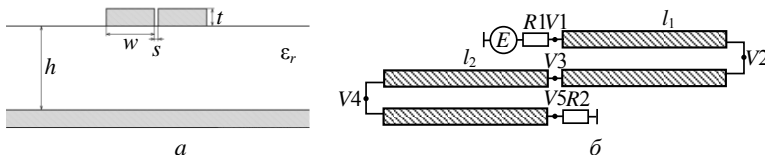


Рис. 1. Поперечное сечение витков (а) и схема соединений линии (б)

Геометрические параметры витков (индексы 1 и 2) взяты из [4]: $w_1=100$ мкм, $w_2=200$ мкм; $t_1=160$ мкм, $t_2=600$ мкм; $s_1=19,78$ мкм,

$s_2=20,25921$ мкм; $h_1=h_2=2000$ мкм; $l_1=45$ мм, $l_2=25$ мм; $\varepsilon_{r1}=480$, $\varepsilon_{r2}=120$. Отметим, что данный набор параметров обеспечивает разложение СКИ на 9 импульсов.

Результаты анализа влияния изменения температуры на характеристики первого витка меандровой МПЛ представлены в табл. 1, а на характеристики второго – в табл. 2.

Таблица 1

Элементы матриц **C**, **L**, **Z** и значения погонных задержек первого витка при изменении температуры от -150 до $+150$ °С

$T, ^\circ\text{C}$	$C_{11},$ пФ/м	$C_{21},$ пФ/м	$L_{11},$ нГн/м	$L_{21},$ нГн/м	$Z_{11}, \text{Ом}$	$Z_{21}, \text{Ом}$	$\tau_e, \text{нс/м}$	$\tau_o, \text{нс/м}$
-150	7073,78	-2982,57	347,714	289,758	7,44163	5,04097	51,0689	24,1418
-125	7074,88	-2982,73	347,645	289,708	7,44004	5,03995	51,07	24,1392
-100	7075,97	-2982,88	347,575	289,659	7,43846	5,03893	51,0711	24,136
-75	7077,07	-2983,04	347,506	289,609	7,43688	5,0379	51,0722	24,1339
-50	7078,17	-2983,2	347,436	289,56	7,4353	5,03689	51,0733	24,1312
-25	7079,27	-2983,35	347,367	289,51	7,43372	5,03587	51,0744	24,1286
0	7080,36	-2983,51	347,297	289,46	7,43214	5,03485	51,0755	24,126
25	7081,46	-2983,66	347,228	289,411	7,43056	5,03384	51,0766	24,1233
50	7082,56	-2983,82	347,158	289,361	7,42898	5,03282	51,0777	24,1207
75	7083,65	-2983,97	347,089	289,312	7,42741	5,0318	51,0788	24,1181
100	7084,75	-2984,13	347,02	289,267	7,42583	5,03078	51,0798	24,1154
125	7085,84	-2984,28	346,951	289,213	7,4242	5,02977	51,0809	24,1128
150	7086,94	-2984,44	346,888	289,163	7,42268	5,02875	51,082	24,1102

Таблица 2

Элементы матриц **C**, **L**, **Z** и значения погонных задержек второго витка при изменении температуры от -150 до $+150$ °С

$T, ^\circ\text{C}$	$C_{11},$ пФ/м	$C_{21},$ пФ/м	$L_{11},$ нГн/м	$L_{21},$ нГн/м	$Z_{11}, \text{Ом}$	$Z_{21}, \text{Ом}$	$\tau_e, \text{нс/м}$	$\tau_o, \text{нс/м}$
-150	3695,07	-1057,67	163,841	145,224	6,40218	4,42304	28,5505	9,40631
-125	3696,07	-1057,77	163,645	145,188	6,40023	4,42171	28,5516	9,40556
-100	3697,08	-1057,86	163,752	145,151	6,39829	4,42039	28,5528	9,40481
-75	3698,08	-1057,96	163,708	145,114	6,39634	4,41906	28,5539	9,40406
-50	3699,08	-1058,06	163,664	145,077	6,3944	4,41773	28,555	9,40331
-25	3700,08	-1058,16	163,62	145,04	6,39246	4,4164	28,5562	9,40256
0	3701,09	-1058,26	163,576	145,003	6,39052	4,41508	28,5573	9,40181
25	3702,09	-1058,36	163,532	144,966	6,38858	4,41375	28,5584	9,40106
50	3703,09	-1058,46	163,487	144,929	6,38664	4,41243	28,5596	9,40032
75	3704,09	-1058,56	163,443	144,892	6,38471	4,41111	28,5607	9,39957
100	3705,1	-1058,66	163,399	144,856	6,38277	4,40979	28,5618	9,39882
125	3706,1	-1058,76	163,355	144,819	6,38084	4,40847	28,5629	9,39808
150	3707,1	-1058,86	163,311	144,782	6,37891	4,40715	28,564	9,39733

Из табл. 1 видно, что изменение C_{11} при -150 °C составило 0,113%, при 0 °C – 0,0141%, а при 150 °C – 0,0706%. Изменение C_{21} составило при 150 °C составило 0,0335%, при 0 °C – 0,0005%, а при 150 °C – 0,0335%. Изменение L_{11} при -150 °C составило 0,13%, при 0 °C – 0,019%, а при 150 °C – 0,02%. Изменение L_{21} при -150 °C составило 0,11%, при 0 °C – 0,016%, а при 150 °C – 0,085%. Изменение Z_{11} при -150 °C составило 0,15%, при 0 °C – 0,02%, а при 150 °C – 0,11%. Изменение Z_{21} при -150 °C составило 0,14%, при 0 °C – 0,02%, а при 150 °C – 0,1%. Изменение τ_c при -150 °C составило 0,01%, при 0 °C – 0,002%, а при 150 °C – 0,01%. Изменение τ_o при -150 °C составило 0,08%, при 0 °C – 0,01%, а при 150 °C – 0,05%.

Из табл. 2 видно, что изменение C_{11} при -150 °C составило 0,19%, при 0 °C – 0,03%, а при 150 °C – 0,14%. Изменение C_{21} при 150 °C составило 0,07%, при 0 °C – 0,01%, а при 150 °C – 0,05%. Изменение L_{11} при -150 °C составило 0,19%, при 0 °C – 0,03%, а при 150 °C – 0,014%. Изменение L_{21} при -150 °C составило 0,18%, при 0 °C – 0,03%, а при 150 °C – 0,13%. Изменение Z_{11} при -150 °C составило 0,21%, при 0 °C – 0,03%, а при 150 °C – 0,15%. Изменение Z_{21} при -150 °C составило 0,21%, при 0 °C – 0,03%, а при 150 °C – 0,15%. Изменение τ_c при -150 °C составило 0,03%, при 0 °C – 0,001%, а при 150 °C – 0,02%. Изменение τ_o при -150 °C составило 0,06%, при 0 °C – 0,01%, а при 150 °C – 0,04%.

Выполнена оценка максимального изменения амплитуд каждого из 9 импульсов (И1–И9) на выходе линии: И1 изменяется на 1,22%, И2 – на 0,96%, И3 – на 0,85%, И4 – на 2,61%, И5 – на 0,76%, И6 – на 4,79%, И7 – на 3,23%, И8 – на 2,37%, а И9 – на 1,26%.

Таким образом, выполнен анализ влияния изменения температуры на характеристики меандровой МПЛ из двух витков, соединенных каскадно. Выявлено, что изменение температуры в диапазоне от -150 до $+150$ °C практически не оказывает влияние на элементы матриц **C**, **L**, **Z** и значения погонных задержек мод витков (максимальное изменение не более 0,21%). Также выявлено, что максимальное влияние изменение температуры оказывает на амплитуду 6-го импульса (4,79%).

Исследование поддержано Министерством науки и высшего образования (проект FEWM-2020-0041).

ЛИТЕРАТУРА

1. Методы испытаний на стойкость к климатическим внешним воздействиям факторам машин, приборов и других технических изделий. Испытания на воздействие влаги. – Стандарт Р 51369-99, 1999.
2. Испытательная техника: справочник / под ред. В.В. Клюева. – М.: Машиностроение, 1982. – Кн. 1. – 528 с.

3. Sagieva I.Y. The Influence of Temperature on Microstrip Transmission Line Characteristics / I.Y. Sagieva, A.V. Nosov, R.S. Surovtsev // XXI International Conference of Young Specialists on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices. – Altai, Russia, 29 June – 3 July 2020. – 4 p.

4. Nosov A.V. Propagation of UWB Pulse in Two Turns of Meander Microstrip Line Connected in Cascade / A.V. Nosov, R.S. Surovtsev, T.R. Gazizov // 2019 International Multi-Conference on Engineering, Computer and Information Sciences (SIBIRCON). – Tomsk, Russia, October 23–24, 2019. – P. 0288–0292.

УДК 621.391.825

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ПАРАМЕТРЫ РЕЗЕРВИРОВАННОЙ ЦЕПИ

Р.Р. Газизов, аспирант НИУ ВШЭ, Москва;

А.Т. Газизов, аспирант каф. ТУ ТУСУРа, Томск;

М.Н. Калинина, студентка МГУ, Москва

gazizovtsk@yandex.ru

Приведены принципиальная схема и поперечное сечение цепи с резервированием. Исследованы зависимости характеристик цепи от температуры в диапазоне от минус 50 до 150 °С. Получено, что характеристики цепи, максимальные и минимальные значения N -норм временного отклика на воздействие сверхкороткого импульса изменяются незначительно.

Ключевые слова: электромагнитная совместимость, моделирование, сверхкороткий импульс, изменение температуры, N -нормы.

Компьютерное моделирование является важнейшим этапом разработки радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) [1]. Из-за постоянно возрастающих требований к работе критической РЭА в экстремальных условиях перед их разработчиками стоит задача создавать все более сложные системы, в том числе с использованием модального резервирования. При моделировании экстремальных условий широко распространено исследование влияния температуры на электронные устройства для определения изменения химико-физических и механических свойств материалов. Для поиска уязвимых мест электронной аппаратуры выявляют максимумы напряжения. Для определения влияния различных импульсов на РЭА используют N -нормы [2]. Между тем исследования по воздействию температуры на различные параметры резервированных цепей, в том числе с модальным резервированием, авторам неизвестны.

Цель работы – оценить влияние температуры на параметры резервированной цепи с использованием N -норм.

В качестве исследуемой структуры выбрана резервированная цепь с лицевой связью и полигонами, поперечное сечение которой в системе TALGAT представлено на рис. 1, а, где w_1 и w_2 – ширина центральных проводников и полигонов соответственно; t_1 – толщина центральных проводников; h – толщина подложки; t_2 – толщина полигонов; f – ширина подложки; ϵ_r – относительная диэлектрическая проницаемость подложки. Принципиальная схема приведена на рис. 1, б.

Используемое воздействие – помеховый трапециевидный импульс с ЭДС 1 В и длительностями фронта, спада и плоской вершины по 100 пс. Сопротивления R_1, R_2, R_3, R_4 равны 68 Ом. За основу взяты температурные зависимости, реализованные в [3]. С их помощью вычислены зависимости геометрических параметров структуры от температуры (T) (табл. 1).

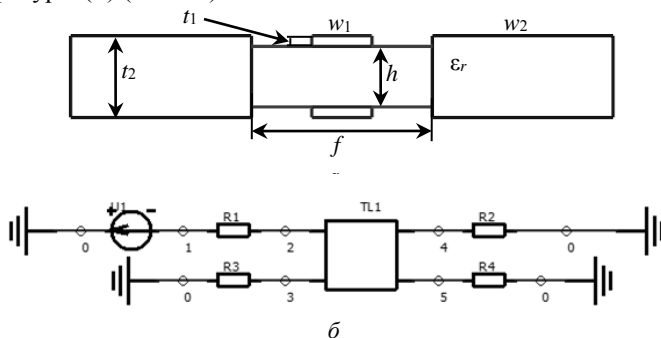


Рис. 1. Поперечное сечение (а) и принципиальная схема (б) структуры

Из табл. 1 видно, что с ростом T , значения параметров $w_1, w_2, t_1, t_2, t_3, f$ и l увеличиваются незначительно. На рис. 2 приведены зависимости значений погонных задержек τ_i и формы временного отклика при изменении T . Также получено, что при увеличении T от -50 до $+150$ °С значение ϵ_r уменьшается от 4,58 до 4,11.

Таблица 1

Параметры структуры при изменении температуры							
$T, ^\circ\text{C}$	$w_1, \text{мкм}$	$w_2, \text{мкм}$	$t_1, \text{мкм}$	$t_2, \text{мкм}$	$h, \text{мкм}$	$f, \text{мкм}$	$l, \text{м}$
-50	199,74	599,23	34,95	234,7	198,95	599,23	0,4994
0	199,91	599,74	34,98	234,9	199,65	599,74	0,4997
25	200	600	35	235	200	600	0,5
75	200,17	600,51	35,02	235,2	200,7	600,51	0,5004
150	200,42	601,27	35,07	235,5	201,75	601,27	0,5011

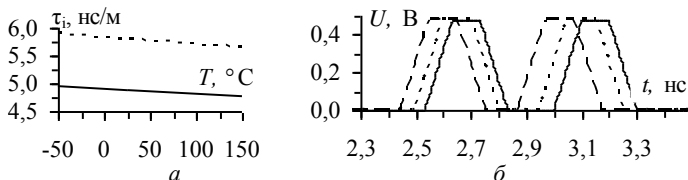


Рис. 2. Зависимости τ_1 (—) и τ_2 (---) от T (а) и формы временного отклика при T : -50 (—); 25 (---); 150 (---) $^\circ\text{C}$ (б)

Из рис. 2, а видно, что τ_i незначительно (до 1%) уменьшаются с ростом T . Максимальные значения выходного напряжения при крайних значениях T отличаются незначительно (0,481 В при -50°C и 0,482 В при $+150^\circ\text{C}$). В табл. 2 и 3 приведены максимальные и минимальные значения норм N_1 – N_5 .

Таблица 2

Максимальные значения N -норм в зависимости от T

$T, ^\circ\text{C}$	N_1	N_2	N_3	N_4	N_5
-50	1	$1,1 \cdot 10^{10}$	$2,05 \cdot 10^{-10}$	$2,52 \cdot 10^{-10}$	$1,29 \cdot 10^{-5}$
0	1	$1,07 \cdot 10^{10}$	$2,02 \cdot 10^{-10}$	$2,53 \cdot 10^{-10}$	$1,3 \cdot 10^{-5}$
25	1	$1,11 \cdot 10^{10}$	$2,01 \cdot 10^{-10}$	$2,54 \cdot 10^{-10}$	$1,3 \cdot 10^{-5}$
75	1,01	$1,12 \cdot 10^{10}$	$2,02 \cdot 10^{-10}$	$2,56 \cdot 10^{-10}$	$1,31 \cdot 10^{-5}$
150	1,02	$1,08 \cdot 10^{10}$	$2,03 \cdot 10^{-10}$	$2,57 \cdot 10^{-10}$	$1,32 \cdot 10^{-5}$

Таблица 3

Минимальные значения N -норм в зависимости от T

$T, ^\circ\text{C}$	N_1	N_2	N_3	N_4	N_5
-50	0,48	$5,56 \cdot 10^9$	$2 \cdot 10^{-10}$	$2 \cdot 10^{-10}$	$8,75 \cdot 10^{-6}$
0	0,48	$5,56 \cdot 10^9$	$2 \cdot 10^{-10}$	$2 \cdot 10^{-10}$	$8,75 \cdot 10^{-6}$
25	0,48	$5,09 \cdot 10^9$	$2 \cdot 10^{-10}$	$2 \cdot 10^{-10}$	$8,75 \cdot 10^{-6}$
75	0,48	$5,33 \cdot 10^9$	$2 \cdot 10^{-10}$	$2 \cdot 10^{-10}$	$8,76 \cdot 10^{-6}$
150	0,48	$5,22 \cdot 10^9$	$2 \cdot 10^{-10}$	$2 \cdot 10^{-10}$	$8,76 \cdot 10^{-6}$

Из табл. 2 видно, что при увеличении T максимальные значения N_1 – N_5 имеют тенденцию к увеличению, однако они изменяются незначительно. Из табл. 3 невозможно выявить какие-либо тенденции в минимальных значениях N_1 – N_4 , тогда как N_5 незначительно увеличивается при увеличении T .

Таким образом, получено, что изменение температуры, воздействующей на рассмотренную структуру, несущественно влияет на параметры цепи: погонные задержки, временной отклик, N -нормы. Данные результаты являются частью исследования цепей с модальным резервированием. Его проведение позволит получить комплекс-

ную информацию о характеристиках цепей с модальным резервированием.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 19-19-00424) в ТУСУРе.

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ Р 51369–99. Методы испытаний на стойкость к климатическим внешним воздействующим факторам машин, приборов и других технических изделий. Испытания на воздействие влажности [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200006116>, свободный (дата обращения: 09.03.2021).

2. Study and classification of potential IEMI sources / N. Mora, F. Vega, G. Lugrin, F. Rachidi, M. Rubinstein // System and assessment notes. – Note 41. – July 8, 2014.

3. Sagiyeva I.Y. The influence of temperature on microstrip transmission line characteristics / I.Y. Sagiyeva, A.V. Nosov, R.S. Surovtsev // 21th International Conference of Young Specialists on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices. – June 29 – July 3, 2020. – P. 1–4.

УДК 621.316.12

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РАЗВЯЗЫВАЮЩИХ КОНДЕНСАТОРОВ НА ПОЛНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ СИСТЕМЫ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПИТАНИЯ

М.В. Храмцов, аспирант каф. ТУ

*Научный руководитель А.М. Заболоцкий, доцент каф. ТУ, д.т.н.
г. Томск, ТУСУР, khramtsovmaxim@yandex.ru*

Исследовано влияние развязывающих конденсаторов на профиль полного сопротивления системы распределения питания. Вычислены целевые значения частоты, полного сопротивления и минимальной эффективной емкости. Показаны явление антирезонанса и способ снижения этого эффекта.

Ключевые слова: целостность питания, развязывающий конденсатор, система распределения питания.

Современные микросхемы, работающие на высоких частотах, имеют времена переключения менее наносекунды и используют низкие напряжения питания с высокими переходными токами. Это вызывает помехи и нарушает целостность питания печатных плат (ПП), что может приводить к провалам напряжения питания, появлению помех в сигнальных цепях, наводимых со стороны системы распределения питания (СРП), и нарушению целостности сигналов. Для обеспечения качественной работы быстродействующих узлов важным параметром

является полное сопротивление СРП. Оно должно быть низким, а напряжение электропитания должно быть постоянным [1]. Целью работы является исследование влияния развязывающих конденсаторов на полное сопротивление СРП.

СРП ПП включает стабилизатор или преобразователь питания. Для снижения полного сопротивления СРП применяют: электролитические или танталовые конденсаторы; развязывающие керамические конденсаторы; планарный встроенный конденсатор; конденсаторы в корпусе интегральной микросхемы или установленные на кристалле [2]. Влияние указанных элементов на полное сопротивление представлено на рис. 1.

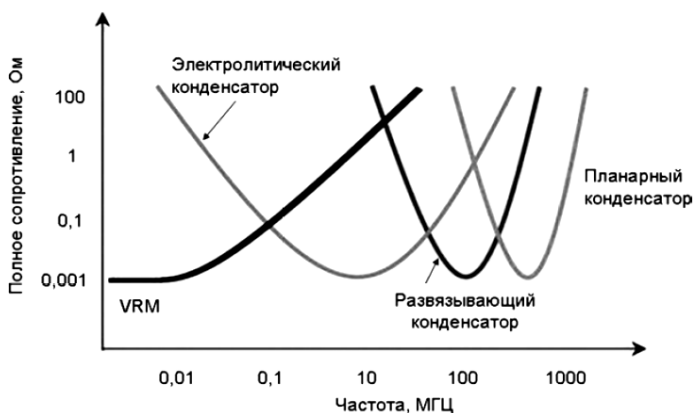


Рис. 1. Влияние элементов на профиль полного сопротивления СРП

Паразитная индуктивность цепей питания и соединений имеет свойство увеличивать полное сопротивление СРП пропорционально частоте. Таким образом, разработчику ПП удобнее всего с помощью развязывающих конденсаторов поддерживать полное сопротивление СРП ниже целевого значения [3].

Далее исследовано влияние развязывающих конденсаторов на полное сопротивление СРП для микросхемы DS92LV18. Важными параметрами являются максимальный переходной ток $I_{\text{max}} = 280$ мА, напряжение питания $V_{\text{cc}} = 3,3$ В, допустимые пульсации $\%_{\text{Rip}} = 0,03$ или $\text{Rip} = 100$ мВ и время нарастания фронта $t_{\text{фр}} = 4$ нс. Целевое значение полного сопротивления зависит от максимального переходного тока, которые вычислены по формуле $Z_{\Gamma} = V_{\text{cc}} \cdot \%_{\text{Rip}} / I_{\text{max}}$, равно 354 мОм. Диапазон частот, в котором необходимо обеспечить полное сопротивление ниже целевого значения, указан в документации либо определяется через длительность фронта сигнала по формуле

$f_{\max} = 0,35/t_{\text{фр}}$. Для микросхемы DS92LV18 – $f_{\max} = 87,5$ МГц. Первое приближение минимальной эффективной емкости развязывающего

конденсатора вычисляется по формуле $C_{\min \text{эфф}} = \frac{I_{t \max} \cdot t_{\text{фр}}}{R_{\text{ip}}}$ и равно

11,2 нФ. В результате, округлив до ближайшего типового значения, выбран конденсатор фирмы Murata с номинальным значением 100 нФ. Результаты моделирования влияния конденсаторов на полное сопротивление СРП представлены на рис. 2. На графике видно, что полное сопротивление СРП ниже целевого в диапазоне частот от 4,58 до 43,8 МГц, что является недопустимым. Понизить полное сопротивление в области низких частот можно путем добавления конденсатора большего номинального значения, например 1000 нФ. В этом случае расширяется полоса частот с полным сопротивлением ниже целевого значения до 61,3 МГц. Однако появляется недопустимый антирезонанс в диапазоне от 8,49 до 9,79 МГц из-за большого изменения добавляемой емкости. Для того чтобы исключить антирезонанс и расширить диапазон частот с низким полным сопротивлением, добавлен конденсатор с промежуточным значением в 680 нФ. Видно, что амплитуда антирезонанса значительно снизилась, а полное сопротивление имеет значение ниже целевого значения до 89,9 МГц, что удовлетворяет предъявленным требованиям.

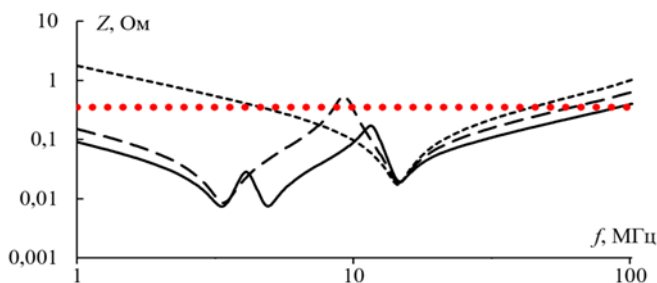


Рис. 2. Полное сопротивление СРП при подключении конденсаторов: 100 нФ (---), 100 и 1000 нФ (-.-), 100, 680 и 1000 нФ (—), целевое значение (•••)

Таким образом, в данной работе проведено моделирование полного сопротивления СРП с учетом развязывающих конденсаторов в диапазоне частот от 1 до 100 МГц. Выполнены вычисления по определению целевых значений частоты, полного сопротивления и минимальной эффективной емкости. Оценено влияние развязывающих конденсаторов и подобрана сборка, обеспечивающая полное сопро-

тивление ниже целевого значения в диапазоне частот от 1 до 89,9 МГц. Эта сборка состоит из конденсаторов с номинальным значением 100, 680 и 1000 нФ. При этом выявлено, что необходимо вводить дополнительные конденсаторы без резкого перепада емкости между ними. Это необходимо для исключения появления антирезонансов, которые отрицательно влияют на целостность питания.

Исследование поддержано Министерством науки и высшего образования (проект FEWM-2020-0041).

ЛИТЕРАТУРА

1. Кечиев Л.Н. Проектирование системы распределения питания печатных узлов электронной аппаратуры. – М.: Грифон, 2016. – 400 с.

2. Kim J. Separated Role of On-chip and On-PCB Decoupling Capacitors for Reduction of Radiated Emission on Printed Circuit Boards / J. Kim, B. Choi, H. Kim, W. Ryu, Y. Yun, S. Nam, S. Kim, Y. Lee, J. Kim // Proceedings of the IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility. – 2001. – P. 531–536.

3. Goral B. Power Delivery Network Simulation Methodology Including Integrated Circuit Behavior / B. Goral, C. Gautier, A. Amedeo // 2016 IEEE 20th Workshop on Signal and Power Integrity (SPI). – May 2016.

УДК 621.372, 537.874

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОБРАТНЫХ ВОЛН ГЕОРАДАРА, ОТРАЖЕННЫХ ОТ ОБЪЕКТОВ В ВЕРХНЕМ ПОЛУПРОСТРАНСТВЕ

М.А. Иноземцев, аспирант каф. ТУ

г. Томск, ТУСУР, ma87@sibmail.com

Представлены результаты численного моделирования обратных волн, возникающих при отражении зондирующих сигналов георадара при его работе в условиях горной выработки от границ раздела сред в верхнем полупространстве, а также от проводящих объектов, расположенных в верхнем полупространстве. Описаны параметры модели, приведены полученные в результате моделирования отдельные трассы и радарограммы.

Ключевые слова: георадар, численное моделирование, метод FDTD, отраженный сигнал.

В настоящее время георадары применяются при решении ряда инженерных, научных и других задач. Одной из сфер их применения является контроль состояния состояния кровли и приконтурных массивов горных выработок шахт, рудников. Ограниченные размеры выработки, наличие в ней крупногабаритного оборудования или других объектов

затрудняют проведение таких работ. Кроме того, несмотря на использование экранированных антенн, полностью подавить излучение в верхнее полупространство не удастся, что приводит к появлению отраженных волн от объектов, расположенных в нем. Таким образом, интерпретация радарограммы может оказаться затрудненной.

Цель работы – выполнить численное моделирование обратных волн георадара, отраженных от объектов в верхнем полупространстве.

Для оценки влияния объектов, расположенных в верхнем полупространстве, на результаты георадиолокационного исследования разработана модель горной выработки и проведено численное моделирование методом конечных разностей во временной области (КРВО, англ. FDTD – Finite Difference Time Domain) в программном обеспечении grMax [1]. Горная выработка в модели представлена в виде набора слоев (рис. 1). Слои 1, 3 и 4 с характеристиками $\epsilon_1 = 7$, $\sigma_1 = 0,0003$ См/м, $\epsilon_3 = 7$, $\sigma_3 = 0,0003$ См/м, $\epsilon_4 = 4$, $\sigma_4 = 0,0005$ См/м соответствуют слоям горных пород выработки. Их электрические характеристики заданы в соответствии с [2]. Так как рассматриваемые горные породы немагнитные, то $\mu_1 = \mu_3 = \mu_4 = 1$. Слои 2 – свободное пространство ($\epsilon_2 = 1$, $\mu_2 = 1$). Толщины слоев соответственно равны 0,75; 1,1; 0,75; 1,25 м. Приемная и излучающая антенны георадара заданы в виде элементарных электрических излучателей, расположенных на границе раздела слоев 2 и 3. Расстояние между антеннами выбрано равным 0,2 м. На излучающую антенну подается импульс Гаусса с центральной частотой 400 МГц и амплитудой 10 В. Верхнее полупространство модели относительно антенн представлено слоями 1 и 2. Моделирование проводится в двумерном режиме, поэтому размер модели вдоль оси Z равен размеру одной ячейки сетки. Размеры модели по осям X и Y соответственно равны 5,5 и 3,85 м.

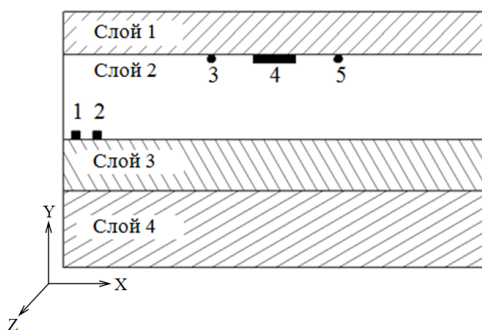


Рис. 1. Модель горной выработки: 1, 2 – излучающая и приемная антенны; 3, 5 – металлические цилиндры; 4 – металлический объект прямоугольной формы

Шаг сетки FDTD определен исходя из наименьшей длины волны в слоях модели и равен 25 мм по осям X , Y и Z . Для исключения отражения волн от границ рассматриваемого объема были заданы поглощающие условия в виде сетки PML [3]. Для того чтобы оценить влияние проводящих объектов, расположенных в верхнем полупространстве, было создано два варианта модели. В первом варианте в верхнем полупространстве нет проводящих объектов, и при распространении в нем зондирующего импульса отражение возникает на границе раздела слоев 1 и 2. Во втором варианте в слое 2 размещены два цилиндрических объекта и один объект прямоугольной формы (см. рис. 1), которые в реальных условиях могут представлять собой трассы коммуникаций, оборудование, размещенное в металлических корпусах, или другие подобные объекты. В этом случае в принятом сигнале дополнительно будут присутствовать отражения от данных объектов. Сравнение результатов, полученных при моделировании двух вариантов, позволит сделать вывод о влиянии проводящих объектов, расположенных в верхнем полупространстве, на вид радарограммы.

Программное обеспечение grgMax позволяет моделировать как отдельные трассы (А-скан) при определенном пользователем положении антенн в модели, так и набор трасс (радарограммы, В-сканы) в том случае, если заданы начальное положение антенн и величина их перемещения вдоль оси X , которая в данной работе составляет 25 мм. На рис. 2 и 3 представлены отдельные трассы, полученные при одинаковом положении антенн по оси X для первого и второго вариантов моделирования.

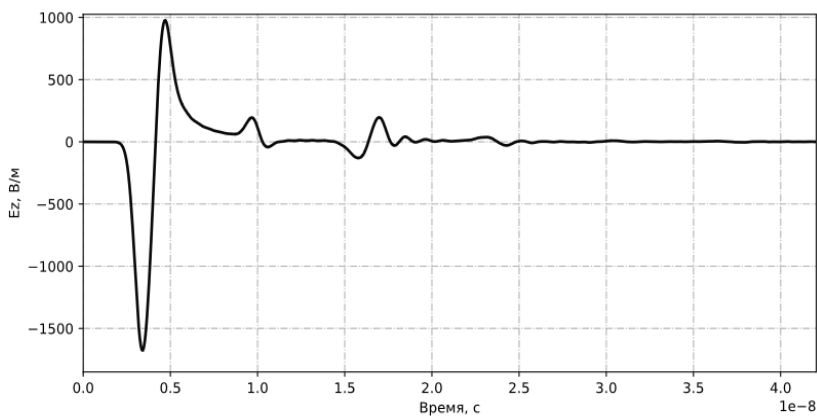


Рис. 2. Радиолокационный профиль для одного из положений антенн (А-скан) при отсутствии проводящих объектов в верхнем полупространстве

Импульсы на интервале времени 3–7 нс представляют собой сигналы прямого прохождения между антеннами. Волны, отраженные от границ раздела слоев, соответствуют временным интервалам на профилях 8–12, 15–20 и 22–26 нс.

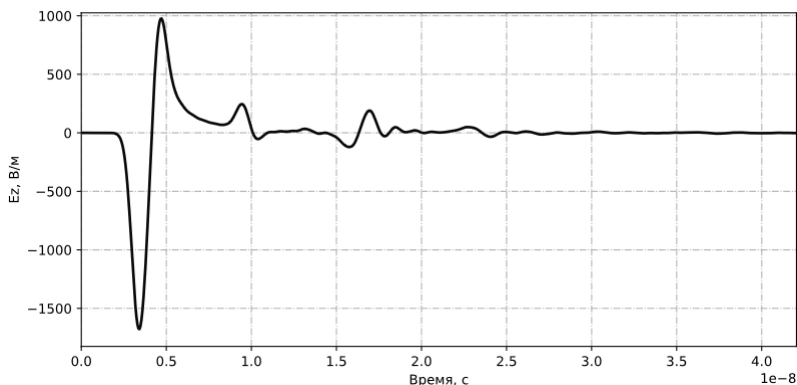


Рис. 3. Радиолокационный профиль для одного из положений антенн (А-скан), полученный при наличии проводящих объектов в верхнем полупространстве

Сравнивая оба профиля, можно видеть, что отражению зондирующего импульса от проводящего объекта соответствует импульс на временном интервале 13–15 нс (см. рис. 3). По результатам моделирования были получены радарограммы для первого (рис. 4) и второго вариантов (рис. 5).

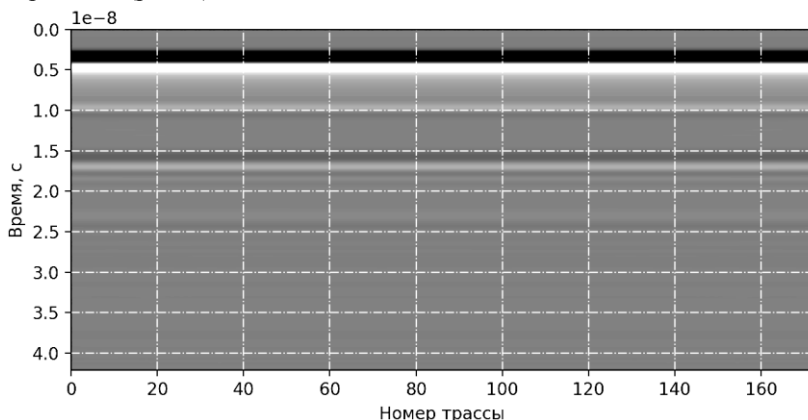


Рис. 4. Радарограмма, полученная при отсутствии проводящих объектов в верхнем полупространстве

Из сравнения полученных радарограмм видно, что наличие в верхнем полупространстве проводящих объектов, отражающих зондирующие импульсы, приводит к появлению дифрагированных волн, изображенных на радарограмме в форме гипербол, положение вершин которых соответствует положению проводящего объекта.

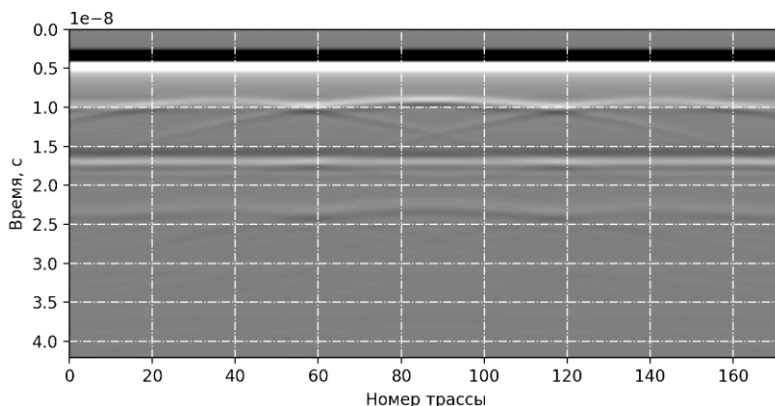


Рис. 5. Радарограмма, полученная при наличии проводящих объектов в верхнем полупространстве

В данной работе в программном обеспечении gprMax было выполнено численное моделирование для оценки влияния проводящих объектов, расположенных в верхнем полупространстве, на результаты георадиолокационного исследования при использовании георадара в условиях горной выработки. На основании проведенного моделирования можно сделать вывод, что объекты, расположенные в верхнем полупространстве, являются причиной появления дифрагированных волн, и при большом количестве таких объектов интерпретация радарограммы может оказаться затрудненной. Таким образом, при использовании георадара в условиях горной выработки следует учитывать влияние проводящих объектов в верхнем полупространстве и по возможности, не располагать антенны вблизи таких объектов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Warren C. gprMax: Open source software to simulate electromagnetic wave propagation for Ground Penetrating Radar / C. Warren, Giannopoulos A., Giannakis I. // Computer Physics Communications. – 2016 – Vol. 209. – P. 163–170.
2. Финкельштейн М.И. Подповерхностная радиолокация / М.И. Финкельштейн, В.И. Карпунин, В.А. Кутев, В.Н. Метелкин; под ред. М.И. Финкельштейна. – М.: Радио и связь, 1994. – 216 с.
3. gprMax User Guide [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.gprmax.com/en/latest/index.html> (дата обращения: 25.02.2021).

ОБЗОР УСТРОЙСТВ ЗАЩИТЫ ОТ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО РАЗРЯДА

С. Карри, аспирант каф. ТУ

г. Томск, ТУСУР, salimkarri.h@gmail.com

Представлены результаты патентного поиска устройств защиты от электростатического разряда (ЭСР). Выявлено, что на данный момент не применяются традиционные устройства совместно с устройствами на основе модальных искажений.

Ключевые слова: электростатический разряд, устройство защиты.

Радиоэлектронные средства (РЭС) прочно вошли в жизнь современного человека. На фоне тенденций развития РЭС всё острее ощущается проблема обеспечения электромагнитной совместимости (ЭМС) РЭА. Неучет требований ЭМС может привести к нестабильной работе и даже к выходу РЭС из строя. Одной из важных задач ЭМС является защита от опасных электромагнитных воздействий (ЭМВ). К наиболее опасным видам ЭМВ относится электростатический разряд (ЭСР) из-за его высокой амплитуды и малого времени нарастания, благодаря чему ЭСР могут проникать внутрь РЭС и выводить из строя их чувствительные цепи. Такие разряды возникают вследствие трибоэлектрических эффектов: заряд проводящей поверхности из-за трения о диэлектрические поверхности.

Известно множество подходов и устройств для защиты от ЭСР. Среди них примечателен предложенный простой, основанный на использовании модальных искажений в меандровых линиях для разложения пикового выброса ЭСР на последовательность импульсов меньшей амплитуды [1]. К достоинствам данного подхода можно отнести отсутствие полупроводниковых компонентов в составе устройства, что исключает деградацию из-за воздействия радиации, а также отсутствие LC-компонентов, как в классических фильтрах, что исключает возможности возникновения паразитных эффектов. Однако эффективность такого подхода в большой степени зависит от величины ослабления ЭСР, и при разложении только пикового выброса ЭСР по-прежнему способен вывести чувствительные РЭС из строя. Поэтому необходим поиск дополнительных мер защиты, которые при совместном применении с указанным подходом позволят обеспечить комплексную защиту от ЭСР. Для этого видится необходимым выполнить патентный поиск технических решений. Цель данной работы – представить результаты такого поиска.

Для сенсорных устройств ввода предлагается защита от ЭСР, которая зачастую основана на стекании тока на землю за счёт использования дополнительных контактов с эффективным заземлением [2–4]. Например, одно из устройств [3] состоит из сенсорной схемы в составе модуля, с которым соединено множество сигнальных линий, на периферии модуля расположено кольцо защиты от ЭСР. Между сигнальными линиями и защитным кольцом размещено кольцо экранирования. Касание сенсора вызывает перепад, который, распространяясь по сигнальным проводникам, создает ЭСР, который подавляется кольцом защиты от ЭСР. Остаточные эффекты воздействия ЭСР компенсируются экранирующим кольцом. Другой патент описывает чип распознавания отпечатка пальца с защитой от ЭСР [4]. Он включает в себя считывающие площадки, находящиеся на подложке чипа, спроектированного в виде матрицы. Они имеют центральную и периферийную области (рис. 1). Если при контакте пальца со считывающей площадкой возникает ЭСР с амплитудой выше заданной, то схема отключается для защиты чувствительных электронных компонентов и периферийная область напрямую подключается к источнику питания или опорному контакту, позволяя ЭСР стечь на землю, минуя чувствительные цепи.

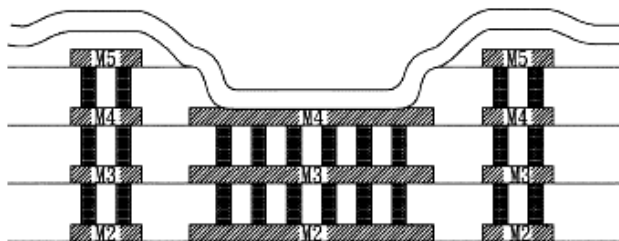


Рис. 1. Структура считывающей площадки

Для защиты цепей на печатной плате применяются устройства из двух частей: управляющей и заземляющей [5]. Например, одна из опубликованных систем защиты внутренних цепей от ЭСР включает в себя устройство отсечки ЭСР, подключённое между входным и опорным портами [6]. Затвор устройства отсечки ЭСР связан с выходом предусилителя. Между предусилителем и внутренней схемой расположена схема управления, с которой связан узел слежения, настроенный на обнаружение ЭСР. При обнаружении ЭСР узел слежения посылает перепад на управляющую схему. Управляющая схема в качестве отклика, используя предусилитель, переводит затвор устройства отсечки ЭСР в состояние с высоким импедансом, тем самым запирая его и препятствуя прохождению ЭСР на электронные компоненты.

Помимо устройств защиты с управляющей схемой, также применяется разделение высоковольтного сигнала от низковольтного. Так, в [7] описывается полупроводниковый элемент, состоящий из двух МОП структур: высоковольтной и низковольтной. При нормальной работе элемента ток протекает через низковольтную структуру, а при воздействии ЭСР открывается высоковольтная структура, через которую высоковольтный сигнал можно направить, например, на опорную плоскость или схемную землю.

Кроме этого, в широком многообразии представлены фильтры электромагнитных помех, также способные обеспечить защиту от ЭСР. Например, в [8] описан фильтр, состоящий из двух индукционных катушек. Для разделения катушек используется диэлектрический слой. Тогда ЭСР, протекая по первой, вызывает наведенный сигнал на второй, создавая таким образом гасящий сигнал, который компенсирует ЭСР.

Исходя из представленных результатов патентного поиска, видно, что на данный момент устройства ослабления пикового выброса ЭСР не применяются на практике, а применяются лишь традиционные средства защиты: развязывающие, компенсационные, фильтрующие и гасящие устройства. В ряде случаев из-за быстродействия такие устройства могут быть неэффективны, что приведет к проникновению ЭСР внутрь РЭС. Поэтому целесообразно совместное использование предварительного ослабления за счет устройств на основе меандровых линий, и применение традиционных средств позволит повысить устойчивость РЭС к ЭСР и эффективность защиты. Также результаты патентного поиска будут полезны в будущем при прототипировании новых технических решений.

Исследование поддержано Министерством науки и высшего образования (проект FEWM-2020-0041).

ЛИТЕРАТУРА

1. Surovtsev R.S. Possibility of Protection Against UWB Pulses Based on a Turn of a Meander Microstrip Line / R.S. Surovtsev, A.V. Nosov, A.M. Zabolotsky // IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility. – 2017. – Vol. 58, No. 6. – P. 1864–1871.
2. Пат. US 9734382 США, МПК G06K9/00. Fingerprint sensor having ESD protection / C. Wang (TW), T. Chiang (TW), C. Yang (TW). № 14/935137; заявл. 06.11.2015; выдан 15.08.2017.
3. Пат. US9537305 США, МПК H02H9/04. Touch control device with enhanced ESD protection effect / Y-h. Chen (CN), R-s. Weng (CH), C-y. Tseng (CN) №14/555791; заявл. 28.11.2014; выдан 03.01.2017.
4. Пат. US9563802 США, МПК G06K9/00. Fingerprint identification chip with enhanced ESD protection / P. Lin (TW) №14/678645; заявл. 03.04.2015; выдан 07.02.2017.

5. Пат. US9537306 США, МПК H02H9/04. ESD protection system utilizing gate-floating scheme and control circuit thereof / J. Tseng (TW), C. Huang (TW) №14/620382; заявл. 12.02.2015; выдан 03.01.2017.

6. Пат. US9537306 США, МПК H02H9/04. ESD protection system utilizing gate-floating scheme and control circuit thereof / J. Tseng (TW), C. Huang (TW) №14/620382; заявл. 12.02.2015; выдан 03.01.2017.

7. Пат. US9613952 США, МПК H01L27/02. Semiconductor ESD protection device / H. Chen (TW), W. Chan (TW), S. Wu (TW) №14/341925; заявл. 25.07.2014; выдан 04.04.2017.

8. Пат. US 9734382 США, МПК G06K9/00. Fingerprint sensor having ESD protection / C. Wang (TW), T. Chiang (TW), C. Yang (TW) № 14/935137; заявл. 06.11.2015; выдан 15.08.2017.

УДК 621.3

ОБЗОР АНАЛИТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ВЫЧИСЛЕНИЯ ВРЕМЕННОГО ОТКЛИКА В ПОЛОСКОВЫХ УСТРОЙСТВАХ ЗАЩИТЫ

З.М. Кенжегулова, аспирант каф. ТУ

Научный руководитель Р.С. Суворцев, доцент каф. ТУ

г. Томск, ТУСУР, zarina.kenzhegulova@mail.ru

Выполнен обзор аналитических моделей для вычисления временно-го отклика в связанных линиях. Показаны актуальность применения аналитических моделей и их разнообразие.

Ключевые слова: сверхкороткий импульс, связанная линия, перекрестная наводка.

В настоящее время в области проектирования вычислительной и микропроцессорной техники наблюдается неуклонный рост частот используемых сигналов и уменьшение их рабочих напряжений. Это ведет к росту восприимчивости радиоэлектронных средств (РЭС) к электромагнитным воздействиям (ЭМВ) разной природы. Их влияние может привести к ухудшению или полному отказу работы устройства. Одними из наиболее опасных воздействий являются сверхкороткие импульсы (СКИ) [1]. Их высокая энергия также опасна тем, что может влиять и на аппаратную часть устройств, вплоть до физического разрушения [2]. Одним из подходов для защиты от СКИ является применение полосковых устройств на основе технологии модального разложения: модальные фильтры и меандровые линии [3, 4].

С точки зрения защиты РЭС от СКИ важно умение анализировать временной отклик на концах устройства [5]. Как правило, вычисление отклика выполняется численными методами, однако затраты на это могут оказаться высоки даже для простых конфигураций [6]. Между

тем для предварительных оценок в ряде частных случаев применимы простые аналитические модели, поскольку полосковые устройства могут быть представлены набором пар связанной линии. Разнообразие известных аналитических моделей для вычисления отклика в связанных линиях предоставляет возможность выбора простых, понятных и наиболее эффективных моделей. Между тем автору неизвестны работы с результатами систематизированного обзора таких моделей. Поэтому цель данной работы – выполнить такой обзор.

Сначала необходимо отметить фундаментальные работы в области анализа перекрестных помех в связанных линиях, послужившие основой для дальнейших исследований в этой области. Например, в не теряющей актуальности работе [7] представлены результаты анализа временного отклика многопроводной линии передачи (МПЛП) без учета потерь, причем не ограничиваясь допущением лишь слабой связи между проводниками, а также введены такие понятия, как схема согласованного окончания и эквивалентная схема МПЛП. В не менее важной работе [8] детально освещены аспекты анализа перекрестных помех в связанных линиях, а также представлен и разобран ряд методов расчета отклика линии на основе известных теоретико-схемотехнических параметров. Работа [9] уникальна тем, что в ней описывается и сравнивается несколько методов вычисления отклика линий, основанных на использовании известных параметров теории цепей.

Особого внимания заслуживают работы исследователей в области новых и эффективных аналитических моделей для МПЛП. В работе [10] рассмотрено аналитическое вычисление формы и амплитуды перекрестных наводок в МПЛП без потерь, для чего применяется метод модального анализа связанных линий во временной области. Метод основан на векторном анализе и заключается в том, что напряжения и токи на концах проводника записываются как сумма напряжений каждой моды, выраженных через коэффициенты матрицы отражения мод и компоненты воздействия, с учетом коэффициентов матрицы преобразования мод. В работе [11] представлены модели для вычисления временного отклика частного случая: двух параллельных связанных линий. Телеграфные уравнения применены для записи уравнения для параллельных линий, их решение получено в частотной области на основе метода преобразования мод, а затем выполнен переход во временную область с помощью преобразования Лапласа. А в работе [12] получены простые выражения для аналитического определения формы и амплитуды перекрестных наводок в паре связанных линий без потерь. Простота данных выражений определяется тем, что

они не требуют трудоемкого вычисления матриц L , C , R , G параметров связанных линий.

В интересной работе [13] представлен аналитический метод для расчета временного отклика при возбуждении связанной линии плоской волной. Аналитическое решение представляется в виде бесконечного геометрического ряда во временной области, который вычислен с помощью частотного ВЛТ-уравнения при дискретном изменении времени. Наконец, примечателен нестандартный подход к вычислению перекрестных наводок на пассивных проводниках: записывается система линейных дифференциальных уравнений, а затем вычисляются собственные значения и собственные векторы этой системы [14, 15]. В первой работе выполнен анализ простой связанной линии, а во второй – МПЛП, покрытой тонким слоем диэлектрика.

Как видно из результатов обзора, разработке моделей, методов и подходов для анализа связанных линий, в том числе МПЛП, посвящено довольно много работ, основное внимание в которых уделяется искажениям сигналов из-за перекрестных наводок. Приведенный краткий обзор показывает актуальность применения аналитических моделей для вычисления отклика, в особенности для частных случаев. Данный обзор позволит оценить возможность применения уже существующих и разработки новых аналитических моделей для вычисления временного отклика в защитных полосковых устройствах.

Исследование поддержано Министерством науки и высшего образования (проект FEWM-2020-0041).

ЛИТЕРАТУРА

1. Гурина Л.А. Электромагнитные помехи и методы защиты от них: учеб. пособие. – Благовещенск: Амурский гос. ун-т, 2006. – С. 3.
2. Хоанг Л.Ч. Аналитический обзор по исследованиям влияния преднамеренного электромагнитного воздействия на беспроводные сети // Информационные технологии и телекоммуникации. – 2017. – Т. 5, № 1. – С. 114–125.
3. Заболоцкий, А.М. Теоретические основы модальной фильтрации / А.М. Заболоцкий, Т.Р. Газизов // Техника радиосвязи. – 2014. – № 3. – С. 79–83.
4. Surovtsev R.S. Possibility of Protection Against UWB Pulses Based on a Turn of a Meander Microstrip Line / R.S. Surovtsev, A.V. Nosov, A.M. Zablotzky, T.R. Gazizov // IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility. – 2017. – Vol. 59, No. 6. – P. 1864–1871.
5. Заболоцкий А.М. Модальные фильтры для защиты бортовой радиоэлектронной аппаратуры космического аппарата / А.М. Заболоцкий, Т.Р. Газизов. – Томск: Изд-во ТУСУРа, 2013. – 150 с.
6. 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.

7. Amemiya H. Time-domain analysis of multiple parallel transmission lines // RCA Review. – 1967. – P. 241–276.
8. Djordjevic A.R. Time-domain response of multiconductor transmission lines / A.R. Djordjevic, T.K. Sarkar, R.F. Harrington // IEEE Proceedings. – 1987. – Vol. 75, No. 6. – P. 743–764.
9. Paul C.R. Literal solutions for time-domain crosstalk on lossless transmission lines // IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility. – 1992. – Vol. 34, Iss. 4. – P. 433–444.
10. Park S.W. Analytical approach for crosstalk characterization of multiconductor transmission lines using mode decomposition technique in the time domain / S.W. Park, F. Xiao, Y. Kami // IEEE Transactions On Electromagnetic Compatibility. – 2010. – Vol. 52. – P. 436–446.
11. Xiao F. Analytical solution for two parallel traces on PCB in the time domain with application to hairpin delay lines / F. Xiao, K. Murano, Y. Kami // IEICE Transactions on Communications. – Jun. 2009. – P. 1953–1959.
12. Chai, C. Simple time-domain expressions for prediction of crosstalk on coupled microstrip lines / C. C. Chai, B. K. Chung, H. T. Chuah // Progress in Electromagnetics Research. – 2003. – Vol. 39. – P. 147–175.
13. Gu-Yan N. Time-domain analytic solutions of two-wire transmission line excited by a plane-wave field / N. Gu-Yan, Y. Li, Y. Nai-Chang // Chin. Phys. Soc. and IOP Publishing Ltd. – 2008. – Vol. 7. – P. 3629–3634.
14. Soleimani N. Crosstalk analysis at near-end and far-end of the coupled transmission lines based on eigenvector decomposition / Mohammad G.H. Aljani, Mohammad H. Neshati // International Journal of Electronics and Communications. – 2012. – Vol. 12. – P. 1–8.
15. Soleimani N. Analysis and Calculation of Crosstalk in Multi Conductor Transmission Lines (MTL) Coated by a Thin Dielectric Insulator [MSc thesis]. Ferdowsi University of Mashhad; September 2016.

УДК 519.612

НОВЫЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРОГРАММНОГО МОДУЛЯ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Д.В. Клюкин, магистрант каф. ТУ

Научный руководитель С.П. Куксенко, доцент каф. ТУ, д.т.н.

г. Томск, ТУСУР, yuhoo11@mail.ru

Представлены результаты реализации новых функциональных возможностей программного модуля электростатического анализа методом конечных элементов. Выполнено тестирование нового функционала.

Ключевые слова: электростатический анализ, метод конечных элементов, напряженность электрического поля, распределение потенциала.

С увеличением сложности радиоэлектронных средств (РЭС) увеличиваются и затраты на их проектирование. Одним из ключевых элементов РЭС являются линии передачи (ЛП). Контроль характеристик ЛП при проектировании РЭС очень важен, так как из-за рассогласования в значении волнового сопротивления ЛП и нагрузки возникают помехи отражения сигнала, влияющие на его целостность. Моделирование в системах автоматического проектирования (САПР) обладает преимуществами над натурными испытаниями за счет ускорения и дешевизны. Поэтому в настоящее время при проектировании ЛП часто используются САПР, основанные на электростатическом анализе.

Электростатический анализ ЛП состоит из следующих этапов: построение геометрической модели; задание граничных условий; дискретизация области решения; решение задачи; вывод и визуализация результатов. Ранее разработан программный модуль электростатического анализа методом конечных элементов [1, 2]. Однако целесообразно расширение его функциональных возможностей.

Цель работы – реализовать новые функциональные возможности модуля электростатического анализа методом конечных элементов (МКЭ).

В современных САПР на этапе построения геометрических моделей пользователю доступно «дерево» проекта, которое содержит описание геометрических объектов и их параметры. Данное «дерево» позволяет наглядно структурировать составляющие сложных геометрических моделей и корректно задавать граничные условия задачи.

В ранее разработанном программном модуле переработан графический интерфейс пользователя для добавления подобного «дерева». В результате справа от графического редактора располагается «дерево» модели (рис. 1). Двойное нажатие на «ветвь дерева» подсвечивает выбранный объект на графической сцене. Для его редактирования требуется нажать по объекту правой кнопкой мыши и в сплывающем меню выбрать раздел «Edit». После этого в открывшемся окне редактирования можно изменить требуемые параметры.

После построения геометрических моделей и решения задачи в разработанном модуле результаты вычисления предоставляются в текстовом виде. Но этого не всегда достаточно для корректной оценки полученных характеристик. Для этого в современных САПР доступна возможность визуализации полученных результатов. Поэтому в модуль добавлена возможность визуализации результатов вычисления распределения потенциала, напряженности электрического поля и эквипотенциальных линий. Далее рассмотрим особенности разработанных вычислительных алгоритмов.

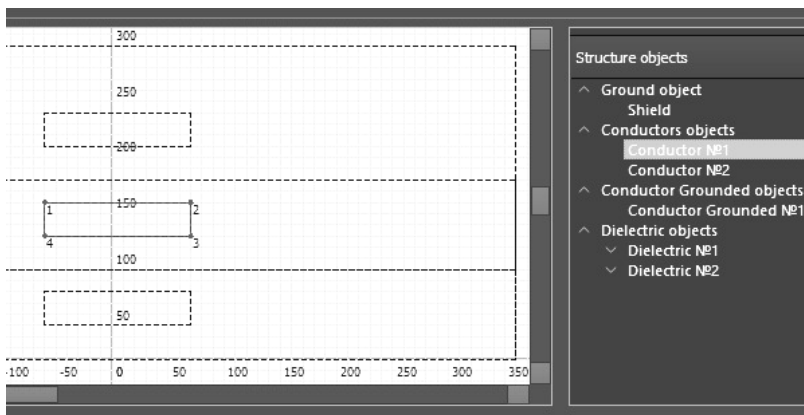


Рис. 1. Основное окно модуля электростатического анализа с открытым «деревом» модели

Алгоритм построения распределения потенциала и эквипотенциальных линий:

1. Задать шаг эквипотенциальных линий и цвет для диапазонов значений потенциала.
2. Найти треугольники, через которые проходят эквипотенциальные линии.
3. Определить точки со значением искомого потенциала на ребрах найденных треугольников.
4. Соединить найденные точки для образования эквипотенциальных линий.
5. Отобразить соответствующим цветом пространство между эквипотенциальными линиями.

Алгоритм построения напряженности электрического поля:

1. Вычислить значение потенциала φ в каждом узле сетки.
2. Вычислить значения напряженности электрического поля \mathbf{E} в каждом треугольнике сетки, как $\mathbf{E} = -\nabla\varphi$.
3. Отобразить соответствующим цветом каждый треугольник.

Для тестирования разработанных алгоритмов использовалась модель коаксиальной структуры со следующими параметрами: ширина и высота экрана 3 мм; ширина и толщина проводника 1 мм. На рис. 2 и 3 приведены результаты визуализации картины поля в разработанном модуле и в программах ELCUT [3] и FEMM [4].

Из рис. 2 и 3 видно, что результаты сходятся. Это подтверждает корректность разработанных алгоритмов и их программную реализацию.

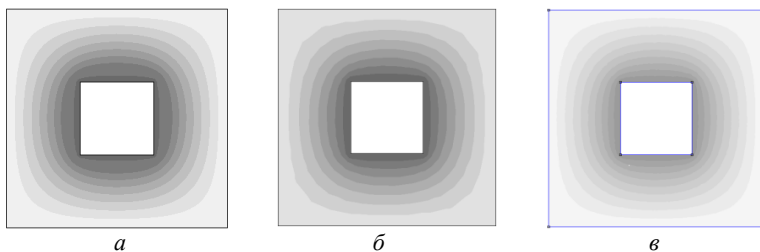


Рис. 2. Визуализация распределения потенциала в разработанном программном модуле (а), в программах ELCUT (б) и FEMM (в)

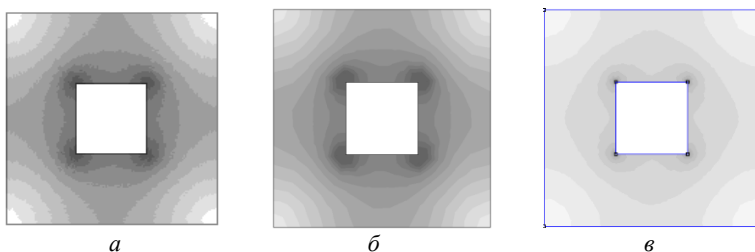


Рис. 3. Визуализации напряженности электрического поля в разработанном программном модуле (а), в программах ELCUT (б) и FEMM (в)

Таким образом, реализованы новые функциональные возможности программного модуля электростатического анализа МКЭ. Так, разработано «дерево» проекта, разработаны вычислительные алгоритмы построения распределения потенциала и напряженности электрического поля, реализована возможность их визуализации.

Исследование поддержано Министерством науки и высшего образования (проект FEWM-2020-0041).

ЛИТЕРАТУРА

1. Клюкин Д.В. Расчет погонных параметров линий передачи методом конечных элементов / Д.В. Клюкин, А.А. Квасников // Научная сессия ТУСУР–2020: сб. избр. статей научной сессии ТУСУР по матер. междунар. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых. – Томск, Россия, 13–30 мая 2020 г. – Т. 1. – С. 251–254.
2. Клюкин Д.В. Вычисление погонных параметров многопроводных линий передачи методом конечных элементов / Д.В. Клюкин, С.П. Куксенко // 26-я. Междунар. науч.-практ. конф. «Природные и интеллектуальные ресурсы Сибири. СИБРЕСУРС-26–2020». – Томск, Россия, 24.11.2020 г. – С. 107–111.
3. ELCUT – программа моделирования [Электронный ресурс]. – URL: <https://elcut.ru/> (дата обращения: 12.03.2021).
4. FEMM – Finite Element Method Magnetics [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.femm.info/wiki/HomePage> (дата обращения: 12.03.2021).

СПЛАЙНОВАЯ МОДЕЛЬ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ДЕГРАДАЦИИ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ В РАНДОМИЗИРОВАННЫХ СРЕДАХ

С.С. Журавлев, М.В. Ковлягин, Н.Ю. Шайманов, студенты каф. ТУ

Научный руководитель Ф.Ф. Идрисов, проф. каф. ТУ, д.т.н.

г. Томск, ТУСУР, farit.idrisov@mail.ru

Предлагается модель, позволяющая оценивать состояние радиоэлектронной системы (РЭС) в условиях наблюдений в случайные моменты времени. Поток поступающих наблюдений принят паусоновским.

Ключевые слова: модель, тренд, сплайн, рандомизированная среда, рекуррентный, наблюдения, оценка.

Общей особенностью всех наблюдений является короткий период их актуальности. В этой связи важной является разработка адаптивных моделей трендов деградации РЭС, работающих в рандомизированной среде, чему и посвящена данная работа. Для решения поставленной задачи в ней используются надлежащим образом модифицированные сплайны невысокого порядка, обеспечивающие при этом устойчивость вычислений [1].

Цель работы – построить адаптивную модель оценивания тренда РЭС в условиях случайных моментов наблюдения.

Рассмотрим ситуацию, когда задан интервал наблюдения (например, известен промежуток времени появления объектов противника, время боевого дежурства РЭС и т.п.). Обозначим его $[0, T]$. Разбиваем его на подынтервалы $[0, T_0]$; $[T_0, 2T_0]$; ...; $[(n-1)T_0, nT_0]$ и на каждом из них оценим тренд в виде полинома невысокого порядка. На границах интервалов полиномы «сшиваются» в целях получения непрерывной кривой, но так, чтобы в отличие от работ других авторов [2, 3] можно было бы получить рекуррентные процедуры оценивания параметров. Это особенно ценно при конструировании процессов адаптации.

Покажем это на примере сплайна первого порядка. Пусть $t_i \in [rT_0, (r+1)T_0]$, $t_i \in [rT_0]$, а результат наблюдения представим в виде

$$x_i = x(t_i) = x_r(t_i) + \varepsilon_i, \quad (1)$$

где $x_r(t)$, $r = 0, n-1$ – тренд временного ряда;

$$x_r(t) = a_r + b_r((t - rT_0)/T_0). \quad (2)$$

Таким образом, на r -м отрезке тренд имеет вид полинома первого порядка. Потребуем, чтобы на границах отрезков значения тренда были «сшиты», т.е. $x_r((r+1)T_0) = x_{r+1}((r+1)T_0)$, что приводит к условию

$$a_r + b_r = a_{r+1}. \quad (3)$$

Таким образом, тренд приобретает вид кусочно-ломаной линии, представляющей собой рекуррентный сплайн первого порядка. Выделение бортовыми средствами РЭС такого тренда по сути сводится к нахождению оценок \hat{a}_r , \hat{b}_r параметров сканируемого сигнала. При этом значение оценок необходимо «сшивать», т.е.

$$\hat{a}_r + \hat{b}_r = \hat{a}_{r+1}. \quad (4)$$

Простота ситуации с вычислительной точки зрения как адаптивной процедуры в том, что бортовому компьютеру достаточно оценивать коэффициенты a_r , так как коэффициенты b_r определяются через a_r в виде $b_r = a_{r+1} - a_r$.

Вполне логично с самого начала адаптации строить тренд таким образом, чтобы в его модели содержались лишь коэффициенты a_r , тогда на участке траектории сканирования $[rT_0, (r+1)T_0]$ тренд $x_r(t)$ можно записать в виде

$$x_r(t) = a_r(r+1 - (t/T_0)) + a_{r+1}((t/T_0) - r), \quad (5)$$

$$rT_0 \leq t \leq (r+1)T_0.$$

Так что если момент t_i попадает на интервал $[rT_0, (r+1)T_0]$, то

$$x_i = x(t_i) = a_r(r+1 - (t_i/T_0)) + a_{r+1}((t_i/T_0) - r) + n_i, \quad (6)$$

где n_i – независимые случайные величины с $M\{n_i\} = 0$ и $D\{n_i\} = T^2$. Образует множество M_r индексов i следующим образом:

$$M_r = \{i: rT_0 \leq t_i \leq (r+1)T_0\}, \quad r = 0, n-1. \quad (7)$$

Другими словами, M_r в (7) – это множество индексов у тех моментов t_i , которые попали в r -й интервал. Для оценки \hat{a}_r параметров a_r конструируется статистика вида

$$S_r = \frac{1}{\lambda T_0} \sum_{i \in M_r} (a + b \frac{t_i - rT_0}{T_0}) x_i. \quad (8)$$

Вычисляется математическое ожидание этой статистики. Учитывая представление для x_i (1) и усредняя сначала по n_i с учётом того, что $M\{n_i\} = 0$, а затем по $\{t_i\}$, получим

$$M\{S_r\} = \frac{1}{T_0} \int_{rT_0}^{(r+1)T_0} (\alpha + \beta \frac{t_i - rT_0}{T_0}) (a_r(r+1 - \frac{t}{T_0}) + a_{r+1}(\frac{t}{T_0} - r)) dt =$$

$$= a_r (\frac{\alpha}{2} + \frac{\beta}{6}) + a_{r+1} (\frac{\alpha}{2} + \frac{\beta}{3}). \quad (9)$$

Если взять $\alpha = -2$, $\beta = -6$, то $M\{S_r\} = a_r$, а также $\alpha = -2$, $\beta = 6$, то $M\{S_r\} = a_{r+1}$. Это позволяет построить рекуррентный алгоритм оце-

нок параметров a_r , начиная с a_0 . Оценку \hat{a}_0 параметра a_0 следует брать в виде

$$\hat{a}_0 = \frac{1}{\lambda T_0} \sum_{i \in M_0} (4 - 6 \frac{t_i}{T_0}) x_i. \quad (10)$$

Оценку \hat{a}_1 параметра a_1 можно получить как из отрезка $[0, T_0]$, так и из отрезка $[T_0, 2T_0]$. В общем случае можно рассматривать взвешенное среднее этих оценок, т.е.

$$\hat{a}_1 = \frac{1}{\lambda T_0} [a \sum_{i \in M_0} (6 \frac{t_i}{T_0} - 2) x_i + (1-a) \sum_{i \in M_1} (4 - 6 \frac{t_i - T_0}{T_0}) x_i]$$

с некоторой $\alpha \in [0, 1]$. Аналогично можно построить оценки для $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha = n - 1$ в виде

$$\hat{a}_r = \frac{1}{\lambda T_0} [a \sum_{i \in M_{r-1}} (6 \frac{t_i - (r-1)T_0}{T_0} - 2) x_i + (1-a) \sum_{i \in M_r} (4 - 6 \frac{t_i - rT_0}{T_0}) x_i]. \quad (11)$$

И лишь оценка \hat{a}_n последнего параметра $a_n = a_{n-1} + b_{n-1}$ имеет особый вид:

$$a_n = \frac{1}{\lambda T_0} \sum_{i \in M_{r-1}} (6 \frac{t_i - (r-1)T_0}{T_0} - 2) x_i. \quad (12)$$

Достаточно разумным выбором для α в (11) является значение $\alpha = 0$. Тогда

$$\hat{a}_n = \frac{1}{\lambda T_0} \sum_{i \in M_r} (4 - 6 \frac{t_i - 2T_0}{T_0} - 2) x_i. \quad (13)$$

Таким образом, в работе предложена рекуррентная модель оценивания параметров тренда РЭС в условиях рандомизированной среды. Проведенное имитационное моделирование показало её работоспособность.

ЛИТЕРАТУРА

1. Идрисов Ф.Ф. Рандомизированные временные ряды. – Томск: Изд-во ТУСУРа, 2016. – 341 с.
2. Лившиц К.И. Сглаживание экспериментальных данных сплайнами. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 2004. – 180 с.
3. Корякин А.И. Об оценивании заданной в случайных узлах функции методом наименьших квадратов / А.И. Корякин, Н.Н. Ченцов // Теория вероятностей и её применение. – 1990. – Т. 35, № 4. – С. 771–774.

**РАЗРАБОТКА МАКЕТА
ДВУХПРОВОДНОГО МОДАЛЬНОГО ФИЛЬТРА
СО СТРУКТУРОЙ ПРОВОДНИКОВ В ВИДЕ МЕАНДРА**

М.С. Мурманский, студент каф. ТУ;

Е.С. Жечев, аспирант каф. ТУ, м.н.с. НИЛ «ФИЭМС»

г. Томск, ТУСУР, georath@mail.ru

*Проект ГПО ТУ-1903 «Проектирование и разработка фильтров
подавления электромагнитных помех»*

Представлены результаты трассировки двухпроводного модального фильтра. С помощью электродинамического моделирования (метод моментов) представлен характеристический импеданс разработанного макета.

Ключевые слова: модальная фильтрация, помехозащитные устройства, электродинамическое моделирование, характеристический импеданс, макет.

Эффективным методом борьбы со сверхширокополосными кондуктивными помехами является применение устройств, принцип работы которых основан на эффекте модальных искажений [1]. Так, наиболее простым устройством является двухпроводной модальный фильтр (МФ) [2]. За счет различных скоростей распространения сверхкоротких импульсов в линии передачи достигается его разложение на последовательность из двух импульсов меньшей амплитуды [3]. Цель данной работы – в рамках проекта ГПО ТУ-1903 разработать макет двухпроводного МФ для проведения экспериментальных исследований во временной и частотной областях.

Разрабатываемый макет представляет собой связанную двухпроводную микрополосковую линию передачи, поперечное сечение которой изображено на рис. 1.

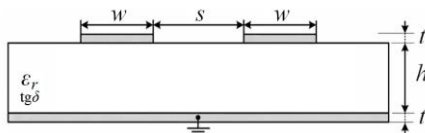


Рис. 1. Поперечное сечение двухпроводного МФ

По результатам предварительного моделирования МФ выявлены оптимальные геометрические параметры его поперечного сечения: ширина проводников $w = 400$ мкм, расстояние между проводниками $s = 200$ мкм, толщина проводников $t = 35$ мкм. Расстояние между соседними витками составило $4w$. В качестве диэлектрической подложки

ки выбрана керамика с относительной диэлектрической проницаемостью $\epsilon_r = 10,2$ и толщиной $h = 0,5$ мм.

На рис. 2 представлены слои разработанного макета двухпроводного МФ. Для уменьшения объема печатной платы вместо прямолинейной трассировки выбрана трассировка в виде меандра. При этом габариты печатной платы составили: ширина $a = 47$ мм, длина $b = 53$ мм. Макет печатной платы содержит три слоя: проводящий слой с 2 проводниками, проводящий слой со сплошным полигоном, графический слой с габаритами и местами сверловки. Печатную плату планируется поместить в алюминиевый корпус, в стенки которого устанавливаются два высокочастотных коаксиально-микрополосковых перехода ПКМ2-40. Непосредственное место соединения штыря перехода и микрополоска линии передачи будет спаиваться оловянно-свинцовым припоем.

Для оценки характеристического импеданса линии передачи разработанного макета выполнен электродинамический анализ с помощью метода моментов в ПО Advanced Design System (ADS 2020). В активный проводник двухпроводного МФ подавалось импульсное воздействие с временем нарастания 100 пс. Результаты рефлектометрии МФ во временной области представлены на рис. 3. Из графика видно, что наибольшее значение наблюдается на 2,71 нс и составляет 52,7 Ом, а минимальное – на 2 нс и составляет 49,18 Ом. Непостоянство кривой характеристического импеданса обусловлено нерегулярностью поперечного сечения макета двухпроводного МФ. Тем не менее абсолютное отклонение от расчетных 50 Ом не превышает 2,7 Ом.

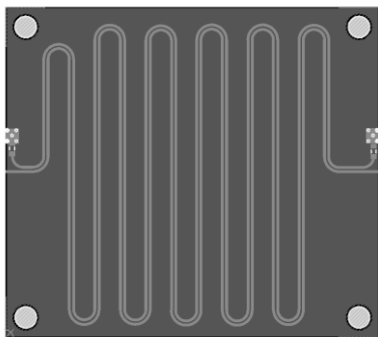


Рис. 2. Слой разработанного макета двухпроводного МФ

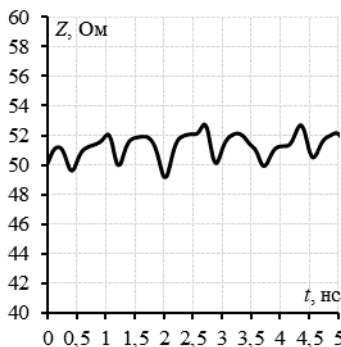


Рис. 3. Характеристический импеданс макета двухпроводного МФ

По результатам моделирования видно, что предлагаемая трассировка макета двухпроводного МФ обладает приемлемыми характери-

стиками. В дальнейшем планируется изготовить макет и провести экспериментальное исследование помехозащитных свойств во временной и частотной областях.

ЛИТЕРАТУРА

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

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

3. Khazhibekov R.R., Zabolotsky A.M., Zhechev Y.S., Kosteletskii V.P., Gazizov T.R. Development of modal filter prototype for spacecraft busbar protection against ultrashort pulses // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – IOP Publishing, 2019. – Vol. 560, № 1. – P. 012145.

УДК 621.391.31

ОЦЕНКА ПОГОННОЙ ЁМКОСТИ ЭКРАНИРОВАННЫХ N-ПРОВОДНЫХ ОТВОДОВ

И.И. Николаев, аспирант каф. ТУ

*Научный руководитель М.Е. Комнатнов, доцент каф. ТУ, к.т.н.
г. Томск, ТУСУР, nikolaev.727@yandex.ru*

Выполнено вычисление погонной ёмкости экранированных N -проводных отводов при помощи матрицы коэффициентов электростатической индукции. Полученные значения сравнены с измеренными.

Ключевые слова: погонная ёмкость, численное моделирование, проводные отводы.

Проводные отводы используются для электрического соединения различных узлов и блоков радиоэлектронной аппаратуры. Основная причина группировки проводов в жгуты состоит в том, чтобы провода были упорядочены. Однако при этом в высоковольтных и низковольтных проводных соединениях могут возникать проблемы, связанные с искажениями формы сигнала, кондуктивными помехами и электромагнитной совместимостью в целом. Вычисление погонных параметров проводных отводов является непростой задачей из-за возможных неоднородностей, вызванных диэлектрической изоляцией, эффектом близости и учётом влияния экрана отводов [1]. Известны способы для оценки погонных параметров отводов с малым числом проводов на основе аналитических выражений в замкнутом виде [2], метода конечных разностей [3] и метода конечных элементов [4], а также пере-счёта погонных параметров из измеренных характеристик отводов

при коротком замыкании и холостом ходе [5]. К недостаткам данных методов можно отнести их сложность применения при проектировании кабельных жгутов с большим числом проводов. Цель данной работы – оценить погонную ёмкость экранированных N -проводных отводов, с помощью вычисленных матриц коэффициентов электростатической индукции.

Для вычисления погонной ёмкости C экранированных N -проводных отводов необходимо изначально вычислить матрицу коэффициентов электростатической индукции, и затем из неё вычислить значение полной погонной C как

$$C = \sum_{i=1}^N C_{ii} + \sum_{i,j=1}^N C_{ij}, \quad i \neq j, \quad (1)$$

где C_{ii} и C_{ij} – собственные и взаимные коэффициенты электростатической индукции соответственно; N – число проводов в жгуте.

В системе TALGAT созданы модели поперечных сечений экранированных отводов из проводов марки «БС 35-1298», при $N = 1, 2, 3$ и 4 (рис. 1). Выполнено вычисление матриц коэффициентов электростатической индукции (табл. 1).

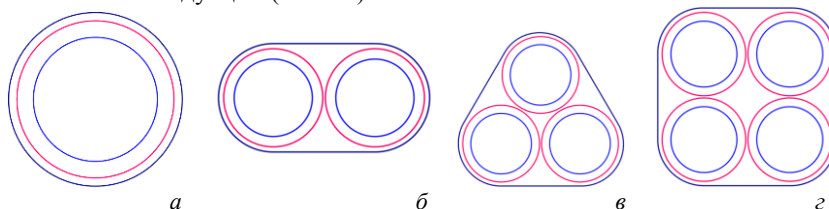


Рис. 1. Поперечные сечения экранированных N -проводных отводов марки «БС 35-1298» при $N = 1$ (а), 2 (б), 3 (в) и 4 (з)

Таблица 1

Матрицы коэффициентов электростатической индукции экранированных N -проводных отводов

N	1	2
C , пФ/м	268,2	$\begin{bmatrix} 222,6 & -32,1 \\ -32,1 & 222,6 \end{bmatrix}$
N	3	4
C , пФ/м	$\begin{bmatrix} 203 & -30,9 & -29,6 \\ -30,9 & 198,4 & -29,6 \\ -29,6 & -29,6 & 206,6 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 192,7 & -33,6 & -33,6 & -2,1 \\ -33,6 & 190,6 & -2,1 & -33,6 \\ -33,6 & -2,1 & 190,6 & -33,6 \\ -2,1 & -33,6 & -33,6 & 188,9 \end{bmatrix}$

Далее, используя данные из табл. 1 и выражение (1), выполнен расчёт полной погонной C экранированных N -проводных отводов (табл. 2). Для подтверждения корректности полученных результатов вычислений выполнено измерение (рис. 2, а) погонной C проводных отводов по схеме (рис. 2, б), используя LCR-измеритель R&S HM 8118. Результаты сведены в табл. 2.

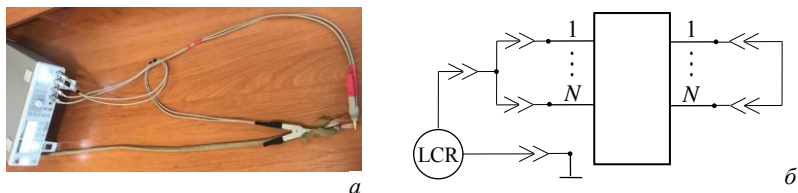


Рис. 2. Установка (а) и схема (б) для измерений погонной ёмкости экранированных N -проводных отводов

Из табл. 2 видно, что при увеличении N от 1 до 4 значение полной погонной C увеличилось с 268,2 до 485,6 пФ/м (~ 1,8 раза). При этом расхождение результатов вычислений и измерений составило не более 7%.

Таблица 2

Значения погонной C экранированных N -проводных отводов

N	$C_{\text{выч}}$, пФ/м	$C_{\text{изм}}$, пФ/м	ΔC , %
1	268,2	259	3,6
2	381	356	7
3	427,7	432,6	1,1
4	485,6	510	4,8

Таким образом, проведена оценка погонной ёмкости экранированных N -проводных отводов при помощи вычисленных матриц коэффициентов электростатической индукции. Вычисленные и измеренные значения отличаются не более чем на 7%.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, проект № 19-37-51017.

ЛИТЕРАТУРА

1. Cirino A. Cable parameter variation due to skin and proximity effects: determination by means of finite element analysis / A. Cirino, H. de Paula, C. Mesquita, E. Saraiva // 35th Annual Conference of IEEE Industrial electronics, Porto, Portugal. – 2009. – P. 4073–4079.

2. Калантаров П.Л. Расчёт индуктивностей: справочная книга / П.Л. Калантаров, Л.А. Цейтлин. – М.: Ленинград, 1986. – 488 с.

3. Sadiku M.N.O. Numerical Techniques in Electromagnetics. – CRC Press: Boca Raton, 2000. – 750 p.

4. Khan R.L. Finite element method applied to modeling crosstalk problems on printed circuit boards / R.L. Khan, G.I. Costache / Transactions on electromagnetic compatibility. – 1989. – Vol. 31, No. 1. – P. 5–15.

5. Zhen-jun W. Parameter measurement of UTPs and crosstalk analysis / W. Zhen-jun, W. Li-fang, L. Cheng-lin // IEEE Vehicle power and propulsion conference, Dearborn, MI, USA. – 2009. – P. 1831–1834.

УДК 621.391.825

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ N-НОРМ ДЛЯ АНАЛИЗА ДВУХПРОВОДНОГО МОДАЛЬНОГО ФИЛЬТРА СО СТРУКТУРОЙ ПРОВОДНИКОВ В ВИДЕ СПИРАЛИ

***С.В. Власов, Н.С. Павлов, студенты каф. ТУ;
Е.С. Жечев, аспирант каф. ТУ, м.н.с. НИЛ ФИЭМС
г. Томск, ТУСУР, geopath@mail.ru***

*Проект ГПО ТУ-1903. «Проектирование и разработка фильтров
подавления электромагнитных помех»*

Анализируются конструкции двухпроводного модального фильтра в исходном исполнении и закрученного в спираль. Для определения пяти N -норм сигнала активный проводник обеих исследуемых конфигураций разбивался на 20 сегментов, в каждом из которых вычислялась форма напряжения на заданное воздействие.

Ключевые слова: модальная фильтрация, помехозащитные устройства, квазистатическое моделирование, N -нормы.

Для защиты сигнальных линий и цепей электропитания радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) от кондуктивных помех, в частности от особо опасных сверхкоротких импульсов (СКИ), применяют различные устройства. Для защиты от СКИ предложена технология модальной фильтрации, основанная на явлении модального разложения СКИ на импульсы меньшей амплитуды из-за различия задержек мод [1]. Для улучшения помехозащитных устройств на основе модальной фильтрации применяются различные подходы [2]. В работе [3] анализируются конструкции однопроводной и двухпроводной микрополосковых линий передачи (МПЛ), закрученные в меандр и спираль. Выявлено, что конструкции в виде спирали позволяют улучшить характеристики МПЛ. Однако применение данного подхода к устройствам на основе модальной фильтрации не исследовалось. Цель данной работы провести такое исследование.

Исследуемое устройство представляет собой двухпроводной модальный фильтр (МФ), изображенный на рис. 1.

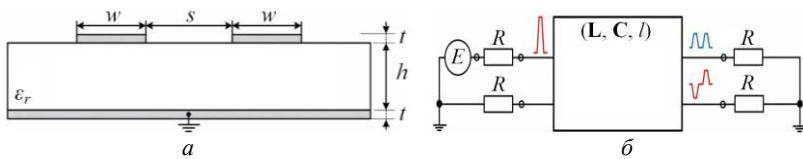


Рис. 1. Поперечное сечение (а) и эквивалентная схема включения (б) двухпроводного МФ

Для определения пяти N -норм [4, 5] сигнала активный проводник обеих исследуемых конфигураций разбивался на 20 сегментов, в каждом из которых вычислялась форма напряжения на заданное воздействие.

Для анализа способа трассировки МФ со структурой проводников в виде спирали выбрана двухпроводная конструкция связанной МПЛ со следующими параметрами: ширина проводников $w = 400$ мкм, расстояние между проводниками $s = 125$ мкм, толщина проводников $t = 100$ мкм. В качестве диэлектрической подложки выбрана керамика с относительной диэлектрической проницаемостью $\epsilon_r = 9,4$ и толщиной $h = 0,5$ мм. Моделирование исходного МФ и закрученного в спираль проводилось в ПО Advanced Design System 2020 (ADS). Эквивалентные схемы включения исходного двухпроводного МФ и фильтра, закрученного в спираль, в системе ADS представлены на рис. 2.

В активную линию исследуемых конфигураций подавался трапециевидный импульс со следующими параметрами: фронт, спад и плоская вершина по 100 пс, амплитуда 2 В, период 20 нс. Отклик на заданное воздействие анализировался на резисторе $R4$.

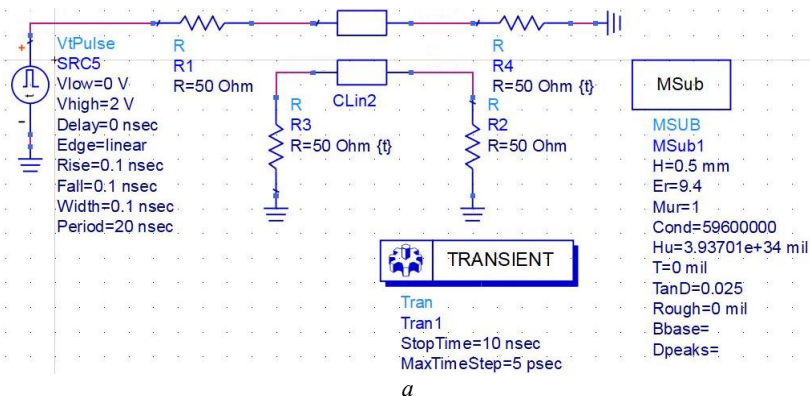
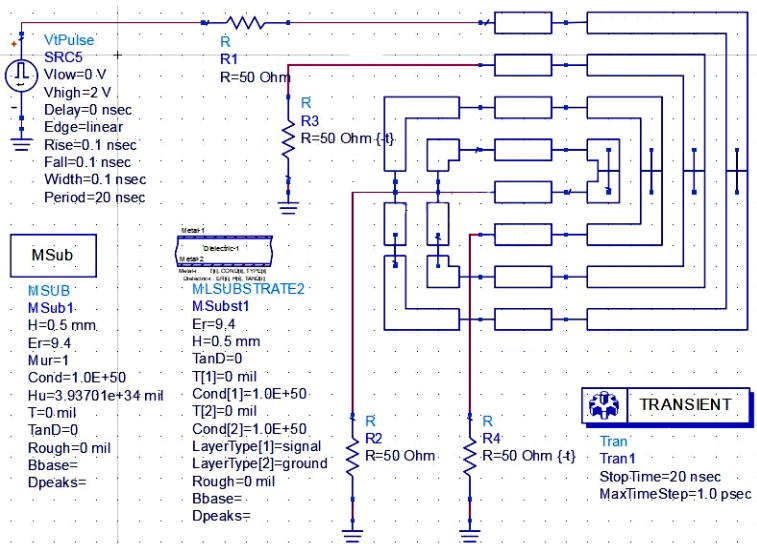


Рис. 2 (начало)



б

Рис. 2 (окончание). Эквивалентные схемы включения исходного двухпроводного МФ (а) и фильтра, закрученного в спираль (б), в системе ADS

Формы каждой нормы ($N1-N5$), вычисленные вдоль активного проводника двухпроводного МФ в исходном исполнении и закрученного в спираль, представлены на рис. 3. В таблицу сведены максимальные и минимальные значения норм $N1-N5$.

В случае двухпроводного МФ в исходном исполнении пиковое значение $N1$ наблюдается в самом начале активного проводника (поскольку он является узлом, куда подается входной сигнал). При дальнейшем распространении сигнала пиковое значение $N1$ наблюдается на 2-м сегменте. Пиковое значение $N2$ наблюдается на 1-м сегменте. Между тем нормы $N2-N5$ имеют малые пиковые значения, в связи с чем, вероятность соответствующих норм неисправностей минимальна. В случае двухпроводного МФ, закрученного в спираль, пиковое значение нормы $N1$ наблюдается на 1-м сегменте, а нормы $N2-N5$ — аналогично результатам вычисления для первого набора параметров на 1-м сегменте. Нормы $N2-N5$ также имеют малые пиковые значения. Таким образом, приведенный разброс параметров не оказывает значительного влияния на значения вычисленных норм.

По полученным результатам можно заключить, что предлагаемая конфигурация двухпроводного МФ в виде спирали позволяет улуч-

шить помехоподавляющие свойства. Целесообразно провести полномасштабное моделирование и экспериментальное исследование.

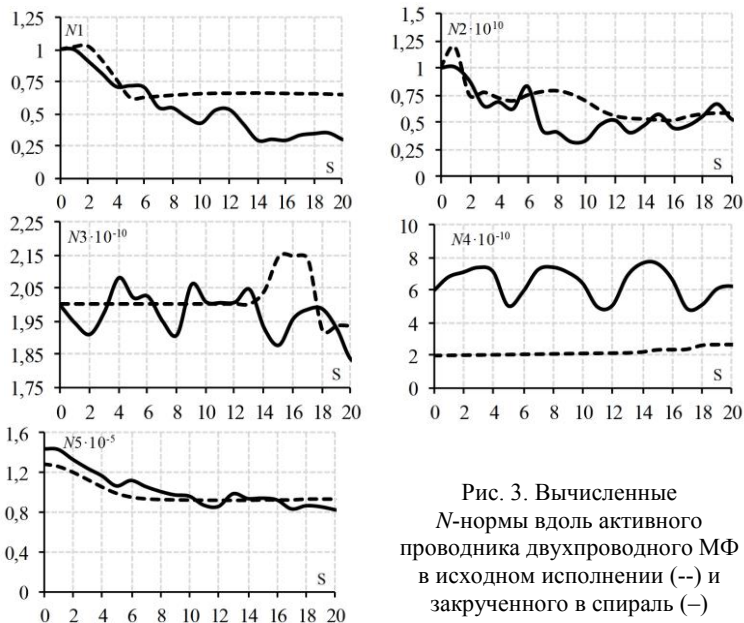


Рис. 3. Вычисленные N -нормы вдоль активного проводника двухпроводного МФ в исходном исполнении (---) и закрученного в спираль (—)

Максимальные и минимальные значения норм $N1-N5$

Значение	$N1$	$N2$	$N3$	$N4$	$N5$
Исходный (макс)	1,029	$1,2 \cdot 10^{10}$	$2,1 \cdot 10^{-10}$	$2,7 \cdot 10^{-10}$	$1,3 \cdot 10^{-5}$
Исходный (мин)	0,628	$5,2 \cdot 10^9$	$1,9 \cdot 10^{-10}$	$2,0 \cdot 10^{-10}$	$9,2 \cdot 10^{-6}$
Спираль (макс)	1,001	$1,0 \cdot 10^{10}$	$2,1 \cdot 10^{-10}$	$7,7 \cdot 10^{-10}$	$1,4 \cdot 10^{-5}$
Спираль (мин)	0,293	$3,2 \cdot 10^9$	$1,8 \cdot 10^{-10}$	$4,8 \cdot 10^{-10}$	$7,9 \cdot 10^{-6}$

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-37-70020.

ЛИТЕРАТУРА

- Gazizov A.T., Zabolotsky A.M., Gazizov T.R. UWB pulse decomposition in simple printed structures // IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility. – 2016. – Vol. 58, № 4. – P. 1136–1142.
- Заболоцкий А.М., Газизов Т.Р. Электромагнитная совместимость: модальные технологии. – 2018.
- Guo W.D., Shiue G.H., Lin C.M., Wu R.B. Comparisons between serpentine and flat spiral delay lines on transient reflection/transmission waveforms and

eye diagrams // IEEE transactions on microwave theory and techniques. – 2006. – Т. 54, № 4. – Р. 1379–1387.

4. Baum C. Norms and Eigenvector norms // Mathematics Notes. – 1979. – Vol. 63.

5. Жечева А.В., Жечев Е.С. Использование N -норм для анализа устройства с однократным модальным резервированием // Перспективы развития фундаментальных наук. – 2020. – С. 41–43.

УДК 621.372.8

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ПОРТОВ ВВОДА/ВЫВОДА МИКРОКОНТРОЛЛЕРА НА ЕГО ИЗЛУЧАЕМЫЕ ЭМИССИИ

***В.А. Семенюк, студент; А.В. Демаков, ассистент каф. ТУ, к.т.н.
г. Томск, ТУСУР, valera.semenyuk15@gmail.com***

Представлены результаты измерения излучаемой эмиссии микроконтроллера (МК) 1986BE91T на базе ядра ARM CortexM3 в TEM-камере при работе портов ввода/вывода. Выявлено, что увеличение частоты внутреннего тактового генератора исследуемого МК в диапазоне от 8 до 80 МГц приводит к возникновению пиков эмиссии на кратных гармониках от основной частоты тактирования МК и увеличению ее максимального значения на 19 дБ. Показано, что при использовании максимально быстрого режима порта ввода/вывода расширяется спектр излучаемых эмиссий в диапазоне частот до 32 МГц.

Ключевые слова: электромагнитная совместимость, интегральные схемы, излучаемые эмиссии, микроконтроллер.

Работа интегральных схем (ИС), применяемых в современных радиоэлектронных средствах (РЭС), сопровождается паразитным электромагнитным излучением, которое может оказывать воздействие на работу всего РЭС в целом. В связи с этим требуется проведение исследований ИС на соответствие нормам излучаемых эмиссий с помощью стандартизированных методик [1, 2]. Известно, что вклад в эмиссию от ИС вносит не только функционирование его блоков, но и токоведущие печатные проводники различных длин, а также различное периферийное оборудование, размещаемое на печатных платах (ПП) с микроконтроллером (МК) [3, 4]. Однако мало исследовано влияние режимов работы блоков ИС на излучаемые ими эмиссии, что необходимо для обеспечения требований электромагнитной совместимости РЭС. Цель работы состоит в том, чтобы исследовать излучаемые эмиссии МК 1986BE91T при различных режимах работы его портов ввода/вывода.

ТЕМ-камера представляет собой устройство на основе линии передачи, предназначенное для испытаний ИС на помехоустойчивость [1] и излучаемую эмиссию [2]. Конструкция камеры состоит из регулярной части волновода с расположенным внутри центральным проводником, которая соединяется с СВЧ-соединителями с помощью согласующих переходов. Общий вид ТЕМ-камеры и стенд для измерений представлены на рис. 1.

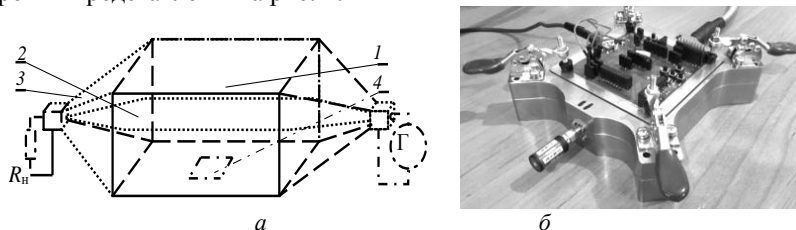


Рис. 1. Общий вид ТЕМ-камеры – *a*: 1 – экранированный корпус, 2 – центральный проводник, 3 – пирамидальные переходы, 4 – место под испытуемый объект и стенд для испытания ИС на излучаемые эмиссии – *б*

Для оценки излучаемой эмиссии испытуемый объект (ИО) помещают во внутренний объем регулярной части камеры, где поле однородно, и оценивают помехоэмиссию путем измерения наведенных на центральный проводник камеры токов от ИО. Для измерений согласно стандартам [1, 2] испытуемая ИС устанавливается на четырехслойной ПП размерами $100 \times 100 \text{ мм}^2$ со сплошными полигонами земли (металлизацией) на краях платы для обеспечения электрического контакта с корпусом ТЕМ-камеры 0, 0. На обратной стороне измерительной платы располагается периферийное оборудование для обеспечения работы испытуемой ИС.

Исследуемый в работе МК имеет 6 портов, представляющих собой цифровые линии ввода/вывода для его сопряжения с внешними схемами по различным интерфейсам передачи данных. Также имеется возможность настройки скорости их работы, что определяется режимом времени нарастания сигнала: медленный (Slow) – 100 нс, быстрый (Fast) – 20 нс и максимально быстрый (Max) – 10 нс.

Для проведения измерений разработаны 3 тестовые задачи, которые разрешают тактирование порта от внутреннего тактового генератора и конфигурируют порты ввода/вывода на выход в цифровом режиме с различной скоростью работы для каждой программы. Так, измерены излучаемые эмиссии при работе порта ввода/вывода при частоте тактирования $f = 8 \text{ МГц}$ и для $f = 80 \text{ МГц}$ (рис. 2). Из рис. 2, *a*, видно, что присутствуют эмиссии на частотах, кратных частоте так-

тирования МК в диапазоне частот до 32 МГц с амплитудами 12 дБ. При различном времени нарастания сигнала наблюдаются излучаемые эмиссии в диапазоне частот 0,5–6 МГц с максимальным уровнем для медленного режима 17 дБ, а для быстрых режимов 18 дБ. При этом отклонение эмиссий на частотах высших гармоник от f в пределах 3 дБ относительно уровня медленного режима работы (см. рис. 2, *а*). При увеличении f МК до 80 МГц (см. рис. 2, *б*) наблюдается расширение спектра эмиссий до 20 МГц, вызванное функционированием порта. Увеличение максимального уровня достигает 30 дБ. Кроме того, наблюдается рост амплитуды эмиссии на 1–2 дБ на частотах основной и высших гармоник по сравнению с уровнями, измеренными при медленном режиме работы. Данный рост обусловлен наложением эмиссий из-за работы порта и тактирующего генератора.

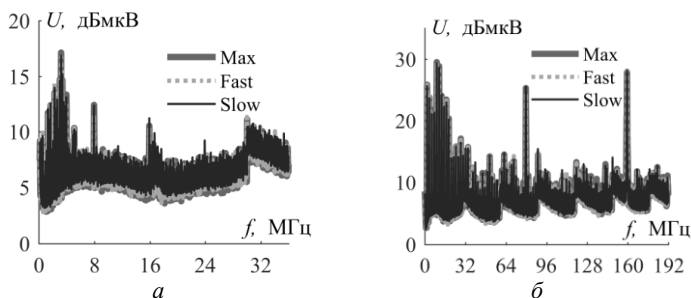


Рис. 2. Частотные зависимости напряжений, измеренные при работе портов ввода/вывода в трех режимах работы при $f = 8$ МГц – *а* и 80 МГц – *б*

Таким образом, выполнено измерение излучаемых электромагнитных эмиссий от МК 1986VE91T при работе его портов ввода / вывода в трех режимах работы. Показано, что увеличение частоты тактового генератора от 8 до 80 МГц приводит к расширению верхней частоты спектра эмиссий в диапазоне частот 150 кГц – 32 МГц. Также наблюдаются пики эмиссий на частотах, кратных частоте тактирования, т.е. 16–24 и 160 МГц. При медленной скорости работы одного порта уровни эмиссий меньше на 2–3 дБ относительно амплитуд эмиссий при работе быстрого и максимально быстрого режимов работы.

ЛИТЕРАТУРА

1. IEC 61967–2005. Integrated circuits. Measurement of electromagnetic emissions. – Part 2: Measurement of radiated emissions, TEM cell and wideband TEM cell method [Электронный ресурс]. – URL: <https://webstore.iec.ch/publication/6185> (дата обращения: 22.02.2021).
2. IEC 61000-2011. Electromagnetic compatibility (EMC). – Part 4-21: Testing and measurement techniques – Reverberation chamber test methods.

[Электронный ресурс] – URL: <https://webstore.iec.ch/publication/4191> (дата обращения: 21.02.2021).

3. Slattery K.P. Measuring the radiated emissions from a family of microprocessors using a 1-GHz TEM cell / K.P. Slattery, J.P. Muccioli // IEEE transactions on electromagnetic compatibility. – 1999. – Vol. 41, No. 2. – P. 146–152.

4. Leca J.P. EMI measurements, modeling, and reduction of 32-Bit high-performance microcontrollers / J.P. Leca, N. Froidevaux, P. Dupré // IEEE transactions on electromagnetic compatibility. – 2014. – Vol. 56, No. 5. – P. 1035–1044.

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.

6. Demakov A.V. TEM cell for Testing Low-profile Integrated Circuits for EMC / A.V. Demakov, M.E. Komnatnov // 2020 21st International conference of young specialists on micro/nanotechnologies and electron devices (EDM). – 2020. – P. 154–158.

УДК 621.372.211

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ СПОСОБОВ ЗАЗЕМЛЕНИЯ ЗАЩИТНОЙ ТРАССЫ СВЯЗАННОЙ ДВУХПРОВОДНОЙ ЛИНИИ НА ПЕРЕКРЕСТНЫЕ НАВОДКИ

И.А. Скорняков, магистрант

Научный руководитель Р.С. Суворцев, к.т.н.

г. Томск, ТУСУР, ivan_sk94@mail.ru

Выполнена сравнительная оценка влияния двух вариантов заземления защитной трассы (по всей длине трассы и только на ее концах) на перекрестные наводки в двухпроводной связанной линии.

Ключевые слова: электромагнитная совместимость, развязывающая трасса, перекрестная наводка.

На сегодняшний день при проектировании радиоэлектронных средств (РЭС) большое внимание уделяется обеспечению требований электромагнитной совместимости (ЭМС). Одной из задач ЭМС является обеспечение целостности сигналов печатных плат РЭС, которая нарушается из-за перекрестных наводок между печатными проводниками, что может привести к ложным срабатываниям логических элементов интегральных микросхем. Не допустить этого позволяет простое уменьшение связи между проводниками. Один из способов уменьшения уровня перекрестных наводок – уменьшение расстояния между сигнальными проводниками, однако это не гарантирует необходимую компенсацию наведенных сигналов и ведет к увеличению габаритов устройства. Другим способом является добавление защит-

ных трасс между сигнальными проводниками, закороченными на опорный проводник, в наиболее чувствительные участки [1]. Таким образом, защитная трасса создает дополнительный путь стекания сигнальных токов, а амплитуды наведенных на пассивный проводник сигналов уменьшаются. Наиболее предпочтителен случай, когда трасса вдоль всей длины соединена с опорным проводником, но на практике такая реализация невозможна. Поэтому применяется соединение трассы через переходные отверстия в двух и более точках вдоль ее длины, например, только на концах трассы [2, 3]. Между тем автору работы неизвестны результаты сравнения ослаблений амплитуды наведенных сигналов при соединении защитной трассы с опорным проводником по всей длине и только на ее концах. Поэтому цель работы – выполнить такое сравнение. Подходящим для этого видится квазистатистический подход, реализованный в системе TALGAT [4].

Для сравнения указанных вариантов соединения защитной трассы с опорным проводником выполнено моделирование формы сигналов на пассивном проводнике связанной линии передачи с защитной трассой (рис. 1, где «А» и «П» означают активный и пассивный проводник). Далее для простоты случаи, когда трасса соединена с опорным проводником вдоль всей длины, будет называться вариант 1, а когда только на концах – вариант 2. Параметры поперечного сечения выбраны следующими: ширина и толщина сигнальных проводников $w_1=w_2=w_3=300$ мкм и $t=35$ мкм соответственно; расстояние между ними $s=400$ мкм; относительная диэлектрическая проницаемость основы $\epsilon_r=4,5$; толщина основы платы $h=500$ мкм; расстояние от края структуры до проводника $d=3w_1$. Длина линии составила 200 мм.

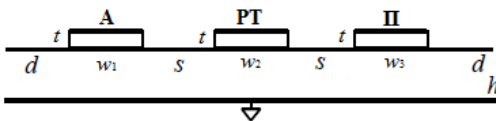


Рис. 1. Поперечное сечение связанной двухпроводной линии с защитной трассой

Для моделирования варианта 1 строится схема двухпроводной линии с дополнительным опорным проводником между сигнальными проводниками (защитная трасса при вычислении матриц параметров и отклика не учитывается). Для моделирования варианта 2 строится схема трехпроводной линии, а центральный проводник (защитная трасса) на концах через низкоомные резисторы ($R=1$ мОм) соединен с опорным проводником, что эквивалентно КЗ на землю. Параметры сопротивлений генератора и нагрузки активного и пассивного про-

водников для каждого из вариантов выбраны из условия псевдосогласования линии с трактом. В качестве воздействия выбран импульс в виде трапеции с ЭДС 1 В длительностью плоской вершины 10 нс и длительностями фронта и спада по 1 нс. Полученные формы сигнала в начале и конце пассивного проводника показаны на рис. 2, 3.

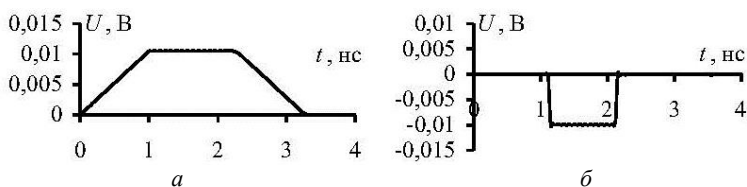


Рис. 2. Форма наводки в узлах V4 (а) и V5 (б) при варианте 1

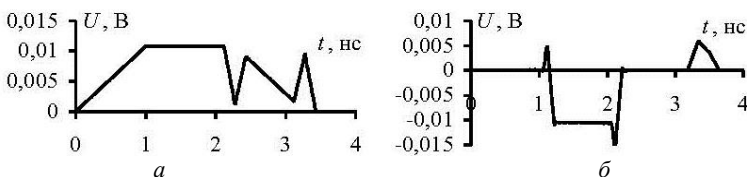


Рис. 3. Форма наводки в узлах V4 (а) и V5 (б) при варианте 2

Из рис. 2 и 3 видно, что формы наводки на концах пассивного проводника отличаются: на форму импульсов наводок на ближнем и дальнем концах накладываются импульсы разной полярности для варианта 2. Максимальные амплитуды наводки на ближнем конце при варианте 1 и 2 составили 10,5 и 10,8 мВ соответственно, а на дальнем – 10,3 и 15,3 мВ. Таким образом, различие амплитуд наводок составило 0,3 мВ для ближнего и 5 мВ для дальнего концов линии. Вероятной причиной наложения импульсов разной полярности является то, что при моделировании квазистатическим подходом схемы варианта 1 в линии распространяются только 2 моды (по количеству проводников, не считая опорных), а при моделировании схемы варианта 2 – уже 3 моды. Для наглядности на рис. 4 показаны формы разности сигналов вариантов 1 и 2 на концах линии.

Как видно из рис. 4, амплитуда сигнала не превышает 10 мВ. Между тем она может оказаться существенной при наложении на амплитуду наводки той же полярности. Например, выявленное увеличение амплитуды до 15,3 мВ для варианта 2 на дальнем конце связано именно с таким наложением. Для проверки сделанного предположения о возможных причинах искажений импульсов при варианте 2 вычислены задержки каждой моды (погонные задержки составили $\tau_1=5,38$ нс/м, $\tau_2=5,59$ нс/м и $\tau_3=6,15$ нс/м).

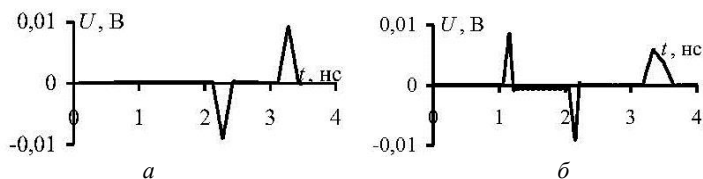


Рис. 4. Форма разности сигналов при варианте 1 и 2 в узлах V4 (а) и V5 (б)

В результате сравнения задержек, полученных аналитически и графически (рис. 4), а также с учетом одинарного и двойного прохода мод для конца и начала линии выявлено полное совпадение задержек. Таким образом, сделанное предположение верно. В качестве дальнейшего направления исследований видится более детальный анализ причин возникновения искажений и их максимальной амплитуды.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований проект № 19-37-51017.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кечиев Л.Н. Проектирование печатных плат для цифровой быстродействующей аппаратуры. – М.: ООО «Группа ИДТ», 2007. – 616 с.
2. Johnson H., Graham M. High-Speed Digital Design, A Handbook of Black Magic. Upper Saddle River. – N.J.: Prentice-Hall, 1993. – P. 201–204.
3. Britt D.S., Hockansson D.M., Sha F., Drewniak J.L., Hubing T.H., Van Doren T.P. // Effects of gapped ground planes and guard traces on radiated EMI // IEEE Trans. Electromagn. Compat. – Aug. 1997. – Vol. 39, No. 3. – P. 159–164.
4. Куксенко С.П. Новые возможности системы моделирования электромагнитной совместимости TALGAT / С.П. Куксенко и др. // Доклады ТУСУР. – 2015. – № 2(36). – С. 45–50.

УДК 621.372.211

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ШИРИНЫ РАЗВЯЗЫВАЮЩЕЙ ТРАССЫ НА АМПЛИТУДУ ПЕРЕКРЕСТНЫХ НАВОДОК В СВЯЗАННОЙ ДВУХПРОВОДНОЙ ЛИНИИ

*И.А. Скорняков, магистрант; Р.С. Суворцев, доцент, к.т.н.
г. Томск, ТУСУР, ivan каф. ТУ, _sk94@mail.ru*

Выполнен анализ влияния ширины защитной трассы на амплитуду перекрестных наводок в связанной двухпроводной линии. Выявлено, что увеличение ширины защитной трассы в 2 и 3 раза может приводить к уменьшению амплитуды наводки в 1,2 и 1,5 раза.

Ключевые слова: связанная двухпроводная линия, развязывающая трасса, перекрестная наводка.

В настоящее время радиоэлектронные средства (РЭС) применяются практически во всех сферах деятельности человека. Нестабильность функционирования РЭС совершенно неприемлема для критических систем связи, навигации и безопасности, поскольку может привести к финансовым потерям, человеческим жертвам и даже катастрофам мирового масштаба. Поэтому важным этапом при проектировании РЭС таких систем является обеспечение требований электромагнитной совместимости (ЭМС) [1].

Одной из задач ЭМС является обеспечение целостности сигналов, в рамках которой выполняется анализ, и уменьшение уровней электромагнитных связей в многопроводных межсоединениях печатных плат, которые могут привести к появлению перекрестных наводок, а вследствие их влияния – к ложному срабатыванию логических элементов микросхем. Поэтому исследование методов компенсации перекрестных наводок актуально. Например, одним из предложенных подходов для уменьшения связи между сигнальными проводниками является нанесение диэлектрического слоя оптимальной толщины на поверхность платы [1]. Другим подходом является проектирование защитных трасс между сигнальными проводниками для их развязки и компенсации наведенных сигналов [2].

Эффективность подхода с точки зрения затрат на проектирование и ослабления наводки зависит от выбора оптимальной геометрии защитной трассы и ее соединения с опорным проводником для развязки, поскольку применение чрезмерно широких трасс хоть и позволит получить большее ослабление наводки, но также приведет к увеличению габаритов и удорожанию конечного устройства. Поэтому целесообразно оценить эффективность защитных трасс разной ширины для ослабления наводок в двухпроводной линии передачи. Цель данной работы – выполнить такую оценку.

Для исследований выбрана связанная линия без защитной трассы и с ней (рис. 1). В качестве защитной трассы рассмотрен идеализированный случай, когда трасса разной ширины (w_2) соединена с опорным проводником по всей ее длине.

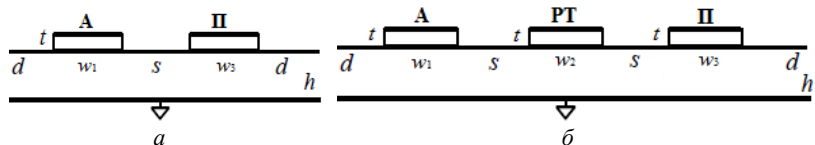


Рис. 1. Поперечное сечение исследуемой линии без защитной трассы (а) и с ней (б)

Параметры поперечного сечения выбраны следующими: ширина и толщина сигнальных проводников $w_1 = w_3 = 300$ мкм и $t = 35$ мкм соответственно; расстояние между ними $s = 400$ мкм; $w_2 = 100, 200$ и 300 мкм, относительная диэлектрическая проницаемость основы $\epsilon_r = 4,5$, толщина основы платы $h = 500$ мкм, расстояние от края структуры до проводника $d = 3w_1$.

Сначала оценены коэффициенты емкостной (K_C) и индуктивной (K_L) связей между активным и пассивным проводниками исследуемой линии. Для этого вычислены матрицы погонных коэффициентов электростатической (**C**) и электромагнитной индукции (**L**). Поскольку линия симметричная, то в табл. 1 сведены только коэффициенты C_{11} и C_{12} , а также L_{11} и L_{12} для структур рис. 1 при $w_2=100, 200$ и 300 мкм. Видно, что у линии с защитной трассой взаимные коэффициенты меньше в 4,5–6,6 раза для L_{12} и в 6,5–9,5 раза для C_{12} .

Таблица 1

Коэффициенты матриц C и L линии для структур рис. 1

	Без защ. трассы		$w_2=100$ мкм		$w_2=200$ мкм		$w_2=300$ мкм	
$L, \text{нГн/м}$	L_{11}	L_{12}	L_{11}	L_{12}	L_{11}	L_{12}	L_{11}	L_{12}
	484,13	121,57	455,72	27,07	447,22	22,24	437,42	18,49
$C, \text{пФ/м}$	C_{11}	C_{12}	C_{11}	C_{12}	C_{11}	C_{12}	C_{11}	C_{12}
	70,72	-11,23	70,66	-1,74	71,39	-1,41	72,3	-1,18

На основе данных из табл. 1 по выражениям (1) для случая, когда нет защитной трассы, и по выражениям (2), когда она есть, вычислены коэффициенты K_C и K_L и сведены в табл. 2. Из нее видно, что добавление защитной трассы приводит к уменьшению в 6,5–9,7 раза для K_C и в 4,2–5,9 раза для K_L .

$$K_C = -\frac{C_{12}}{C_{11}}, K_L = \frac{L_{12}}{L_{11}}, \quad (1)$$

$$K_C = -\frac{C_{13}}{\sqrt{C_{11} \cdot C_{33}}}, K_L = \frac{L_{13}}{\sqrt{L_{11} \cdot L_{33}}}. \quad (2)$$

Таблица 2

Коэффициенты K_C и K_L линии без защитной трассы и с ней

	Без защ. трассы	$w_2=100$ мкм	$w_2=200$ мкм	$w_2=300$ мкм
K_C	0,15882	0,02460	0,01979	0,01633
K_L	0,25112	0,05941	0,04972	0,04227

Схемы соединений для линий из рис. 1 показаны на рис. 2. При вычислении отклика принят случай псевдосогласования: резисторы $R1-R4$ приняты по 80 Ом. В качестве воздействия принят импульс в

форме трапеции с ЭДС $E=1$ В, длительностью плоской вершины (t_d) 100 нс и длительностями фронта (t_r) и спада (t_f) по 1 нс.

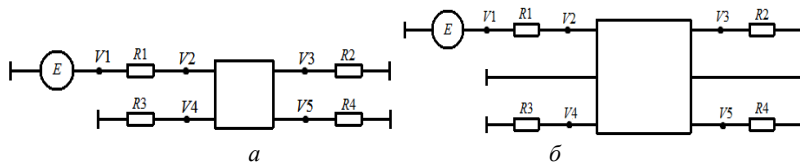


Рис. 2. Схема соединения линии без защитной трассы (а) и с ней (б)

Выполнена оценка формы и амплитуды наводок на пассивном проводнике при изменении длины линии $l = 5, 10, \dots, 50, 100, \dots, 200$ мм. Далее показаны формы сигнала только для минимальной и максимальной l , а изменения амплитуды наводок для всех l сведены в табл. 3 и 4. На рис. 3 показаны формы наводки на ближнем и дальнем конце при $w_2=100, 200$ и 300 мкм для $l=5$ мм, а на рис. 4 для $l=200$ мм.

Таблица 3

Максимальная амплитуда наводки в узле V4, мВ

$l, \text{ мм}$ $w_2, \text{ мкм}$	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	100	150	200
Без РТ	3,7	7,5	11,3	14,9	18,7	22,3	25,9	29,4	32,3	34,9	52,7	54,7	56,6
100	0,8	1,6	2,4	3,2	3,9	4,7	5,5	6,2	6,8	7,4	11,9	12,9	13,9
200	0,6	1,2	1,8	2,4	3	3,6	4,2	4,8	5,3	5,7	9,3	10,1	11
300	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,4	3,9	4,3	4,6	7,6	8,3	9

Таблица 4

Максимальная амплитуда наводки в узле V5, мВ

$l, \text{ мм}$ $w_2, \text{ мкм}$	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	100	150	200
Без РТ	2,5	4,8	7,2	9,5	11,8	14	16,4	18,6	20,7	22,5	35,9	41,8	47,9
100	0,6	1,2	1,8	2,3	2,9	3,5	4	4,6	5,1	5,6	9,3	11,6	13,9
200	0,5	1	1,4	1,9	2,3	2,7	3,2	3,6	4	4,4	7,4	9,4	11,3
300	0,4	0,8	1,2	1,6	1,9	2,3	2,6	3	3,3	3,7	6,2	7,9	9,5

Из полученных результатов видно, что при добавлении защитной трассы форма перекрестных наводок на обоих концах не изменяется, а происходит уменьшение их амплитуд. Максимальное уменьшение амплитуды наводок наблюдается при $w_2=300$ мкм и на ближнем конце составило 7,4 раза, а на дальнем конце – 6,25 раза. Необходимо отметить, что при увеличении l до 200 мм наблюдается аналогичный характер: форма наводок не изменяется, а амплитуда уменьшается при $w_2=300$ мкм в 6,29 на ближнем и в 5 раз на дальнем конце. Как уже было отмечено, в табл. 3 и 4 сведены максимальные амплитуды

наводки в начале и конце пассивного проводника при изменении l и w_2 соответственно.

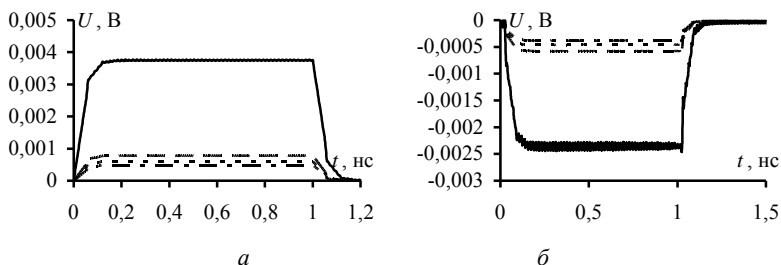


Рис. 3. Формы наводки в узлах V4 (а) и V5 (б) без защитной трассы (—) и с ней при $w_2=100$ (---), 200 (---) и 300 (— · —) для $l=5$ мм

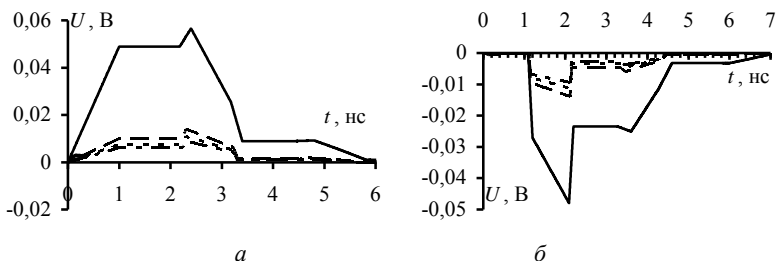


Рис. 4. Формы наводки в узлах V4 (а) и V5 (б) без защитной трассы (—) и с ней при $w_2=100$ (---), 200 (---) и 300 (— · —) для $l=200$ мм

Из табл. 3 видно, что уменьшение амплитуды наводки на ближнем конце наблюдается уже при $w_2=100$ мкм, при этом уменьшение амплитуды наводок составило 4,6 раза при $l=5$ мм и 4,1 раза при $l=200$ мм. Аналогичный характер наблюдается на дальнем конце: при $w_2=100$ мкм уменьшение амплитуды составило 4,2 раза при $l=5$ мм и 3,45 раза при $l=200$ мм. Наконец, отметим, что увеличение w_2 от 100 до 200 мкм приводит к уменьшению амплитуды наводки в среднем в 1,2 раза, а увеличение w_2 от 100 до 300 мкм – к уменьшению амплитуды наводки в среднем в 1,5 раза.

Таким образом, в результате проделанной работы выявлено, что при добавлении защитной трассы форма перекрестной наводки не изменяется, но происходит существенное уменьшение ее амплитуды на обоих концах пассивного проводника. Максимальное уменьшение амплитуды наводки получено на ближнем конце и составило 7,4 раза, а на дальнем конце – 6,29 раза. Наконец, показано, что увеличение ширины защитной трассы в 2 и 3 раза может приводить к уменьшению амплитуды наводки в 1,2 и 1,5 раза.

Исследование поддержано Министерством науки и высшего образования (проект FEWM-2020-0041).

ЛИТЕРАТУРА

1. Суровцев Р.С. Вычислительные алгоритмы, методики и рекомендации для проектирования бортовой радиоэлектронной аппаратуры космического аппарата с учетом электромагнитной совместимости: дис. ... канд. техн. наук: 05.12.04. – Томск: ТУСУР, 2016. – 248 с.
2. Кечиев Л.Н. Проектирование печатных плат для цифровой быстродействующей аппаратуры. – М.: ООО «Группа ИДТ», 2007. – 616 с
3. Kuksenko S.P. Preliminary results of TUSUR University project for design of spacecraft power distribution network: EMC simulation // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. – 2019. – Vol. 560, No. 012110. – P. 1–7.
4. Газизов Т.Р. Уменьшение искажений электрических сигналов в межсоединениях / под ред. Н.Д. Малютина. – Томск: Изд-во НТЛ, 2003. – 212 с.

УДК 621.391.825

АНАЛИЗ ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ДВУХПРОВОДНОГО МОДАЛЬНОГО ФИЛЬТРА СО СТРУКТУРОЙ ПРОВОДНИКОВ В ВИДЕ СПИРАЛИ

*Н.С. Павлов, С.В. Власов, студенты каф. ТУ;
Е.С. Жечев, аспирант каф. ТУ, м.н.с. НИЛ «ФИЭМС»
г. Томск, ТУСУР, geopath@mail.ru*

*Проект ГПО ТУ-1903 «Проектирование и разработка фильтров
подавления электромагнитных помех»*

Анализируются конструкции двухпроводного модального фильтра в исходном исполнении и закрученного в спираль. С помощью квазистатического подхода в ПО ADS получены частотные зависимости $|S_{21}|$ с учетом и без учета потерь.

Ключевые слова: модальная фильтрация, помехозащитные устройства, квазистатическое моделирование, коэффициент передачи.

Современная радиоэлектронная аппаратура (РЭА) становится более восприимчивой к электромагнитным помехам [1]. Особую опасность представляют сверхширокополосные импульсные воздействия, способные повреждать РЭА, обходя традиционные системы защиты. Для защиты от сверхкоротких импульсов (СКИ) применяются устройства на основе технологии модальной фильтрации, в частности модальные фильтры (МФ) [2, 3]. Существует ряд подходов и методов, используемых для улучшения параметров МФ [4], однако они обладают рядом недостатков, ограничивающих область применения. Ранее в [5] анализировались конструкции двухпроводной связанной микро-

полосковой линии (МПЛ), закрученные в спираль и меандр. Показано, что трассировка в виде спирали позволяет улучшить параметры МПЛ. Однако ранее не анализировались частотные характеристики двухпроводного МФ, закрученного в спираль. Цель данной работы восполнить этот пробел.

На рис. 1 представлены поперечное сечение и эквивалентная схема включения анализируемого двухпроводного МФ.

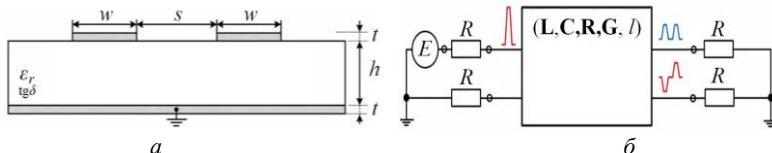


Рис. 1. Поперечное сечение (а) и эквивалентная схема включения (б) исходного двухпроводного МФ

В качестве среды моделирования использовалась система программного обеспечения Advanced Design System (ADS 2020). Эквивалентные схемы включения исходного двухпроводного МФ и фильтра, закрученного в спираль (б), в системе ADS показаны на рис. 2.

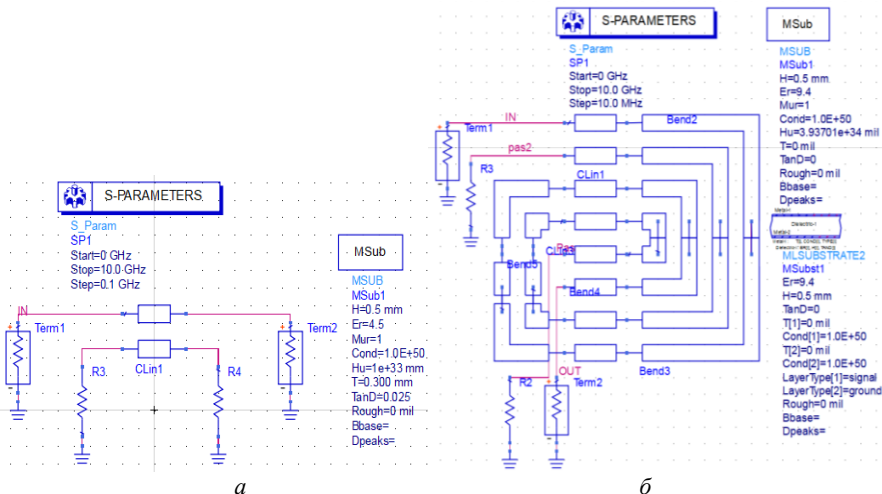


Рис. 2. Эквивалентные схемы включения исходного двухпроводного МФ (а) и фильтра, закрученного в спираль (б), в системе ADS

В работе использована МПЛ со следующими параметрами: ширина проводников $w = 400$ мкм, расстояние между проводниками $s = 125$ мкм, толщина проводников $t = 100$ мкм. Длина МФ составила 1000 мм. В качестве диэлектрической подложки выбрана керамика с

относительной диэлектрической проницаемостью $\epsilon_r = 9,4$ и толщиной $h = 0,5$ мм. На рис. 3 представлены частотные зависимости коэффициента передачи $|S_{21}|$ двухпроводного МФ в исходном исполнении и закрученного в спираль без учета потерь, а на рис. 4 – с учетом потерь.

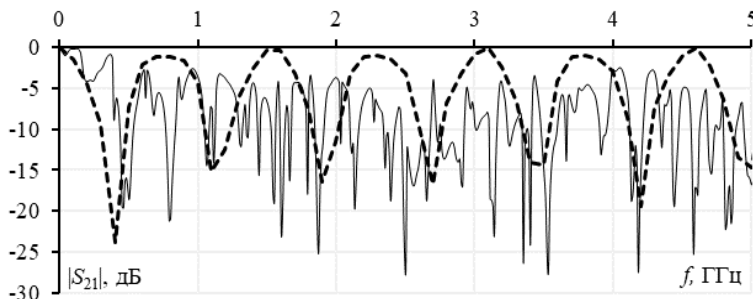


Рис. 3. Частотные зависимости $|S_{21}|$ двухпроводного МФ в исходном исполнении и закрученного в спираль без учета потерь

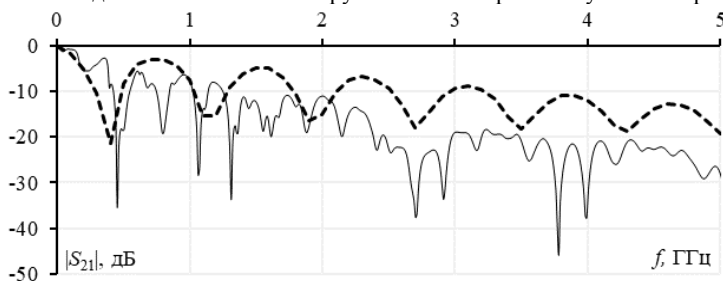


Рис. 4. Частотные зависимости $|S_{21}|$ двухпроводного МФ в исходном исполнении и закрученного в спираль с учетом потерь

Частота среза в исходном и закрученном исполнении двухпроводного МФ без учета потерь составляет 0,23 и 0,24 ГГц соответственно. В исследуемом частотном диапазоне величина $|S_{21}|$ не убывает, а колеблется на одном уровне. При этом максимальное ослабление в случае исходного МФ наблюдается на частоте 0,4 ГГц и составляет -24 дБ, а в случае с закрученным МФ на частоте 0,56 ГГц и составляет -36 дБ. Частота среза в исходном и закрученном исполнении двухпроводного МФ с учетом потерь составляет 0,21 и 0,22 ГГц соответственно. При учете потерь величина $|S_{21}|$ монотонно убывает практически во всем частотном диапазоне. При этом максимальное ослабление МФ в исходном исполнении с учетом потерь наблюдается на частоте 9,7 ГГц и составляет -27 дБ, а в закрученном исполнении равна 9,35 ГГц и составляет -58 дБ.

По результатам моделирования видно, что предлагаемая конфигурация двухпроводного МФ в виде спирали обладает большим ослаблением в исследуемом частотном диапазоне. Следует отметить, что анализ целостности полезного сигнала в полосе пропускания не проводился, что является целью дальнейших исследований. Целесообразно проведение натурального эксперимента.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-37-70020.

ЛИТЕРАТУРА

1. Mora N., Vega F., Lugin G., Rachidi F., Rubinstein M. Study and classification of potential IEMI sources // System Design and Assessment Notes. – 2014. – Vol. 41.

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

3. Синельников А.А., Чуб А.В., Жечев Е.С. Квазистатическое моделирование четырехслойного зеркально-симметричного модального фильтра при изменении граничных условий на концах пассивных проводников // Сб. избр. статей научной сессии ТУСУР. – 2020. – № 1-1. – С. 266–269.

4. Zhechev Y.S., Kosteletskii V.P. A modal filter with a parallel oscillatory circuit in a passive conductor // Сб. Избр. статей научной сессии ТУСУР. – 2020. – № 1-2. – С. 323–326.

5. Guo W.D., Shiue G.H., Lin C.M., Wu R.B. Comparisons between serpentine and flat spiral delay lines on transient reflection/transmission waveforms and eye diagrams // IEEE transactions on microwave theory and techniques. – 2006. – Vol. 54, № 4. – С. 1379–1387.

ПОДСЕКЦИЯ 2.7

СВЕТОДИОДЫ И СВЕТОТЕХНИЧЕСКИЕ УСТРОЙСТВА

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

УДК 53.072.8

ПРИМЕНЕНИЕ ПОЛИМЕРНОГО СОСТАВА НА ОСНОВЕ ПВХ ДЛЯ ПРОТОТИПИРОВАНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Т.В. Глухова, студентка каф. РЭТЭМ

*Научный руководитель В.И. Туев, зав. каф. РЭТЭМ, д.т.н., доцент
г. Томск, ТУСУР, gltv.02.19@gmail.com*

*Проект ГПО РЭТЭМ-1810 «Разработка системы автономного
наружного освещения»*

Полимерный состав на основе поливинилхлорида (полимерная глина) представляет собой смесь ПВХ гранул и жидкого пластификатора. В исходном состоянии смесь напоминает пластилин. Изготовленные элементы затвердевают путем полимеризации нагреванием до 100–130°. Традиционные области применения полимерной глины – ручная лепка, изготовление детских игрушек.

Ключевые слова: микроплоттер, полимерная глина, корпус крышки.

В настоящей работе поставлена задача применения состава на основе поливинилхлорида для изготовления прототипа держателя стеклянного капилляра для микроплоттера.

Система микроплоттера – это инструмент для изготовления биологических микрочипов, полимерной электроники или любого другого применения, которое требует точного дозирования чрезвычайно малых объёмов жидкости.

Дозатор в центре микроплоттерной системы состоит из полый конической стеклянной иглы, прикрепленной к пьезоэлектрическому элементу. Когда переменный ток подается на пьезоэлектрик, он вибрирует. На определенных частотах, на резонансных частотах дозатора, внутри иглы происходит наносное действие или, если амплитуды вибрации достаточно высоки, жидкость распыляется из конца иглы.

Чтобы распределить пятно жидкости на поверхности, дозирующая головка микроплоттера сначала загружается жидкостью, а затем

подносится к поверхности. Действие ультразвуковой накачки активизируется управляющим компьютером либо автоматически при запуске предустановленного шаблона либо вручную пользователем.

Для расширения функциональных возможностей плоттера необходимо доработать крышку корпуса держателя с таким расчетом, чтобы появилась возможность установки медицинской пипетки.

Разработана эскизная конструкторская документация крышки корпуса, изготовлен макет печатной головки плоттера, проведены испытания макета.

Макет был изготовлен из полимерной глины и запечен в сушильном шкафу СНОЛ-58/350. СНОЛ-58/350 – это низкотемпературная лабораторная электропечь (сушильный шкаф) SNOL, предназначена для проведения аналитических работ, просушки различных материалов, нормализации и отпуска металла и пружин, термообработки пластмасс и других материалов в воздушной среде в стационарных условиях при температуре от 50 до 350 °С. На рис. 1 мы можем увидеть процесс сушки макета.

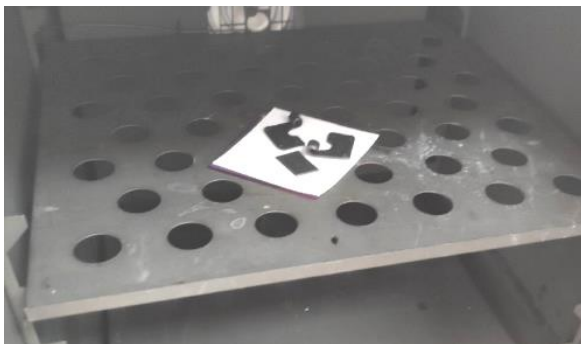


Рис. 1. Процесс сушки макета

После того как макет полностью затвердел, была осуществлена сборка печатной головки плоттера с новым стеклянным капилляром (рис. 2).



Рис. 2. Макет печатной головки плоттера

Таким образом, в настоящей работе решена задача применения состава на основе поливинилхлорида для изготовления прототипа держателя стеклянного капилляра для микроплоттера.

ЛИТЕРАТУРА

1. Microplotter II [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.soplot.com/microplotter-ii>, свободный (дата обращения: 9.03.2021).

2. Первое знакомство с полимерной глиной [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://opolimerke.ru/vybor-gliny/sonnet.html>, свободный (дата обращения: 9.03.2021).

3. Сушильный шкаф СНОЛ-58/350 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.vestavta.ru/snol_58_350?yclid=1325062713957972734

УДК 628.9.041.9

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СВЕТОДИОДНЫХ ИСТОЧНИКОВ СВЕТА НА АКВАРИУМНЫХ РЫБ

К.Р. Хакимова, Е.И. Нижевич, Р.Г. Герасимов, А.В. Кулешов, С.Н. Идрисова, студенты; А.П. Шкаруно, ст. преп. каф. РЭТЭМ
Научный руководитель В.С. Солдаткин, доцент каф. РЭТЭМ, к.т.н.
г. Томск, ТУСУР, каф. РЭТЭМ, soldatkinvs@main.tusur.ru
Проект ГПО РЭТЭМ-1501 «Исследование и разработка полупроводниковых источников света»

Исследована роль света в жизни и развитии многих видов живых организмов, обитающих во всех экосистемах. В зависимости от видового разнообразия рыб влияние света также будет различным для определенного вида.

Освещение аквариумов, в которых будут находиться рыбки, будет производиться лампами с разным по характеристикам светом, что поможет эффективно отследить изменения. Для проведения исследования будут использоваться лампочки мощностью 5 Вт, со световым потоком, равным 510 лм, подвешенные на 14 см от поверхности воды.

Ключевые слова: светодиодные лампы, аквариумы, рыбы, свет, спектр освещенности, искусственное освещение, исчезающие виды.

Световой режим играет важную роль в основных жизненных процессах рыб, влияет на множество признаков живых существ и позволяет ускорить те или иные процессы в организме живого существа. Разработка и усовершенствование светодиодных источников искусственного освещения оказывают благоприятное влияние на рост рыб, помогают предотвратить число исчезающих видов, тем самым улучшив экологическую ситуацию.

Практический и теоретический интерес исследования влияния искусственного освещения на рыб позволяет обнаружить различные функции организма, результаты данного исследования могут быть использованы в технологическом процессе и при выращивании рыбы. Свет играет важную роль в жизни и развитии многих видов живых организмов, обитающих во всех экосистемах. Влияние света на физиологическое развитие представляет большой научный интерес. Для жизнедеятельности рыб большую роль играет свет. Это определяет высокое значение такого фактора неживой природы, как освещенность в жизненном развитии организмов. В зависимости от видового разнообразия рыб влияние света также будет различным для определенного вида.

Световой режим оказывает влияние на центральную нервную систему через органы зрения, затем центральная нервная система оказывает влияние на функцию гипофиза, который в свою очередь оказывает влияние на функцию половых желез. Свет действует на процессы полового созревания. Под действием света можно вызвать сдвиг полового созревания. Основным фактором, влияющим на рост и развитие, обмен веществ и половую активность, является динамика светового режима. Правильно подобранное освещение играет важную роль в основных жизненных процессах рыб [2, 3].

Суть данного метода заключается в освещении аквариумных обитателей различными светодиодными источниками освещения. В первом случае освещение будет производиться светодиодными лампами, что поможет сделать правильные выводы и позволит учесть множество нюансов при создании светодиодного светильника, который будет создаваться на основе полученных данных в первом эксперименте.

Целью данной работы является исследование влияния светодиодных источников освещения на аквариумных рыб.

Методика проведения исследований заключается в изготовлении светодиодного светильника определенной конструкции, который будет оснащен светодиодами с определенными характеристиками спектра, цветовой температурой, силой света и освещенностью. Все эти характеристики будут подобраны исходя из первого этапа эксперимента, который будет проходить на светодиодных лампах, после чего будут проведены все измерения и определены подходящие характеристики при которых наблюдается наиболее эффективное влияние на аквариумных рыб.

Ввиду того, что свет является внешним раздражителем и по-разному воздействует на зрительный орган рыб, активность многих

рыб напрямую связана с освещенностью водоемов. Конечно, цикл освещенности для рыб имеет большое значение, а именно для физиологической активности, ритма питания. В организме рыб протекает масса физиологических процессов, которым свойственны суточные колебания. Таким образом, реакция рыб на свет зависит от возраста, сытости, температурного режима.

Одним из преимуществ искусственного освещения является равномерное рассеивание, широкий спектр освещенности. Также светодиодные лампы не накаливаются в отличие от обычных лампочек и тем самым в процессе работы не выделяется тепло. Использование светодиодного освещения возможно для всех типов аквариумов, так как оно может оказывать благоприятное влияние на рост рыб [4, 5].

На начальном этапе эксперимента освещение аквариумов будет осуществляться светодиодными лампами теплого, холодного и нейтрального белого света, следовательно, число аквариумов в которых будут разводиться рыбки, будет равно четырем. Три аквариума будут освещаться при помощи ламп, а четвертый не будет подвергаться освещению светодиодными лампами.

На рис. 1 приведен аквариум, освещенный светодиодной лампой.

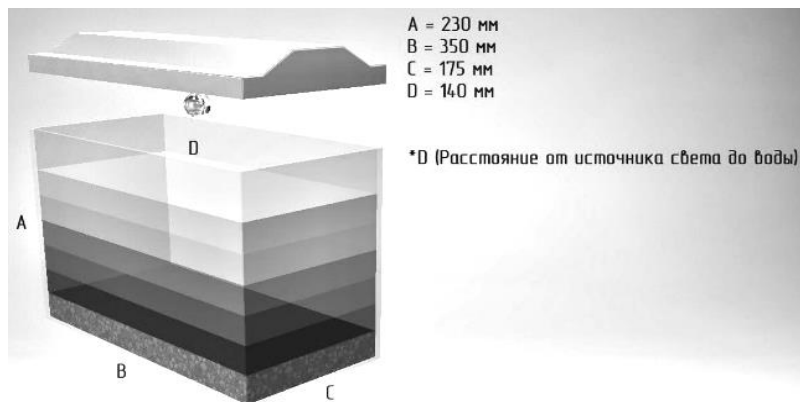


Рис. 1. Аквариум, освещаемый светодиодной лампой

Это делается для того чтобы увидеть разницу между рыбками, которые будут освещаться лампами или – не будут. На первоначальном этапе эксперимента будут использоваться лампы, потому что так возможно учесть множество нюансов при дальнейшем проектировании самого светодиодного светильника.

Основываясь на подобных исследованиях, которые производились ранее, уже известны некоторые вещи. Так, например, ростовая

реакция видов на цвет освещения видоспецифична: наибольшие размеры и удельные величины роста карп, серебряный карась, сибирский осетр, золотая рыбка и золотой карась имели при зеленом, ротан – при зеленом и синем, сомик – при зеленом и голубом, а гуппи – при синем освещении. В экспериментах скорость роста личинок белого толстолобика значительно увеличивалась при зеленом освещении.

Чтобы провести первый этап исследования при помощи светодиодных ламп, рассчитаем, какая освещенность требуется для аквариума. Для эксперимента будем брать светодиодные лампы мощностью 5 Вт, у таких лампочек световой поток равен $F = 510$ лм; зная площадь дна аквариума, которая составляет $S = 0,061$ м², по формуле рассчитаем освещенность [1]:

$$E = F/S = 8360 \text{ лк.}$$

Из справочных данных стало известно, что при толщине воды, составляющей 20 см, до дна дойдет 25% всего света, который будет излучать лампа. Таким образом, на дне аквариума освещенность составит 2090 лк, что является неподходящим значением [6]. Из этого следует вывод, что лампу нужно подвесить на определенную высоту. Из формул силы света и светового потока выразим расстояние r :

$$r = \sqrt{F/3,14 \cdot E} = 14.$$

Высота, на которой будет подвешена лампа над поверхностью воды, составит 14 см. Это будет оптимальным расстоянием, при котором освещенность достигнет нужной нам величины. Так как аквариумы будут освещаться теплым, холодным и нейтральным белым светом, соответственно цветовая температура для теплого света составит 2700 К, для холодного 6000 К и для нейтрального белого 4000 К.

ЛИТЕРАТУРА

1. Андреева М.В., Ганская Е.С., Гайбович Е.С., Черепнев А.И. Пространственное распределение коррелированной цветовой температуры светодиодной лампы общего применения // Электронные средства и системы управления: матер. докл. XIV Междунар. науч.-практ. конф. (28–30 ноября 2018 г.): в 2 ч. – Ч. 1. – Томск: В-Спектр, 2018. – С. 249–252.
2. Ручин А.Б. Влияние монохроматических излучений на рост молоди некоторых видов рыб. – Саранск: Морд. ун-т, 1997. – 16 с.
3. Вечканов В.С., Кузнецов В.А., Ручин А.Б. Некоторые зависимости роста рыб от светового фактора. – Изд-во ВНИРО, 1997. – 107 с.
4. Вечканов В.С., Ручин А.Б., Кузнецов В.А., Казакова Н.А. Рост молоди рыб и личинок амфибий при переменной освещенности. – Армавир: Изд-во АГПУ, 1999. – С. 106–107.
5. Гирса И.И. Освещенность и поведение рыб. – М.: Наука, 1981. – 167 с.
6. Светодиодное освещение [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Светодиодное_освещение (дата обращения: 05.05.2017).

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПРОГРАММНЫХ СРЕД ДЛЯ СВЕТОТЕХНИЧЕСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Е.А. Иванцова, студентка

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

г. Томск, ТУСУР, kate_ivan002@mail.ru

*Проект ГПО РЭТЭМ-1810 «Разработка системы автономного
наружного освещения»*

Производится выбор программного обеспечения для проектирования оптических систем, которое сможет обеспечить максимально точную рабочую систему, для получения верных дальнейших результатов в исследовании.

Ключевые слова: программное обеспечение, моделирование, анализ, система, разработка, сравнение, оптика.

Светотехника – это наука о свойствах света, возможностях и принципах его использования, а также о новых альтернативных источниках получения света. На сегодняшний день перед светотехниками появляются новые задачи, которые необходимо решать для успешного выполнения светотехнического проектирования [1]. Одной из важных является задача выбора, ведь сейчас предлагается большое количество универсальных пакетов программ для оптического проектирования различного назначения, а также ряд систем, предназначенных для специализированного проектирования. Для обеспечения среды подготовки и проверки работы световых элементов нужно основательно подойти к выбору рабочей среды.

Ради успешной реализации проектов необходимо быть уверенным в правильности и точности проведения экспериментов, непосредственно в программной среде, поэтому основной задачей является проведение сравнительного анализа среди программных обеспечений моделирования оптики и освещения.

В данной работе рассматриваются наиболее популярные программы: TRACEPRO, OSLO, ZEMAX и CODE V. Далее следует краткая информация соответственно по каждому из пакетов.

TRACEPRO – универсальная программа для расчета лучей при проектировании осветительных и оптических систем, а также для проведения фотометрического анализа [2].

OSLO – одно из средств автоматизированного проектирования (САПР), представляющее собой программу с тысячами внутренних команд и функций для конструирования оптической техники [3].

ZEMAX – программа, которая может моделировать, анализировать и помогать в проектировании оптических систем [4].

CODE V используется для моделирования, анализа, оптимизации и обеспечения производственной поддержки и для разработки оптических систем с различными приложениями [5].

Техническое сравнение и преимущества рассматриваемых программ для проектирования оптики приведены в таблице [6].

Характеристики TRACEPRO, OSLO, ZEMAX и CODE V

Особенности	TRACEPRO	OSLO	ZEMAX	CODE V
Интерфейс в использовании	Легко использовать	Легко использовать	Легко использовать	Легко использовать
Импорт другой оптической конструкции	Возможен импорт OSLO, ZEMAX, CODE V	Возможен импорт ZEMAX, CODE V	Импорт другого файла дизайна невозможен	Импорт другого файла дизайна невозможен
Сетевая лицензия	Однопользовательская и сетевая	Однопользовательская и сетевая	Необходимо купить лицензию для 5 пользователей	Сетевая лицензия для 1 пользователя
Существование рынка	Высококачественное решение	Средний пакет	Пакет начального уровня	Высококачественное решение
Макроязык	Легко, точно	Легко	Трудно	Точно
Оптимизация	Быстро и интерактивно	Быстро (благодаря передовому компьютеру)	Быстро (благодаря передовому компьютеру)	Быстро
Применение (биомедицина)	Да	Нет	Нет	Нет
Лазер	Да	Да	Да	Да
Приложение	Дизайн линз и анализ освещения	Дизайн линз	Дизайн линз	Дизайн линз
Изображение оптической схемы	2D / 3D	2D / 3D	2D / 3D	2D / 3D
Язык программирования	C++	CCL	ZPL	MACRO-PLUS
Работа с оптической системой	С несколькими	Только с текущей	Только с текущей	Только с текущей
Интерфейс	Графический пользовательский	Таблицы	Таблицы	Графический; таблицы
Реализация отдельных стадий проектирования	Да	Нет	Нет	Нет

Главным недостатком ZEMAX, CODE V и OSLO является реализация отдельных стадий проектирования, так как это не позволяет полноценно использовать их. Преимущества TRACEPRO заключаются в пользовательском интерфейсе 3D CAD, в совместимости с программными обеспечениями для проектирования линз, такими как OSLO, ZEMAX и CODE V, и с программными обеспечениями САПР с такими, как SOLIDWORKS, AUTOCAD, PRO/E, через серию файловых переводчиков. Поэтому TRACEPRO является лидирующим по всем своим параметрам.

Сравнительный анализ показал, что среди программных обеспечений для моделирования оптики и освещения лучшим вариантом в использовании является TRACEPRO.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лейви А.Я. Основы светотехники: учеб. пособие / А.Я. Лейви, А.А. Шульгинов; под ред. А.А. Шульгинова. – Челябинск: Изд. центр ЮУрГУ, 2016. – 71 с.

2. TRACEPRO: User's Manual [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.ipsiras.ru/Lab/CKPO/Nanofot/doc/TracePro.pdf>, свободный (дата обращения: 27.02.2021).

3. OSLO: Optics Software for Layout & Optimization [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.genuineholographics.com/oslo.html>, свободный (дата обращения: 28.02.2021).

4. ZEMAX: Optical Design Program: руководство пользователя [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://optdesign.narod.ru/zemax/zemax_rus.pdf, свободный (дата обращения: 02.03.2021).

5. CODE V Программное обеспечение [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.photonicsonline.com/doc/code-v-optical-design-software-0002>, свободный (дата обращения: 02.03.2021).

6. Сравнение программного обеспечения оптического проектирования [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://genuineholographics.blogspot.com/2011/03/technical-comparison-benefit-of-various.html>, свободный (дата обращения: 02.03.2021).

УДК 628.971.6

ПОВЫШЕНИЕ СВЕТООТДАЧИ СВЕТИЛЬНИКА ДЛЯ УЛИЧНОГО ОСВЕЩЕНИЯ

Ю.И. Стасенко, А.А. Максименко, М.Н. Жилина, студенты

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

Главным достоинством светодиодных источников света являются их долговечность и экономичность. На первый взгляд может показаться, что, исходя из вышесказанного, главным показателем явля-

ется низкая потребляемая мощность. Но такой подход не совсем верен, так как главным показателем экономичности любого источника света является непосредственно его световая отдача.

Ключевые слова: светоотдача, световой поток, кривая силы света.

Известно [1], что светодиоды имеют высокую энергоэффективность и надёжность, срок службы может достигать 80 000 часов, но существенное влияние как на срок службы, так и на световую отдачу оказывает температура активной области светодиодного кристалла, которая зависит как от способности конструкции отводить тепло, так и от температуры окружающей среды.

Целью данной работы является нахождение максимальной световой отдачи уличного светодиодного светильника.

Световая отдача любого источника света является своеобразным аналогом коэффициента полезного действия и показывает, насколько хорошо потребляемая прибором электрическая энергия преобразуется в свет, именно поэтому она и является определяющим фактором, влияющим на эффективность устройства.

В идеальных источниках света на основе светодиодов световой поток линейно зависит от рассеиваемой на светодиоде мощности. Но при этом большому изменению мощности соответствует малое приращение светового потока, также часть электрической энергии рассеивается на светодиоде в виде тепла, что приводит к ещё меньшей эффективности светодиода. Поэтому световая отдача у светодиодных источников света имеет ярко выраженный максимум [2].

Суть работы заключается в измерении силы света при разных значениях потребляемой светильником мощности. Измерения проводятся на гониофотометрической установке в соответствии с [3]. Далее необходимо на основе проведённых измерений посчитать световой поток, а после и световую отдачу для каждого из результатов измерений.

Гониофотометрическая установка позволяет получить значения силы света при разном угле поворота светильника, а также на основе этих данных построить графическую зависимость этих параметров. Зависимость силы света от угла излучения называется кривой силы света (далее КСС), график КСС при номинальном значении мощности представлен на рис. 1.

Для расчёта светового потока недостаточно знать только максимальное значение силы света, для полноты картины необходима именно КСС. Результаты расчёта светового потока, а также светоотдачи представлены на рис. 2 и 3 как графики зависимости светового потока и светоотдачи от тока.



Рис. 1. КСС светильника в вертикальной плоскости

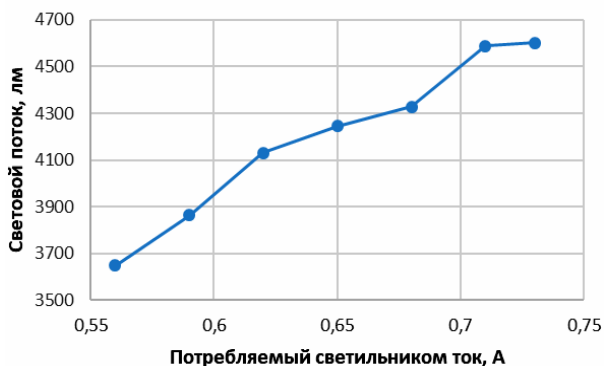


Рис. 2. Зависимость светового потока от прямого тока светильника



Рис. 3. Зависимость световой отдачи от прямого тока светильника

На рис. 3 виден ярко выраженный максимум светоотдачи, который составляет примерно 75 лм/Вт. Именно в этой точке КПД светильника будет максимальным.

ЛИТЕРАТУРА

1. Стасенко Ю.И., Максименко А.А., Солдаткин В.С. Определение предельных термоэлектрических режимов работы светодиода излучающего элемента // Сб. статей матер. докладов Всерос. науч.-практ. конф. «Прикладные исследования в области физики». – 4 декабря 2019 г. Каф. физики Ин-та энергетики при поддержке научного общества «Карбон», Иркут. нац. исслед. техн. ун-т. – С. 189–193 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=41654887>.

2. Стасенко Ю.И., Андреева М.В., Юлаева Ю.В. Исследование кривой силы света светодиодных ламп общего назначения // Научная сессия ТУСУР–2019: матер. междунар. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых, Томск, 22–24 мая 2019 г.: в 4 ч. – Томск: В-Спектр, 2019. – Ч. 2. – С. 44–47 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://storage.tusur.ru/files/127272/2019_2.pdf

3. ГОСТ Р 55839–2013. Источники света и приборы осветительные. Методы светотехнических измерений и формат представления данных. – М.: Стандартинформ, 2014. – 22 с.

УДК 628.9

СВЕТОДИОДНЫЕ СВЕТИЛЬНИКИ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ С ИК-ОБОГРЕВАТЕЛЕМ

***Е.В. Шнайдер, Е.Л. Егорова, М.Х. Фам, А.А. Мазеина,
Ю.И. Стасенко, студенты каф. РЭТЭМ***

*Научный руководитель В.С. Солдаткин, доцент каф. РЭТЭМ
г. Томск, ТУСУР, soldatkinvs@main.tusur.ru*

Целью работы является создание светодиодного светильника специального назначения с инфракрасным (ИК) обогревателем. В работе предложены конструкторское решение и расчеты для создания светодиодного светильника.

Ключевые слова: светодиоды, светильник, ИК-обогреватель, светодиодные линейки, потолочная система.

Известно [1], что светодиоды белого цвета свечения обладают рядом преимуществ в сравнении с другими источниками света, одним из которых являются массогабаритные показатели, за счёт которых можно конструировать осветительные приборы различного дизайна. Большое применение светодиоды белого цвета свечения средней мощности получили в светильниках типа «Армстронг» (потолочные офисные светильники, встраиваемые в навесной потолок помещения). На территории Российской Федерации важнейшей задачей является

отопление помещений. В настоящее время существует ряд способов организации отопления в помещении, отдельно следует выделить ИК-обогреватели [2]. Именно создание комбинированного осветительного прибора со встроенным ИК-обогревателем позволит повысить энергоэффективность систем освещения и отопления офисного помещения, а также уменьшить общую площадь осветительных коммуникаций и систем отопления, что благоприятно скажется на экономичности содержания офисного помещения. Именно по указанным выше причинам данная разработка является актуальной.

Для создания комфортной освещённости используются источники света белого цвета свечения, обеспечивающие освещённость в диапазоне (100–700) лк. Для проведения работ с крупными деталями требуется освещённость – в диапазоне (60–120) лк, для работ с деталями средних размеров в диапазоне (250–500) лк. Для работы с мелкими деталями – (750–1000) лк и с очень мелкими – (1500–2000) лк.

От качества освещения зависит производительность труда человека. При недостаточной освещённости повышается утомляемость, что приводит к повышению количества ошибок во время трудовой деятельности [3].

С другой стороны, комфортное освещение определяется индексом цветопередачи, максимальный индекс цветопередачи у солнечного света. По сопоставлению спектров излучения испытуемого и идеального источников света определяется индекс цветопередачи.

Свет – это электромагнитное излучение, видимое человеческим глазом в диапазоне длин волн (380–780) нм. Меньше 380 нм – ультрафиолетовое излучение, больше 780 нм – ИК-излучение [5]. ИК-излучение применяется для отопления помещений.

Для разработки конструкции и создания светодиодного светильника специального назначения с ИК-обогревателем были рассмотрены современные потолочные системы и изучены их характеристики. После выбора светодиодов также были изучены их характеристики, что позволило произвести расчеты, определить необходимое количество светодиодов и окончательный вариант расположения всех элементов конструкции. С помощью источника питания и измерителя светового потока нами были получены характеристики светодиода, из которых определен световой поток – с учетом погрешности 1,925 равен 61,4 лм.

На рабочем столе в офисе минимальное значение освещенности должно составлять не менее 300 лк:

$$E = I / r^2,$$

где E – освещённость, лк; I – сила света, кд; r – расстояние от источника света до объекта, м.

$$\Phi = I \times \Omega,$$

где Φ – световой поток, лм; Ω – угол излучения, ср.

Если угол излучения светодиодов 120° по уровню 0,5 от максимального значения силы света, при перерасчете в телесный (объемный угол) Ω составит 3,14 ср, тогда:

$$I = 300 \times 3^2 = 2700 \text{ кд}, \Phi = 2700 \times 3,14 = 8478 \text{ лм}.$$

Исходя из этого, получаем следующее: в случае если светодиодная линейка содержит 12 светодиодов, то необходимое количество линеек для конструкции соответственно равно четырем. Таким образом, конструкция светодиодного светильника будет представлять собой корпус от потолочной системы «Армстронг» [4] или иной корпус, в который будут встроены четыре светодиодные линейки по периметру и ИК-обогреватель в центре конструкции.

Выбран ИК-обогреватель панельного типа ВИН-APL-0.6. Потребляемая максимальная мощность 600 Вт с возможностью регулировки, масса 2,2 кг, предназначен для обогрева площади рабочей зоны до 12 м^2 при максимальной высоте подвеса 3,5 м.

Вывод. Выбрана конструкция светодиодного светильника со встроенным ИК-обогревателем, рассчитан световой поток светильника, обеспечивающий освещённость 300 лк в рабочей зоне – на столе офисного помещения при высоте подвеса 3 м. Выбран ИК-обогреватель для обогрева рабочей зоны 12 м^2 при высоте подвеса не более 3,5 м. Далее планируется собрать макет экспериментально выбрать режимы работы ИК-обогревателя, проработать конструкцию светильника, чтобы нагрев ИК-обогревателя не оказывал негативное влияние на светодиоды в светильнике.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вилисов А., Калугин К., Солдаткин В., Перминова Е. Белые светодиоды // Полупроводниковая светотехника. – 2012. – Т. 4, № 18. – С. 14–17.
2. Ануфриенко О.С., Долгов Д.Г. Проект системы отопления производственного помещения на основе инфракрасных обогревателей на стадии постановки задачи // Современные технологии в мировом научном пространстве: сб. статей Междунар. науч.-практ. конф. (25 мая 2017 г., г. Пермь): в 6 ч. – Ч. 3. – Уфа: АЭТЕРНА, 2017. – С. 55–61.
3. Инфракрасные лучи: польза и вред, действие на организм человека [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://poleznii-site.ru/dom/tehnika/infrakrasnye-luchi-polza-i-vred-deystvie-na-organizm-cheloveka.html> (дата обращения: 15.02.2021).
4. Светодиод [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Светодиод> (дата обращения: 1.03.2021).
5. Виды и монтаж потолка «Армстронг» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://stroychik.ru/potolok/vidy-i-montazh-potolka-armstrong> (дата обращения: 4.03.2021).

**РЕАКЦИЯ ПИТАТЕЛЬНОЙ СРЕДЫ ПРИ НАНЕСЕНИИ
ОБЛУЧЕННОЙ УФ СРЕДНЕГО ДИАПАЗОНА ВОДЫ
С МИКРООРГАНИЗМАМИ И ДОБАВЛЕНИЕМ ВЕЩЕСТВ
В КАЧЕСТВЕ КОНТРОЛЯ ДЕЗИНФЕКЦИИ**

*А.О. Шардина, Л.Ш. Юлдашова, Т.С. Михальченко, студенты
Научный руководитель В.С. Солдаткин, доцент каф. РЭТЭМ, к.т.н.
г. Томск, ТУСУР, каф. РЭТЭМ, alenashardina2000@mail.ru*

Излагаются результаты экспериментов по выбору режимов для создания устройства подготовки питьевой воды в обитаемых космических аппаратах. Проведены исследования образцов облученной УФ-излучением воды на наличие остаточных микроорганизмов методом посева на питательную среду с добавками.

Ключевые слова: питательная среда, УФ-диод, микроорганизмы, дезинфекция, вода.

Целью обеззараживания воды является подавление жизнедеятельности болезнетворных микробов.

Основными преимуществами метода обеззараживания воды УФ-излучением являются: высокое бактерицидное действие ко всем микроорганизмам; УФ-излучение не оказывает существенного влияния на органолептические и физико-химические свойства воды; повышенный уровень УФ-облучения не влияет на безопасность обработанной воды [1–4].

Целью данной работы является развитие имеющегося научного задела до стадии готовности к практическому применению технологии дезинфекции и контроля наличия микроорганизмов в воде методом посева на питательную среду с различными добавками.

Задачи:

1. Разработать методику оценки качества дезинфекции воды после УФ-обеззараживания.

2. Провести исследования образцов облученной УФ-излучением воды на наличие остаточных микроорганизмов методом посева на питательную среду с добавками.

Для проведения исследований необходимо взять образцы воды: мох, разведенный в воде, так как это отличная среда обитания для различных микроорганизмов.

Методика исследования. Для проведения исследования требуются: секундомер, микроскоп, штангенциркуль, шприц, УФ-диод 275 нм мощностью 10 мВт, питательная среда в виде хлеба, пакеты, добавки – активированный уголь. Секундомер предназначен для от-

счёта времени облучения. Микроскоп Levenhuk (диапазон увеличений от 40 до 2000 крат) предназначен для определения количества микроорганизмов в водной среде при увеличении 400 крат. Штангенциркуль предназначен для фиксации расстояния от УФ-диодов до поверхности образца водной среды. Шприц предназначен для дозированного нанесения образцов воды на предметное стекло. УФ-диоды с источником питания со стабилизацией по току предназначены для облучения образцов воды со стабилизированными значениями прямого постоянного тока через УФ-диоды.

Пробы воды были облучены с помощью УФ-диода 275 нм в течение разного промежутка времени (10, 15 и 20 мин) на определенном расстоянии. Контроль жизнедеятельности микроорганизмов производился до и после облучения. Каждый из образцов был нанесен на питательную среду с добавкой и закупорен в герметичном пакете. Активированный уголь нужен для функции катализатора роста и размножения микроорганизмов.

В ходе трех экспериментов установлено, что облучение УФ-диодом 275 нм в течение 20 мин недостаточно для полной дезинфекции воды объемом 10×10 мм. Результаты эксперимента приведены на рис. 1.



Вода из-под мхов с активированным углем (черный)

Вода из-под мхов без активированного угля (черного)

Вода без добавок

Рис. 1. Реакции питательных сред

Данные результаты получены через десять дней после посева. В результате на питательной среде образовались очаговые проявления круглой плесени зеленого, черного и желтого цвета. Фотография образца питательной среды приведена на рис. 2.

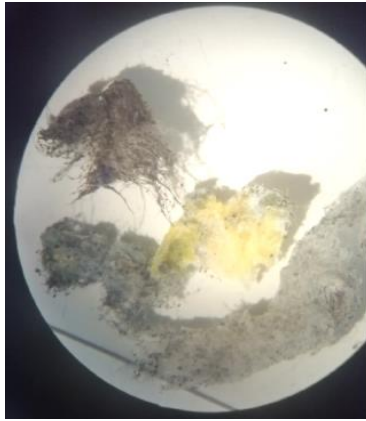


Рис. 2. Виды плесени

На образцах питательной среды были обнаружены черные «воздушные шапки» и в некоторых местах эффект вакуума.

Для создания устройства регенерации воды требуется дополнительно проводить эксперименты, так как для жизнеобеспечения небезопасно применять эту воду. В результате можно сделать вывод, что мощность диода, использованного в данном эксперименте, не достаточна для полной дезинфекции воды, поэтому в дальнейшем будет использован УФ-диод на 275 нм с мощностью 30 мВт.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шардина А.О., Михальченко Т.С., Юлдашова Л.Ш. Полупроводниковый источник излучения для дезинфекции воды в обитаемых космических аппаратах // Гагаринские чтения – 2020: сб. тезисов докладов. – М.: МАИ, 2020. – С. 377–378. – <https://gagarin.mai.ru/files/2020/abstracts2020.pdf>
2. Soldatkin V., Yuldashova L., Shardina A., Shkarupo A., Mikhilchenko T. Device for Water Disinfection by Ultraviolet Radiation // 7th International Congress on Energy Fluxes and Radiation Effects (EFRE). – 19th International Conference on Radiation Physics and Chemistry of Condensed Matter. – Tomsk, 2020. – P. 870–873. – doi: 10.1109/EFRE47760.2020.924200
3. Ульянов А.Н. Ультрафиолетовое излучение для дезинфекции воды. – URL: https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=217
4. Кузнецов С.М., Лихачев И.В., Закуражный А.А., Федоров И.С. Способы повышения эффективности обеззараживания воды ультрафиолетовым излучением путем активации патогенетических механизмов фотосенсибилизации у микроорганизмов // Клиническая патофизиология. – 2015. – № 4. – С. 22–25.

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ МАКЕТА ОБЛУЧАТЕЛЬНОЙ
УСТАНОВКИ ДЛЯ ВЫРАЩИВАНИЯ САЖЕНЦЕВ ДЕРЕВЬЕВ
ХВОЙНЫХ ПОРОД В УСЛОВИЯХ ЗАКРЫТОГО ГРУНТА**

С.А. Романенко, магистрант ИШНПТ НИ ТПУ;

П.А. Миненко, магистрант каф. АГиПЗ ТГАСУ;

Ю.И. Стасенко, А.О. Шардина, студенты каф. РЭТЭМ ТУСУРа;

А.М. Шрайбер, магистрант ФП, НИ ТГУ

г. Томск, ТУСУР, НИ ТПУ, НИ ТГУ, ТГАСУ, yura-stas@mail.ru

Излагаются результаты расчёта макета облучательной установки для выращивания саженцев деревьев хвойных пород в условиях закрытого грунта. В ходе анализа научно-технической информации для изготовления макета выбраны три типа диодов: белого цвета свечения, красного цвета свечения и УФ-диод.

Ключевые слова: выращивание саженцев, деревья хвойных пород, облучательная установка для растений, светодиоды, светильники.

Важнейшей экологической проблемой в настоящее время является массовое уничтожение лесных ресурсов как лесными пожарами, так и действиями лесозаготовителей. Лес – это лёгкие планеты, именно лес позволяет очищать воздух от вредных для человека и животных углекислых газов, которые вырабатываются вследствие производственной деятельности промышленных предприятий и работы автотранспорта. По этой причине актуальной задачей является создание быстрого и эффективного способа восстановления лесных ресурсов.

Освещение является неотъемлемым фактором в жизнедеятельности растений [1]. В настоящее время в промышленности уже реализованы различные типы облучателей для теплиц. В целом их можно разделить по применению:

– для комбинированного искусственного и естественного освещения в теплице при недостаточной естественной освещённости;

– для искусственного освещения в условиях отсутствия естественного освещения;

– для междурядного освещения.

Саженцы хвойных пород деревьев высаживают в открытый грунт, когда их рост достигает 30 см [2].

Для хвойных пород деревьев оптимальное значение PPFD составляет 200 мкмоль/м² [3].

По результатам анализа характеристик светодиодной продукции различных производителей выбраны диоды, показанные на рис. 1 [2–4].

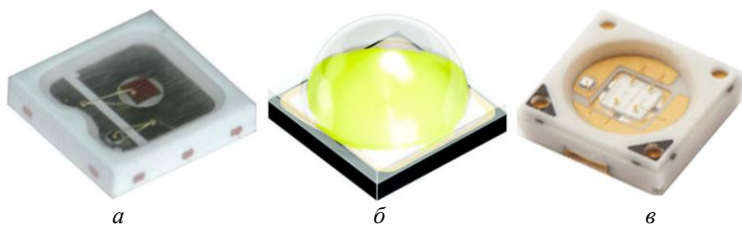


Рис. 1. Фотографии диодов, выбранных для изготовления макета облучательной установки для выращивания саженцев деревьев хвойных пород в условиях закрытого грунта: *а* – Seoul Semiconductor STDRC12B 660 нм; *б* – Osram GW CSSRM3.HW-VNAQ-H3H4-1; *в* – Nichia NCSU275T– U365 365 нм

Технические характеристики диодов приведены в табл. 1–3.

Таблица 1

Технические характеристики Seoul Semiconductor STDRC12B

Наименование параметра	Ед. измерения	Значение параметра
Длина волны излучения	нм	660
Оптическая мощность излучения	мВт	82
Значение прямого напряжения	В	2,0
Угол излучения по уровню 0,5	град	120
Значения приведены для прямого тока	мА	100
PPF	мкмоль/с	0,39
PPE	мкмоль/Дж	1,96

Таблица 2

Технические характеристики Osram GW CSSRM3.HW-VNAQ-H3H4-1

Наименование параметра	Ед. измерения	Значение параметра
Коррелированная цветовая температура	К	3000
Световой поток	лм	430
Оптическая мощность излучения	мВт	1300
Значение прямого напряжения	В	3,00
Угол излучения по уровню 0,5	град	120
Значения приведены для прямого тока	мА	700
PPF	мкмоль/с	5,68
PPE	мкмоль/Дж	2,70

Таблица 3

Технические характеристики Nichia NCSU275T– U365 365 нм

Наименование параметра	Ед. измерения	Значение параметра
Длина волны излучения	нм	365
Оптическая мощность излучения	мВт	148
Значение прямого напряжения	В	3,65
Угол излучения по уровню 0,5	град	120
Значения приведены для прямого тока	мА	500

Зная PPFД = 85 мкмоль / с·м², с помощью закона обратных квадратов [5] определим количество диодов:

$$E = (I / r^2) \cdot \cos i,$$

где E – облучённость, примем её за PPFД, мкмоль / с·м²; I – сила излучения; r – расстояние от источника излучения до объекта, м; i – угол падения света.

$$I = PPFД \times r^2,$$

$$I = 200 \times 0,3^2 = 18,$$

$$PPF = I \times \Omega = 18 \times 3,137113 = 56,47 \text{ мкмоль/с.}$$

Используем равное количество диодов каждого типа из табл. 1, 2, суммарный PPF составляет 6,07, соответственно потребуется 10 диодов.

В ходе анализа научно-технической информации для изготовления макета облучательной установки для выращивания саженцев деревьев хвойных пород в условиях закрытого грунта выбраны три типа диодов: белого цвета свечения, красного цвета свечения и УФ-диод. Используем равное количество диодов каждого типа; с помощью расчётов установлено, что для достижения PPFД 200 мкмоль / с·м² понадобится 10 диодов каждого типа.

ЛИТЕРАТУРА

1. Neznamova E.G., Soldatkin V.S., Timoshenko P.V., Tuev V.I., Khoмайков A.J. The use of energy-efficient sources while growing a small quantity of the cucumber under the artificial lighting agricultural ecosystem // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. – 2019. – No. 224. – P. 012048.
2. Stroy-podskazka [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://stroy-podskazka.ru/sosna/doma-iz-semyan/> (дата обращения: 18.03.2021).
3. Кобякова М.М. Разработка и расчет оптимальной системы агроосвещения на базе светодиодных и натриевых ламп высокого давления // Матер. XLV науч. и учеб.-метод. конф. ун-та ИТМО, 02–06 февраля 2016 г. – Т. 2. – С. 309–311.
4. Официальный сайт Seoul Semiconductor Co., Ltd [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.seoulsemicon.com/> (дата обращения: 15.03.2021).
5. Официальный сайт OSRAM Opto Semiconductors GmbH [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.osram.com> (дата обращения: 15.03.2021).
6. Официальный сайт Nichia Co [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.nichia.co.jp/ru/about_nichia/index.html (дата обращения: 15.03.2021).
7. Ландсберг Г.С. Оптика: учеб. пособие. – 7-е изд. – М.: Физматлит, 2017. – 852 с. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/105019> (дата обращения: 15.03.2021).

СВЕТОВЫЕ ЛОВУШКИ ДЛЯ РЫБ

*К.Р. Хакимова, Е.И. Нижевич, Р.Г. Герасимов,
А.В. Кулешов, студенты; А.П. Шкарупо, ст. преп. каф. РЭТЭМ
Научный руководитель В.С. Солдаткин, доцент каф. РЭТЭМ, к.т.н.
г. Томск, ТУСУР, каф. РЭТЭМ, soldatkinvs@main.tusur.ru
Проект ГПО РЭТЭМ-1501 «Исследование и разработка
полупроводниковых источников света»*

Рассмотрены такие моменты, как выбор окраски приманки для лучшего восприятия рыбами с физиологической точки зрения, изменение чувствительности рыб на различную яркость света. Рассмотрено влияние определенного цвета светового излучения на рыб.

Ключевые слова: рыбы, приманки, световой спектр, источники света.

Использование искусственного света для привлечения рыбы в промышленном рыболовстве получило широкое распространение. При помощи метода «на свет» ловится достаточно большое количество промысловых рыб. Воспринимаемый спектр света для рыб, обитающих в верхнем горизонте воды, 400–760 нм, а для обитающих на дне рыб приходится на коротковолновую область спектра.

Целью работы является анализ восприятия света рыб для их приманки.

Задачи данной работы: 1) провести аналитический обзор влияния различного спектра света на рыб; 2) определить светотехнические характеристики макета светодиодной световой ловушки для рыб.

В основном в рыболовстве применяют излучение ламп накаливания, спектр энергии приходится на длинные волны, и большая часть неэффективна, поэтому мало воспринимается рыбами. Многие рыбы положительно реагируют на свет по мере его яркости.

Оптимальные световые источники имеют максимум световой отдачи в области 500–550 и 550–600 нм. Поэтому оптимальным является применение светящихся люминофоров, которыми можно окрашивать приманки [1].

Чувствительность сетчатки глаза рыб, которая считается пороговой, к яркости света приблизительно 102–109 лк. Чувствительность рыб к различной яркости света изменяется в зависимости от изначального фона излучения, так, например, у рыб, выдержанных при более темном фоне излучения, пороговая чувствительность выше, чем у рыб, предварительно находящихся на солнечном свете. Таким образом, величина света, привлекающего рыб, будет меняться с изменением яркости освещения окружающего их фона [2].

Для приманки рыбы светом необходимо учитывать, кого цвета приманка и какая рыба. Наиболее эффективное свечение от приманок для морских рыб – зеленоватое, а для речных – желтоватое. Но также используют в составе и другие цвета: синий, фиолетовый, красный, розовый.

С точки зрения физиологии рыб выбирать окраску для приманки лучше всего максимально имитируя пищу. Лучше всего для приманки использовать цвета: зеленый, белый, красный. Окрашивать приманку необходимо в природные цвета, а свечение будет придавать яркость. Чрезмерная яркость может отпугнуть рыбу, поэтому лучше немного подсвечивать [1].

В дни полнолуния рыба лучше будет реагировать на светящуюся приманку. Важно учитывать фазу луны, иначе можно спугнуть рыбу. Также физиологическое состояние рыбы играет роль, больные или икринные самки не любят световые приманки.

Качество привлечения рыбы на свет зависит и от способности рыб различать цвета. Применение цветного света для привлечения рыб связано со способностью восприятия различного цвета на сетчатку глаза рыб. Сигналом, привлекающим рыбу, является цветной свет определенной яркости.

Различие восприятие цветов рыбой зависит от глубины. Красный цвет привлекает рыбу, так как похож на корм, но использовать данный цвет можно не выше 5 м. Глубже можно использовать желтый цвет и зеленый. А на глубинах выше 20 м рыбы различают зелено-голубой спектр [3].

Большинство рыб будет держаться вдали от белого света, так как сильная интенсивность источника света может их напугать.

Лампы накаливания белого цвета совместно со светофильтрами имеют небольшую яркость света, такое излучение в воде будет поглощаться, и радиус для привлечения сокращается. Но данный свет вызывает у рыб положительную реакцию, поэтому идеальным решением будет комбинировать свет.

Большое значение будет играть не только яркость света, но и цвет самих лучей, излучаемых от источника света. Таким образом, стайные рыбы чаще всего любят зеленый свет, однако среди них есть и те, кто совершенно безразличен к цвету. Ставрида, например, лучше всего будет идти на оранжевый свет, для синего горбыля предпочтительнее синий и зеленые цвета, килька больше идет на белый [4].

Одним из простых способов привлечения рыбы является освещение прожекторами части водной поверхности. Так, для привлечения сайры к борту судна используют синий цвет, а для концентрации ее у

бортового подхвата с другого борта – красный. Световые люстры располагаются на выстрелах за бортом на расстоянии трех-четырех метров. После того как накопится достаточное количество рыбы, ее поднимают на борт.

Также искусственный свет можно использовать для ловли кальмара для привлечения его к борту [5].

Применение «белого» освещения при постоянной яркости имеет ряд определенных достоинств и недостатков. К плюсам применения белого света для приманки рыбы можно отнести то, что при помощи белого освещения есть возможность создать достаточно интенсивный свет, который, в свою очередь, способен как можно глубже проникнуть в воду. Однако же большая интенсивность света может не позволить многим видам рыб подойти ближе к источникам света, и они стараются держаться в зоне определенного освещения. Также практически у всех светолюбивых рыб отмечается положительная реакция на относительно невысокое освещение, которое излучает белый свет [6].

В настоящее время на основе светодиодов можно конструировать световые приборы с любым спектром излучения, надёжные и энергоэффективные, причём с безопасным электропитанием [7].

На основе данной работы планируется разработать светодиодную световую приманку для рыб, на основе светодиодов белого и красного свечения, которая будет обеспечивать освещенность поверхности речной воды 102–109 лк.

ЛИТЕРАТУРА

1. Цвет приманки [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://fishinglov.ru/rybalka-snasti-ekipirovka/nashi-snasti/primankami-kakogo-cveta-luchshe-rybachit.html> (дата обращения: 18.03.2021).
2. Влияние света на клев рыбы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://fishcom67.ru/interesnoe/vliyanie-sveta-na-klev-ryby-mnenie-nauki> (дата обращения: 18.03.2021).
3. Использование искусственного света [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://belkamfish.com/stati/fishisvet.htm> (дата обращения: 18.03.2021).
4. Свет, цвет, рыба [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://onhook.net/article/idarticle/39> (дата обращения: 18.03.2021).
5. Лов с помощью электросвета [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.korabel.ru/dictionary/detail/753.html> (дата обращения 18.03.2021).
6. Свет под водой [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.vokrugsveta.ru/vs/article/5124/> (дата обращения: 18.03.2021).
7. Вилисов А., Калугин К., Солдаткин В., Перминова Е. Белые светодиоды // Полупроводниковая светотехника. – 2012. – Т. 4, № 18. – С. 14–17.

РЕГУЛИРУЕМЫЙ ЭКСПОЗИЦИОННЫЙ СВЕТИЛЬНИК

М.В. Славкин, студент каф. РЭТЭМ

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

г. Томск, ТУСУР, mishqeee@gmail.ru

Разработана техническая документация на регулируемый экспозиционный светильник. Данная документация направлена на изготовление макета устройства, относящегося к области светотехники и назначенного для освещения объектов в музеях и на выставках. Макет пройдет исследования, также будет проведен анализ возможных улучшений его функциональности.

Ключевые слова: светильник регулируемый, угол свечения, индекс цветопередачи, диммирование.

К экспозиционному освещению предъявляются довольно высокие требования. Свет в музейных учреждениях играет особую роль в восприятии и отношении посетителя к экспозиции. Он должен обеспечивать не только должную освещенность или акцент на картинах и экспонатах, но и комфортные условия для гостей [1]. Требования к музейному освещению приведены в [2].

Любое освещение может нанести вред экспонатам из-за тепла и определенного спектра волн. Вреднее всего ультрафиолетовое и голубое излучение, следовательно, их исключают из спектра. В плане музейного освещения идеально подходят светодиодные источники света, потому что с ними имеется возможность настройки яркости и минимизировать вредные воздействия. По сравнению с другими искусственными источниками света, светодиоды имеют ряд преимуществ, таких как высокая световая отдача (до 270 лм/Вт), высокий срок службы (до 80 000 ч), возможность выбора значений коррелированной цветовой температуры и цветовых координат, современные технологии позволяют получать все основные цвета и большинство оттенков, а также высокий индекс цветопередачи, конкретнее до 99 [3], что крайне важно для музейного и выставочного освещения.

Светодиодные светильники не сильно греются, что дает возможность расположить их ближе к объекту освещения.

Светодиодное освещение имеет самое наименьшее энергопотребление среди аналогов и достаточно высокий срок службы, что безусловно делает его лидером.

Узконаправленные лучи света используют, чтобы детально осветить картину или экспонат. При помощи детального освещения настраивается контраст между ярко и темно освещенными участками

помещения, что, несомненно, привлекает внимание посетителя и создает драматический эффект.

Детальное освещение используется для усиления контраста между темными и яркими областями, что несомненно создает иерархичность восприятия и особую обстановку.

Интерьер помещения также играет роль, но не первостепенную, по сравнению с освещением. При помощи регулировки угла свечения можно приспособить светильник практически к любой экспозиции любого размера [4].

В целях наилучшей передачи цвета экспозиции или картины принято использовать светодиоды с индексом передачи (CRI) 90 и более. Также, в зависимости от экспозиций, принято использовать светодиоды с индексом цветопередачи 85 и более.

Индекс цветопередачи влияет на внешний вид объекта, что показано на рис. 1.



Рис. 1. Влияние индекса цветопередачи на внешний вид объекта

При помощи более яркого освещения отдельного участка к нему привлекается внимание посетителя. Регулировка яркости позволяет создать направление движения людей от одного объекта к последующему. Также при правильном расположении и грамотно отрегулированной яркости экспонаты воспринимаются как часть одной целой коллекции, а не разрозненные объекты [5].

В основном во всех существующих светильниках регулировка угла свечения и яркости производится вручную. В помещениях с высокими потолками производить операцию регулировки неудобно, следовательно, разработка светильника, управляемого по Wi-Fi, является актуальной.

Технический результат разработки заключается в регулировании угла свечения светильника в диапазоне 15–60°. Принцип регулирования изображен на рис. 2 и происходит путем отдаления или приближения линзы Френеля относительно COB-светодиода, подобранного специально под требования экспозиционного освещения. Движение линзы, закрепленной в головной части корпуса, осуществляет линейный шаговый двигатель, управляемый при помощи Wi-Fi-микроконтроллера. Также в светильник заложена функция диммирования.

Все основные характеристики для регулируемого экспозиционного светильника указаны в таблице.

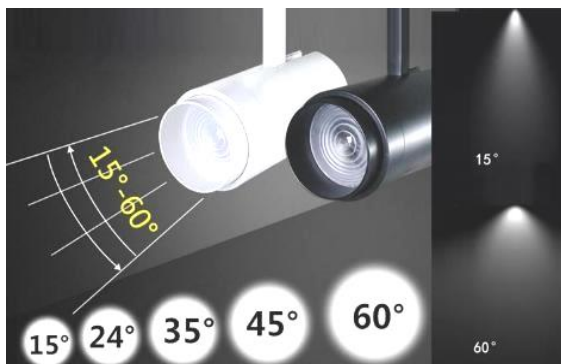


Рис. 2. Регулировка угла свечения

Технические характеристики светильника

Наименование технической характеристики	Значение
Выходное напряжение, В	12
Максимальное напряжение светодиода, В	9,35
Ток светодиода, А	0,7
Индекс цветопередачи	92
Коррелированная цветовая температура, К	4000
Сети переменного тока напряжением В, частотой Гц	220, 50
Световая отдача, лм/Вт	Не менее 100

ЛИТЕРАТУРА

1. Освещение для музеев и галерей: нормы и правила проектирования [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ksosvet.ru/blog/osveshcheniya-dlya-muzeev-i-galerei-normy-i-pravila-proektirovaniya> (дата обращения: 15.03.2021).
2. ГОСТ Р 58814–2020. Музейное освещение. Термины и определения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200171330> (дата обращения: 15.03.2021).
3. Tuev V.I., Soldatkin V.S., Andreeva M.V., Ganskaya E.S., Kosacheva G.A. Investigation Of Phosphor Compositions For LED Filament Bulb // 6th International Congress on Energy Fluxes and Radiation Effects (EFRE–2018): Abstracts. – Tomsk: Publishing House of IAO SB RAS, 2018. – P. 458.
4. Освещение музеев и выставок [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.prof-svet.ru/osveshchenie/muzei> (дата обращения: 15.03.2021).
5. Особенности светодиодного освещения музеев, выставок и галерей [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://svetilov.ru/osveshhenie/socialnye-obekty/muzei-vystavki-i-galerei> (дата обращения: 15.03.2021).

АЭРОЗОЛЬНЫЙ ПРИНТЕР

Д.А. Жаворонков, А.А. Типсина, студенты

*Научный руководитель В.И. Туев, зав. каф. РЭТЭМ, д.т.н., доцент
г. Томск, ТУСУР, zhavoronkov20012001@bk.ru*

*Проект ГПО РЭТЭМ-1810 «Разработка системы автономного
наружного освещения»*

Изготовление 3D-металлодиэлектрических структур в масштабе субмиллиметровых размеров очень важно для реализации различных решений в микроэлектронике. В данной статье представлен метод аэрозольного нанесения проводниковых материалов на различного рода поверхности, в том числе гибкой прозрачной поверхности, что позволит сконструировать прозрачное и гибкое световое устройство. В данном методе используется принтер со специальным соплом, сконструированным для выполнения вышеупомянутой задачи.

Ключевые слова: аэрозольная струйная печать, принтер, светотехника.

Метод аэрозольной печати может относиться к различным областям техники, но в данном случае он относится к светотехнике, а именно упрощает этап конструирования светоприборов, а также их усовершенствование. С помощью аэрозольного принтера упрощается изготовление системы наружного освещения с использованием органических светодиодов.

В настоящее время технология аэрозольной печати активно развивается в разных областях науки и техники. С каждым днем появляются все больше и больше патентов, но первыми, кто освоил 3D-моделирование печати, была компания «Optomes», которая анонсировала технологию 3D-печати полимерных и композитных структур с возможностью нанесения материалов на готовые изделия сложной формы. Разрешение системы в горизонтальной плоскости достигает 10 микрон, а толщина слоев может варьироваться от одного микрона до ста нанометров. Компания за последние 5 лет запатентовала множество устройств, а также различного рода дополнений к своим изобретениям.

Аэрозольное струйное микроаддитивное производство стало экологически чистым методом изготовления трехмерных электронных структур в масштабах длины до 10 мкм. Аддитивное изготовление имеет присущие ему преимущества, так как ни один материал не расходуется впустую и метод не требует применения вредных химических веществ, как в случае с плоттерной или обычной струйной пе-

чати. Метод аэрозольной печати также обеспечивает высоту нанесения до 5 мм, что позволяет печатать на сложных 3D-поверхностях. Электронные структуры в масштабе субмиллиметровой величины представляют большой интерес для использования в качестве проводников в светотехнике.

В настоящей работе поставлена задача разработки сопла аэрозольного принтера для исследования формирования струи аэрозольного принтера.

На рис. 1 приведен чертеж разрабатываемого устройства. Устройство включает сопло (1), распыляющее проводниковый материал на поверхность, компрессор (2), который подает определенное давление в сопло, а также атомайзер (3), который создает аэрозоль.

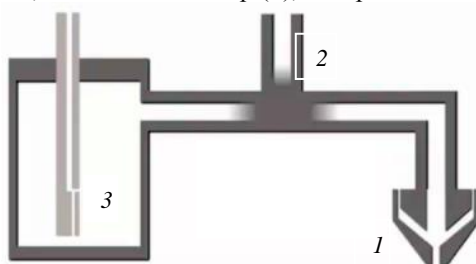


Рис. 1. Упрощенный чертеж аэрозольного принтера

В аэрозольной печати материал предварительно распыляется на мелкие капельки размером 1–2 мкм. Далее эти капельки смешиваются с газом (т.е. создается аэрозоль), подхватываются его потоком и направляются к печатающей головке. Во внешнюю часть печатающего сопла подается газ под давлением, который фокусирует струю аэрозоля в тонкий луч диаметром 10 мкм. Благодаря высокой скорости вылета аэрозольной струи печатающая головка может находиться относительно далеко от подложки, на которой ведется печать (обычно это 2–5 мм). Струя аэрозоля остается тонко сфокусированной на этом расстоянии, что дает возможность наносить материал на труднодоступные поверхности.

Таким образом, рассмотрена конструкция сопла аэрозольного принтера, с помощью которого можно оптимизировать аэрозольную печать. Дальнейшее исследование направлено на изготовление и испытание макета устройства.

ЛИТЕРАТУРА

1. Aerosol based direct-write micro-additive fabrication method for sub-mm 3D metal-dielectric structures: Scopus.com [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.scopus.com/home.uri> (дата обращения: 01.03.2021).

2. Технология 3D-печати аэрозольным напылением от Optomec позволяет создавать электронику на микронном уровне: 3dtoday.ru [Электронный ресурс]. – <https://3dtoday.ru/blogs/news3dtoday/the-3d-printing-technology-aerosol-spray-from-optomec-allows-you-to-cr/> (дата обращения: 01.03.2021).

3. Optomec получила новый патент на технологию аэрозольной 3D-печати: 3dwiki.ru [Электронный ресурс]. – <http://3dwiki.ru/optomec-poluchila-novyy-patent-na-tehnologiyu-aerozolnoj-3d-pechati/> (дата обращения: 04.03.2021).

4. Печатающее устройство аэрозольно-струйного типа: patenton.ru [Электронный ресурс]. – <https://patenton.ru/patent/SU1791153A1> (дата обращения: 05.03.2021).

5. Aerosol jet printable metal conductive inks, glass coated metal conductive inks and uv-curable dielectric inks and methods of preparing and printing the same: patents.google.com [Электронный ресурс]. – <https://patents.google.com/patent/US20140035995A1/en?q=Optomec&oq=+Optomec> (дата обращения: 05.03.2021).

УДК 628.9.03

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЙ ОБЛУЧАТЕЛЬ ДЛЯ РАЗНЫХ ВЕГЕТАЦИОННЫХ СТАДИЙ РАСТЕНИЙ

Д.Б. Тудупова, студентка каф. РЭТЭМ

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

Разработана техническая документация для интеллектуального полупроводникового облучателя для разных вегетационных стадий растений для изготовления макета и проведение исследований, а также анализа и возможного усовершенствования функционала данного облучателя.

Ключевые слова: искусственное освещение, облучатель, досветка, излучение, светодиод, спектр, освещение.

Известно, что на рост и развитие комнатных растений влияют следующие факторы: свет, воздух, тепло, вода и питательные вещества. В квартирах, как правило, газовый состав воздуха, и температура существенно не меняются в течение года. Режимы полива и добавления питательных веществ рекомендуются для каждого вида растений биологами. Освещение, или облучение, оказывает существенное влияние на растения, так как круглогодично меняется длина светового дня и существует фактор облачности, который приводит к существенному снижению облучённости, особенно в коротковолновом диапазоне оптического спектра. В настоящее время существует огромное количество различных технических решений, связанных с освещением [1].

В основном все существующие решения направлены на использование в теплицах и агрокомплексах для продуктового производства, а в бытовых условиях повсеместно применяются низкокачественные полупроводниковые облучатели производства Средней Азии без функций анализа и саморегулирования интенсивности излучения в зависимости от условий окружающей среды. Именно по этой причине разработки интеллектуального полупроводникового облучателя для разных вегетационных стадий комнатных растений для выбора оптимального спектра и интенсивности облучения с низкой себестоимостью, высоким качеством для бытового применения являются актуальными [2].

Разработка технической части интеллектуального полупроводникового облучателя для разных вегетационных стадий растений, предназначенного для улучшения роста, качества и вкуса, путем регулирования облучения на всех вегетационных стадиях: выбора оптимального спектра и интенсивности облучения.

Для достижения данной цели был проведен аналитический обзор современной научно-технической литературы, анализ комплектующих материалов, разработаны схема электрическая принципиальная и печатный узел.

Ранее были проведены исследования светотехнических, энергетических характеристик светильника и произведены подбор и разработка светодиода с нужным спектром. Установлен наилучший спектр излучения по значению ФАР $216 \text{ мкмоль/с} \cdot \text{м}^2$ и спектру излучения с максимумами в синей области оптического спектра 460 нм и в красной области оптического спектра $643,7 \text{ нм}$. Далее изготовлены макеты светодиодов в корпусе (рис. 1, а), с кристаллом Epistar ES-EABCF08Q (рис. 1, б) и люминофорной композицией Тип L-625 [3].

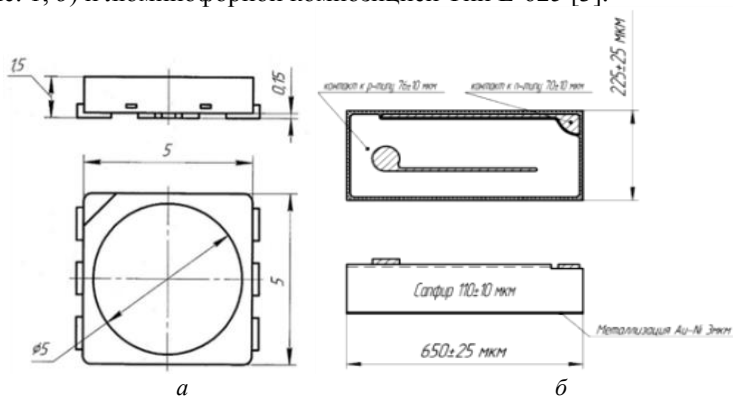


Рис. 1. Габаритный чертёж корпуса светодиода (а) и геометрия светодиодного кристалла (б)

В процессе работы был вычислен процент оптического излучения, вышедшего из кристалла, в данном случае – 1,5%. Затем был изготовлен макет светодиода.

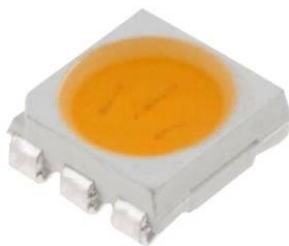


Рис. 2. Макет готового светодиода

После проверки на работоспособность были проверены все светотехнические характеристики светодиода и посчитаны для всего светильника, также рассчитаны энергетические характеристики.

Все основные технические характеристики для разрабатываемого облучателя представлены в таблице.

Технические характеристики светильника

Наименование технической характеристики	Значение
Выходное напряжение, В	6
Максимальное напряжение светодиода, В	2,7
Ток светодиода, А	0,06
Питание устройства от сети переменного тока напряжением, В, частотой, Гц	220 50
Фотосинтетическая облученность на расстоянии 10 см от источника света 150 мкмоль/м ² с	Не менее 150

Количество светодиодов также было рассчитано для разрабатываемого светильника с площадью освещения 10×10 см на высоте 20 см – 8 шт. Для обеспечения автоматического регулирования интенсивности излучения был выбран фоторезистор. Разработана схема электрическая принципиальная. Условно схема состоит из двух частей: блока питания и светодиодного модуля. Далее были подобраны все компоненты, составлен перечень элементов, разработаны печатные платы, платы питания и светодиодного модуля.

В результате работы разработана вся техническая документация для интеллектуального полупроводникового облучателя для разных вегетационных стадий растений. В дальнейшем планируется изготовление макета и проведение исследований, а также анализ и возможное совершенствование функционала данного облучателя.

ЛИТЕРАТУРА

1. Тудупова Д.Б., Оразалы Р.М., Черепнев А.И. Анализ требований к энергетическим характеристикам светодиодных светильников для садоводства // Сб. избр. статей междунар. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых «Научная сессия ТУСУР». – Томск, 2020. – Ч. 1. – С. 296–298.
2. Тудупова Д.Б., Хомяков А.Ю. Исследования светотехнических характеристик светодиодного светильника для садоводства // XV Междунар. науч.-практ. конф. «Электронные средства и системы управления», Томск, 20–22 ноября. 2019 г. – Томск: Том. гос. ун-т систем управления и радиоэлектроники, 2019. – Т. 2. – С. 14–15; 123–126.
3. Тудупова Д.Б. Светодиоды для садоводческого освещения // VIII рег. науч.-практ. конф. «Наука и практика: проектная деятельность – от идеи до внедрения – 2019», Томск, 15 октября – 30 ноября 2019 г. – Томск: Том. гос. ун-т систем управления и радиоэлектроники, 2019. – С. 183–186.

СЕКЦИЯ 3

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И СИСТЕМЫ

ПОДСЕКЦИЯ 3.1

ИНТЕГРИРОВАННЫЕ ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩИЕ СИСТЕМЫ

Председатель секции – Катаев М.Ю., проф. каф. АСУ, д.т.н.;
зам. председателя – Суханов А.Я., доцент каф. АСУ, к.т.н.

УДК 004 : 796.012

МЕТОДИКА УСТОЙЧИВОГО ВЫДЕЛЕНИЯ ФИГУРЫ ЧЕЛОВЕКА В ПРОЦЕССЕ ДВИЖЕНИЯ

А.Б. Кураков, И.В. Соловьева, Б.Р. Хайюмов, студенты каф. АСУ

Научный руководитель М.Ю. Катаев, проф., д.т.н.

г. Томск, ТУСУР, kty@asu.tusur.ru

Проект ГПО АСУ-1902 «Параметры походки человека»

Определение фигуры человека очень актуально в современном мире, с помощью правильно выделенной фигуры человека можно узнать множество данных о самом человеке – от характеристик походки до состояния его здоровья. Именно поэтому важно иметь методику устойчивого выделения фигуры человека в процессе движения.

Ключевые слова: изображения, фигура человека, морфологические преобразования, походка человека.

Походка человека определяется совокупностью множества функций организма человека, которые проявляются у каждого индивидуально. Индивидуальность человека проявляется в росте, массе тела, типе фигуры, размере ноги, мышечной массы, особенностях центральной нервной системы и т.д. С одной стороны, процесс ходьбы представляется механическим, почти автоматически регулярно проявляющимся процессом, позволяющим человеку перемещаться в пространстве при различных препятствиях.

С другой стороны, процесс перемещения человека во время ходьбы является значительно сложным, так как требует затрат ресур-

сов всего организма для поддержания равновесия и устойчивого направления движения с ориентацией в трех плоскостях. Учитывая вышесказанное, походка определяет не только способность человека ходить, но и выражать определенные характеристики в виде эмоций, состояния здоровья, характера, типа профессии.

Именно поэтому при определении параметров походки человека одной из самых важных задач является качественное выделение фигуры человека из видеопотока.

Для получения устойчивого выделения фигуры человека в процессе движения необходимо придерживаться некоторых правил как при съемке видеозаписи, так и при ее обработке. Рассмотрим условия съемки: устойчивое и яркое освещение, статичный однородный фон, камера должна иметь минимальное разрешение съемки 640×480 пикселей и частоту не менее 30 кадров в секунду, а также располагается в 3 м от построенной сцены, где движение человека происходит из одного края сцены в другой. Пример кадра из видеозаписи, удовлетворяющей всем условиям, приведён на рис. 1.



Рис. 1. Кадр из правильно снятой видеозаписи

Для получения бинарного изображения фигуры человека необходимо провести определенный ряд действий, который приведет к качественному выделению фигуры из видеопотока.

Первым важным этапом является коррекция шумов и яркости. Цифровой шум на изображении проявляется в виде случайно расположенных элементов точек, по размеру близких к размерам пикселя. Для коррекции проблем цифрового шума и разности яркости кадров зачастую используют технологию «серый мир». Данный алгоритм приводит каждый кадр из видеопотока к одинаковым условиям яркости относительно первого кадра [1].

Следующим важным этапом является удаление статичного фона, где впоследствии остаются только движущиеся объекты. Алгоритм, используемый в данной работе, называется Background Subtractor MOG2. Это алгоритм сегментации фона/переднего плана на основе

гауссовой смеси. Важная особенность этого алгоритма заключается в том, что он выбирает соответствующее число гауссовских распределений для каждого пикселя. Это обеспечивает наилучшую адаптацию к различным сценам из-за изменений освещения и т.д. [2].

Однако в разных случаях возможно обрывание цельности фигуры человека или появление мелких шумов, поэтому для восстановления цельности фигуры и удаления малых шумов используются морфологические преобразования. Главной идеей морфологической обработки является поиск на бинарном изображении необходимых объектов, которые описываются структурным элементом. В процессе обработки можно отметить или удалить искомые объекты на всем изображении [3].

В результате работы описанных выше методов и алгоритмов возможно получить бинарную маску движущегося объекта, т.е. в данном случае человека, как показано на рис. 2.



Рис. 2. Бинарное изображение движущегося человека



Рис. 3. Выделенная фигура человека

Последним этапом является обрезка полученного бинарного изображения. Для этого используется поиск контуров объектов на изображении. Контур объекта — это его видимый край ($I(x, y) = 0$ — черный фон и $I(x, y) = 255$ — белая фигура человека), который отделяет объект от фона. Найдя нужный контур, его необходимо выделить из бинарного изображения по его крайним точкам (h_{\max} , h_{\min} — по высоте и w_{\max} , w_{\min} — по ширине). Результат выделения представлен на рис. 3.

Работа выполнена при поддержке фонда содействия инноваций в рамках программы «УМНИК».

ЛИТЕРАТУРА

1. Захаров Р.К. Методы повышения качества изображений в задачах распознавания // Современные научные исследования и инновации. – 2012. – № 8 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://web.snauka.ru/issues/2012/08/16488> (дата обращения: 10.02.2020).

2. How to Use Background Subtraction Methods [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://docs.opencv.org/3.4/d1/dc5/tutorial_background_subtraction.html (дата обращения: 10.02.2020).

3. Morphological Transformations [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://docs.opencv.org/trunk/d9/d61/tutorial_py_morphological_ops.html (дата обращения: 11.02.2020).

УДК 004.932.72'1

РАЗБИЕНИЕ МОЗАИКИ ИЗОБРАЖЕНИЯ ПОЛЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ РАСТЕНИЙ

В.В. Рябухин, магистрант каф. АСУ

*Научный руководитель М.Ю. Катаев, проф. каф. АСУ, д.т.н.
г. Томск, ТУСУР, vovan.r.98@mail.ru*

Рассмотрен и разработан метод формирования мозаики поля сельскохозяйственных растений на основе параметров исходного изображения поля и камеры. Результатом работы считается полученная мозаика изображений поля с заданными размерами.

Ключевые слова: мозаика, изображение, разделение, БПЛА, параметры, сельскохозяйственные растения.

Методы обработки изображений являются важной частью в различных областях науки. Одним из важных областей считается сельское хозяйство. Чтобы провести полноразмерный анализ поля, приходится использовать беспилотный летательный аппарат (БПЛА), чтобы сократить время и средства на оценку текущего состояния всходов или урожая.

На первом этапе БПЛА пролетает по маршруту над полем и получает набор отдельных изображений с некоторым перекрытием по всем сторонам. Далее этот набор изображений «сшивается» в цельное изображение поля, мозаику. Составление мозаики является чрезвычайно важным этапом при последующей обработке, так как позволяет обратиться по отдельности к каждому пикселю поля (рис. 1).

Однако в сельском хозяйстве важными являются такие единицы измерений, как 1; 10 м² или 1 га. Поэтому необходим переход от пиксельного представления к набору блоков, каждый из которых привязан к физическим величинам измерения. Заметим, что каждый блок имеет пиксельное наполнение. Если исходное изображение поля (мозаика) содержит ($N_x \times N_y$) пикселей, то при разбиении на блоки получим ($K_x \times K_y$), и уже далее можно провести необходимые процедуры обработки, обратившись к требуемому блоку.

Целью задачи является разделение исходного изображения поля на равные по размеру блоки на основе параметров камеры и размеров полученного изображения. В качестве исходного изображения выбрано сельскохозяйственное поле, склеенное из отдельных изображений, представленное на рис. 1. Чтобы рассчитать общий размер поля W , м, по горизонтали используется формула (1);

$$W = 2 \cdot H \cdot \operatorname{tg}\left(\frac{\alpha}{2}\right), \quad (1)$$

где H – высота съёмки [м]; α – угол обзора камеры по горизонтали, град.

Учитывая полученные значения длины W всего поля можно рассчитать, сколько миллиметров поверхности R находится в одном пикселе, по формуле (2):

$$R = W/N_x, \quad (2)$$

где N – количество пикселей по горизонтали.

Для случая, приведенного на рис. 1, расчёты производятся с параметрами: высота съёмки $H = 100$ м, размер изображения $N \times M = 4986 \times 3795$ пикселей, угол обзора камеры $\alpha = 90^\circ$.



Рис. 1. Полученная мозаика с разбиением на блоки

На основе исходных данных получены результаты: ширина поля $W = 200$ м, размер поверхности в одном пикселе $K = 0,04$ м/Пх. Исходя из расчётов, вычисляется необходимый размер блока при построении мозаики. На рис. 1 представлена составленная мозаика с размерами блоков 10 м^2 . Длина и ширина одного блока составляет 249 Пх.

Полученная мозаика с размерами блоков 10 м^2 считается оптимальной для поля с исходными размерами. Так, обращаясь к требу-

тому блоку полученной матрицы ($X \times Y$), можно классифицировать блок-изображение по типам поверхности и провести анализ плодотворности урожая. Алгоритм обработки изображений, которые зафиксированы в каждом блоке, представлен на рис. 3. Для случая, показанного выше, получается матрица с размерами 15 на 20 блоков, где каждый из блоков – это отдельное изображение.

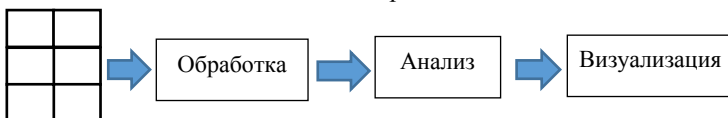


Рис. 3. Алгоритм работы с матрицей изображений

После применения алгоритма (см. рис. 3) в итоге получается новая матрица, которая состоит уже из обработанных значений, например маски зелени и почвы [4]. Подобное разбиение позволяет специалисту сельского хозяйства по своему усмотрению выбирать размер блока и получить ту или иную информацию, необходимую для получения лучшего урожая.

ЛИТЕРАТУРА

1. ArcMap. Принцип построения мозаики для набора данных мозаики [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://desktop.arcgis.com/ru/arcmap/10.3/manage-data/raster-and-images>, свободный (дата обращения: 02.03.2021).
2. CodeRoad. Разделение изображения на блоки [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://coderoad.ru/list/?page=1&sort=view&tag=python>, свободный (дата обращения: 04.03.2021).
3. DevGang. Введение в обработку изображений Python с OpenCV [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://dev-gang.ru/article/vvedenie-v-obrabotku-izobrazhenii-v-python-s-opencv-bpvt25yc6e/> <http://www.ssl.stu.neva.ru/psw/crypto.html>, свободный (дата обращения: 05.03.2021).
4. Катаев М.Ю. Методы технического зрения для картирования состояния сельскохозяйственных полей / М.Ю. Катаев, К.С. Ёлгин, И.Б. Сорокин // Доклады ТУСУР. – 2018. – Т. 21, № 4. – С. 75–80.

УДК 004.932.2

ПРИМЕНЕНИЕ ИЗОБРАЖЕНИЙ БПЛА ДЛЯ ЗАДАЧ ИЗУЧЕНИЯ РАСТЕНИЙ

И.Н. Журба, аспирант каф. АСУ

*Научный руководитель М.Ю. Катаев, проф. каф. АСУ
г. Томск, ТУСУР, zhurba.igor.n@gmail.com*

Рассматриваются современные методы, технологии и программно-аппаратные средства и их применение для задач исследования состояния земли и растений в сельском и лесном хозяйствах. описа-

ны сложности и проблемы на разных этапах оценки состояния поверхности при съемке с применением беспилотных летательных аппаратов.

Ключевые слова: обработка изображений, беспилотный летательный аппарат, классификация изображений, сельское хозяйство.

В настоящее время широкое распространение получили беспилотные летательные аппараты (БПЛА) для фотограмметрических целей. Преимущество БПЛА – их невысокая стоимость и оперативная организация полета, что делает их востребованными при обследовании больших площадей. Применение БПЛА в сфере инспекции сельскохозяйственных полей может повысить производительность труда, повысить качество продукции и снизить расходы на ручную инспекцию земель и растений. Полученные таким способом данные о состоянии земли и растений повышают качество аграрных отчетов и в целом упрощают процесс сбора и обработки статистики.

Данные, полученные в результате съемки сельскохозяйственного поля (рис. 1), подлежат фотограмметрической обработке с помощью автоматизированного программного обеспечения. В зависимости от материала, полученного с помощью БПЛА, создаются подробные трехмерные модели местности, матрицы высот, ортофотопланы, а также классифицируются разные типы почвы, растений и их состояния. Качество мониторинга сильно зависит от данных, полученных в процессе съемки.

Для достижения лучшего результата съемку рекомендуется проводить на одной высоте от поверхности земли, чтобы пиксели на полученных изображениях максимально точно соответствовали частям исследуемой поверхности (например, один пиксель изображения соответствует 1 см^2 поверхности). Высота съемки подбирается исследователем исходя из параметров камеры. Слишком маленькая высота БПЛА увеличит качество получаемых изображений, но увеличит пролетаемое БПЛА расстояние и соответственно время исследования поверхности. Слишком большая высота БПЛА, наоборот, ускорит время, затраченное на исследование поверхности, но ухудшит качество изображений.

Погодные условия, такие как дождь, сильный ветер и др. негативно влияют на полученные результаты. Инспекцию обычно рекомендуется проводить в ясную погоду в одно и то же время суток. Это повысит качество изображений поверхности после обработки, так как упрощает нахождение на изображениях лишних, не интересующих исследователя объектов, таких как тени от движущихся объектов (облака, птицы) или крыши построек.

Аппаратный фактор, влияющий на исследование поверхности, – камера, с помощью которой проводится съемка, и её характеристики.

Расширенный сельскохозяйственный анализ требует от камеры захватывать как спектральные полосы, необходимые для индексов здоровья сельскохозяйственных культур (зеленый, красный, красный и ближний инфракрасный), так и синий диапазон для более глубокого понимания специфических проблем, а также составные RGB-изображения.

Для задачи определения здоровья растений по RGB-изображениям используется аналог нормализованного вегетационного индекса Greenness.

Это числовой показатель качества и количества растительности на участке поля, который рассчитывается на основе того, как растения отражают и поглощают световые волны разной длины. На рис. 2 показана маска зелени Greenness, рассчитанная по RGB-изображению поля.



Рис. 1. Изображение сельскохозяйственных полей (частных), полученных с помощью БПЛА



Рис. 2. Маска зелени Greenness, рассчитанная по RGB-изображению поля

Имея такие маски каждый временной отрезок, необходимый для определения роста растений, например, неделя, можно искать сравнение изображений и определять тренды роста буквально для каждого сантиметра поля (зависит от высоты полета БПЛА и типа цифровой камеры).

ЛИТЕРАТУРА

1. Катаев М.Ю. Возможности космического мониторинга для целей сельского хозяйства Томской области / М.Ю. Катаев, А.А. Скугарев, И.Б. Сорокин // Доклады ТУСУР. – 2017. – Т. 20, № 3. – С. 186–190.
2. Информационная система дистанционного мониторинга Федерального агентства лесного хозяйства [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://public.aviales.ru/main_pages/public.shtml, свободный (дата обращения: 15.02.2021).

ПОДСЕКЦИЯ 3.2

РАСПРЕДЕЛЁННЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И СИСТЕМЫ

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

УДК 004.92

МЕТОДИКА ТЕКСТУРИРОВАНИЯ ТРЕХМЕРНЫХ ОБЪЕКТОВ

В.Е. Боровихин, студент каф. АОИ

*Научный руководитель Н.В. Пермякова, ст. преп. каф. АОИ, к.т.н.
г. Томск, ТУСУР, vborovich@bk.ru*

Разработана структура методики текстурирования на примере простого 3D-объекта. Описанная методика может быть полезна начинающим художникам по поверхностям.

Ключевые слова: текстурирование, компьютерная графика, текстура.

На сегодняшний день компьютерная графика используется практически во всех направлениях деятельности человека, начиная с видеоигровой индустрией, заканчивая прикладными задачами моделирования и визуализации. Основной частью компьютерной графики являются трехмерные модели объектов, которые покрываются текстурами. Это делается для того, чтобы поверхность выглядела как сложный объект, хотя на самом деле это обычно простая форма с нарисованным на ней изображением [1].

В общем случае процесс создания текстур для определенного трехмерного объекта называется текстурированием. Перед человеком, занимающимся текстурированием, стоит задача создать высокореалистичный набор текстур, который впоследствии можно будет наложить на трехмерный объект. Для решения данной задачи ему предстоит проделать определенный ряд действий.

Целью данной работы является определение методики текстурирования на примере текстурирования простого объекта, следуя которой, можно получить требуемый результат.

В качестве программного средства для текстурирования был выбран Substance Painter. Так как данный инструмент принят за стандарт

в вопросах наложения текстур, его повсеместно используют в игровой индустрии, индустрии кино и при визуализации.

Перед началом текстурирования требуется подготовленная трехмерная модель, в данном случае это модель деревянного ящика (рис. 1). Внутри файла модели содержится UV-карта, которая отвечает за то, как будет проецироваться двухмерная текстура на трехмерный объект. Это крайне важный момент, так как плохо сделанная UV-карта повлечет за собой множество проблем в процессе текстурирования.

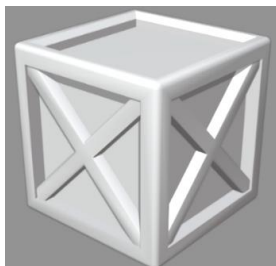


Рис. 1. Подготовленная модель деревянного ящика

Перед началом текстурирования требуется подготовить ряд вспомогательных изображений, референсы. На них следует ориентироваться по ходу работы.

Первым шагом при текстурировании идет наложение базового материала. Простые объекты зачастую состоят из одного базового материала, например дерева. В свою очередь, сложные объекты могут включать в себя несколько базовых материалов.

Далее вся работа сводится к наложению на объект дополнительных слоев, которые добавляют различные детали. Всего существует два основных типа слоев:

1) слои заливки с масками прозрачности (слоями, регулирующими прозрачность) и генераторами (автоматическими правилами наложения), для добавления различных деталей;

2) слои с возможностью рисования кистью, для добавления различных деталей.

Далее нужный результат достигается наложением необходимого количества слоев (рис. 2).

В результате текстурирования формируется набор текстур, зачастую он состоит из следующих файлов:

- 1) текстура с базовым цветом имеет три канала данных на пиксель;
- 2) normal map. Отвечает за то, как свет может искажаться на пикселе, создавая мнимую глубину или изгиб;

3) текстура с тремя каналами для дополнительной информации, зачастую используют стандартный набор из *metallic*, *roughness*, *height*.



Рис. 2. Ящик с готовыми текстурами

Указанные выше дополнительные параметры являются частью PBR (Physically Based Rendering) — это основанный на физике рендер текстур. То есть это набор параметров, управляя которыми, можно заставить текстуру выглядеть кинематографично [2].

Таким образом, после проделанной работы можно определить методику процесса. Если все сводить к отдельным пунктам, то методика текстурирования включает следующее:

- 1) подготовка трехмерной модели, UV-карты;
- 2) подготовка референсов;
- 3) наложение стандартных материалов на модель;
- 4) создание дополнительных слоев заливки с масками и генераторами для добавления деталей;
- 5) создание слоев с возможностью рисования кистью для добавления деталей;
- 6) повторение 4-го и 5-го пунктов пока результат не будет устраивать;
- 7) экспортирование готовых текстур в требуемом формате.

Данная методика пригодится новичкам в изучении процесса текстурирования трехмерных моделей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Фоснер Рон (январь 1999 г.). DirectX 6.0 набирает обороты с множеством новых функций и гораздо более быстрым кодом // Технический журнал Microsoft systems journal [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <https://web.archive.org/web/20161031110040/http://www.microsoft.com/msj/0199/direct3d/direct3d.aspx> (дата обращения: 01.03.2021).

2. Руководство по PBR // 3dyuriki.com [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <https://3dyuriki.com/2015/02/26/что-такое-pbr-fizicheski-korrektnyj-rendering-i-shejding/> (дата обращения: 01.03.2021).

ПОДХОД К МОНИТОРИНГУ КАЧЕСТВА ДОСТАВКИ ПОТОКОВОГО ВИДЕО

И.А. Ермаков, студент каф. АОИ

*Научный руководитель А.А. Сидоров, доцент, зав. каф. АОИ, к.э.н.
г. Томск, ТУСУР, mjd2012@mail.ru*

Произведен анализ существующих подходов в смежных областях, их применимости для данной области, анализ данных, которыми оперирует разрабатываемая система, производится описание самой системы и анализ баз данных, наиболее подходящих для нее.

Ключевые слова: качество доставки, QoS, качество восприятия, QoE, потоковое видео, система мониторинга, метрики.

Развитие интернета и технологий привело к появлению потокового видео. При доставке такого видео до конечных пользователей может проявиться обширный ряд проблем. Из-за разнообразия проблем при появлении последней её обнаружение может занять длительное время. Для решения проблемы обнаружения аварий необходимо создание системы мониторинга.

Системы мониторинга в последние годы широко используются. Но, несмотря на их развитие, большинство статей, как, например [1–6], описывают только методики оценки конкретных параметров или концепцию качества видео в общем. Статьи о метриках программных комплексов встречаются чаще, например, [7–10], но подход для них может не подойти для предметной области оценки качества доставки видео из-за особенностей последнего.

Таким образом, можно сделать вывод, что в данной предметной области присутствует неопределенность и, чтобы ее устранить, необходимо проведение дополнительных исследований.

Концепция систем мониторинга. Система мониторинга чаще всего представляет собой отдельный сервер с базой данных, который или собирает данные с частей системы, например, через программный интерфейс приложения, либо части системы самостоятельно отсылают метрики.

Для хранения метрик наиболее часто используется база данных временных рядов. Обоснованием использования именно такого типа баз данных является то, что метрики представляют собой какую-либо информацию, получаемую системой в какой-либо момент времени, что образует связку, под которую оптимизирована используемая база данных.

Исходя из описания концепции систем мониторинга, можно сделать вывод, что наилучшей стратегией будет являться расположение

сервера с базой данных и зонда, собирающего и отсылающего метрики, отдельно ввиду ресурсоемких операций скачивания, декодирования и анализа, выполняемых последним.

Метрики качества доставки видео. Характеристики качества видео, доставляемого по сети, делятся на две группы: качество обслуживания (QoS) и качество восприятия (QoE).

QoS является измерением общего качества услуги на основе различных параметров. Аспектами QoS в контексте телекоммуникации могут являться: потеря пакетов, скорость передачи, задержка передачи и доступность. Аспектами QoS в контексте передачи видео могут являться: статистика буфера и ошибки декодирования.

QoE измеряет удовлетворение или недовольство конечного пользователя услугой. Аспектами QoE могут являться время успешности старта видео, ребуферизации, замирания картинки и количество артефактов. Кроме того, услугой является именно поставка видео, т.е. не рассматривается субъективная оценка того, как было снято видео, нравится ли пользователю данная категория видео, доволен ли он подбором актеров и т.д.

Описанные характеристики качества доставки видео можно представить в виде метрик. Но, в отличие от метрик программных комплексов, для того чтобы обнаружить причину ошибки, им необходимо значительное количество дополнительной информации. Размер одной такой дополнительной информации для одного потока может достигать нескольких мегабайтов, меняющихся каждые несколько секунд, что является большой нагрузкой на всю систему мониторинга.

СУБД для системы мониторинга. Для хранения метрик разрабатываемой системы мониторинга следует рассмотреть как реляционные СУБД, так и специализированные нереляционные СУБД временных рядов. Причем реляционные СУБД строкового типа и колоночно-го должны рассматриваться отдельно.

Для хранения метрик в СУБД строкового типа для повышения их эффективности к ним добавляется специальный плагин, оптимизирующий операции над временными рядами. Одним из таких плагинов, который значительно увеличивает пропускную способность [11], является TimescaleDB, используемый поверх одной из самых используемых реляционных СУБД строкового типа PostgreSQL.

Другим вариантом использования реляционной СУБД для хранения, обработки и анализа временных рядов могут быть реляционные СУБД столбцового типа. Они не требуют каких-либо плагинов и изначально спроектированы для данных, схожих с временными рядами, и аналитических запросов. Одними из наиболее популярных и ис-

пользуемых реляционными СУБД столбцового типа являются Clickhouse и Vertica [12].

Специализированные нереляционные СУБД временных рядов имеют встроенные функции трансформации и агрегирования данных, оптимизицию операций под конкретный тип данных, в том числе операции над «окном» – анализ части данных, принадлежащих определенному временному промежутку.

Наиболее популярными и используемыми СУБД такого типа являются InfluxDB, Kdb+ и Prometheus [12]. Несмотря на общий класс СУБД, каждая из них имеет ещё более узкое предназначение, которое описано даже в их документации, несмотря на конкуренцию продуктов, как, например, в [13], и характеристики производительности, которые сильно зависят от входных данных.

Исходя из анализа СУБД временных рядов, можно сделать вывод, что выбрать определенную можно только проведя тестирование производительности на основании тестового набора метрик, наиболее близко схожих с метриками, используемыми в дальнейшей в разрабатываемой системе.

Заключение. Проведенное исследование показало, что подход к созданию системы мониторинга доставки видео в общих чертах схож с подходом создания системы мониторинга программных комплексов. И в последующих исследованиях допустимо отталкиваться от научных работ, описывающих их. Был приведен список архитектурных компонентов системы мониторинга качества доставки видео и описаны отличия этой системы от общей концепции. В ходе анализа СУБД для системы мониторинга качества видео был сделан вывод о наиболее подходящих их типах для данной системы, из которых впоследствии необходимо выбрать, исходя из их тестирования, на основе заранее подготовленного тестовый набор метрик и данных, которыми будет оперировать данная система. А сам анализ должен основываться не только на характеристиках производительности СУБД, но и на смежных инструментах, с которыми она совместима, призванных оптимизировать разработку.

ЛИТЕРАТУРА

1. Деарт В.Ю., Кожухов И.С. Исследование параметров качества обслуживания (QoS), определяющих качество восприятия пользователем (QoE) потокового видео при передаче через интернет // Т-COMM: телекоммуникации и транспорт. – 2013. – № 7. – С. 28–31.
2. Иванов Ю.А., Лукьянцев С.А. Методика оценки качества декодирования видео стандарта H.264/AVC/SVC в беспроводных сетях // Электротехнические и информационные комплексы и системы. – 2009. – № 4. – С. 35–47.

3. Шелухин О.И., Иванов Ю.А. Оценка качества передачи потокового видео в телекоммуникационных сетях с помощью программно-аппаратных средств // Электротехнические и информационные комплексы и системы. – 2009. – № 4. – С. 48–56.

4. Чунаев А.В., Абилов А.В., Нистюк А.И. Влияние характеристик передачи потоковых данных на качество видео в WLAN // T-COMM: телекоммуникации и транспорт. – 2012. – № 7. – С. 219–224.

5. Wang Y. Survey of Objective Video Quality Measurements. – 2006.

6. Ries M., Nemethova O. Video Quality Estimation for Mobile H. 264/AVC Video Streaming. – 2008.

7. Habr: Prometheus и VictoriaMetrics: отказоустойчивая инфраструктура для хранения метрик [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://habr.com/ru/company/miro/blog/531880/> (дата обращения: 03.01.2021).

8. Habr: Программный код и его метрики [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://habr.com/ru/company/intel/blog/106082/> (дата обращения: 03.01.2021).

9. Habr: Хранение метрик: как мы перешли с Graphite+Whisper на Graphite+ClickHouse [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://habr.com/ru/company/avito/blog/343928/> (дата обращения: 05.01.2021).

10. Habr: Мониторинг сервисов с Prometheus [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://habr.com/ru/company/selectel/blog/275803/> (дата обращения: 03.01.2021).

11. TimescaleDB: Why Use TimescaleDB over Relational DBs? [Электронный ресурс]. Пер. с англ. – Режим доступа: <https://docs.timescale.com/latest/introduction/timescaledb-vs-postgres> (дата обращения: 05.01.2021).

12. DB-Engines Ranking [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://db-engines.com/en/ranking> (дата обращения: 05.01.2021).

13. Prometheus docs: comparison to alternatives [Электронный ресурс]: пер. с англ. – Режим доступа: <https://prometheus.io/docs/introduction/comparison/> (дата обращения: 05.01.2021).

УДК 004.934

РЕЧЕВОЙ КОРПУС ДЛЯ СИСТЕМЫ ОБРАБОТКИ РЕЧЕВЫХ СИГНАЛОВ

И.В. Ковалев, В.И. Федосеев, студенты каф. КИБЭВС

Научный руководитель А.А. Конев, доцент каф. КИБЭВС, к.т.н.

г. Томск, ТУСУР, neunix@yandex.ru

Проект ГПО КИБЭВС-1910 «Речевые технологии»

Рассматривается база данных, состоящая из речевого корпуса, содержащего речевые сигналы, а также их подробное описание и характеристики авторов, и 2 таблиц с фильтрами и обработанными сигналами. Она служит референтной моделью при определении параметров различных звуковых сигналов и аккумулирует информа-

цию, позволяя более точно распознавать входящие данные. С помощью кода, взаимодействующего с СУБД, данная база будет использоваться в программном комплексе для исследований преобразования речи в текст.

Ключевые слова: речевые технологии, речевой корпус, речевые сигналы, база данных.

Целью данного проекта является актуализация базы данных с последующей разработкой кода, выполняющего запросы в базу для речевого комплекса.

Данный речевой корпус является переработкой старого проекта [1], для него была создана новая структура и выбрана новая СУБД для более удобной работы, но данные остались прежними.

Речевые технологии распознают, анализируют и синтезируют голос человека. Имитация речи, восприятие смысла фраз, конвертация речи в текст, работа с голосом как с биометрической характеристикой – все это разные типы речевых технологий. Этот раздел компьютерной науки считается одним из сложнейших, поскольку находится на стыке нескольких комплексных дисциплин: лингвистики, математики и программирования.

При разработке речевого корпуса был учтен опыт других проектов [2], а также описаний характеристик речевых баз данных [3].

Речевой корпус состоит из таблицы с WAV-файлами и множества таблиц с описанием параметров голоса диктора, помех, дефектов записи, полной сегментацией записей и проч. Структура речевого корпуса показана на рис. 1.

На данный момент в корпусе содержится около 6000 записей 190 различных авторов продолжительностью от 1 до не более чем 20 с.

Таблица с фильтрами содержит файлы с разными настройками для распределения частот WAV-файлов по каналам. Таблица же обработанных сигналов состоит из файлов, уже обработанных комплексом: сегментированные сигналы, сигналы с указанными вокализованными участками и другие файлы.

База данных вместе с ядром корпуса развернута на сервере для того, чтобы не приходилось копировать базу данных на каждый компьютер работающих с ним людей.

Для того, чтобы приложение корректно взаимодействовало с базой данных, необходимо было подготовить некоторое количество запросов. Их можно разбить на следующие категории:

1. Запросы на добавление, удаление или изменение данных ключевых таблиц. Со временем проведения работы по накоплению языкового материала количество дикторов, наговариваемых ими текстов,

записываемых файлов, извлекаемых из этих файлов звуковых единиц и данных о их разделении будет постоянно расти. Процедуры по занесению всей этой информации в базу производятся преимущественно вручную. Поэтому необходимо обеспечить наличие запросов, исполняющих данные процедуры.

2. Запросы на выборку данных из какой-либо таблицы по идентификатору или другому признаку. В качестве результата выборка возвращает одну, как в случае с идентификатором, или несколько строк, если фильтром служит другой параметр.

3. Запросы, используемые в вычислениях. Данная категория включает в себя запросы, выводящие специфическую информацию, необходимую прежде всего для программной части проекта. Запросы данной категории будут выполняться пользователем не напрямую, и информация из них также будет представлена не в исходном виде.

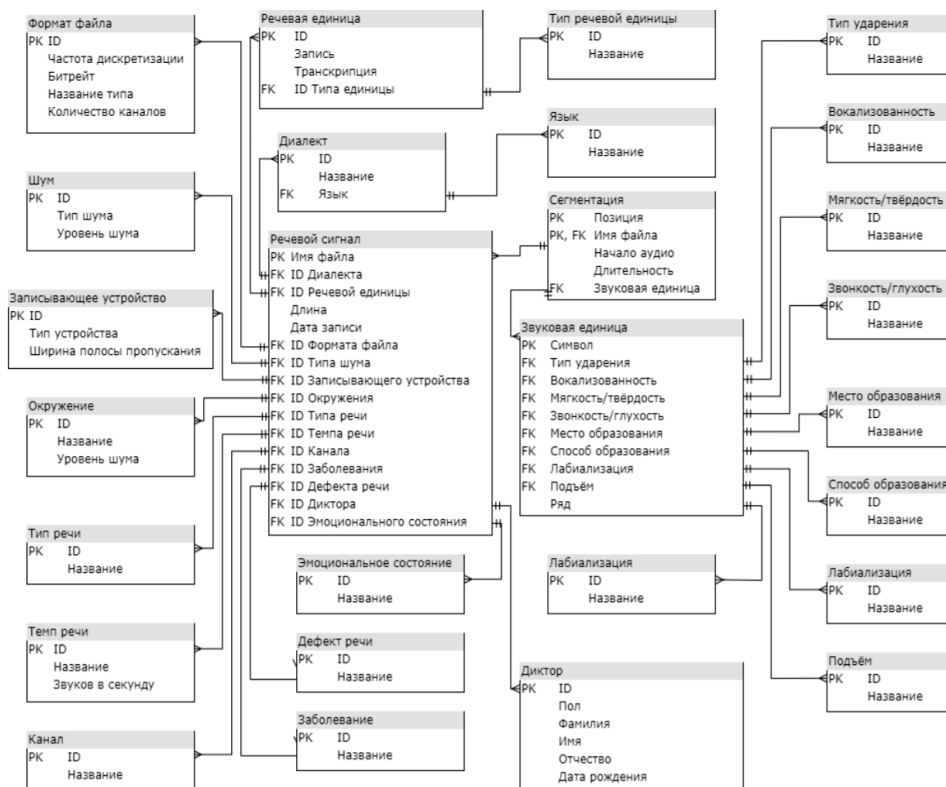


Рис. 1. Реляционная модель речевого корпуса

Результаты: была переработана структура речевого корпуса и написан код взаимодействия с базой через СУБД PostgreSQL.

В дальнейшем планируется расширение корпуса, но только после завершения разработки и отладки комплекса обработки речевых сигналов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Конев А.А., Шумская О.О. Речевой корпус для систем анализа и распознавания речи [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=39294524> (дата обращения: 18.11.2019).

2. British English SpeechDat(II) FDB-4000 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://catalogue.elra.info/en-us/repository/browse/ELRA-S0097/> (дата обращения: 15.02.2020).

3. Щекочихин О.В., Черкасова Н.В. Речевые базы данных для систем распознавания диктора // Вопросы защиты информации. – 2011. – № 4 (95). – С. 27–32.

УДК 004.032.26

КЛАССИФИКАЦИЯ НАМЕРЕНИЙ АБИТУРИЕНТОВ И ГЕНЕРАЦИЯ ШАБЛОННЫХ ОТВЕТОВ НА ОСНОВЕ НЕЙРОСЕТЕВОЙ МОДЕЛИ – ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ **Ю.П. Ехлаков, проф. каф. АОИ; Г.М. Гелисханов, студент**

г. Томск, ТУСУР, каф. АОИ office@tusur.ru

Предлагается постановка задачи классификации вопросов абитуриентов через Web-сервис «Абитуриент» Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники (ТУСУР) и генерации шаблонных ответов на основе нейросетевой модели. Описан иерархический классификатор вопросов, выделены два варианта ответов: «шаблонные ответы» и «индивидуальные ответы», формируемые специалистом службы поддержки.

Ключевые слова: новый набор, нейросетевая модель, обработка естественного языка, классификация намерений, шаблонные ответы.

Одним из важных вопросов проведения нового набора (приёмной комиссии) является организация интерактивного взаимодействия абитуриентов с представителями приёмной комиссии через Web-сервисы «Кабинет ТУСУР», «Приём» и «Абитуриент» ТУСУРа. Качество и своевременное реагирование на вопросы абитуриентов повышают его конкурентоспособность как образовательного учреждения. Задача по обработке вопросов, представленных, как правило, в неструктурированной текстовой форме, и их семантического анализа возлагается на специалистов службы поддержки. При постоянном росте количества вопросов остро встает вопрос оперативного реагирования за счет ко-

личественного увеличения числа сотрудников службы поддержки. Решением этой проблемы является автоматизация процессов взаимодействия абитуриентов и службы поддержки за счет распознавания и выделения сущностей из неструктурированных вопросов абитуриентов на основе нейросетевой модели классификации намерений и генерации шаблонных ответов роботом.

Для решения подобных задач используются NLP (Natural Language Processing) технологии [1] как подобласть лингвистики, компьютерных наук, информационной инженерии и искусственного интеллекта, взаимодействующая с компьютерами и естественными человеческими языками. Согласно источникам [2, 3], задача классификации намерений и извлечения сущностей с помощью математического аппарата нейронных сетей заключается в выделении семантики текста пользователей на естественном языке, извлечении намерений и распределений их по заданным классам. Для классификации намерений, согласно [4], применяются различные типы нейронных сетей: перцептрон, сверточные нейронные сети, рекуррентные нейронные сети и т.д. В данной работе для решения поставленной задачи будет использована нейросетевая модель на основе системы переходов, описанная в [5], позволяющая в рамках одной модели обрабатывать множество типов пользовательских запросов и при этом выделять в текстах ключевые семантические фразы.

Для описания структуры шаблонных ответов предлагается использовать три вида лексических конструкций (ЛК), предложенных в источнике [6]: целевые ЛК, выделяемые круглыми скобками, ключевые ЛК – треугольными скобками, альтернативные ЛК – квадратными скобками. В этом случае структура шаблона может быть представлена в следующем виде:

[фраза: приветствие]. (Предложение: ответ на вопрос) <ответ: ответ на вопрос> [ссылка: ссылка, на уточняющую информацию]. [фраза: прощание].

Первым этапом адаптации нейросетевой модели является предварительная обработка вопросов абитуриентов и разработка классификатора намерений. На рис. 1 представлен иерархический классификатор, сформированный на основе анализа вопросов абитуриентов к АИС «Кабинет ТУСУР», АИС «Абитуриент» и АИС «Приём» ТУСУРа.

В процессе анализа вопросов абитуриентов по вопросам до зачисления был выделен 21 тип намерений, по вопросам после зачисления – 5 типов намерений, по вопросам использования Web-сервиса «Абитуриент» – 5 типов намерений, по вопросам использования Web-сервиса «Приём» – 9 типов намерений и по вопросам использования Web-сервиса «Кабинет ТУСУР» – 4 типа намерений.

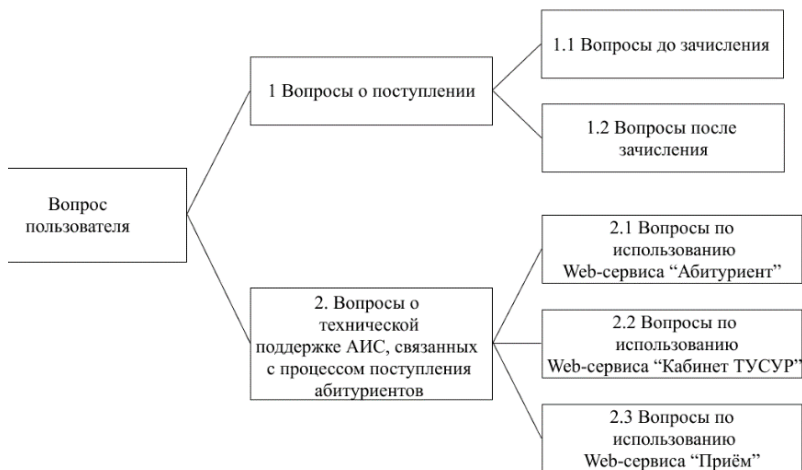


Рис. 1. Классификатор намерений

Ниже приводится описание фрагментов классификатора.

Вопросы до зачисления:

1. Требования.
2. Необходимые документы.
3. Вступительные испытания:
 - 3.1. Результаты вступительных испытаний.
 - 3.2. Результаты олимпиад.

...

11. Неопознанные вопросы.

Вопросы по использованию Web-сервиса «Абитуриент»:

1. Запись на мероприятия:
 - 1.1. Вступительные испытания.
- ...
2. Календарь абитуриента.
3. Неопознанные вопросы.

Вопросы по использованию Web-сервиса «Кабинет ТУСУР»:

1. Платежи:
 - 1.1. Приём платежей.
 - 1.2. Сведения о выплатах.
2. Проблемы с доступом к Wi-Fi.
3. Неопознанные вопросы.

Вопросы после зачисления:

1. Организация учебного процесса:
 - 1.1. Вопросы о зачислении в группу.
 - 1.2. Вопросы о расписании.
- ...
2. Неопознанные вопросы.

Вопросы по использованию Web-сервиса «Приём»:

1. Кабинет абитуриента:
 - 1.1. Заявление.
 - ...
 - 1.8. Дистанционные экзамены.
2. Неопознанные вопросы.

Ниже приведены примеры вопросов абитуриентов, их классификация и ответы, соответствующие шаблону.

Вопрос «Где я могу посмотреть свои результаты олимпиад?» возможно отнести к классу: Вопросы до зачисления: 3.2. Результаты олимпиад.

Ответ: «Здравствуйте! Для того, чтобы посмотреть результаты олимпиад, необходимо перейти по ссылке (ссылка на результаты олимпиад абитуриента). С уважением, служба поддержки ТУСУР».

Вопрос «Здравствуйте, где я могу увидеть свое расписание?» возможно отнести к классу: Вопросы после зачисления: 1.2. Вопросы о расписании.

Ответ: «Здравствуйте! Для того, чтобы ознакомиться с вашим расписанием, необходимо перейти по ссылке (ссылка, содержащая информацию о расписании абитуриента). С уважением, служба поддержки ТУСУР».

Вопрос «Добрый день! Где на сайте я могу посмотреть даты вступительных испытаний, если у меня нет ЕГЭ?» возможно отнести к классу: Вопросы по использованию Web-сервиса «Абитуриент»: 2. Календарь абитуриента.

Ответ: «Здравствуйте! Для того чтобы ознакомиться с необходимыми вам датами проведения вступительных испытаний, проводимых университетом, необходимо настроить фильтры в правом верхнем углу по ссылке (ссылка на календарный график абитуриента). С уважением, служба поддержки ТУСУР».

Таким образом, имея на входе текст, обученная нейронная сеть позволит извлечь намерения из текста вопроса, отнести его к соответствующему основанию классификатора намерений, в зависимости от результата робот формирует по шаблону вариант ответа и отправляет его на согласование сотруднику службы поддержки. Если вопрос не опознан, он перенаправляется в службу поддержки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Обработка естественного языка // Платформа публикации статей Medium [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://medium.com/devschacht/natural-language-processing-for-node-js-da990c7dd886> (дата обращения: 16.02.2021).

2. Ravuri S., Stockle A. Recurrent Neural Network and LSTM Models for Lexical Utterance Classification [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.microsoft.com/en-us/research/wp-content/uploads/2016/02/RNNLM_addressee.pdf (дата обращения: 24.02.2021).

3. Intent Classification [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://monkeylearn.com/blog/intent-classification> (дата обращения: 26.02.2021).

4. Ravuri S., Stockle A. A comparative study of neural network models for lexical intent classification [Электронный ресурс]. – Режим доступа:

https://www.researchgate.net/publication/296112824_A_Comparative_Study_of_Neural_Network_Models_for_Lexical_Intent_Classification (дата обращения: 27.02.2021).

5. Грибков Е.И., Ехлаков Ю.П. Нейросетевая модель для обработки запросов пользователей на этапе эксплуатации и сопровождения программного продукта // Бизнес-информатика. – 2020 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://bijournal.hse.ru/2020--1%20Vol.14/354710836.html> (дата обращения: 01.03.2021).

6. Ехлаков Ю.П., Малаховская Е.К. Шаблоны проектирования содержания коммуникационного сообщения для продвижения программных продуктов на корпоративный рынок // Работа в рамках Государственного задания Министерства образования и науки РФ, проект № 8.8184.2017/8.9.

УДК 338.23

РАЗРАБОТКА РАБОЧЕГО МЕСТА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕХАНИЗМОВ СТП-ИСС

*А.С. Максютин, М.А. Кирилкин, студенты Красноярского СибГУ;
И.О. Осипов, Д.В. Ивлеников, инженеры Железнодорожного АО ИСС*

*Научный руководитель Д.В. Дымов
г. Красноярск, Ellis1998@yandex.ru*

Представлена технология высокоскоростной передачи данных на бортовом оборудовании космических аппаратов – SpaceWire. Рассмотрен транспортный протокол СТП-ИСС, который может обеспечивать высокую степень надежности передачи. Представлено разработанное рабочее место для исследования механизмов СТП-ИСС.

Ключевые слова: бортовая аппаратура, космические аппараты, транспортные протоколы, надежность, помехоустойчивость.

На сегодняшний день одной из основных тенденций в области аэрокосмической техники является унификация и стандартизация оборудования и интерфейсов космического бортового оборудования (КБО). Важнейшей задачей любого КБО является надежная передача информации с обеспечением требуемой отказо- и помехоустойчивости.

Одной из технологий, обеспечивающих высокие показатели надежности, высокой скорости передачи данных, является SpaceWire. Однако следует сказать, что технология SpaceWire охватывает три нижних уровня модели OSI и не специфицирует транспортный уровень. Поэтому существует ряд протоколов транспортного уровня, разработанных специально для работы поверх SpaceWire [1].

В семействе транспортных протоколов SpaceWire до определенного момента не было российского протокола с открытой архитекту-

рой, который обеспечивал бы надежную передачу данных. В связи с этим в АО «Информационные спутниковые системы» им. академика М.Ф. Решетнева совместно со специалистами Санкт-Петербургского университета аэрокосмического приборостроения был разработан транспортный протокол СТП-ИСС. Протокол выполняет функции транспортного уровня и определяет информационно-логическое взаимодействие, регламентирует правила передачи сообщений и форматы передаваемых данных между абонентами бортовой сети SpaceWire [2].

СТП-ИСС прошел полный цикл экспериментальной отработки и опытную эксплуатацию в составе экспериментальной полезной нагрузки микроспутника «НОРБИ». Также в АО «ИСС» при участии студентов СибГУ им. Решетнева было разработано рабочее место для исследования передачи информации с использованием механизмов СТП-ИСС.

В ходе работы КА на линии передачи информации могут воздействовать различного рода помехи. Также в зависимости от загруженности каналов передача данных с одного узла на другой может занимать достаточно много времени. В связи с этим ставились следующие задачи:

1. Исследование гарантированной передачи сообщений путём повторной отправки пакета в условиях воздействия различных помех.
2. Передача сообщений по оптимальному пути с точки зрения времени передачи.

На рис. 1 приведена схема рабочего места для исследования механизмов СТП-ИСС.

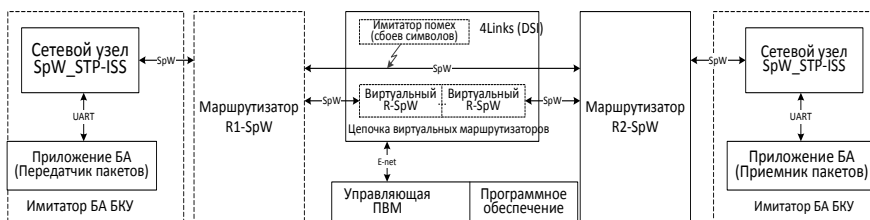


Рис. 1. Схема рабочего места для исследования механизмов СТП-ИСС

В составе модели бортовой сети использовались следующие структурные узлы:

1. Две платы для летных испытаний протокола СТП-ИСС в составе микроспутника «НОРБИ».
2. Два управляемых коммутатора (маршрутизатора) сети SpaceWire.
3. 4Links Diagnostic SpaceWire Interface (DSI). Запрограммирован как устройство для создания «шумов» и задержек.

DSI управляется при помощи ПК через Ethernet. Устройство позволяет принимать, обрабатывать, передавать пакеты SpaceWire. В рамках первой поставленной задачи DSI был запрограммирован принимать и отправлять пакеты данных, воздействуя на коэффициент битовых ошибок. В рамках второй поставленной задачи DSI использовался для имитации временных задержек. Устройство моделировало загрузку фрагмента сети, увеличивая время передачи данных.

Передача данных с повышенной помехоустойчивостью достигалась при помощи многократных повторных отправок одного и того же пакета до тех пор, пока не будет получен пакет подтверждения о корректной доставке или не истечет таймер времени жизни пакета. Такие механизмы реализуются в СТП-ИСС. То есть если в ходе передачи пакета DSI, стоящий в разрыве между передатчиком и приемником, искажал данные, то на приемник приходил искаженный пакет. Приемник сообщал о получении искаженного пакета на уровень приложения и не отправлял пакет подтверждения на передатчик, после чего срабатывал таймер повторной отправки и с передатчика отправлялся тот же самый пакет, что и ранее. Время жизни пакета выбиралось кратным значению таймера повторной отправки, благодаря чему условно можно говорить о простом увеличении числа повторных отправок пакета до тех пор, пока он не будет успешно доставлен или не истечет таймер времени жизни. В случае такой успешной доставки передача продолжалась в штатном режиме.

Чтобы обеспечить передачу данных с наименьшей задержкой, было принято решение сначала измерить задержку каждого пути пакетом данных минимального размера, что аналогично ring в сети Ethernet. После определения пути с наименьшей задержкой формировался целевой пакет с большим объемом данных и отправлялся по вычисленному пути.

В ходе данной работы была реализована передача данных с повышенной помехоустойчивостью, а также разработан алгоритм нахождения оптимального пути, с точки зрения времени передачи, за счет сервиса гарантированной доставки данных транспортного протокола СТП-ИСС.

ЛИТЕРАТУРА

1. Технология SpaceWire для параллельных систем и бортовых распределительных комплексов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.electronics.ru/journal/article/759> (дата обращения: 14.03.2020).

2. Разработка, анализ и проектирование транспортного протокола СТП-ИСС для бортовых космических сетей SpaceWire [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://journal-niss.ru/journal/archive/16/paper3.pdf> (дата обращения: 14.03.2020).

**МЕТОД ПОСТРОЕНИЯ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ТРАЕКТОРИЙ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДАННЫХ
О РАСПРЕДЕЛЕНИИ ВНИМАНИЯ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ**

И.О. Мурашов, магистрант каф. АОИ

*Научный руководитель И.А. Кречетов, зав. ЛИСМО НУ ИИ
г. Томск, ТУСУР, iom10@yandex.ru*

В настоящее время стремительно набирает популярность электронное обучение. Одним из наиболее актуальных направлений отрасли является адаптация образовательного процесса под конкретного обучающегося путем построения индивидуальных образовательных траекторий (ИОТ) – последовательностей предъявления учебного материала, наиболее релевантного для конкретного обучающегося. Представлен метод построения ИОТ с использованием информации о распределении внимания студента при работе с текстовым учебным контентом. Предполагается, что привнесение метода в существующий арсенал систем адаптации учебного контента позволит улучшить результативность электронного обучения с применением адаптивных технологий.

Ключевые слова: электронное обучение, адаптивное обучение, индивидуальная образовательная траектория, измерение распределения внимания, эвристический метод, искусственная нейронная сеть.

Актуальность научно-исследовательской деятельности в направлении развития технологий адаптации обучения обусловлена перспективами развития электронного обучения при тенденции к индивидуализации образовательного процесса. Учеными установлено [1], что индивидуализация подачи учебного материала приводит к улучшению успеваемости обучающихся.

Целью работы является разработка метода построения ИОТ, ориентированного на улучшение результативности электронного обучения с применением адаптивных технологий.

Объектом исследования является образовательный процесс в системе электронного обучения. Предметом исследования является зависимость успеваемости обучающегося от распределения его внимания во время ознакомления с текстовым учебным материалом.

В основе технологии адаптивного обучения, как принято считать [2], лежат понятия модели студента и модели учебного контента. Модель студента содержит характеристики обучающегося, такие как текущая успеваемость, полученные умения и навыки, личные приоритеты в учебе и др. Модель учебного контента представляет весь образовательный материал в виде множества декомпозированных модулей,

изучение каждого из которых развивает у студента некоторые отдельные компетенции. Задача системы адаптивного обучения – опираясь на текущее состояние модели студента, предъявить элементы модели учебного контента в такой последовательности (ИОТ), которая приведет к наилучшей результативности всего образовательного процесса. От подробности и всесторонности модели студента зависит, среди прочих условий, качество построения ИОТ, поэтому важно привнесение в модель новых характеристик обучающегося.

Предлагаемый метод основывается на гипотезе о том, что распределение внимания студента при работе с текстовым учебным материалом оказывает влияние на его успеваемость по результатам контроля знаний, проводимого после предъявления этого материала. Формально под распределением внимания понимается вектор, компоненты которого равны долям внимания, уделяемого студентом соответствующим фрагментам текста, а число компонент этого вектора равно их количеству. Определим аналогичный вектор, содержащий набор величин, отражающих оценки студента после прохождения элементов контроля знаний, соответствующих изученному учебному материалу.

Для решения задачи выявления зависимости между этими данными предлагается применение искусственной нейронной сети (ИНС). Такой выбор подкреплен одним из основных достоинств ИНС – способности находить сложные зависимости между входными и выходными данными. Так, в качестве входных данных ИНС предлагается использовать вектор значений распределения внимания студента, а в качестве выходных – вектор значений оценок. Процесс обретения ИНС способности к нахождению искомых зависимостей называется обучением, для реализации которого необходима обучающая выборка. По результатам обучения ИНС способна фактически прогнозировать успеваемость обучающегося на основании информации о распределении его внимания при работе с текстовым учебным контентом. Наличие этих данных позволит построить ИОТ, состоящую из обучающих модулей, выстроенных в порядке убывания соответствующих им значений спрогнозированной успеваемости.

Эксперимент. Для реализации предложенного метода построения ИОТ в качестве платформы проведения экспериментального образовательного процесса была использована система дистанционного обучения (СДО) Moodle, установленная на локальный веб-сервер. В рамках данной СДО алгоритмически были созданы учетные записи 10 тыс. обучающихся, а также электронный курс, содержащий текстовый лекционный материал и набор из 5 элементов контроля знаний –

тестовых заданий. Алгоритмически, с применением языков PHP и JavaScript, была сгенерирована история обучения на данном курсе указанного множества экспериментальных обучающихся. Полученные данные были использованы в качестве выборки для обучения ИНС (реализация которой была выполнена на языке Python с применением библиотеки Keras).

В завершение эксперимента была вручную создана новая учетная запись студента, после чего была проделана программная имитация ознакомления этого студента с лекционным материалом в рамках ранее упомянутого электронного курса. Специально разработанный программный модуль для СДО Moodle выполнил обработку данных, полученных по результатам запроса к ИНС, и выстроил тестовые задания в электронном курсе для данного студента в порядке убывания соответствующих спрогнозированных значений успеваемости.

Заключение. Таким образом, на данный момент выдвинутую гипотезу о положительной зависимости успеваемости от распределения внимания обучающегося при работе с текстовым контентом удалось подтвердить лишь в искусственно симитированных условиях. Это объясняется значительной трудоемкостью и отсутствием возможности проведения эксперимента при реальном образовательном процессе. Поэтому дальнейшая работа должна быть ориентирована, прежде всего, на проведение эксперимента в условиях, приближенных к реальным, в рамках чего также будет необходимо вынесение объективной оценки качества получаемых результатов с целью выяснения практической полезности предлагаемого метода, при этом следует обратить внимание на такие исследования в этом направлении, как [3] и др. Кроме этого, следует подчеркнуть важность исследований, ориентированных на придание предлагаемому методу гибкости в целях получения возможности его интеграции с существующими методами построения ИОТ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Царев Р.Ю., Тынченко С.В., Гриценко С.Н. Адаптивное обучение с использованием ресурсов информационно-образовательной среды // Современные проблемы науки и образования. – 2016. – № 5. – 8 с.
2. Кречетов И.А., Романенко В.В. Реализация методов адаптивного обучения // Вопросы образования. – 2020. – № 2. – С. 252–277.
3. Jan Papoušek, Vít Stanislav, Radek Pelánek Evaluation of an adaptive practice system for learning geography facts // LAK '16: Proceedings of the Sixth International Conference on Learning Analytics & Knowledge. – 2016. – P. 134–142.

СРАВНЕНИЕ ПЛАТФОРМ AWS, GCP И MSA В СФЕРЕ ОБЛАЧНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ

Р.В. Захаров, студент каф. АОИ

Научный руководитель О.И. Жуковский, доцент каф. АОИ, к.т.н.

г. Томск, ТУСУР, oleg.i.zhukovskii@tusur.ru

Рассмотрены облачные платформы среди которых была выявлена самая производительная. Проведены многоцелевые тесты на предоставляемых машинах от рассматриваемых облачных платформ. Была оценена привлекательность облачных решений для бизнеса.

Ключевые слова: облачные вычисления, сравнительный анализ, облачные платформы.

В наше время для организации бизнеса, связанного с обработкой большого количества данных, требуется трезво оценивать свои возможности и в том числе доступные средства и ресурсы. Ведь для того, чтобы работать с большими объемами данных, требуется иметь высокопроизводительное оборудование, которое притом будет постоянно работать. А оно довольно дорогое, и чем производительнее решение, тем оно и дороже. И на начальных этапах может и хватит средств для запуска этих серверов, но никто не отменит рисков, связанных с бизнесом. Вероятность того, что бизнес провалится есть и тогда предприятие останется с этими бесполезными для него машинами и с долгами. Но на помощь к бизнесу приходят облачные технологии. Облачные вычисления являются довольно выгодным и перспективным решением, так как предпринимателям не надо покупать собственные серверы. Их содержанием и поддержанием занимается платформа-представитель сервиса, а клиенту требуется только настроить предоставляемые машины для себя и рассчитать расходы, которые будут гораздо меньше, чем при самостоятельной реализации этих машин [1].

Таких облачных платформ на сегодняшний день очень много и перед пользователем встает сложный вопрос, какую стоит выбрать?

Для этого были выбраны 3 самые популярные платформы в данной сфере: Microsoft Azure, Amazon Web Services, Google Cloud Platform. Все платформы имеют свои сильные и слабые стороны:

- Amazon – очень сильная с точки зрения доверия к бренду и наиболее популярная платформа с удобным интерфейсом. Слабостью данной платформы является обязательное использование EBS-дисков.

- Azure – благодаря легкой масштабируемости возможностей системы и качественной интеграции с другими своими продуктами, заслужено занимает одно из лидирующих мест в этой сфере. Но главный минус – цена, решение от Microsoft дороже, чем у конкурентов.

- Google Cloud – имеет одну из лучших баз документов и руководств, что привлекательно для неопытных клиентов в сфере облачных вычислений. Также Google имеет собственную оптоволоконную сеть, соединяющую все ЦОДы в одну сеть [1].

Просмотрев преимущества и недостатки каждой, можно сказать, что все они представляют собой хорошо организованные, качественные платформы. Но какая платформа всё же самая производительная?

Для проведения тестов на каждой платформе были взяты машины с примерно одинаковой конфигурацией, которые представлены в таблице.

Характеристики машин на каждой платформе

Платформа	Тип машины	Ядра	RAM	Цена за час для Windows
AWS	m4.xlarge (Франкфурт)	4	16 Gb	\$0,424
MSA	Standard D3 v2 (Вост. Европа)	4	14 Gb	\$0,533
GCP	n1-standard-4	4	15 Gb	\$0,244

Затем на каждой машине было установлено 2 приложения-бенчмарка. Инструкция по пользованию была найдена на официальных сайтах [2, 3]. Предварительная настройка машин не проводилась, они были использованы в том виде, в котором были предоставлены платформой. Последовательно произведено по 5 тестов на каждой машине. Краткие результаты проиллюстрированы на рис. 1–3.

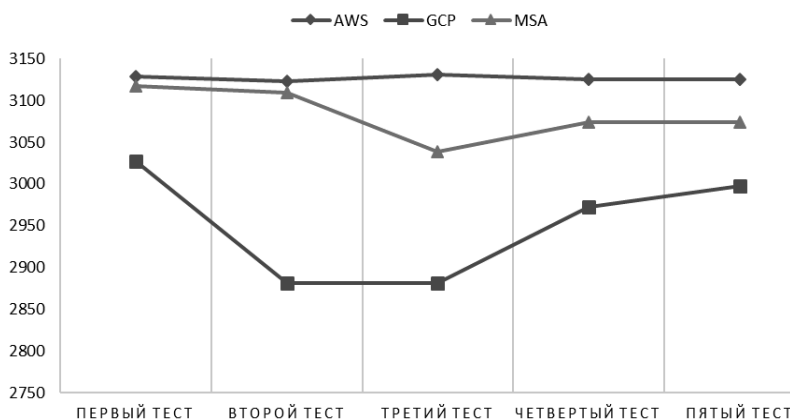


Рис. 1. Результаты теста Benchmark в одноядерном режиме

В ходе проведения тестов что все представленные платформы показали себя на достойном уровне и за всё время работы не отказали и работали стабильно.

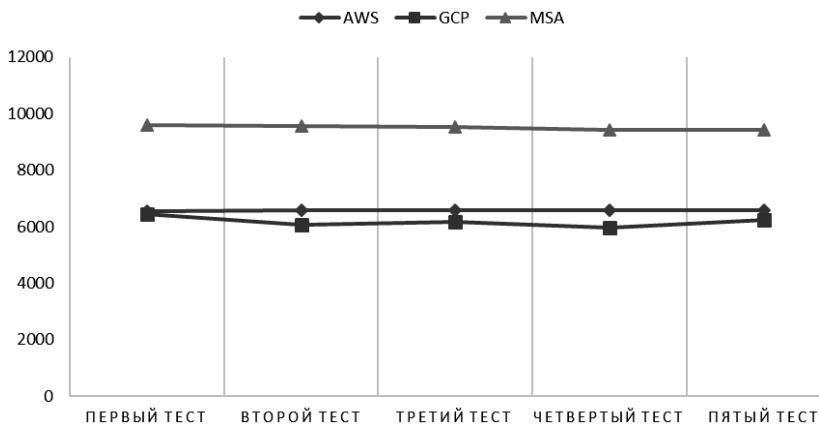


Рис. 2. Результаты теста Benchmark в многоядерном режиме

Сравнение скорости чтения (в MB/s)

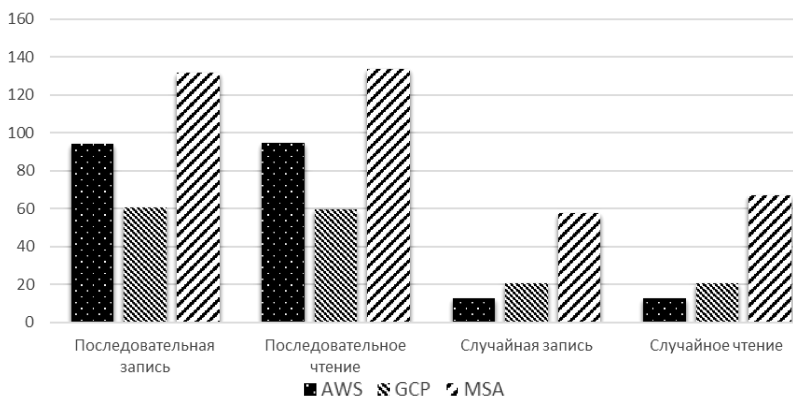


Рис. 3. Результаты теста CrystalDiskMark

Проведя анализ полученных результатов, были сделаны выводы, что среди рассматриваемых продуктов от 3 компаний имеется разброс по производительности почти во всех тестах, где решение от Google имеет самые низкие показатели производительности, а решение от Microsoft, наоборот, имеет самые высокие (уступает только решению от Amazon в одноядерном режиме). В итоге в разрезе по самой производительной платформе для облачных вычислений лидирует Microsoft Azure. Но если рассматривать облачные вычисления для бизнеса, то важно учитывать следующее. Если предприятие или компания не слишком большая и необходимо экономить ресурсы, то очевидным

вариантом является платформа Google Cloud Platform, так как она намного дешевле других платформ, но по производительности уступает более дорогим. Если же нужна реальная вычислительная мощность и есть на это крупный бюджет, то выбор явно падает на Microsoft Azure. Платформу Amazon Web Services же, по мнению автора, целесообразно использовать для ознакомления с концепцией облачных вычислений и обучения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Облачные технологии: в чем преимущество [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.zfort.com.ua/blog/oblachnye-tehnologii-v-chem-preimushество> (дата обращения: 02.03.2021).
2. Geekbench 5 CPU Workloads [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.geekbench.com/doc/geekbench5-cpu-workloads.pdf> (дата обращения: 02.03.2021).
3. CrystalDiskMark. Manual [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://crystalmark.info/en/software/crystaldiskmark/crystaldiskmark-install/> (дата обращения: 02.03.2021).

ПОДСЕКЦИЯ 3.3

АВТОМАТИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ В ТЕХНИКЕ И ОБРАЗОВАНИИ

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

УДК 681.51:519.6

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРЕХОДНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СЛОЖНОЙ КЛИМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

В.А. Боева, аспирант каф. ПМ

*Научный руководитель Ю.Е. Воскобойников, д-р ф.-м.н., проф. каф. ПМ
г. Новосибирск, НГАСУ (Сибстрин), v.bojeva@sibstrin.ru*

Оценку точности импульсных переходных функций элементов климатической системы «воздухонагреватель–вентилятор–помещение» предлагается вычислить, используя разработанный автором устойчивый алгоритм непараметрической идентификации технических систем. Проведение вычислительных экспериментов по зашумлённым экспериментальным данным показало эффективность применения предлагаемого алгоритма для решения прикладных задач идентификации.

Ключевые слова: переходный процесс, климатическая система, задача непараметрической идентификации, интегральное уравнение Вольтерра I рода, сглаживающие кубические сплайны.

При работе с климатическими системами основной задачей является стабилизация параметров микроклимата исследуемой среды. Переходный процесс определяет качество параметров микроклимата и устойчивость системы [1]. Возникает необходимость экспериментального изучения переходных характеристик теплообмена климатических систем, наиболее информативной из которых является импульсная переходная функция (ИПФ).

В качестве параметра подобия, описывающего переходные процессы в климатической системе «воздухонагреватель–вентилятор–помещение (ВН–ВЕНТ–ПОМ)» (рис. 1), используется относительная избыточная теплота Q^* [2], что позволяет выявить качественные закономерности в развитии переходных процессов при прохождении через элементы системы.

В результате обработки экспериментальных данных были получены эволюции значений переходных процессов относительной избыточной теплоты при прохождении через ВН Q_h^r , через ВЕНТ Q_f^r , через ПОМ Q_r^r и в месте установки датчиков (УСТ) Q_s^r в потоке, проходящем через систему (рис. 2).

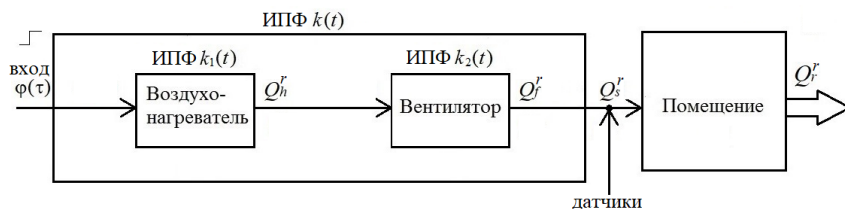


Рис. 1. Схема системы «ВН-ВЕНТ-ПОМ»

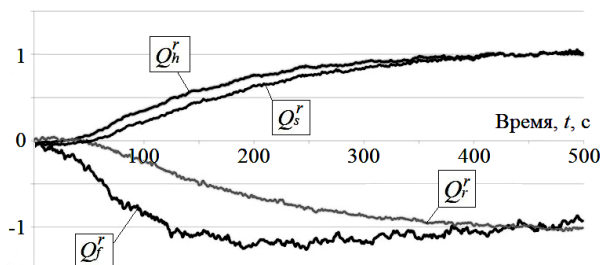


Рис. 2. Экспериментальные зависимости изменения Q^r от времени

Возникающая в системе задача непараметрической идентификации заключается в вычислении оценки ИПФ системы и её элементов по измеренным значениям входного и выходного сигналов. Задача поставлена некорректно вследствие нарушения условия устойчивости решения к погрешностям в исходных данных [3].

Для построения устойчивого решения поставленной задачи предлагается использовать разработанный автором алгоритм непараметрической идентификации технических систем [4] на основе обращения интегрального уравнения Вольтерра I рода к уравнению Вольтерра II рода. Решение обращённого уравнения является корректно поставленной задачей, но в само уравнение входят производные от зашумлённых исходных сигналов, устойчивое вычисление которых осуществляется с помощью сглаживающих кубических сплайнов [5]. Особое внимание при этом уделяется выбору параметра сглаживания, который оказывает существенное влияние на величину среднеквадратической ошибки сглаживания, а в дальнейшем и относительной ошибки идентификации [6].

В результате обработки зашумлённых экспериментальных данных описанным алгоритмом были получены теоретические эволюции значений переходных процессов относительной избыточной теплоты Q_h^r , Q_f^r , Q_r^r , Q_s^r в потоке, проходящем через систему (рис. 3).

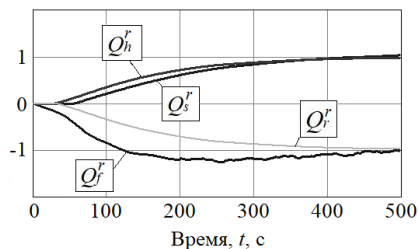


Рис. 3. Теоретические зависимости изменения Q^r от времени

Величины рассогласования между теоретическими и экспериментальными данными колебались от 1,6 до 7,8%. По совпадению с высокой точностью экспериментальных данных (см. рис. 2) и теоретических (рис. 3) можно заключить, что представленные алгоритмы идентификации эффективны для решения прикладных задач.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-38-90041. Acknowledgments: The reported study was funded by RFBR, project number 20-38-90041.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мансуров Р.Ш., Рудяк В.Я. Переходные процессы в системе нагрева-тепловентилятор при изменении режима работы вентилятора // Известия вузов. Строительство. – 2019. – № 3. – С. 50–63.
2. Мансуров Р.Ш., Кувшинов Ю.Я. Интеллектуализация управления системами формирования микроклимата помещений // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. – 2012. – № 2. – С. 85–93.
3. Тихонов А.Н. Методы решения некорректных задач / А.Н. Тихонов, В.Я. Арсенин. – М.: Наука, 1986. – 285 с.
4. Воскобойников Ю.Е., Боева В.А. Устойчивый алгоритм непараметрической идентификации при наличии аномальных измерений // Вычислительные технологии. – 2020. – Т. 25, №3. – С. 46–53.
5. Wang Y. Smoothing Spline Methods and Applications. Ser. Monographs on Statistics and Applied Probability v. 121. – A Chapman&Hall book, 2011. – 247 p.
6. Балк П.И., Долгаль А.С. Сплайн-сглаживание экспериментальных данных при нулевом медианном значении помех // Автоматика и телемеханика. – 2017. – № 6. – С. 138–156.

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ ВИЗУАЛЬНЫХ ОТОБРАЖЕНИЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ

А.С. Болденков, аспирант каф. КСУП;

Т.В. Ганджа, проф. каф. КСУП, д.т.н.

г. Томск, ТУСУР, Ninfador10@gmail.com, gandgatv@gmail.com

Рассматривается возможность конструирования отображений измерительных приборов путём декомпозиции графических элементов. Поставлены проблема и задача по оптимизации процесса создания отображения новых приборов.

Ключевые слова: SCADA, АСУ ТП, декомпозиция, виртуальный прибор.

В настоящее время активно происходит автоматизация процессов во сферах общественной жизни. Особенно данный процесс проглядывается в технической сфере, будь это производство автомобиля или же отслеживание параметров водоочистных сооружений. Для этого внедряются автоматизированные системы управления технологическим процессом (АСУ ТП).

Одну из ключевых ролей в АСУ ТП играет программная часть (верхний уровень), она называется SCADA-системой. Это программное обеспечение, установленное на диспетчерском пункте управления и позволяющее проводить сбор, обработку, отображение и архивирование информации о технологическом процессе в реальном времени.

Известными примерами таких систем являются: TraceMode, Simple-SCADA, InTouch, WinCC, MasterSCADA [1, 2]. Данные системы давно зарекомендовали себя на рынке, но, к сожалению, в каждой из них не хватает того или иного функционала, позволяющего целиком раскрыть их возможности. Например, в некоторых из упомянутых SCADA-систем отсутствует возможность отображения стрелочного индикатора.

Ближайшим конкурентом в области моделирования и построения виртуальных приборов является среда разработки LabView компании National Instruments. LabView по смыслу достаточно близка к SCADA-системам, но в большей степени ориентирована на решение задач в научных исследованиях.

Для решения проблемы построения отображения измерительных приборов следует провести декомпозицию на отдельные элементы, что позволит быстрее конструировать приборы различного вида и панели отображения.

Для реализации данного предложения предполагается использовать разработку Томского государственного университета систем

управления и радиозлектроники (ТУСУР). В ТУСУРе давно существует среда моделирования MAPC (CM MAPC), позволяющая проводить построения моделей любого уровня сложности и ставить эксперименты [3, 4]. В основу работы данной программы входит метод компонентных цепей, что является удобным способом для реализации идеи. CM MAPC достаточно сильно приближена по функционалу к современным SCADA-системам и в будущем может себя проявить [5].

Возьмём, к примеру, отображение стрелочного прибора. Он является целым элементом без возможности использовать его отдельные части. На рис. 1 приведены декомпозиция стрелочного прибора, а также структурные блоки отображения стрелочного прибора. Каждый из этих элементов может быть использован для построения другого прибора или приборной панели.

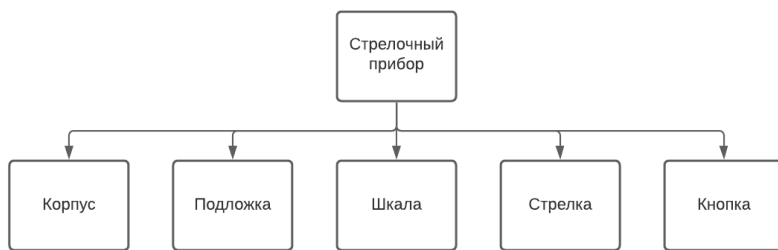


Рис. 1. Декомпозиция стрелочного прибора

Также каждый из элементов можно представить в виде класса, от которого можно провести отдельные методы для каждого вида стрелок (рис. 2). Примеры стрелок представлены на рис. 3 и 4.



Рис. 2. Декомпозиция класса «Стрелка»

Такое решение позволит сократить количество строк, используемых в программном коде, так как потребуются лишь вызвать необходимый метод.

Таким образом, можно сказать, что декомпозиция на отдельные элементы позволит сократить временные затраты на создание новых

отображений измерительных приборов, а также позволит пользователю самостоятельно построить новые отображения.



Рис. 3. Ножевидная стрелка

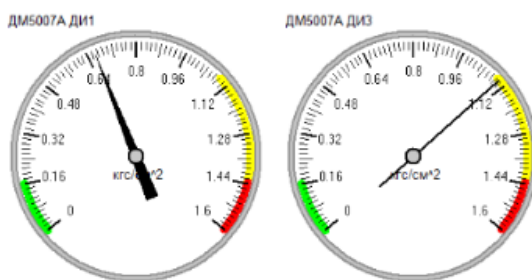


Рис. 4. Треугольная и стандартная стрелки

Такое дополнение позволит реализовывать в СМ MAPSC большое количество разнообразных экспериментов и интегрировать программное обеспечение в образовательные программы многих учебных специальностей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Официальный сайт компании AdAstra [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.adastra.ru/> (дата обращения: 15.02.2021).

2. Официальный сайт конструкторского бюро Агава [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.kb-agava.ru/programmnoe-obespechenie/agava-scada> (дата обращения: 20.02.2021).

3. MAPSC – 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. Дмитриев В.М. Компьютерное моделирование визуальных интерфейсов виртуальных инструментов и приборов / В.М. Дмитриев, Т.В. Ганджа, В.В. Ганджа, С.А. Панов // Научная визуализация. – 2016. – Т. 8, № 3. – С. 111–131.

5. Дмитриев В.М. Алгоритм формирования и вычисления математических выражений методом компонентных цепей / В.М. Дмитриев, Т.В. Ганджа // Математические машины и системы. – 2010. – № 3. – С. 9–21.

РАЗРАБОТКА НА ОСНОВЕ СРЕДЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ОТОБРАЖЕНИЯ НА 3D-СЦЕНЕ РЕАЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ

*Т.В. Ганджа, проф. каф. КСУП, д.т.н.; А.А. Дрозд, аспирант
г. Томск, ТУСУР, каф. КСУП, drozd.a.a.91@gmail.com*

Рассматривается возможность визуализации поведения модели робототехнического механизма на трехмерной сцене по результатам моделирования, полученным в среде моделирования MAPC. Трехмерная сцена реализуется в виде Web-интерфейса, взаимодействие которого со средой MAPC осуществляется при помощи http/https-запросов.

Ключевые слова: робототехнический механизм, среда моделирования, трехмерная визуализация, WebGL.

Визуальное моделирование процессов исполнительных механизмов с обратной связью характеризуется повышенными требованиями к быстродействию и точности отображения по позиционированию моделируемого исполнительного механизма [1]. Требуется разработать инструмент, способный производить расчет математических моделей, описывающих механические процессы физических объектов и визуализировать процесс по производимым расчётам. Для получения оценки движения исполнительных механизмов в трех плоскостях нужно реализовать модуль 3D-сцены [2].

Исследовав варианты с учетом трудозатрат и возможностей интерфейсов, стало ясно, что сейчас визуализация данных востребована в многопользовательском режиме с возможностью дистанционного подключения по сети Интернет. Именно поэтому используем уже разработанную библиотеку WebGL, основанную на OpenGL, которая позволяет работать напрямую с видеокарткой устройства непосредственно из браузера и не требует установки плагинов пользователем [3]. Уже используя среду моделирования MAPC, решено доработать к ней сервис, способный визуализировать данные на 3D-сцене [4]. Потребовалась разработка архитектуры для интеграции Web-приложения с системой MAPC [5]. Учитывается, что система должна быть расширяема, уметь работать с базами данных, иметь поддержку библиотек с открытым исходным кодом, обработку http/https запросов, возможность загрузки 3D-модулей, поддержку большинством браузеров и мобильных устройств. Исследовав современные инструменты, обладающие всеми предъявленными требованиями, был выбран NodeJS как основная платформа, соединяющая Web-интерфейс и MAPC [6, 7].

В результате сформирована блок-схема архитектуры, приведенная на рис. 1. На ней видно, что NodeJS выступает в роли серверного обработчика событий, работает с базами данных, передает и получает данные от МАРСа и Web-приложения.

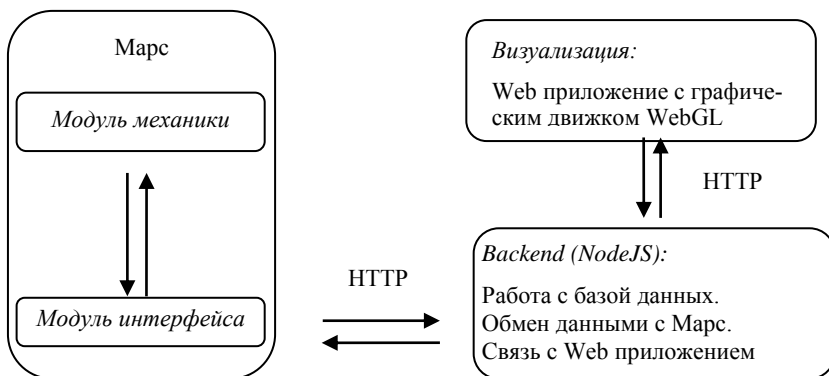


Рис. 1. Архитектура взаимодействия в приложении

Полученная архитектура должна в полной мере решить поставленные задачи. При успешной реализации будет являться хорошей основой для новых требований по моделированию в среде Марс, благодаря ее расширяемости.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дмитриев В.М., Зайченко Т.Н., Гарганеев А.Н., Шурыгин Ю.А. Автоматизация функционального проектирования электромеханических систем и устройств преобразовательной техники. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 2000. – 292 с.
2. Дмитриев В.М., Арайс Л.А., Шутенков А.В. Автоматизация моделирования промышленных роботов. – М.: Машиностроение, 1995. – 304 с.
3. OpenGL ES for the Web [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.khronos.org/webgl/> (дата обращения: 08.03.2021).
4. Дмитриев В.М., Шутенков А.В., Зайченко Т.Н., Ганджа Т.В. МАРС – среда моделирования технических устройств и систем. – Томск: В-Спектр, 2011. – 278 с.
5. Коичи Мацуда, Роджер Ли. WebGL: программирование трехмерной графики / пер. с англ. А.Н. Киселева. – М.: ДМК-Пресс, 2015. – 494 с.
6. Введение в серверную часть [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://developer.mozilla.org/ru/docs/Learn/Server-side/First_steps/Introduction (дата обращения: 08.03.2021).
7. О Node.js [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://nodejs.org/ru/about/> (дата обращения: 08.03.2021).

ПЛАГИН АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ИЗМЕРЕНИЯ ТОЧКИ КОМПРЕССИИ УСИЛИТЕЛЕЙ МОЩНОСТИ

К.С. Жохов, А.А. Кун, студенты каф. КСУП

Научный руководитель В.П. Коцубинский, доцент каф. КСУП, к.т.н.

г. Томск, ТУСУР, derpiend@gmail.com

Представлено описание программы автоматизированного определения точки компрессии усилителя при использовании векторного анализатора цепей и программы SxVNA.

Ключевые слова: СВЧ, усилитель мощности, разработка ПО, точка компрессии, коэффициент усиления, коррекция рассогласования.

Amplifier Test – программа, предназначенная для измерения точки компрессии усилителей. Программа является плагином для приложения SxVNA, который позволяет производить полуавтоматическую калибровку векторного анализатора цепей и последующие измерения точки компрессии и коэффициента передачи усилителя.

Коэффициент усиления (G) является одной из самых важных измеряемых характеристик усилителя и определяется следующим образом:

$$G = P_{\text{out}}/P_{\text{in}},$$

где P_{in} – мощность, подаваемая на вход усилителя; P_{out} – мощность, фиксируемая по выходу усилителя.

При малых значениях входной мощности зависимость выходной мощности усилителя от входного сигнала является линейной, а режим работы усилителя в этом диапазоне – линейным [1]. При достижении определенного значения входной мощности выходная мощность перестает увеличиваться, коэффициент усиления начинает уменьшаться и усилитель переходит в нелинейный режим работы. Таким образом, реальная зависимость выходной мощности от входной начинает отличаться от прогнозируемой линии. Поэтому точка, в которой усилитель начинает переходить в нелинейный режим, является одной из самых важных характеристик усилителя и называется точкой компрессии усилителя ($P1$).

На рис. 1 показаны зависимость выходной мощности усилителя от входной и принцип измерения параметра $P1$.

Forecast – это линия зависимости выходной мощности от входной, как если бы усилитель работал в линейном режиме при любом значении входной мощности.

$P1$ – это уровень выходной мощности, когда его реальное значение начинает отличаться от прогнозируемого на 1 дБм.

P_{max} – максимальная мощность, фиксируемая по выходу усилителя.

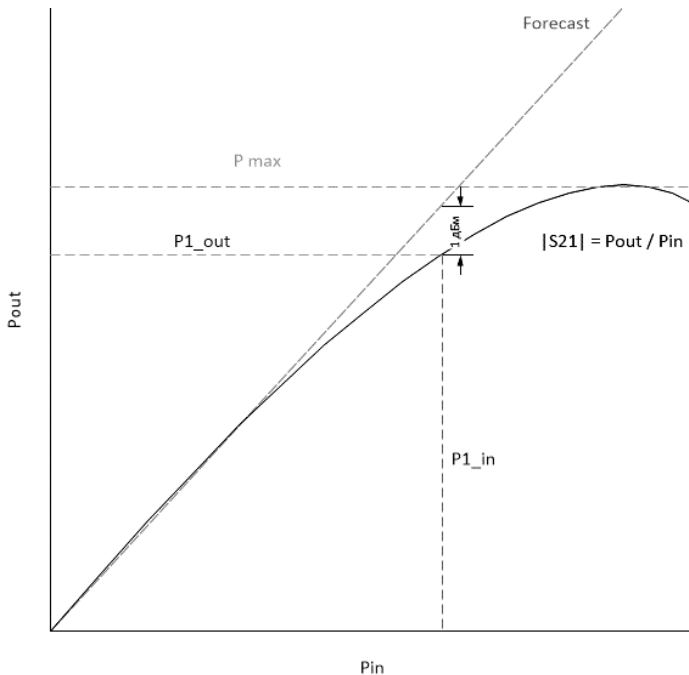


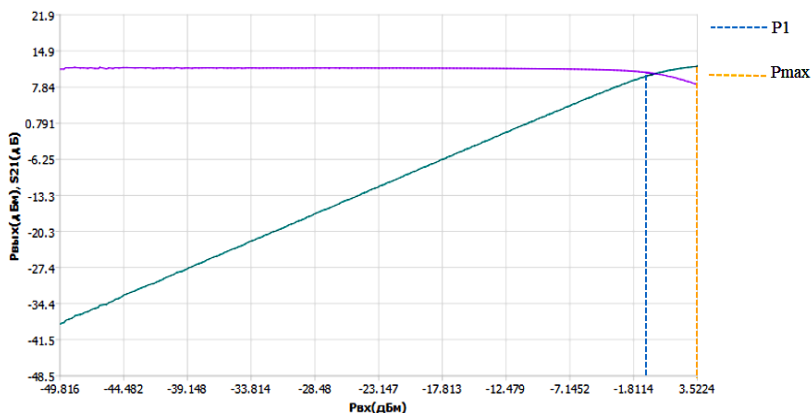
Рис. 1. Измерение параметра $P1$

Для получения корректных значений $P1$ необходимо провести ряд калибровок измерительной установки при помощи разработанного плагина Amplifier Test и программы SxVNA:

- полная двухпортовая калибровка;
- калибровка выходной мощности первого порта;
- запись калибровочной таблицы значений опорного приёмника на всем доступном диапазоне частот [2];
- калибровка выходной мощности четвертого порта;
- калибровка входной мощности второго порта [3].

После проведения необходимых калибровок во вкладке программы «Измерение на фиксированной частоте» можно приступить к измерению точки компрессии усилителя. На рис. 2 показаны результаты измерения точки компрессии усилителя мощности на частоте 5 ГГц.

Также в плагине Amplifier Test реализована возможность измерения зависимости точки компрессии и максимальной выходной мощности от частоты. Для этого необходимо запустить измерения во вкладке «Измерение в панорамном режиме». На рис. 3 показаны результаты измерения усилителя мощности на диапазоне частот 5–8 ГГц.



Текущий результат: $P_{вх} = -0.226941$ $P_{вых} = 10.3058$ $P_{(макс)} = 11.8619$ $S_{21}(в\ опорной\ т.) = 11.5313$

Рис. 2. Измерение P1 на фиксированной частоте

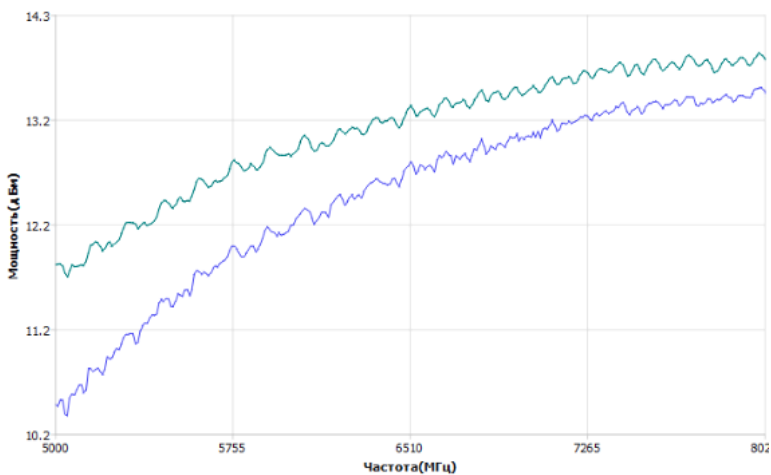


Рис. 3. Измерение мощности усилителя в панорамном режиме

ЛИТЕРАТУРА

1. Хибель М. Основы векторного анализа цепей / пер. с англ. С.М. Смольского; под ред. У. Филипп. – М.: Изд. дом МЭИ, 2018. – С. 347–348;
2. Россель Г. Калибровка измерителей мощности СВЧ в компании Rhode & Schwarz // Современная измерительная техника. – М., 2018. – С. 23–27.
3. NI AWR Design Environment [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.awrcorp.com/products/ni-awr-design-environment/microwave-office-software> (дата обращения: 01.02.2021).

РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ АНАЛИЗА ДИСПЕРСНОГО СОСТАВА СКВАЖИННОЙ ЖИДКОСТИ

*А.А. Филипас, доцент, к.т.н.; А.В. Мигель, студент;
Ю.Н. Исаев, проф., д.ф.-м.н.; Н.М. Семенов, ст. преп.*

*г. Томск, Томский политехнический университет, ОАР, ИШИТР,
avm82@tpu.ru*

Ставится задача определения методов и средств разработки системы для проведения анализа дисперсного состава скважинной жидкости. В статье обоснован выбор метода анализа размеров дисперсной фазы, определена конструкция стенда и режимы работы.

Ключевые слова: эмульсия, система машинного зрения, дисперсный состав, оптическая микроскопия, ультразвуковые колебания.

Нефтяной флюид является эмульсией, т.е. дисперсной системой, состоящей из нескольких несмешивающихся жидкостей, одна из которых – дисперсная фаза – распределена в другой – дисперсной среде в виде капель. Анализ дисперсного состава – это процесс получения статистических данных о размерах эмульсии. На сегодняшний день на промысле его производят порядка двух раз в месяц вручную, тем временем распределение капель по размерам несет информацию о скорости деградации, долговременной стабильности, вязкости эмульсии и др. [1]. Тем временем с помощью данных о дисперсном составе эмульсии можно определить наиболее эффективные методы разрушения эмульсии.

Таким образом, целью данного проекта является разработка информационно-измерительной системы для проведения анализа дисперсного состава скважинной жидкости.

Для достижения поставленной цели были сформулированы следующие задачи:

1. Выбор способа оценки дисперсного состава эмульсии.
2. Разработка экспериментального образца информационно-измерительной системы для определения дисперсного состава.
3. Разработка способа определения широкого диапазона размеров капель дисперсной фазы.
4. Разработка режимов работы стенда.

Способ оценки дисперсного состава эмульсии. Для определения дисперсного состава эмульсии был выбран метод оптической микроскопии, поскольку он определяет дисперсный состав непосредственно по результатам измерений отдельных капель, не требует сложной математической обработки и дорогостоящих средств реали-

зации [2]. Результаты, полученные другими методами (ультразвуковым, электроимпедансным, инфракрасным и т.д.) обычно подтверждаются методом оптической микроскопии [3].

Разрабатываемая система представляет собой стенд (рис. 1), состоящий из следующих элементов: емкость для подготовки эмульсии (E1), аппарат для подготовки эмульсии M6, микроскоп со встроенной в него оптической системой машинного зрения, техническая емкость (E2).

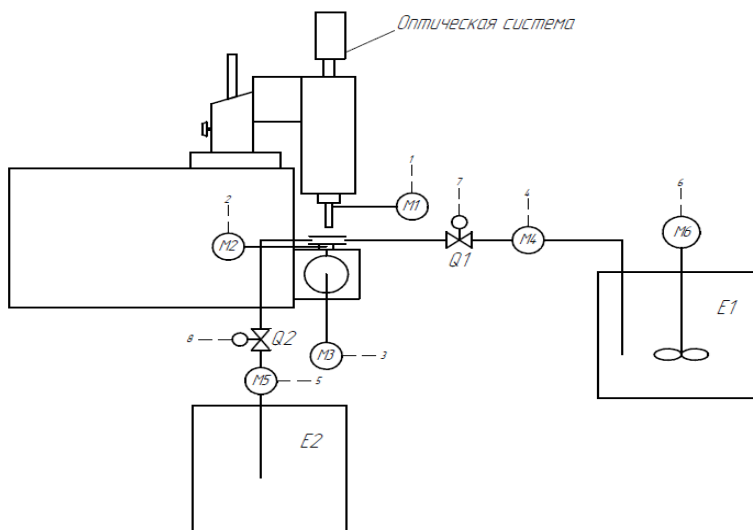


Рис. 1. Конструкция стенда

Размер капель дисперсной фазы нефтяных эмульсий варьируется от 0,1 мкм до нескольких десятых миллиметра. Для определения всего диапазона глобул была разработана конструкция для подачи эмульсии на предметный столик микроскопа (рис. 2).

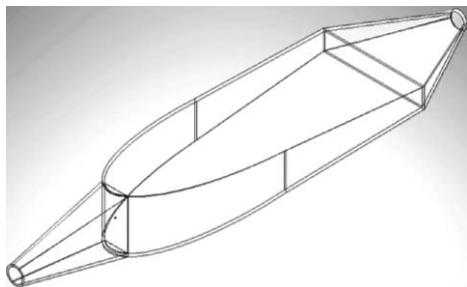


Рис. 2. Конструкция для подачи эмульсии на предметный столик

Конструкция имеет переменную толщину, однако выполнена таким образом, что сечение между переходниками, необходимыми для соединения с трубками для подачи эмульсии, имеет постоянную площадь. Это необходимо для уменьшения вероятности возникновения турбулентного потока эмульсии.

Режимы работы стенда. Предусмотрено два режима работы системы – статический и динамический.

В статическом режиме работа системы начинается с подготовки эмульсии в емкости E1. Затем порция эмульсии подается на предметный столик микроскопа через предметные стекла с помощью насоса M4 и клапана Q1. Далее происходит настройка положения предметного столика относительно микроскопа и процесс создания и анализа фотографий, после чего эмульсия удаляется в емкость E2.

В динамическом режиме работы системы происходят аналогичные действия, однако процесс создания и анализа фотографий производится в условиях прогона потока эмульсии через предметные стекла.

Заключение. Разрабатываемая система позволит в относительно короткие сроки получать данные, необходимые для разработки математической модели процесса разрушения нефтяной эмульсии и выбора наиболее оптимальных параметров методов разрушения эмульсии. Таким образом, использование полученной системы в комплексе с автоматизированными установками подготовки нефти позволит значительно увеличить эффективность разрушения нефтяной эмульсии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Образование наноэмульсии путем инверсии эмульсионной фазы / П. Фернандес, В. Андре, Дж. Ригер, А. Кунле / *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. – 2004.
2. Адаптивная информационно-измерительная система для мониторинга протекания физико-химического процесса / А.В. Цавнин, А.А. Филипас, А.С. Беляев, Н.В. Рожнев // *Изв. ТПУ/ НИ ТПУ*. – 2020. – С. 122–128.
3. Использование ближнего инфракрасного диапазона для оценки распределения капель по размерам и содержания воды в эмульсиях вода-в-сырой нефти в трубопроводе под давлением / Г.Р. Борхес, Г.Б. Фариас, Т.М. Браз, Л.М. Сантос, М.Дж. Амарал // *Fuel*. – 2015. – С. 23–52.
4. Филипас А.А. Разработка стенда физического подобия «Трёхфазный сепаратор скважинной жидкости» / А.А. Филипас, А.В. Мигель // *Современные проблемы машиностроения: сб. трудов XIII Междунар. науч.-техн. конф.*, г. Томск, 2020 г. – Томск: Том. политехн. ун-т, 2020. – С. 216–217.

РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА РЕГУЛИРОВАНИЯ КИСЛОТНОСТИ СРЕДЫ В СИСТЕМАХ ВОДОПОДГОТОВКИ ПЛАВАТЕЛЬНЫХ БАССЕЙНОВ

Р.С. Щербаков, студент

*Научный руководитель Н.В. Ливенцова, доцент ЭАФУ
г. Томск, НИ ТПУ*

Проанализированы и сравнены распространенные технологии регулирования кислотности среды, использующиеся в системах водоподготовки плавательных бассейнов. Приведены алгоритм, элементы и результат конструирования устройства регулирования кислотности среды.

Ключевые слова: бассейн, рН, микроконтроллер, насос, рН-метр.

Проанализированы наиболее распространенные аналоги, представленные на рынке.

1. Станция регулирования и контроля уровня рН и RedOx Etatron PH-RX-F CONTROL (90–260 В). Производитель: Etatron. Система работает в двух режимах дозирования – постоянном ON/OFF и пропорциональном PROP. Считывание значения рН осуществляется датчиком eSELECT-B2. Без дозирующих насосов (насосы и (или) другие исполняющие устройства подбираются согласно техническому заданию). Цена: 171 150 руб. Достоинства: точность измерения рН до сотых, имеется проводка для подключения дополнительных устройств, наличие аварийной сигнализации. Недостатки: отсутствие насоса, высокая цена.

2. Станция автоматического регулирования рН Emec VMS PH 2001. Производитель: Emec. Дозирующий насос оснащен встроенными рН-регулятором и контролем уровня. Возможно дистанционное управление. Цена: 48 020 руб. Достоинства: точность измерения рН до сотых, возможность контроля уровня реагента, наличие аварийной сигнализации. Недостатки: высокая цена.

3. Станция автоматического регулирования хлора Aqua Simpool Pro Ph-3 л/ч. Производитель: AQUA S.P.A. Дозация осуществляется при помощи насоса и встроенного в него контроллера рН. Реагент поступает в бассейн пропорционально показателям датчика. Цена: 25 050 руб. Достоинства: точность измерения рН до сотых, возможность контроля уровня реагента, наличие аварийной сигнализации. Недостатки: диапазон измерений 5–9 рН.

4. Станция автоматического регулирования показателя рН рН Seko Basic evo рН. Производитель: Seko. Встроен перистальтиче-

ский насос, дозация осуществляется пропорционально показателям датчика рН. Функция автокалибровки датчика рН, наличие функции отключения насоса в случае неисправности датчика. Цена: 60 820 руб. Достоинства: точность измерения рН до сотых, функция автокалибровки датчика рН, функция отключения насоса. Недостатки: потребляемая мощность 18 Вт, высокая цена.

В разрабатываемом устройстве в качестве контроллера была выбрана платформа Arduino Uno, так как данная платформа наиболее доступна для приобретения и работает на 12 В, что соответствует проекту. Кроме того, язык программирования Arduino основан на C/C++.

Остальные электронные компоненты подбирались подходящими данной платформе: рН-метр для Arduino, водяная помпа MICROWATERPUMP 385 для Ардуино-проектов, LCD-дисплей с I2C-модулем, блок питания на 12 В. В качестве реагентов использовалась лимонная кислота и сода.

Определение концентрации рН происходит с помощью внутреннего контроллера, или рН-метра, специального прибора для измерения водородного показателя (показателя рН), характеризующего активность ионов водорода.

Алгоритм работы сконструированного устройства следующий: датчик рН получает информацию от зонда, на основании полученных значений происходит пропорциональное дозирование реагента при помощи насоса, если рН соответствует норме, то дозирование реагента не происходит. Значение рН выводится на дисплей.

Сконструированный макет устройства обладает следующими функциями: контроль значения рН, дозация реагента, вывод значения рН на LCD-дисплей.

В таблице представлены результирующие характеристики рассматриваемых и разработанного устройств.

Характеристики устройств

	1	2	3	4	Макет
Точность измерений рН, рН	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Потребляемая мощность, Вт	от 20	16	15	18	до 0,6
Питание электроэнергией, В	90–260	220–240	220–240	220–240	6–12
Цифровое управление и индикация	Есть	Есть	Есть	Есть	Есть

Главным преимуществом разработанного устройства является низкая потребляемая мощность, что позволяет экономить на энергетических затратах.

Если компоненты устройства заменить на более надежные, то его можно применять для реальных бассейнов.

Данный проект должен быть оптимальным решением для автоматизированного контроля и регулирования уровня рН в системах водоподготовки плавательных бассейнов с минимальными финансовыми, временными и энергетическими затратами и в наиболее удобном для потребителя исполнении.

ЛИТЕРАТУРА

1. Все бассейны РФ. Станция регулирования и контроля уровня рН и RedOx Etatron PH-RX-F CONTROL (90–260 В) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://xn----8sbccpd2аба3аеа7j.xn>, свободный.

2. MacroBravo. Интернет-магазин оборудования для бассейнов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.marcobravo.ru/>, свободный.

3. Станция автоматического регулирования хлора Aqua Simpool Pro Ph-3 л/ч [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.epool.ru/good/408213>, свободный.

4. Станции контроля и дозирования POOL BASIC EVO [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://seko-pumps.ru/?pid=255>, свободный.

УДК 681.2.083

СИСТЕМА ИЗМЕРЕНИЯ МАЛЫХ РАСХОДОВ РАДИОАКТИВНЫХ РАСТВОРОВ С ФУНКЦИЕЙ ИЗМЕРЕНИЯ ПЛОТНОСТИ И УРОВНЯ

*Г.В. Сумин, О.О. Кушков, студенты;
А.А. Денисевич, ассистент ОЯТЦ, ИЯТШ
г. Томск, НИ ТПУ, gvs9@tpu.ru*

Цель работы – разработка установки для повышения точности дозирования растворов в технологических процессах ядерных производств с функцией измерения плотности раствора и его уровня. Система реализована с использованием дифференциальных манометров и капиллярного сенсора перепада давления.

Ключевые слова: расход, давление, капилляр, датчик, дозирование, плотность, уровень.

Одной из ключевых особенностей проекта ПРОРЫВ, одна из ключевых задач которого – реализация замкнутого ядерного топливного цикла (ЗЯТЦ), являются малая производительность аппаратов и как следствие малые выходные материальные потоки, измерение которых является важным для поддержания корректных технологических режимов. Измерение малых расходов (до 18 л/ч), плотности и уровня растворов радиохимических производств является специфичной задачей, так как накладываются определенные ограничения на использование оборудования для проведения измерений из-за агрессивности и радиоактивности применяющихся растворов.

Структурная схема системы измерения малых расходов с функцией измерения плотности и уровня представлена на рис. 1.

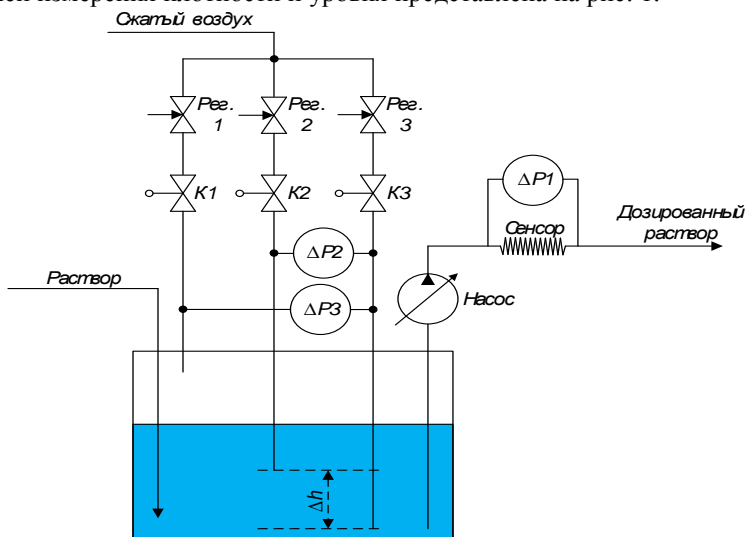


Рис. 1. Система измерения малых расходов

Для разработки измерителя малых расходов используется датчик дифференциального давления ДМ5017 и расходомера с гидравлическим сопротивлением (капилляром). Проходя через гидравлическое сопротивление, образуется перепад давления, величина которого зависит от величины расхода. Для регистрации перепада давления подведены измерительные каналы. Для защиты сенсорного блока от агрессивного раствора используется промысловая жидкость, которая подается насосом из бака с разделительной жидкостью.

Для измерения плотности и уровня раствора в демпфирующей емкости используется пьезометрический уровнемер, который представляет собой систему клапанов, измерительный щуп и датчик дифференциального давления. Сжатый воздух подается по капиллярным трубкам измерительного щупа толщиной 4–5 мм через клапаны в емкость с жидкостью. Один из выводов клапанного блока сообщается с атмосферой внутри емкости. Капиллярные трубки, соединенные с фитингами, подключенными к клапанам K2 и K3, погружены в емкость, но отличаются по длине на 10 см. Все клапаны в нормальном состоянии закрыты. При открытии клапанов K2 и K3 сжатый воздух идет через капилляры, погруженные в жидкость. Зная разность длин капилляров и перепад давления между ними, можно получить плотность исследуемого раствора.

При открытии клапанов К1 и К3 сжатый воздух проходит через капилляр большей длины. Так как вывод с клапана К1 сообщается с атмосферой внутри емкости, то, зная перепад давления и плотность, полученную при открытии клапанов К2 и К3, можно получить значение уровня жидкости в емкости.

Для управления и снятия выходных характеристик с измерителя малых расходов, плотности и уровня используется программируемый логический контроллер фирмы «ОВЕН» – ПЛК 154-220 А.М.

ЛИТЕРАТУРА

1. Монахов В.И. Измерение расхода и количества жидкости, газа и пара. – М.; Л.: Госэнергоиздат, 1962. – 128 с.
2. Кремлевский П.П. Расходомеры и счетчики количества веществ: справочник: кн. 1. – 5-е изд. перераб. и доп. – СПб.: Политехника, 2002. – 409 с.
3. Pletnev A.O., Denisevich A.A., Goryunov A.G., Manenti F. Development the device of automatic dispensing low flowrates of aggressive and radioactive liquids // Chemical Engineering Transactions. – 2018. – Vol. 70. – P. 1411–1416. – doi: 10.3303/CET1870236
4. Левин В.М. Расходомеры малых расходов для схем промышленной автоматизации. – М.: Энергия, 1972. – 72 с.
5. Shadrin A.Y., Ivanov V.B., Skupov M.V., Troyanov V.M., Zhrebtsov A.A. Comparison of closed nuclear fuel cycle technologies // Atomic Energy. – 2016. – Vol. 121. – P. 119–126.

УДК 681.5

ОЦЕНКА РОБАСТНОСТИ ДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ УПРАВЛЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫМИ ПРОЦЕССАМИ В АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ ПОДВИЖНЫМИ ОБЪЕКТАМИ

В.А. Ушаков, аспирант лаб. ИТСАМ

*Научный руководитель Б.В. Соколов, гл. н.с. СПб ФИЦ РАН, д.т.н., проф.
г. Санкт-Петербург, СПб. ФИЦ РАН, mr.vitaly.ushakov@yandex.ru*

Рассматривается вопрос оценки робастности (параметрического синтеза) динамической модели управления информационными процессами, включающими в себя процессы приема, передачи и обработки данных и информации, в автоматизированной системе управления подвижными объектами с помощью научного направления «Квалиметрия моделей и полимодельных комплексов».

Ключевые слова: оценка робастности, параметрический синтез, динамическая модель, управление информационными процессами, автоматизированная система управления подвижными объектами, АСУ ПДО.

Оценка робастности (параметрический синтез) моделей или полимодельных комплексов является одним из важнейших этапов разработки, тестирования и верификации моделей и полимодельных комплексов. Оценка робастности часто используется на практике для решения различных задач, например [1, 2].

В [3] была разработана динамическая модель (ДМ) управления информационными процессами, включающими в себя процессы приема, передачи и обработки данных и информации, в автоматизированной системе управления подвижными объектами (АСУ ПдО [4]). Содержательная постановка задачи была приведена в [5]. Данная ДМ позволяет решить одновременно задачи синтеза технологий проведения измерительно-вычислительных операций, а также объемного и календарного планирования (программного управления) рассматриваемыми процессами.

Для решения задачи оценки робастности ДМ управления информационными процессами в АСУ ПдО предлагается использовать молодое научное направление «Квалиметрия моделей и полимодельных комплексов» [6], в котором уже получены значительные результаты, и эти результаты апробированы в ряде прикладных направлений. Благодаря этому, данное научное направление доказало свою эффективность.

«Квалиметрия моделей и полимодельных комплексов» занимается проблемами оценивания качества моделей, анализа, упорядочения и организации взаимодействия различных классов моделей (полимодельных комплексов), обоснованного синтеза новых моделей либо выбора из числа уже существующих моделей наиболее предпочтительных, предназначенных для решения конкретных прикладных задач. Под робастностью понимается знание количественных оценок допустимых вариантов параметров модели или полимодельного комплекса [7].

В ходе оценки робастности ДМ управления информационными процессами в АСУ ПдО были проанализированы такие параметры, как:

- константа, определяющая минимально/максимально возможные значения скорости (интенсивности) приема/передачи информации в ДМ;
- константа, определяющая минимально/максимально возможные значения скорости (интенсивности) обработки информации в ДМ;
- пропускная способность канала приема/передачи информации;
- пропускная способность канала обработки информации;
- объемы информации, переданные из одного узла в другой узел на некотором интервале постоянства структуры;

- объемы информации, обработанные в узле на некотором интервале постоянства структуры;
- директивные сроки качества выполнения операций;
- штрафная функция;
- заданная длительность на некотором интервале времени, в течение которого структура АСУ ПдО постоянна;
- продолжительность интервалов планирования.

Как показал анализ, объемы информации, переданные из одного узла в другой узел на некотором интервале постоянства структуры и объемы информации, обработанные в узле на некотором интервале постоянства структуры (далее – заданные константы), являются самыми чувствительными параметрами разработанной ДМ. Поэтому в настоящее время выполняется разработка статической модели [8], которая будет генерировать заданные константы для ДМ управления информационными процессами в АСУ ПдО.

Исследования, выполненные по данной тематике, проводились при финансовой поддержке РФФИ в рамках научных проектов № 19-38-90221, 20-08-01046 и в рамках бюджетной темы № 0073-2019-0004.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вундер Н.А., Дударенко Н.А. Оценка робастности отклонений траекторий свободного движения аperiодических систем методами теории чувствительности // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2018. – Т. 18, № 4. С. 704–707. – doi: 10.17586/2226-1494-2018-18-4-704-707
2. Смирнов П.О. Робастные методы и алгоритмы оценивания корреляционных характеристик данных на основе новых высокоэффективных и быстрых робастных оценок масштаба: дис. ... канд. физ.-мат. наук: 05.13.18. – СПб., 2013. – 182 с. – doi: 10.13140/RG.2.2.13551.02720
3. Ушаков В.А. Разработка модели и алгоритма планирования информационных процессов в автоматизированной системе управления подвижными объектами // 19-я Междунар. конф. «Авиация и космонавтика»: Тезисы (Москва, 23–27 ноября 2020 г.). – М.: Перо, 2020. – С. 318–320.
4. Охтилев М.Ю., Соколов Б.В., Юсупов Р.М. Интеллектуальные технологии мониторинга и управления структурной динамикой сложных технических объектов. – М.: Наука, 2006. – 410 с.
5. Ушаков В.А. Разработка динамической модели управления структурной динамикой автоматизированной системы управления подвижными объектами // Информационные технологии в управлении (ИТУ–2020): матер. конф. (Санкт-Петербург, 7–8 октября 2020 г.). – СПб.: АО «Концерн «ЦНИИ «Электрон»», 2020. – С. 306–308.
6. Микони С.В., Соколов Б.В., Юсупов Р.М. Квалиметрия моделей и полимодельных комплексов. – М.: РАН, 2018. – 314 с. doi: 10.31857/S9785907036321000001

7. Никифоров В.О., Слита О.В., Ушаков А.В. Интеллектуальное управление в условиях неопределенности. – СПб.: СПбГУ ИТМО, 2011. – 231 с.

8. Ушаков В.А. Разработка статической модели управления структурной динамикой автоматизированной системы управления подвижными объектами // XLV Академические чтения по космонавтике, посвященные памяти С.П. Королева: сборник тезисов. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2021.

УДК 004.041

ОБЩИЙ АЛГОРИТМ УСАДКИ GPS ТРЕКА НА ЗВЕНЬЯ ДОРОЖНОЙ СЕТИ

Д.А. Кожин, В.Ю. Юшин, Т.В. Ганджа

г. Томск, ТУСУР, treplays1@gmail.com

Представлено описание алгоритма по усадке GPS-координат на звенья дорожной сети.

Ключевые слова: GPS, дорожная сеть, усадка координат, алгоритм.

Процесс усадки трека на дорожную сеть (ДС) схематически показан на рис. 1. Для работы алгоритма необходимы 2 источника данных – GPS-трек и участки ДС (звенья).

Из существующей литературы ясно, что ключевым компонентом любого алгоритма усадки трека является определение правильного звена среди звеньев-кандидатов, поскольку одно плохое совпадение может привести к последовательности плохих совпадений. Обзор литературы также показал, что особое внимание следует уделять топологическим аспектам дорожной сети, процессам согласования на перекрестках и валидации алгоритмов в средах со сложной структурой маршрутов, например в застроенных городских районах [1,2].

Процесс начинается с узлового сопоставления для определения правильного звена (среди всех звеньев, связанных с ближайшим узлом к точке GPS) и определения физического местоположения точки GPS на этом звене.

На следующем шаге анализируется, может ли следующая точка GPS соответствовать звену, указанному на предыдущем шаге, а затем определяется ее физическое местоположение в исходные данные. Жизненно важно выполнить первый шаг осторожно и надежно, поскольку потенциально может быть много звеньев-кандидатов.

Самая сложная задача любого алгоритма ММ – выбрать правильное звено среди звеньев-кандидатов. Это будет происходить на стыках в ДС. Основываясь на различных критериях подобия между полученной точкой GPS и топологией сети на стыке, можно использовать

систему взвешивания для выбора правильной дуги, как это было предложено Гринфелдом (2002) [2].

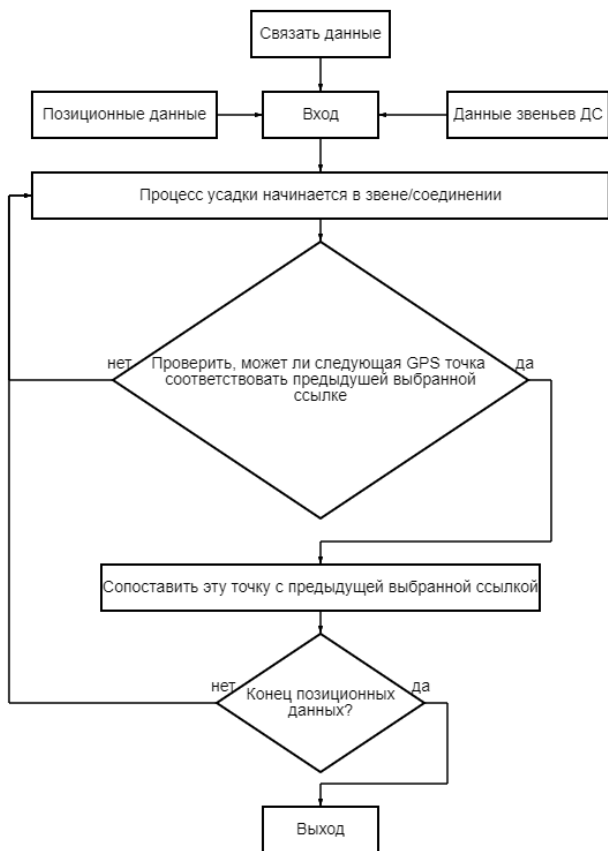


Рис. 1. Схематическое изображение алгоритма усадки трека

Критериями, используемыми в алгоритме Гринфелда, являются сходство в ориентации (т.е. степень параллелизма между линией, образованной двумя последовательными точками GPS, и звеном дорожной сети), близость точки к узлу и размер угла пересечения между линией, полученной с помощью GPS, и звеном. Схема взвешивания оценивает несколько звеньев-кандидатов на предмет правильного совпадения, вычисляя оценку правдоподобия на основе этих критериев. Гринфелд (2002) [2] определил, что сходство в ориентации более важно, чем близость, но это может быть скорректировано на основе весов, присвоенных каждому критерию.

Для повышения производительности алгоритма в качестве входных данных используется калиброванный заголовок DR вместо производной линии GPS. Кроме того, учитывается положение точки GPS / DR относительно ближайшего к ней звена, а также учитывается информация о скорости транспортного средства. Различные весовые коэффициенты используются для контроля важности каждого из этих критериев при определении наилучшей процедуры сопоставления карт.

ЛИТЕРАТУРА

1. Bernstein D., Kornhauser A. An introduction to map matching for personal navigation assistants. – 1996. – 100 p.
2. Greenfeld J.S. Mating GPS observations to locations on a digital map // In proceedings of the 81th Annual Meeting of the Transportation Research Board. – 2002. – P. 1853–1855.

УДК 378.147.88

ИНФОРМАЦИОННОЕ И МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ «ИЗМЕРЕНИЕ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ПРИБОРАХ СЕРИИ P2M»

Р.А. Василенко, О.С. Жабин, студенты

*Научный руководитель А.А. Жуков, доцент каф. радиоэлектроники,
к.ф.-м.н.*

г. Томск, ТГУ, rc9hb@mail.ru

Приведено описание информационной и методической поддержки лабораторной работы для измерения электрофизических характеристик композиционных материалов на приборах серии P2M.

Ключевые слова: LabVIEW, P2M, Moodle, Graphit, Python, композиционные материалы, электромагнитные характеристики.

Развитие современного производства привело к широкому распространению и применению композиционных материалов, обладающих минимально возможными массогабаритными показателями, ценой, твердостью, надежностью и эффективной электромагнитной совместимостью.

Качественное применение композиционных материалов при проектировании радиоаппаратуры реализуется за счет получения достоверной информации об их электрофизических характеристиках в заданном частотном диапазоне [1].

Современные научно-исследовательские лаборатории имеют большое количество измерительного оборудования для изучения материалов в различных средах распространения электромагнитных волн. Полученные результаты могут иметь достаточно большой объем данных для «ручной» обработки, что занимает большое количество времени. Для решения данной проблемы и повышения производительности создаются программы автоматизации измерительного процесса, которые помимо получения массива данных об электромагнитном отклике от образца могут рассчитать его основные характеристики: коэффициенты отражения, поглощения, прохождения [2].

Одним из устройств, применяемых для измерения электромагнитного отклика композиционных материалов на радиофизическом факультете ТГУ, является скалярный анализатор цепей P2M, разработанный научно-производственной фирмой «Микран». Данный прибор предназначен для измерения модулей коэффициентов отражения, прохождения, а также коэффициента стоячей волны по напряжению (КСВН) в диапазоне от 10 МГц до 40 ГГц [3].

Естественно, что для изучения и создания таких материалов нужны высококвалифицированные технические специалисты [4].

Главными задачами при подготовке таких кадров являются их междисциплинарное образование и наличие у них при выпуске навыков работы с современной измерительной аппаратурой и принципами ее работы [4].

Одним из вариантов решения данных задач можно считать применение электронных образовательных ресурсов и технологий удаленного обучения в образовательном процессе [4].

Авторами разработано информационное и методическое обеспечение лабораторной работы «Измерение электрофизических характеристик композиционных материалов на приборах серии P2M», которая дает студентам следующие навыки: работа со скалярным анализатором цепей P2M; основы управления прибором с помощью программы, разработанной на графическом языке LabVIEW; организация удаленного управления прибором. Данный ресурс реализован в системе электронного обучения Moodle по курсу «Технологии организации приборных интерфейсов».

Данная лабораторная работа заключается в создании виртуально-го прибора на основе предложенного шаблона программы. В эту программу студент должен внести изменения для выполнения конкретного измерения. После написания программы студент должен провести тестирование программы и измерение для заданного набора образцов. После завершения выполнения лабораторной работы студенты пишут

отчёт и отправляют его на проверку преподавателю с помощью раздела «Сдать отчёт».

Данная работа также является примером использования системы LabVIEW для автоматизации эксперимента.

ЛИТЕРАТУРА

1. Lotgering F.K., Nucl J. Inorg. Topotactical reactions with ferromagnetic oxides having hexagonal crystal structures // I. Chem. – 1959. – Vol. 9. – P. 113–123.

2. Доценко О.А., Кочеткова О.А., Вагнер Д.В. Исследование электромагнитных характеристик порошков мультиферроиков в частотном диапазоне 3–12 ГГц // Изв. вузов. Физика. – 2012. – № 8/2. – С. 179–180.

3. Vasilenko R.A., Zhabin O.S., Kuleshov G.E. Electromagnetic characteristics of composite materials based on hexaferrite powders and a silicone binder // JPCS. – 2020. – Vol. 1488. – P. 012013-1–012013-7.

4. Жуков А.А. Организация электронного обучения на радиофизическом факультете // Лучшие практики электронного обучения: матер. II метод. конф. – Томск: ТГУ, 2016. – С. 29–35.

ПОДСЕКЦИЯ 3.4

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ

Председатель секции – Ходашинский И.А., проф.

каф. КИБЭВС, д.т.н.;

зам. председателя – Сарин К.С., доцент каф. КИБЭВС, к.т.н.

УДК 004.021

ПРИМЕНЕНИЕ АЛГОРИТМОВ ГЕНЕРАЦИИ ДАННЫХ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ НЕЧЕТКИХ КЛАССИФИКАТОРОВ

М.Б. Бардамова, аспирант каф. КИБЭВС

*Научный руководитель И.А. Ходашинский, д.т.н., проф. каф. КИБЭВС
г. Томск, ТУСУР, 722bmb@gmail.com*

Одним из способов исправления дисбаланса в данных является применение предобработки, направленной на увеличение числа экземпляров наименьшего класса. Особенно распространены алгоритмы на основе техники SMOTE, которые генерируют данные путем интерполяции. Цель данной статьи заключается в проверке, является ли использование SMOTE более эффективным инструментом при построении нечеткого классификатора, чем оптимизация параметров термов метаэвристикой со средней геометрической точностью в фитнес-функции.

Ключевые слова: нечеткий классификатор, несбалансированные данные, оверсемплинг, SMOTE, метаэвристики, машинное обучение.

Большинство наборов данных из реальных задач классификации являются несбалансированными. Игнорирование такого характера данных приводит к переобучению классификатора. Поэтому актуальными являются алгоритмы, позволяющие исправить или преодолеть дисбаланс.

Алгоритмы, направленные на генерацию искусственных образцов наименьшего класса, широко применяются для исправления данных, так как они не зависят от классификатора. Однако увеличение числа экземпляров ведет к большим затратам времени на обучение. И, если в данных есть шум, он может быть воспроизведен новыми образцами.

Для преодоления дисбаланса бывает достаточно внести изменения в процесс обучения классификатора. Например, использовать в качестве фитнес-функции алгоритма оптимизации метрику, которая чувствительна к дисбалансу. Одной из таких метрик является средняя геометрическая точность. Чем меньше имеется в обучении экземпля-

ров класса меньшинства, тем больший вклад в фитнес-функцию будет вносить каждый правильно классифицированный экземпляр этого класса.

В представленной работе проведено сравнение точности нечеткого классификатора после применения алгоритмов генерации данных и оптимизацией параметров с точностью классификатора без предобработки данных, но измененной фитнес-функцией.

Исследуемые алгоритмы. Алгоритм SMOTE (Synthetic Minority Oversampling Technique) создает новый экземпляр данных путем линейной интерполяции двух экземпляров из наименьшего класса. Оба выбираются случайно, но второй находится из множества k ближайших соседей первого. Процесс повторяется до тех пор, пока количество экземпляров классов не сравнивается [1].

Самой распространенной модификацией SMOTE является Borderline-SMOTE. Он генерирует экземпляры только на границе принятия решений, выбирая образцы, имеющие среди ближайших соседей как минимум один экземпляр наибольшего класса [2].

Алгоритм случайного добавления (Random Oversampling) дублирует выбранные случайным образом экземпляры положительного класса до тех пор, пока не будет достигнут баланс.

Описание данных. Для эксперимента использованы данные из репозитория KEEL (keel.es), включающие два класса (табл. 1). Здесь x^+ и x^- – число экземпляров наименьшего и наибольшего классов.

Таблица 1

Параметры наборов данных

№	Название	x^+	x^-	№	Название	x^+	x^-
1	glass1	76	138	19	yeast3	163	1321
2	ecoli0vs1	77	143	20	ecoli3	35	301
3	wisconsin	239	444	21	page-blocks0	559	4913
4	pima	268	500	22	yeast2vs4	51	463
5	glass0	70	144	23	yeast05679vs4	51	477
6	yeast1	429	1055	24	vowel0	90	898
7	haberman	81	225	25	glass2	17	197
8	vehicle2	218	628	26	ecoli4	20	316
9	vehicle1	217	629	27	glass4	13	201
10	vehicle3	212	634	28	page-blocks13vs2	28	444
11	glass0123vs456	51	163	29	abalone9-18	42	689
12	vehicle0	199	647	30	yeast1458vs7	30	663
13	ecoli1	77	259	31	yeast2vs8	20	462
14	newthyroid2	35	180	32	yeast4	51	1433
15	newthyroid1	35	180	33	yeast1289vs7	30	917
16	ecoli2	52	284	34	yeast5	44	1440
17	segment0	329	1979	35	ecoli0137vs26	7	274
18	glass6	29	185	36	yeast6	35	1449

Результаты эксперимента. Эксперимент проведен на пятикратной кроссвалидации. Каждая выборка сначала дополнялась алгоритмом генерации экземпляров, затем запускался гибридный алгоритм оптимизации (500 итераций, 50 векторов в популяции) [3]. В SMOTE (SM) и Borderline-SMOTE (B-SM) количество соседей k равнялось трем, другие параметры использованы по умолчанию [4]. В табл. 2 представлены значения средней геометрической точности классификаторов после оптимизации. В столбце GFA приведены результаты, полученные без дополнения данных.

Таблица 2

Результаты построения нечетких классификаторов

№	SM	B-SM	ROS	GFA	№	SM	B-SM	ROS	GFA
1	63,2	61,7	63,8	64,1	19	88,8	89,2	88,9	85,4
2	96,5	96,2	96,2	96,7	20	84,2	84,3	84,2	85,0
3	94,9	93,2	95,0	95,2	21	79,9	75,9	79,2	78,4
4	70,2	68,8	70,2	71,2	22	84,1	81,9	83,6	84,4
5	73,8	73,8	73,7	73,9	23	76,9	77,4	77,3	76,7
6	67,1	65,8	68,1	65,6	24	88,5	87,9	88,9	84,9
7	61,9	61,2	62,2	52,8	25	60,1	56,9	60,9	59,7
8	71,7	68,0	70,0	74,1	26	89,7	88,8	88,8	90,0
9	65,7	64,8	65,2	65,4	27	77,7	80,9	81,2	83,0
10	65,2	65,3	65,3	66,0	28	92,8	92,2	92,9	87,5
11	89,4	90,7	90,1	90,6	29	74,0	74,6	75,0	71,5
12	78,7	78,4	78,8	79,2	30	56,9	54,5	54,9	57,0
13	87,3	87,6	87,4	87,4	31	71,8	53,2	74,2	72,6
14	97,2	97,9	98,2	95,2	32	79,5	80,1	80,6	80,2
15	97,6	98,3	97,7	96,0	33	61,1	57,5	61,9	62,7
16	88,2	85,1	88,1	87,3	34	90,9	92,2	94,4	94,2
17	94,6	91,5	95,1	87,2	35	64,8	68,3	66,1	71,3
18	86,0	82,2	86,6	88,0	36	85,0	83,8	84,4	85,9

Заключение. Парное сравнение результатов с помощью критерия Уилкоксона показало, что нет статистического различия между полученными значениями средней геометрической точности. Можно заключить, что при работе с данными, насчитывающими только два класса, не существенно, какой подход выбирать: использовать алгоритмы дополнения с оптимизацией параметров на основе классической точности или сразу применять оптимизацию со средней геометрической точностью в фитнес-функции.

ЛИТЕРАТУРА

1. SMOTE: synthetic minority over-sampling technique / N.V. Chawla, K.W. Bowyer, L.O. Hall, W.P. Kegelmeyer // Journal of artificial intelligence research. – 2002. – Vol. 16. – P. 321–357.

2. Han H. Borderline-SMOTE: A New Over-Sampling Method in Imbalanced Data Sets Learning / H. Han, W.Y. Wang, B.H. Mao // Lecture Notes in Computer Science. – 2005. – Vol. 3644. – P. 878–887.

3. Bardamova M. Optimization of fuzzy classifier parameters with a combination of gravitational search algorithm and shuffled frog leaping algorithm / M. Bardamova, I. Hodashinsky // Journal of physics: conference series. – 2020. – Vol. 1611. – P. 012068.

4. Imbalanced-learn [Электронный ресурс]. – Режим доступа: github.com/scikit-learn-contrib/imbalanced-learn (дата обращения: 10.02.2021).

УДК 004.021

МЕТАЭВРИСТИКА TREE-SEED ALGORITHM ДЛЯ ПОИСКА МИНИМУМА МАТЕМАТИЧЕСКИХ ФУНКЦИЙ

Е.А. Чистякова, студентка каф. БИС

*Научный руководитель И. А. Ходашинский, проф. каф. КИБЭВС, д.т.н.
г. Томск, ТУСУР, katyachisty@yandex.ru*

Рассматривается метаэвристика Tree-Seed algorithm (TSA), выбранная для реализации в целях нахождения минимумов различных математических функций.

Ключевые слова: метаэвристика, оптимизация, популяция, Tree-Seed algorithm, математические функции.

Метаэвристики – это общие эвристики, позволяющие находить близкие к оптимальным решения различным задач оптимизации за приемлемое время. Несмотря на то, что они не всегда дают точное оптимальное решение, а чаще всего близкие к оптимальным, они используются во многих сферах [1–4]. Их преимущество в том, что они способны решать сложные задачи без знания пространства поиска.

В последнее время популяционные метаэвристики становятся более популярными и изучаемыми. Именно поэтому популяционный алгоритм «дерево–семя» был взят для изучения.

Цель работы – исследование метаэвристики Tree-seed algorithm для нахождения минимума математических функций.

Tree-Seed Algorithm (TSA). TSA – это популяционный алгоритм непрерывной оптимизации, созданный Кираном в 2015 г. [5].

Алгоритм «дерево–семя» построен на основе размножения деревьев с помощью их семян. В природной среде деревья разбрасывают свои семена вокруг в определенной области. Некоторые из этих семян со временем вырастают в новые деревья. Этому способствуют различные факторы, такие как освещенность, влажность, вид почвы и т.д. Если в месте попадания семени будут оптимальные условия (хорошая

почва, много света и достаточное количество влаги), то это семя вырастет в дерево, которое потом снова даст семена. Если же семени не хватит света, не будет достаточно места, или оно попадет в пищу обитателям леса, то, соответственно, ничего из этого семени не появится. Алгоритм TSA реализует размножение семян деревьев с учетом вышеуказанных условий.

Выполнение алгоритма TSA делится на две фазы. В первой фазе происходит задание исходных параметров, необходимых для работы метаэвристического алгоритма. К таким параметрам относятся: размер начальной популяции деревьев (N), размерность задачи (D) и поисковая тенденция (ST). Поисковая тенденция – это постоянное число в диапазоне $[0;1]$. Она используется на этапе производства новой популяции. Чем ближе ST к нулю, тем вероятнее, что новые семена будут получаться путем скрещивания дерева-родителя с любым случайным деревом из всей популяции. Чем ближе к единице, тем вероятнее, что скрещивание будет производиться с деревом, чьи показатели являются лучшими на данный момент. Также в первой фазе определяется условие останова и генерируется начальная популяция из N деревьев в D -мерном пространстве с помощью формулы (1):

$$T_{i,j} = Low_j + r_{i,j}(High_j - Low_j), \quad (1)$$

где $T_{i,j}$ – дерево-решение; Low_j – нижняя граница пространства поиска; $High_j$ – верхняя граница пространства поиска; $r_{i,j}$ – случайное число для каждого измерения в диапазоне $[0;1]$; j изменяется от 1 до D .

После задания всех параметров определяется лучшее дерево в начальной популяции с помощью целевой функции для указанной задачи.

Во второй фазе происходит определение количества семян (ns) для каждого дерева. Это число генерируется случайно в диапазоне от 10 до 25% от N . Затем генерируется случайное число от 0 до 1. Если оно меньше, чем ST , то положение новых семян для каждого дерева в D -мерном пространстве рассчитывается формуле (2), иначе по формуле (3):

$$S_{k,j} = T_{i,j} + \alpha_{i,j} \times (B_j - T_{r,j}), \quad (2)$$

$$S_{k,j} = T_{i,j} + \alpha_{i,j} \times (T_{i,j} - T_{r,j}), \quad (3)$$

где $S_{k,j}$ – положение нового дерева из k -го семени; $T_{i,j}$ – дерево-решение, которое дало семя; $\alpha_{i,j}$ – коэффициент масштабирования, производимый в диапазоне $[-1; 1]$ для i -го дерева в D -мерном пространстве (случайное число); $T_{r,j}$ – случайное дерево-решение из популяции; B_j – лучшее дерево на данный момент. После этого происходит выбор лучшего семени из новой популяции. Если лучшее из се-

мян лучше, чем B_j , то B_j принимает значение лучшего семени. В список деревьев для дальнейшего скрещивания вносится только лучшее семя из потомства, полученного для каждого дерева. Эти действия выполняются, пока не будет достигнуто условие останова.

Эксперимент и его результаты. Тестирование алгоритма проводилось на пяти математических функциях. Алгоритм запускался по 10 раз с разным временем выполнения (5 и 15 мин). Используемые размерности D : 5, 10 и 50. Результаты представлены в таблице.

Результаты тестирования

Функция	Минимум функции	$D = 5$		$D = 10$		$D = 50$	
		5 мин	15 мин	5 мин	15 мин	5 мин	15 мин
Sphere	0	1,07E-76	1E-160	2,6E-22	1,33E-30	0,301	6,04E-05
Rastrigin	0	0	0	0	0	76,333	21,157
Rosenbrock	0	0,003	0,0001	2,823	1,618	99,332	98,526
Bent-Cigar Function	0	1,00E-76	3,3E-115	1,41E-24	1,7E-31	23,753	0,009
Discus Function	0	2,9E-89	1,9E-113	2,34E-21	1,43E-41	0,003	3,86E-09

Заключение. В результате проведенного тестирования было выявлено, что метаэвристический алгоритм TSA находит оптимальные или близкие к оптимальным значениям практически для всех тестируемых функций. Если увеличить время работы алгоритма, то для тех функций, для которых оптимум был не найден, он, вероятнее всего, найдется.

Таким образом, можно сделать выводы о хорошей работоспособности популяционного метаэвристического алгоритма TSA.

ЛИТЕРАТУРА

1. Chau K-W. Reliability and performance-based design by artificial neural network // *Advances in Engineering Software*. – 2007. – Vol. 38, № 3. – P. 145–149.
2. Novel genetic based negative correlation learning for estimating soil temperature / S.M.R. Kazemi, B.M. Bidgoli, S. Shamshirband, S.M. Karimi, M.A. Ghorbani, K-W. Chau, R.K. Pour // *Engineering Applications of Computational Fluid Mechanics*. – 2018. – Vol. 12, № 1. – P. 506–516.
3. Coupling a firefly algorithm with support vector regression to predict evaporation in northern Iran/ R. Moazen-zadeh, B. Mohammadi, S. Shamshirband, K-W. Chau// *Engineering Applications of Computational Fluid Mechanics*. – 2018. – Vol. 12, № 1. – P. 584–597.
4. Wu C., Chau K.-W. Rainfall–runoff modeling using artificial neural network coupled with singular spectrum analysis// *Journal of Hydrology*. – 2011. – Vol. 399, № 3, Iss. 4. – P. 394–409.
5. Kiran M.S. TSA: tree-seed algorithm for continuous optimization// *Expert Systems with Applications*. – 2015. – Vol. 42, № 19. – P. 6686–6698.

**РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ РАНЖИРОВАНИЯ
И ГЕНЕРАЦИИ ПО РАНГУ ДЛЯ КОМБИНАТОРНОГО
МНОЖЕСТВА, ОПРЕДЕЛЯЕМОГО ЧИСЛАМИ ДЕЛАННУА**
З.А. Качалов, студент; Ю.В. Шабля, доцент каф. КИБЭВС, к.т.н.
г. Томск, ТУСУР, каф. КИБЭВС, syv@fb.tusur.ru

Решается задача получения новых алгоритмов комбинаторной генерации на примере комбинаторного множества, определяемого числами Деланнуа. На основе структуры дерева И/ИЛИ для данного комбинаторного множества и при помощи правил биекции между множеством вариантов дерева И/ИЛИ и комбинаторным множеством разработаны алгоритмы ранжирования и генерации по рангу. **Ключевые слова:** комбинаторная генерация, ранжирование, генерация по рангу, дерево И/ИЛИ, числа Деланнуа.

Информационные объекты с иерархической или рекурсивной природой описания могут быть представлены в виде древовидной структуры данных. Например, к таким объектам можно отнести элементы комбинаторного множества, функция мощности которого определяется числами Деланнуа [1].

Рассмотрим следующую комбинаторную интерпретацию для чисел Деланнуа: значение числа Деланнуа $D(m, n)$ определяет количество путей из нижнего левого угла прямоугольной матрицы размера $m \times n$ в диагонально противоположный угол, используя только ходы вверх, вправо и вверх–вправо (такие решетчатые пути также называют путями Деланнуа). Известны такие сферы применения объектов, определяемых числами Деланнуа, как исследование вероятностей в теории игр, выравнивание последовательностей ДНК, моделирование представлений временных зависимостей, анализ алгоритмов и комбинаторных структур и др. [2].

Методы комбинаторной генерации позволяют получить специализированные алгоритмы, которые направлены на повышение эффективности обработки комбинаторных множеств. Целью данной работы является разработка алгоритмов комбинаторной генерации для комбинаторного множества, определяемого числами Деланнуа.

Алгоритм ранжирования. На основе дерева И/ИЛИ и правил биекции, которые были получены в работе [3], разработан следующий рекурсивный алгоритм ранжирования для исследуемого комбинаторного множества:

$\text{Rank}([v_1, v_2, \dots], m, n)$
begin

```

if  $m = 0$  or  $n = 0$  then  $r := 0$ 
else
  if  $v_1 = 1$  then  $r := \text{Rank}([v_2, \dots], m - 1, n)$ 
  else
    if  $v_1 = 2$  then  $r := \text{Rank}([v_2, \dots], m - 1, n - 1) + D(m - 1, n)$ 
    else  $r := \text{Rank}([v_2, \dots], m, n - 1) + D(m - 1, n - 1)$ 
  end
end
return  $r$ 
end

```

На вход алгоритма ранжирования подается код варианта дерева И/ИЛИ ($v := [v_1, v_2, \dots]$), а также размеры прямоугольной матрицы (m и n). Каждое значение v_i в коде варианта дерева И/ИЛИ показывает: $v_i = 1$ – путь вверх; $v_i = 2$ – путь вверх–вправо; $v_i = 3$ – путь вправо.

На выходе алгоритм ранжирования возвращает рассчитанное значение ранга (r) для заданного варианта дерева комбинаторного множества, определяемого числом Деланнуа $D(m, n)$.

Алгоритм генерации по рангу. Генерация по рангу – обратное действие для ранжирования. Алгоритм генерации по рангу позволяет генерировать комбинаторные объекты с заданным рангом. В результате разработан следующий рекурсивный алгоритм генерации по рангу для исследуемого комбинаторного множества:

```

Unrank( $r, m, n$ )
begin
  if  $m = 0$  or  $n = 0$  then  $v := []$ 
  else
    if  $r < D(m - 1, n)$  then  $v := \text{concat}([1], \text{Unrank}(r, m - 1, n))$ 
    else
       $r := r - D(m - 1, n)$ 
      if  $r < D(m - 1, n - 1)$  then  $v := \text{concat}([2], \text{Unrank}(r, m - 1, n - 1))$ 
      else
         $r := r - D(m - 1, n - 1)$ 
         $v := \text{concat}([3], \text{Unrank}(r, m, n - 1))$ 
      end
    end
  end
return  $v$ 
end

```

На вход алгоритма генерации по рангу подаются ранг варианта дерева И/ИЛИ (r), а также размеры прямоугольной матрицы (m и n).

На выходе алгоритм генерации по рангу возвращает рассчитанный код варианта дерева И/ИЛИ (v) комбинаторного множества, определяемого числом Деланнуа $D(m, n)$.

На рис. 1 представлен пример работы разработанных алгоритмов с помощью их программной реализации для $D(2, 2) = 13$.

Параметры комбинаторного множества: $m = 2, n = 2.$		
Общее количество комбинаторных объектов: $D(m, n) = 13.$		
Ранг: $r = 0$	-> Unrank: $v = 1133$	-> Rank: $r = 0$
Ранг: $r = 1$	-> Unrank: $v = 123$	-> Rank: $r = 1$
Ранг: $r = 2$	-> Unrank: $v = 1313$	-> Rank: $r = 2$
Ранг: $r = 3$	-> Unrank: $v = 132$	-> Rank: $r = 3$
Ранг: $r = 4$	-> Unrank: $v = 1331$	-> Rank: $r = 4$
Ранг: $r = 5$	-> Unrank: $v = 213$	-> Rank: $r = 5$
Ранг: $r = 6$	-> Unrank: $v = 22$	-> Rank: $r = 6$
Ранг: $r = 7$	-> Unrank: $v = 231$	-> Rank: $r = 7$
Ранг: $r = 8$	-> Unrank: $v = 3113$	-> Rank: $r = 8$
Ранг: $r = 9$	-> Unrank: $v = 312$	-> Rank: $r = 9$
Ранг: $r = 10$	-> Unrank: $v = 3131$	-> Rank: $r = 10$
Ранг: $r = 11$	-> Unrank: $v = 321$	-> Rank: $r = 11$
Ранг: $r = 12$	-> Unrank: $v = 3311$	-> Rank: $r = 12$

Рис. 1. Пример вычисления рангов для $D(2, 2)$

Заключение. Таким образом, результатом выполненной работы являются разработанные алгоритмы ранжирования и генерации по рангу для комбинаторного множества, определяемого числами Деланнуа. Также создана программная реализация на языке программирования Java, которая автоматизирует процесс вычислений в рамках разработанных алгоритмов комбинаторной генерации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Chen K.-W. Delannoy numbers and preferential arrangements // Mathematics. – 2019. – Vol. 7. – Article 238.
2. Banderier C. Why Delannoy numbers? / C. Banderier, S. Schwer // Journal of Statistical Planning and Inference. – 2005. – Vol. 135. – P. 40–54.
3. Качалов З.А. Дерево И/ИЛИ и правила биекции для комбинаторного множества, определяемого числами Деланнуа // Матер. докл. IX рег. науч.-практ. конф. «Наука и практика: проектная деятельность – от идеи до внедрения – 2020», 14 октября – 30 ноября 2020 г. – Томск: Изда-во ТУСУРа, 2020. – С. 201–205.

**ЛОКАЛЬНЫЕ И ГЛОБАЛЬНЫЕ ПРИЗНАКИ
ПРИ АУТЕНТИФИКАЦИИ ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ
ПО РУКОПИСНОЙ ПОДПИСИ**

Д.А. Андреевских, студент каф. КИБЭВС;

Р.Е. Коломников, студент каф. КСУП

*Научный руководитель К.С. Сарин, к.т.н., доцент каф. КИБЭВС
г. Томск, ТУСУР, andreevskih.dar@yandex.ru*

*Проект ГПО КИБЭВС-1912 «Аутентификация пользователя
по рукописной подписи с использованием нечеткого классификатора»*

Рассматривается применение локальных и глобальных признаков для аутентификации пользователя по рукописной подписи. Построены алгоритмы аутентификации с использованием динамической трансформации временной шкалы для локальных признаков и популярных классификаторов машинного обучения для глобальных признаков. Проведены эксперименты по аутентификации пользователя с расчетом точности предложенных алгоритмов.

Ключевые слова: рукописная подпись, аутентификация, машинное обучение, распознавание образов.

В современном мире электронные носители информации постепенно вытесняют бумажные, что, в свою очередь, влечет за собой проблему удостоверения подлинности личности в пространстве электронных документов. Самым популярным и исторически сложившимся решением удостоверять личность является аутентификация по рукописной подписи. Автоматические методы распознавания подписи на текущий момент требуют развития для достижения лучшей точности [1–3]. Оцифрованная рукописная подпись представляется в виде дискретных сигналов, формируемых графическим планшетом. На основе полученных сигналов можно получить две группы признаков, характеризующих подпись: локальные и глобальные. Первые представляются временными рядами, характеризующими координаты пера и величину давления в каждый отсчет времени. Вторые не описывают характеристик, в зависимости от времени нанесения, и представляют собой значение, характеризующее подпись целиком [4].

Целью настоящей работы является выявление группы признаков и способов их обработки, при применении которых точность аутентификации была бы максимальной. В ходе исследования необходимо изучить алгоритмы аутентификации на основе локальных и глобальных признаков, разработать и реализовать их в программной среде MatLab, провести тестирование реализованных алгоритмов и оценить точность распознавания для каждого из алгоритмов.

Набор рукописных подписей. Для проведения исследования была собрана база данных оригинальных и поддельных подписей по разработанной авторами методике. Сигналы рукописных подписей снимались с помощью планшета Wascom STU-540, который фиксирует сигналы координат X и Y , величина давления пера P с частотой 200 Гц, после чего записывает значения в файл. Файл с подписью имеет структуру таблицы. Каждая строка представляет значение сигналов подписи в один момент времени. В первых двух столбцах фиксируются координаты X и Y кончика пера, в третьем столбце фиксируется давление пера на экран планшета P . На рис. 1 продемонстрированы изображения трех подписей и соответствующие им сигналы в каждый момент времени t .

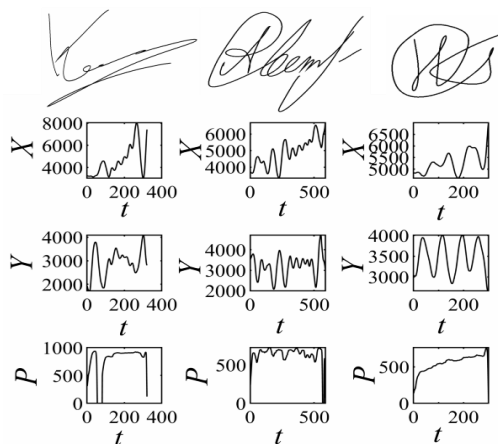


Рис. 1. Сигналы рукописной подписи

Аутентификация на основе локальных признаков. Алгоритм аутентификации с применением локальных признаков основан на алгоритме динамической трансформации временной шкалы (DTW) [5, 6]. Основная идея данного алгоритма заключается в нахождении DTW-расстояния между сигналами X , Y , P проверяемой и оригинальными подписями. Если данное расстояние не превышает заданный порог $d_{\text{threshold}}$, то подпись считается оригинальной, иначе – поддельной. Предложено 6 вариантов нахождения значения $d_{\text{threshold}}$.

Для каждого варианта нахождения порога были проведены эксперименты по аутентификации. Также в экспериментах варьировалось значение оригинальных подписей, необходимых для нахождения DTW-расстояния, от 3 до 7. Значения точности проведенных экспериментов представлены в табл. 1.

Таблица 1

Значения средней точности для локальных признаков

№ варианта	Количество оригинальных подписей				
	3	4	5	6	7
1	0,724	0,738	0,729	0,723	0,709
2	0,802	0,802	0,783	0,778	0,780
3	0,716	0,744	0,703	0,683	0,676
4	0,768	0,753	0,732	0,736	0,710
5	0,709	0,721	0,734	0,708	0,717
6	0,798	0,787	0,786	0,779	0,767

Аутентификация на основе глобальных признаков. Алгоритм аутентификации пользователя на основе глобальных признаков использует высокоуровневые признаки, представленные в работе [3]. В качестве инструмента принятия решения используются алгоритмы машинного обучения, а именно классификатор K -ближайших соседей (KNN), деревья решений (TW) и метод опорных векторов (SVM).

Схема алгоритма аутентификации представлены ниже:

1. Провести извлечение глобальных признаков из обучающих и тестируемых подписей.

2. Сформировать модель машинного обучения на основе оригинальных и поддельных вариантов подписи пользователя.

3. Осуществить прогноз тестируемой подписи с помощью модели.

При построении моделей количество подписей-подделок было фиксировано на 15 экземплярах, а количество оригиналов варьировалось от 3 до 7. Сравнение точностей моделей представлено в табл. 2.

Таблица 2

Значения средней точности для глобальных признаков

Модель	Количество оригинальных подписей				
	3	4	5	6	7
KNN	0,640	0,644	0,644	0,638	0,643
TW	0,807	0,815	0,827	0,820	0,817
SVM	0,872	0,875	0,880	0,867	0,881

Таблица 3

Сравнение точностей алгоритмов

Алгоритм	№ пользователя								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
DTW	0,778	0,818	0,626	0,696	0,728	0,972	0,676	0,994	0,926
SVM	0,878	0,898	0,868	0,836	0,852	0,95	0,796	0,896	0,948

Сравнение алгоритмов аутентификации. Чтобы сравнить применение локальных и глобальных признаков, проведено сравнение результатов точностей аутентификации алгоритма на основе DTW и

алгоритма на основе SVM. Результаты этих значений для каждого пользователя показаны в табл. 3.

Заключение. По итогам исследования средняя точность по пользователям для алгоритма DTW как представителя алгоритма с локальными признаками составила 0,7877, для алгоритма с использованием классификатора SVM как представителя алгоритма с глобальными признаками средняя точность составила 0,8686. В целом алгоритм, использующий глобальные признаки, показал более точный результат по точности аутентификации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ходашинский И.А. Аутентификация пользователя по динамике подписи на основе нечеткого классификатора / И.А. Ходашинский, Е.Ю. Костюченко, К.С. Сарин, А.Е. Анфилофьев, М.Б. Бардамова, С.С. Самсонов, И.В. Филлимошенко // Компьютерная оптика. – 2018. – Т. 42, № 4. – С. 657–666.
2. Hancer E. A wrapper metaheuristic framework for handwritten signature verification / E. Hancer, I. Hodashinsky, K. Sarin, A. Slezkin // Soft Computing. – 2021. – <https://doi.org/10.1007/s00500-021-05717-1>
3. Сарин К.С. Метод баггинга и отбор признаков в построении нечетких классификаторов для распознавания рукописной подписи / К.С. Сарин, И.А. Ходашинский // Компьютерная оптика. – 2019. – Т. 43, № 5. – С. 833–845.
4. Fierrez-Aguilar J. An On-line signature verification system based on fusion of local and global information / J. Fierrez-Aguilar, L. Nanni, J. Lopez-Penalba, J. Ortega-Garcia, D. Maltoni // Lecture Notes in Computer Science. – 2005. – Vol. 3546. – P. 523–532.
5. Sakoe H. Dynamic programming algorithm optimization for spoken word recognition / H. Sakoe, S. Chiba // IEEE Transactions on Acoustics, Speech and Signal Processing. – 1978. – Vol. 26, No. 1. – P. 43–49.
6. Salvador S. Toward accurate dynamic time warping in linear time and space / S. Salvador, P. Chan // Intelligent Data Analysis. – 2007. – Vol. 11, No. 5. – P. 561–580.

УДК 004.8.

ПОСТРОЕНИЕ СИСТЕМЫ ОБНАРУЖЕНИЯ ВТОРЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ НЕЧЁТКОГО КЛАССИФИКАТОРА И АЛГОРИТМА «КИТОВ»

Н.П. Корышев

*Научный руководитель И.А. Ходашинский, проф. каф. КИБЭВС, д.т.н.
г. Томск, ТУСУР, koryshev1997@gmail.com*

Представлен метод построения систем обнаружения вторжений с помощью классификатора на основе нечётких правил. Создание структуры нечёткого классификатора и настройка его параметров осуществляются с помощью метаэвристического алгоритма «ки-

тов». Работоспособность алгоритмов построения нечёткого классификатора на основе данной метаэвристики оценивается с использованием наборов данных KDD Cup 1999.

Ключевые слова: обнаружение вторжений, нечёткий классификатор, оптимизация, метаэвристический алгоритм, KDD Cup 1999.

Наряду с быстрым развитием информационно-коммуникационных технологий с поразительной скоростью растёт число атак на системы. Обеспечение безопасности сетей затрудняется увеличением количества подключенных рабочих мест, что приводит к более интенсивному трафику, большему количеству направлений атак, большему количеству нарушений безопасности со стороны пользователей и/или администраторов сетей и пр. Защита может быть усилена путём включения в системы безопасности методов машинного обучения [1].

Цель работы – реализация на основе метаэвристического алгоритма «китов» алгоритмов и программных средств для построения нечёткого классификатора, пригодного для решения задачи обнаружения сетевых вторжений.

Системы обнаружения сетевых вторжений. Системы обнаружения вторжений (СОВ, IDS) – программное или аппаратное средство, предназначенное для выявления фактов неавторизованного доступа в компьютерную систему или сеть. Стратегии классификации сетевого поведения обычно делятся на две категории: обнаружение неправильного использования и обнаружение аномалий [2].

Достоинством методов обнаружения неправильного использования (некорректного поведения) являются незначительные требования к вычислительным ресурсам и сохранение высокой достоверности обнаружения и анализа атак. Недостатком этих методов обнаружения является невозможность обнаружения новых (модифицированных) атак без обновления базы данных сигнатур атак.

Обнаружение новых атак более успешно осуществляется с помощью систем обнаружения аномалий: любое выявленное отклоняющееся поведение классифицируется как сетевое вторжение; поэтому данная работа сосредоточена на построении СОВ для обнаружения аномалий. Но такая СОВ должна осуществлять непрерывный мониторинг сетевого трафика. Кроме того, нормальное поведение в большой и динамичной системе меняется с течением времени, что приводит к значительному количеству ложных срабатываний СОВ.

Описание нечёткого классификатора. Нечёткий классификатор – способ решения задачи классификации из области вычислительного интеллекта, который использует нечёткие множества и нечёткую логику для представления знаний о решаемой проблеме. Нечёткая логи-

ка позволяет объекту принадлежать к разным классам одновременно с некоторой степенью принадлежности. Это делает её отличным выбором для моделирования СОВ, поскольку граница между нормальным и аномальным поведением в сети не является жёсткой. Главным достоинством нечёткого классификатора является высокая интерпретируемость созданных правил, что повышает надежность классификации и облегчает понимание структуры СОВ, построенной на его основе [3].

Такая СОВ будет использовать смешанную стратегию определения сетевого поведения. Модель нечёткого классификатора строится на основе таблицы наблюдений – базы данных известных сигнатур соединений, и нечёткие правила будут соответствовать известным классам, но благодаря высокой интерпретируемости нечётких правил она может быть способна обнаруживать неизвестные атаки без обновления сведений о сигнатурах атак.

Постановка задачи. Процесс создания нечёткого классификатора состоит в последовательном выполнении 3 этапов. Первый этап заключается в генерации базы нечётких правил. Цель первого этапа – создать модель классификатора в первом (грубом) приближении. Эффективный способ формирования правил основан на использовании алгоритма кластеризации. Он группирует все экземпляры данных из таблицы наблюдений в кластеры произвольной формы, характеристики которых становятся параметрами в составе правил. Такой способ имеет большую вычислительную сложность, но за счёт возможности применения алгоритмов оптимизации достигается большая эффективность классификатора.

Второй этап заключается в отборе информативных признаков для классификатора. Цель этого этапа состоит в избавлении от излишних и незначимых признаков. Наиболее эффективной схемой отбора признаков является схема «обёртки». Третий этап заключается в оптимизации параметров нечёткого классификатора. Цель третьего этапа – осуществить более тонкую настройку классификатора.

Алгоритмы решения этих задач могут быть разработаны на основе алгоритмов оптимизации, в том числе и метаэвристик, поскольку решение этих задач можно свести к решению задачи оптимизации некоторой целевой функции. В основе реализации этих алгоритмов в данной работе используется метаэвристический алгоритм «китов» (WOA) [4, 5].

Эксперимент и полученные результаты. Для проверки работоспособности разработанных алгоритмов построения нечёткого классификатора выполняется построение классификатора для обнаруже-

ния сетевых вторжений на наборе данных KDD Cup 1999 (набор взят из репозитория KEEL). Экземпляры этого набора данных (сетевые соединения) описываются 41 признаком, они распределены на 22 класса сетевых атак и один класс нормальных соединений. Однако в рамках эксперимента в наборе были определены только два класса: сетевые атаки и нормальные соединения. Получаемый классификатор вполне может использоваться в СОВ для обнаружения атак, несмотря на то, что он не сможет распознать конкретный вид атаки. Максимальное проверяемое количество кластеров в эксперименте было равно действительному количеству кластеров, умноженному на 5 (т.е. 10). Выполнялся эксперимент по схеме 5-кратной кроссвалидации; количество прогонов равнялось 3. В таблице приводятся средние результаты работоспособности нечёткого классификатора, создаваемого с помощью предлагаемых алгоритмов, на наборе KDD Cup на тестовой выборке в сравнении со средней работоспособностью других классификаторов.

Усреднённые показатели аналогов классификаторов сетевых атак

Классификатор	Ошибка 1-го рода (тест.)	Ошибка 2-го рода (тест.)	Отобрано признаков	Использовано правил (классов)
Нечёткий классификатор + WOA	0,92	1,07	8,4	5,53
GP-mt	2	0,07	41	2
SVM	2	10	41	2
MLP	1,49	5,29	16	2
SPAR/MLP	1,58	4,86	16	2
PKID+Cons+FVQIT	7,27	0,48	6	2
EMD+Cons+FVQIT	5,5	1,54	7	2
<i>k</i> -NN	1,22	1,6	41	2
AP	1,01	1,6	41	2

Заключение. Результаты построения с помощью разработанных алгоритмов нечёткого классификатора для обнаружения сетевых атак на наборе данных KDD Cup из таблицы показывают, что создаваемые с помощью WOA классификаторы могут быть использованы в СОВ для определения легитимности сетевого трафика и их работоспособность находится на уровне известных аналогов. Количество правил по итогам работы алгоритма формирования базы нечётких правил превосходит исходное количество классов (всего было два класса: атаки и нормальные соединения): в нечёткой системе формируются правила с одинаковыми метками классов и одновременно различной интерпретацией. Кроме того, видно, что на втором этапе построения алго-

ритм отбора признаков значительно сокращает набор используемых признаков.

В дальнейшем планируется проведение исследования, заключающегося в построении нечёткого классификатора на более современном наборе данных, например на UNSW-NB15.

ЛИТЕРАТУРА

1. Cavusoglu U. A new hybrid approach for intrusion detection using machine learning methods // *Applied Intelligence*. – 2019. – No. 49. – P. 2735–2761.

2. Kaja N. An intelligent intrusion detection system / N. Kaja, A. Shaout, D. Ma // *Applied Intelligence*. – 2019. – No. 49. – P. 3235–3247.

3. Bardamova M. A fuzzy classifier with feature selection based on the gravitational search algorithm / M. Bardamova, A. Konev, I. Hodashinsky, A. Shelupanov // *Symmetry*. – 2018. – Vol. 10, № 11. – P. 609.

4. Корышев Н.П. Оптимизация параметров нечёткого классификатора на основе алгоритма «китов» // Сб. избр. статей научной сессии ТУСУРа (Томск, 22–24 мая 2019 г.): в 2 ч. – 2019. – Ч. 2. – С. 66–68.

5. Корышев Н.П. Отбор информативных признаков для нечёткого классификатора с помощью бинарного алгоритма «китов» // Сб. избран. статей научной сессии ТУСУР (Томск, 13–30 мая 2020 г.): в 2 ч. – Томск: В-Спектр, 2020. – Ч. 2. – С. 61–64.

УДК 519.163

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ РАНЖИРОВАНИЯ И ГЕНЕРАЦИИ ПО РАНГУ ДЛЯ КОМБИНАТОРНОГО МНОЖЕСТВА, ОПРЕДЕЛЯЕМОГО ЧИСЛАМИ БЕЛЛА

А.В. Кравцова, студентка каф. КИБЭВС;

Д.В. Кручинин, доцент каф. КИБЭВС, к.ф.-м.н.

г. Томск, ТУСУР, kdv@fb.tusur.ru

Показаны полученные результаты в ходе проведения работ по разработке новых алгоритмов комбинаторной генерации. В качестве базового метода использован подход, основанный на представлении комбинаторных множеств в виде структуры дерева И/ИЛИ. При этом в качестве комбинаторного множества рассмотрено множество, определяемое числами Белла. Основным результатом являются полученные алгоритмы ранжирования и генерации по рангу для данного комбинаторного множества, а также разработанная на их основе программная реализация на языке программирования Python.

Ключевые слова: комбинаторная генерация, дерево И/ИЛИ, алгоритм, ранжирование, генерация по рангу, числа Белла.

Для информационных объектов, имеющих рекурсивные описания, возможен альтернативный способ представления множества таких информационных объектов в форме комбинаторного множества. В таком случае для заданного комбинаторного множества можно определить алгоритмы комбинаторной генерации [1, 2]. В рамках данной работы рассматривается комбинаторное множество, определяемое числами Белла [3, 4]. Поэтому целью работы является разработка алгоритмов ранжирования и генерации по рангу для комбинаторного множества, определяемого числами Белла.

Итоговая схема работы алгоритмов может выглядеть следующим образом (рис. 1), где a – это элемент множества, v – вариант дерева И/ИЛИ, r – ранг:

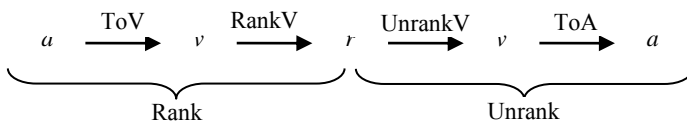


Рис. 1. Схема работы алгоритмов ранжирования и генерации по рангу

Для построения алгоритмов ранжирования и генерации комбинаторных множеств [5] требуется представить комбинаторное множество в виде структуры дерева И/ИЛИ. В работе [6] ранее были уже разработаны правила биекции для комбинаторного множества, определяемого числами Белла, необходимые для построения алгоритмов комбинаторной генерации.

Учитывая полученные ранее правила биекции и используя метод построения алгоритмов комбинаторной генерации, получены соответствующие алгоритмы ранжирования и генерации по рангу для комбинаторного множества, определяемого числами Белла.

Алгоритм ранжирования. Алгоритм ранжирования варианта v дерева И/ИЛИ, соответствующего элементу множества, определяемого числами Белла:

```

Rank( $v = [[k_1, v_{c1}], [k_2, v_{c2}], \dots], n$ )
begin
  if  $n = 0$  then  $r := 0$ 
  else
     $l_1 := \text{RankC}(v_{c1}, n - 1, k_1)$ 
     $l_2 := \text{Rank}([k_2, v_{c2}], \dots, k_1)$ 
     $r := l_1 + l_2 C_{n-1}^{k_1} + \text{sum}(C_{n-1}^i B(i), i, 0, k_1 - 1)$ 
  end
  return  $r$ 
end
  
```

Алгоритм генерации по рангу. Алгоритм генерации по рангу варианта v дерева И/ИЛИ, соответствующего элементу множества, определяемого числами Белла:

```

Unrank( $r, n$ )
begin
  if  $n = 0$  then  $v := []$ 
  else
     $k := 0$ 
     $sum := 0$ 
    while  $sum + C_{n-1}^i B(i) \leq r$  do
       $sum := sum + C_{n-1}^i B(i)$ 
       $k := k + 1$ 
    end
     $r := r - sum$ 
     $l_1 := r \bmod C_{n-1}^k$ 
     $l_2 := \text{floor}(r / C_{n-1}^k)$ 
     $v_{c1} := \text{UnrankC}(l_1, n - 1, k)$ 
     $v := \text{concat}([k_1, v_{c1}], \text{Unrank}(l_2, k))$ 
  end
  return  $v$ 
end

```

В данных алгоритмах варианты дерева И/ИЛИ представлены двумерным массивом $v = [[k_1, v_{c1}], [k_2, v_{c2}], \dots]$, где k_i соответствует выбранному узлу k в дереве И/ИЛИ, а v_{ci} соответствует коду ветки сочетаний, показывающему выбранные элементы в данном сочетании.

Разработанные алгоритмы комбинаторной генерации были реализованы на языке программирования Python. Был проведен вычислительный эксперимент для следующих значений параметра n : от 0 до 10. Работа алгоритмов была признана успешной. Всего было проверено более 500 000 элементов комбинаторного множества.

Заключение. На основе разработанных алгоритмов ранжирования и генерации по рангу появляется возможность представления и хранения информации об элементах комбинаторного множества, определяемого числами Белла, в виде натурального числа. Кроме того, созданная программная реализация позволяет в автоматизированном режиме выполнять процессы по ранжированию и генерации по рангу элементов рассматриваемого комбинаторного множества, определяемого числами Белла.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-31-70037.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кнут Д.Э. Искусство программирования. – Т. 4, А: Комбинаторные алгоритмы. – Ч. 1. – М.: Вильямс, 2013. – 960 с.
2. Ruskey F. Combinatorial generation. Working version (1j-CSC 425/520). – 2003. – 311 p. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://page.math.tu-berlin.de/~felsner/SemWS17-18/Ruskey-Comb-Gen.pdf> (дата обращения: 30.09.2020).
3. Bell numbers (number of ways to partition a set) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.geeksforgoeks.org/bell-numbers-number-of-ways-to-partition-a-set/> (дата обращения: 30.10.2020).
4. Bell's numbers: What they are and what they mean [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.statisticshowto.com/bells-numbers-bell-triangle/> (дата обращения: 05.11.2020).
5. Shablya Y. Method for developing combinatorial generation algorithms based on AND/OR trees and its application / Y. Shablya, D. Kruchinin, V. Kruchinin // Mathematics. – 2020. – Vol. 8. – Article 962.
6. Кравцова А.В. Биекция между множеством вариантов дерева И/ИЛИ и множеством, определяемым числами Белла // Матер. IX рег. науч.-практ. конф. «Наука и практика: проектная деятельность – от идеи до внедрения». – Томск, 2020. – С. 205–208.

УДК 519.25: 004.8

МОДЕЛИ RUBERT, MULTIBERT, SVM И MLP В ЗАДАЧЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ АВТОРА ТЕКСТА

*А.М. Федотова, С.Е. Шаньшин, А.В. Куртукова, студенты;
А.С. Романов, доцент каф. БИС, к.т.н.
г. Томск, ТУСУР, каф. БИС, fedotova.a.747@e.tusur.ru*

Рассмотрены методы определения автора русскоязычного текста с помощью моделей RuBERT и Multilingual-BERT в сравнении с методом опорных векторов и многослойным перцептроном. В качестве набора данных использованы 400 художественных текстов пятидесяти авторов. Точность модели RuBERT достигает 87%, Multilingual-BERT – 73%.

Ключевые слова: авторство, интеллектуальный анализ текста, нейронные сети, криминалистический анализ.

Пандемия COVID-19, необходимость сокращения числа социальных контактов и вынужденная самоизоляция стали основанием для перевода большинства видов человеческой деятельности в режим онлайн.

Неотъемлемой частью дистанционной профессиональной деятельности является электронный документооборот. Количество документов в цифровом виде постоянно растет и уже сейчас значительно

преобладает над документами, написанными от руки, а также неоцифрованными документами. Таким образом, возникает необходимость автоматизации методов анализа текста [1, 2].

Решения задачи определения автора текста находят свое применение в различных сферах деятельности [3]:

1. Информационная безопасность. С развитием технологий появляется все больше возможностей неправомерного использования информации, из-за чего растет количество нарушений в сети Интернет.

2. Защита авторского права. Причины, указанные в предыдущем пункте, порождают преступления в области авторского права.

3. Образовательный процесс. Процесс справедливой оценки работы студента и выявления в ней плагиата упрощается с использованием методов определения авторства.

Современные методы определения автора текста по почерку [4] демонстрируют высокую точность при решении поставленной задачи, однако не могут быть применены к цифровым печатным документам. Так, была поставлена цель работы – сравнение моделей RuBERT, Multilingual-BERT, метода опорных векторов (SVM) и многослойного перцептрона (MLP) в задаче определения автора русскоязычного текста.

Корпус текстов. Для исследования использовались 400 художественных текстов пятидесяти авторов, написанных на русском языке. Для каждого автора было выбрано 8 текстов. Средняя длина текстов – 6 500 символов.

Эксперимент и полученные результаты. При решении задачи определения автора текста отличные результаты демонстрирует SVM [5]. Данный метод подразумевает использование множества информативных признаков с высокой разделяющей способностью. Для получения такого множества требуются глубокие экспертные знания и особые методы фильтрации признаков, что усложняет процесс решения задачи.

Решением такой проблемы является применение моделей глубокого обучения, способных находить информативные признаки и зависимости в данных самостоятельно. Современные архитектуры глубоких нейронных сетей зачастую превосходят традиционные методы машинного обучения [6].

При работе с MLP использовались входной, выходной и 3 скрытых слоя. На каждом слое применялась функция «dense» для полного соединения слоев друг с другом. Функция активации – «sigmoid», количество обучающих примеров за одну итерацию (англ. batch size) – 128, функция потерь – «categorical_crossentropy». Использование метода исключения (англ. dropout) снижает вероятность переобучения.

Добавление пакетной нормализации (англ. batch-normalization) нужно для нормализации входного слоя.

Прорывом в области глубокого обучения стало появление двунаправленных представлений кодировщика Transformers (BERT). Данная модель оказалась эффективна для решения нетривиальных задач, связанных с обработкой естественно-языковых текстов. В рамках данного исследования было решено использовать RuBERT и Multilingual BERT, преобученные для русского языка.

Процесс подготовки данных включал в себя токенизацию текста на предложения, удаление предложений длиной менее 2 и более 512 символов; формирование обучающего и тестового набора путем добавления к токену метки автора. Для кодирования использовались токенизаторы «bert-base-multilingual-cased» и «rubert-base-cased». Параметры моделей взяты по умолчанию, обучение выполнялось в течение 5 эпох для каждой из моделей.

Оценка качества моделей производилась посредством перекрестной проверки (кроссвалидации). Такой подход является наиболее надежным и позволяет избежать проблему чрезмерного разброса оценок при проверке. Полученные результаты в сравнении с точностью SVM и MLP представлены в таблице.

Результаты

	Кол-во авторов				
	2	5	10	20	50
RuBERT, %	87(±5)	74(±3)	63(±6)	47(±2)	27(±5)
MultiBERT %,	73(± 2)	64(±5)	56(±3)	44(±4)	32(±3)
SVM, %	89(±3)	78(±4)	66(±5)	52(±3)	43(±3)
MLP, %	92(±4)	80(±2)	72(±3)	60(±5)	45(±4)

Заключение. Полученные результаты позволяют сделать вывод, что модели на основе BERT являются менее эффективными по сравнению с SVM и MLP. Самой эффективной оказалась MLP, обученная на тщательно подобранных параметрах и признаковом пространстве. Преимуществом такой модели является то, что обучение производится с применением метода исключения (англ. dropout), что позволяет избежать переобучения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Kurtukova A. Source Code Authorship Identification Using Deep Neural Networks / A. Kurtukova, A. Romanov, A. Shelupanov // Symmetry. – 2020. – Vol. 12. – No. 12. – 2044 p.
2. Romanov A.S. Determining the Age of the Author of the Text Based on Deep Neural Network Models / A.S. Romanov, A.V. Kurtukova, A.A. Sobolev, A.A. Shelupanov, A.M. Fedotova // Information. – 2020. – Vol. 11, No. 12. – 58 p.

3. Johansson F. FOI Cross-Domain Authorship Attribution for Criminal Investigations / F. Johansson, T. Isbister // CLEF 2019 Labs and Workshops, Notebook Papers. CEUR-WS.org. – 2019. – P. 1–9.

4. Костюченко Е.Ю. База данных для проведения исследований аутентификации по динамике проставления подписи / Е.Ю. Костюченко, Р.В. Мещеряков // Перспективы развития фундаментальных наук. – 2018. – С. 114–116.

5. Романов А.С. Методика идентификации автора текста на основе аппарата опорных векторов // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. – 2009. – № 1-2 (19). – С. 36–41.

6. Romanov A. Authorship identification of a russian-language text using support vector machine and deep neural networks / A. Romanov, A. Kurtukova, A. Shelupanov, A. Fedotova, V. Goncharov // Future Internet. – 2021. – Vol. 13, No. 1. – 3 p.

УДК 004.896

СОЗДАНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ ДЛЯ СОЦИАЛЬНОГО РОБОТА INMOOV

А.Г. Бондаренко, Е.Г. Лобода, студенты каф. БИС

Научный руководитель Ю.О. Лобода, доцент каф. КИБЭВС

г. Томск, ТУСУР, bag_013@list.ru, rafinadikus@gmail.com

Проект ГПО КИБЭВС-1812 «Андройдная робототехника»

Рассмотрена проблема создания и настройки системы технического зрения. Одной из важных задач при программировании социальных роботов является решение задачи передвижения и как следствие проектирование системы технического зрения. Для создания такой системы могут использоваться камеры с различными способами определения глубины. В работе рассмотрен один из подходов к измерению глубины и проанализированы недостатки такого метода.

Ключевые слова: техническое зрение, социальный робот InMoov, Intel RealSense SR300, Python.

Техническое зрение – теория и технология создания машин, которые могут производить обнаружение, отслеживание и классификацию объектов. Целью данной работы является решение задачи обнаружения объекта и определение расстояния до него.

Для решения данной задачи в проекте робота InMoov [1] была выбрана 3D-камера Intel RealSense SR300. Данная камера использует способ измерения глубины – структурированный свет [2]. Идея состоит в том, что в камере содержится инфракрасный проектор, который дает псевдослучайный набор точек в пространстве, по смещению которых определяется глубина в данном пикселе. Достоинством такого подхода являются простота и дешевизна, к недостаткам относятся

проблемы, порождаемые использованием инфракрасного излучения. Это проблема, связанная с солнцем, а именно, если мы будем использовать такую камеру на улице в солнечный день, солнечные лучи могут засветить инфракрасный проектор (зависит от качества проектора) и нас будут ожидать некорректные результаты. И второй крупной проблемой является возможность отражения инфракрасного луча, это приведет к тому, что расстояние, определяемое до объекта с отражающей поверхностью, будет также иметь некорректное значение. Данные недостатки выглядят весьма критично, однако на нынешнем этапе развития проекта данные проблемы не несут особой значимости, поскольку испытания проводятся в помещении и используются предметы, имеющие малую отражающую способность [3].

Также выбранная камера поддерживает использование библиотеки `pyrealsense` для языка программирования Python, что позволяет более гибко использовать полный функционал камеры. Так, можно обращаться напрямую к инфракрасной или RGB-камерам и получать информацию.

Следующей задачей при проектировании системы технического зрения является разработка алгоритма машинного зрения. Созданный алгоритм состоит из трех основных задач: обнаружение объекта, отрисовка объекта рамкой и вычисление расстояния. Остановимся подробнее на каждом этапе алгоритма.

Обнаружение объекта производится с помощью `one-stage` модели, которая возвращает координаты объекта. В качестве такой модели используется SSD-модель, она использует пирамидальную иерархию выходов сверточной сети для эффективного обнаружения объектов различных размеров. Исходное изображение последовательно проходит слои сверточной сети, постепенно уменьшаясь в размерах. Выход из последнего слоя каждой размерности участвует в принятии решения по определению объектов, получая таким образом «пирамидальную характеристику» изображения [4]. Архитектура `one-stage` модели SSD представлена на рис. 1. В качестве сверточной сети для выделения признаков изображений используется VGG-16.

Отрисовка объекта рамкой происходит только в том случае, если уверенность в обнаружении объекта составляет больше 50%, данная цифра была выбрана как нечто среднее. Если взять больше или меньше, в результате можно получить захват лишних деталей или, наоборот, детекции может и вовсе не произойти.

Вычисление расстояния происходит по нарисованной рамке – берется среднее от всех расстояний в рамке детектируемого объекта. Вывод измеренного расстояния выводится рядом с рамкой определенного объекта.

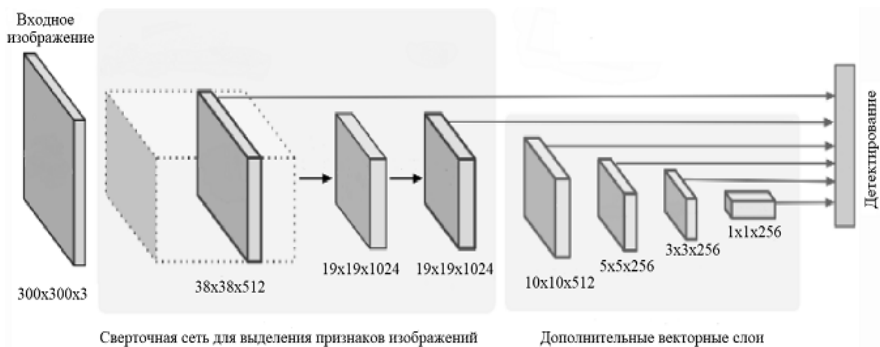


Рис. 1. Архитектура нейронной сети для алгоритма SSD

При реализации алгоритма использовались язык программирования Python и библиотеки NumPy, OpenCV и pyrealsense2.

Один из результатов работы программы представлен на рис. 2.



Рис. 2. Пример работы алгоритма

Для анализа точности работы написанного алгоритма мало только одного измерения, поэтому для оценки эффективности работы программы был проведен ряд экспериментов, результаты которых представлены в таблице.

Результаты экспериментов по измерению расстояния до объекта

№ эксперимента	Ожидаемый результат, см	Полученный результат, см
1	40	30
2	33	33
3	58	55

По результатам экспериментов можно заметить, что разработанный алгоритм имеет погрешность до 25%, учитывая все недостатки способа измерения глубины камерой Intel RealSense SR300. С при-

ближением к объекту расстояние пересчитывается, и проценты погрешности превращаются в незначительное число (от 0 до 2%). Для получения более точных результатов в будущем будет использована камера Intel RealSense D435i, которая имеет другой, более эффективный способ измерения глубины, а также содержит инерционный датчик, который позволяет отслеживать положение и перемещение камеры в пространстве, что открывает новые возможности при встраивании данного прибора в робота InMoov.

ЛИТЕРАТУРА

1. InMoov – open-source 3D printed life-size robot [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://inmoov.fr/> (дата обращения: 20.02.2021).
2. Камера Intel RealSense SR300 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ark.intel.com/content/www/ru/ru/ark/products/92329/intel-realsense-camera-sr300.html> (дата обращения: 28.02.2021).
3. Камеры глубины – тихая революция (когда роботы будут видеть). – Ч. 1 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://habr.com/ru/post/457524/> (дата обращения: 28.02.2021).
4. SSD: Single Shot MultiBox Detector [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://arxiv.org/pdf/1512.02325.pdf> (дата обращения: 1.03.2021).

УДК 004.932.2

БАЙЕСОВСКИЙ ПОДХОД К ПОДБОРУ ГИПЕРПАРАМЕТРОВ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ НА ПРИМЕРЕ ЗАДАЧИ СЕМАНТИЧЕСКОЙ СЕГМЕНТАЦИИ

К.А. Маслов, студент ОИТ ИШИТР

*Научный руководитель Н.Г. Марков, проф. ОИТ ИШИТР, д.т.н.
г. Томск, НИ ТПУ, kam20@tpu.ru*

Представлен подход к подбору гиперпараметров нейронных сетей, алгоритмов аугментации данных и алгоритмов подбора весов на основе байесовской статистики с использованием гауссовских процессов. Описанный подход применяется в задаче семантической сегментации полученных с беспилотных летательных аппаратов изображений, поврежденных уссурийским полиграфом пихтовых лесов.

Ключевые слова: байесовская оптимизация, гауссовский процесс, подбор гиперпараметров, U-Net, уссурийский полиграф, пихта сибирская.

Выбор гиперпараметров при определении и обучении искусственных нейронных сетей (ИНС) критически важен для получения качественных моделей ИНС. При этом особую сложность в решении

представляют проблемы большого количества гиперпараметров и длительного времени обучения нейронных сетей.

Целью данной работы является исследование эффективности байесовского подхода при подборе гиперпараметров ИНС для решения задачи семантической сегментации полученных с беспилотных летательных аппаратов изображений, поврежденных уссурийским полиграфом пихтовых лесов [1]. При этом на изображениях выделялись фоновый класс и четыре класса деревьев пихты: «живые», «отмирающие», «свежий сухостой» и «старый сухостой».

Алгоритмы. Для решения поставленной задачи применялась полносверточная сеть U-Net [2] с рядом модификаций (рис. 1).

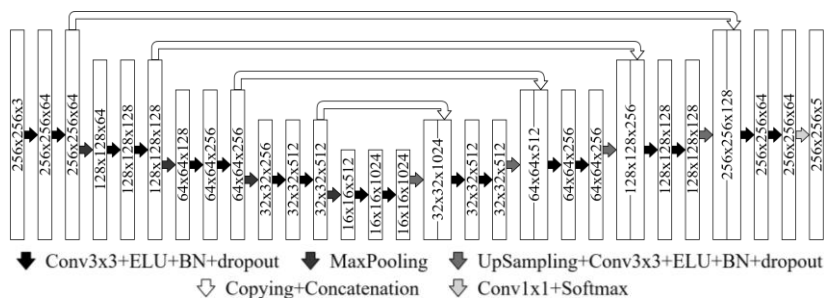


Рис. 1. Архитектура ИНС U-Net

Подбор весовых коэффициентов нейронной сети U-Net осуществлялся путем максимизации усредненного коэффициента Жаккара (mIoU) с дополнительно введенными параметрами θ_s и θ_{ls} , описанными далее. Всего было выделено 11 гиперпараметров: θ_{lr} – скорость обучения, θ_d – коэффициент dropout, θ_s – коэффициент сглаживания mIoU для устранения точки сингулярности, θ_{ls} – степень сглаживания меток классов, θ_z – коэффициент изменения масштаба обучающих фрагментов, θ_b – их яркости, θ_c – их контраст, θ_a и θ_σ – коэффициенты эластических деформаций [3], θ_{pf} – множитель для уменьшения скорости обучения при выходе «на плато», θ_{pp} – количество эпох для подтверждения выхода «на плато». На рис. 2 представлена UML-схема алгоритма подбора гиперпараметров.

Общая идея алгоритма заключается в предварительном формировании множества из N векторов гиперпараметров, полученных случайным образом из равномерного распределения в заранее определенном пространстве поиска. Далее последовательно выбираются M векторов гиперпараметров из регрессионной модели (гауссовского процесса), построенной по предыдущим наборам гиперпараметров, с

целью максимизации функции EI [4]. В данной работе использовались значения $N = M = 40$.

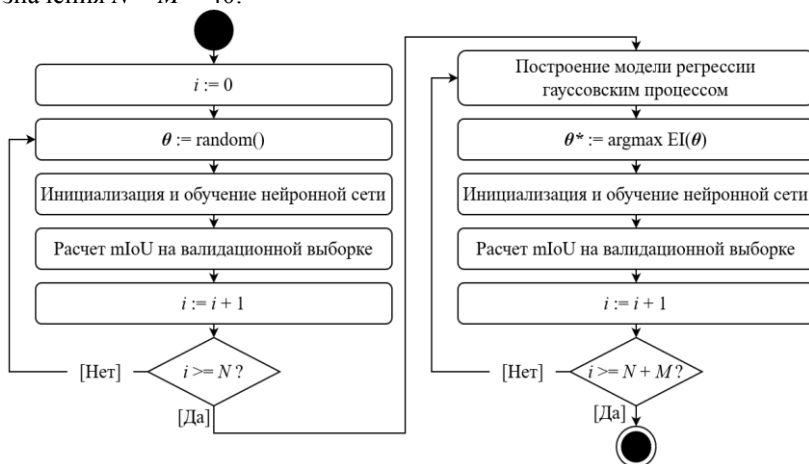


Рис. 2. Алгоритм подбора гиперпараметров

Результаты. На рис. 3 показаны значения mIoU для полученных моделей ИНС U-Net и расстояния между соседними векторами гиперпараметров.

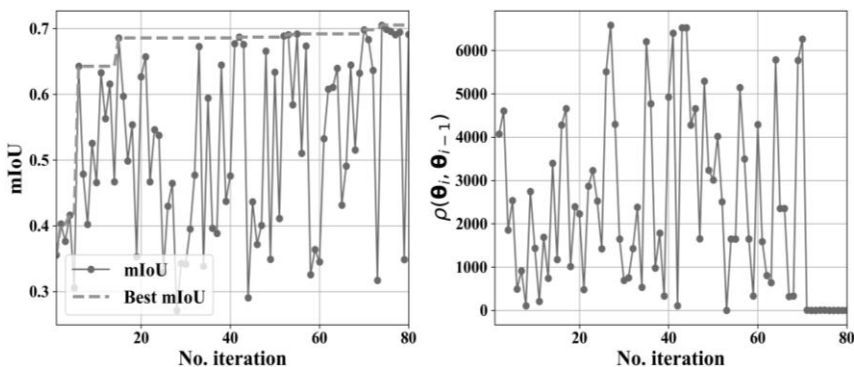


Рис. 3. Слева: значения mIoU на валидационной выборке для обученных моделей ИНС и кривая лучших значений mIoU. Справа: расстояние Махаланобиса между двумя последовательными векторами гиперпараметров

После 40 итераций повышение лучшего значения mIoU наблюдается чаще. С итерации 71 расстояние между двумя последовательными векторами гиперпараметров становится практически нулевым, именно этому промежутку соответствует наивысшее значение $mIoU = 0,71$.

В таблице представлены значения метрик качества сегментации тестовой выборки лучшей из полученных в процессе подбора гиперпараметров модели ИНС.

Оценки качества сегментации тестовых данных

Класс	Precision	Recall	F1 score	IoU
Фон	0,93	0,93	0,93	0,86
Живые	0,84	0,89	0,86	0,76
Отмирающие	0,81	0,37	0,51	0,34
Свежий сухостой	0,81	0,90	0,85	0,74
Старый сухостой	0,83	0,72	0,77	0,63
mIoU				0,67

Заключение. В результате исследований при подборе гиперпараметров с использованием байесовской оптимизации была получена модель ИНС, успешно сегментирующая ($IoU > 0,5$) объекты классов «фон», «живые», «свежий сухостой» и «старый сухостой».

ЛИТЕРАТУРА

1. Кривец С.А., Керчев И.А., Бисирова Э.М., Дебков Н.М. Современное распространение и прогноз расширения инвазионного ареала уссурийского полиграфа *Polygraphus proximus* Blandford, 1894 в Томской области (Западная Сибирь) // Евразийский энтомологический журнал. – 2018. – Т. 17, № 1. – С. 53–60.
2. Ronneberger O., Fischer P., Brox T. U-Net: Convolutional Networks for Biomedical Image Segmentation [Электронный ресурс] // arXiv.org, 2015. – Режим доступа: <https://arxiv.org/abs/1505.04597> (дата обращения: 09.03.2021).
3. Simard P.Y., Steinkraus D., Platt J.C. Best Practices for Convolutional Neural Networks Applied to Visual Document Analysis // Proc. of the International Conference on Document Analysis and Recognition. – 2003. – P. 958–963.
4. Jones D.R., Schonlau M., Welch W.J. Efficient Global Optimization of Expensive Black-Box Functions // Journal of Global Optimization. – 1998. – Vol. 13. – P. 455–492.

УДК 004.912

ПОИСК АВТОМАТИЧЕСКИ СОЗДАНЫХ ТЕКСТОВ В НОВОСТНОМ ПОТОКЕ НА ОСНОВЕ WORD2VEC

Е.С. Романова, А.П. Мецераков, студенты

*Научный руководитель С.С. Харченко, доцент каф. БИС, к.т.н.
г. Томск, ТУСУР, elena.romanova.1999@mail.ru, arm25072000@mail.ru
Проект ГПО БИС-1901 «Обработка и анализ информации
новостных лент»*

Рассмотрены аспекты, связанные с автоматически созданными текстами (АСТ). Основным направлением данной статьи является ли-

тературный анализ алгоритмов определения автоматически созданных текстов, сравнение имеющихся архитектур.

Ключевые слова: автоматически созданный текст, генератор текста, анализ алгоритмов определения автоматически созданных текстов, Word2vec, CBOW, Skip-gram.

Целью данной работы является литературный анализ существующих алгоритмов определения автоматически созданных текстов, определение плюсов и минусов данных моделей, а также выбор наиболее подходящего алгоритма для дальнейшей работы.

Автоматически созданным называется контент, подготовленный с помощью программных средств. Генератор текста – компьютерная программа, которая генерирует тексты, как правило, в которых нет смысла, но они верны с точки зрения грамотности. Генераторы текстов применимы для разработки и поисковой оптимизации сайтов: создание названий, описания или содержимое. Такие материалы требуют обязательного тщательного отбора по критерию уникальности. Данный отбор можно провести при помощи специализированного ПО, который имеет различный алгоритм проверки.

Один из таких алгоритмов Word2vec. Эта технология разработана Google для нахождения семантических связей между словами. **Алгоритмы** получают на выходе векторные представления слов. **Word2vec** реализован в виде двух основных архитектур – (CBOW) и Skip-gram. **Слова-векторы** – это численные представления слов, сохраняющие семантическую связь между ними.

Основа работы алгоритма состоит в определении связей между контекстами слов по теории о том, что слова, стоящие в близких контекстах, вероятнее всего, значат схожие вещи. Более формально данную задачу можно перефразировать как «максимизирование косинусной близости между векторами слов, которые встречаются рядом друг с другом, и минимизирование косинусной близости между векторами слов, которые не встречаются рядом друг с другом».

Преимущества модели:

- Простота архитектуры: feed-forward, 1 вход, 1 скрытый слой, 1 выход.

- Быстрое обучение и генерация эмбедингов (векторных представлений слов).

- Эмбединги наделены смыслом, спорные моменты поддаются расшифровке.

- Распространение на множество областей/проблем.

Недостатками модели можно назвать такие пункты, как:

- Обучение на уровне слов.

– Игнорирование совместной встречаемости. Не учитывается многозначность слов в зависимости от контекста.

– Проблема в обработке неизвестных и редких слов.

В этом подходе нейросеть предполагает исходное слово по его контексту (h соседним словам). Нейросеть состоит из трех слоев: входного, скрытого, выходного.

На вход сеть получает h векторов размерностью V : $x_i = (x_i^1, x_i^2, \dots, x_i^V)$, $i = 1 \dots h$, где $x_i^j = 1$, если данное слово является j -м словом из словаря, $x_i^k = 0$ для $k \neq j$. На выходе сеть выдает вектор размерности V : $y = (y^1, y^2, \dots, y^V)$. На выборке для обучения $y^j = 1$, если предсказываемое слово является j -м словом из кейса, $y^k = 0$ для $k \neq j$. То есть нейросеть имеет $h * V$ нейронов на входном слое и V нейронов на выходном слое.

На скрытом слое нейросети N нейронов. Веса, расставленные перед нейронами этого слоя, дают координаты векторов слов. Функция на скрытом уровне – линейная, на выходном уровне – софтмакс.

После этого мы принимаем входной сигнал j -го нейрона на выходном слое нейросети

$$u^j = w_j^i v,$$

где w_j^i – j -я строка матрицы весов между скрытым и выходным уровнями W .

Так как выходной уровень использует функцию софтмакс, то в таком случае выходной сигнал на j -м нейроне выходного слоя приобретает вид

$$y^i = \frac{\exp(u^j)}{\sum_{k=1}^V \exp(u^k)} = p(w_j | w_{I,1}, \dots, w_{I,h}).$$

Данный подход противоположен реализации алгоритма SBOW, способной предсказывать контекст по заданному слову, её сеть сформирована из тех же трех слоев. Сравнение архитектур представлено на рис. 1.

News Tracer – инструмент прогнозирования с элементами искусственного интеллекта, оценивающий истории Твиттера на основе критериев статистики и репутации. Данное средство способно присваивать каждой записи разное количество баллов в зависимости от ее автора, валидацию аккаунта, количество подписчиков, высокий рейтинг и прочие критерии оценки. Кроме того, News Tracer способен отслеживать, тех, кто пишет посты о данном событии, как они распространяются по сети, их подтверждение или опровержение.

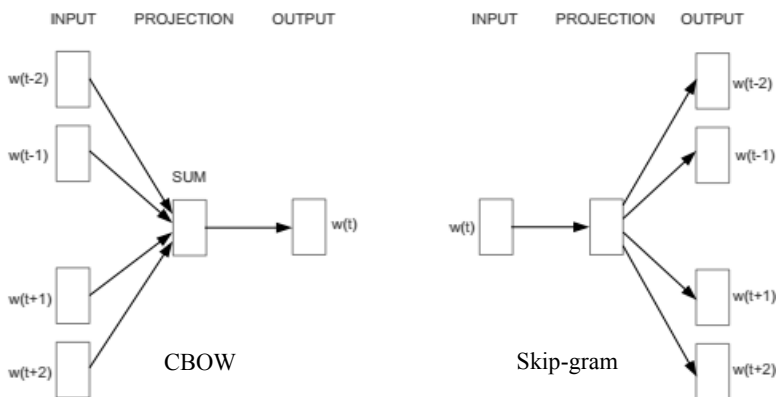


Рис. 1. Сравнение CBOW и Skip-gram

Библиотека fastText – важнейший шаг в развитии моделей естественного языка. **fastText** – это библиотека для обучения представлениям слов и классификации предложений, созданная в Facebook. Инструмент поддерживает несколько наиболее распространенных языков. FastText расширяет основную модель Word2Vec символьными n-граммами.

Преимущества модели:

- Простота архитектуры.
 - n-граммы позволяют работать с редкими и устаревшими словами.
- Среди недостатков выделяют следующие:
- Обучение на уровне слов.
 - Игнорирование совместной встречаемости.

GloVe – алгоритм, способный обучаться без участия учителя, получая векторы слов. Обучают модель на статистике частоты встречаемости конкретного слова и слова из имеющегося словаря в одном контексте, и данные представления демонстрируют линейные подструктуры векторов слов.

Преимущества:

- Простота архитектуры без нейронной сети.
- Быстрота модели.
- Улучшение Word2Vec путем добавления частоты встречаемости.
- Осмысленные эмбединги.

Недостатки:

- Модель обучена на уровне слов и даёт мало информации о предложении и контексте, в котором слово используется.
- Плохая обработка неизвестных и редких слов.

Так как **Word2vec** является основой других технологий, то данная работа предусматривает рассмотрение функционирования данно-

го алгоритма. Также проведены соответствующие действия в терминале и установлены пакеты gensim – пакет, в котором также реализована модель Word2vec.

Gensim использовался по причине наиболее понятной реализации в его пакетах Word2vec и наличия возможности обучения модели. Предполагается обучать модель на искусственно созданных текстах, после чего на основе полученных библиотек можно анализировать тексты. Алгоритм выдает векторы слов, либо же можно использовать его для прогноза следующих слов. Чем больше совпадений слов в тексте с прогнозируемыми, тем выше вероятность, что текст – искусственный.

ЛИТЕРАТУРА

1. Reuters: Искусственный интеллект отделит настоящие новости от ложных [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.popmech.ru/technologies/298712-reuters-iskusstvennyu-intellekt-otdelit-nastoyashchie-novosti-ot-lozhnykh/> (дата обращения: 04.11.2020).
2. Word2Vec: как работать с векторными представлениями слов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://neurohive.io/ru/osnovy-data-science/word2vec-vektornye-predstavlenija-slov-dlja-mashinnogo-obucheniya/> (дата обращения: 04.11.2020).
3. GloVe: Global Vectors for Word Representation – [Электронный ресурс]. – <https://nlp.stanford.edu/projects/glove/> (дата обращения: 08.12.2020).
4. Нейронные сети – это просто! Или классифицируем текст с помощью fasttext – [Электронный ресурс]. – <https://gosha20777.github.io/tutorial/2018/04/12/fasttext-for-windows/> (дата обращения: 08.11.2020).
5. Обзор четырёх популярных NLP-моделей [Электронный ресурс]. – <https://proglib.io/p/obzor-chetyreh-populyarnyh-nlp-modeley-2020-04-21> (дата обращения: 08.11.2020).

УДК 004.021

НАХОЖДЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ЗНАЧЕНИЙ ЗАДАНЫХ МАТЕМАТИЧЕСКИХ ФУНКЦИЙ С ПОМОЩЬЮ МЕТАЭВРИСТИКИ YO-YO BLIND MAN ALGORITHM

Д.Д. Мёдов, студент каф. БИС

*Научный руководитель И.А. Ходашинский, проф. каф. КИБЭВС, д.т.н.
г. Томск, ТУСУР, dermdv@gmail.com*

Поднимается проблема оптимизации в различных сферах деятельности, хотя традиционные методы оптимизации уже эффективно применяются, существует потребность в их усовершенствовании, путем создания альтернативных методов. Для поиска оптимальных решений NP-сложных задач используются методы, которые называются «метаэвристиками». В данной статье рассматривается метаэвристика Yo-Yo Blind Man Algorithm (Yo-Yo BMA), которая бы-

ла протестирована на 12 математических функциях, которые одновременно являются фитнес-функциями.

Ключевые слова: метаэвристика, Yo-Yo Blind Man Algorithm, фитнес-функция.

В современном мире очень важно повышать эффективность и уменьшать издержки в какой бы то ни было сфере, для этого используются различные методы оптимизации, которые являются процессом выявления наилучшего решения из большого числа возможных. Помимо классических методов оптимизации, используют нетрадиционные, к которым относятся метаэвристики.

Перед тем как перейти к рассмотрению метаэвристики Yo-Yo Blind Man Algorithm, необходимо дать определение понятиям эвристики и метаэвристики. Эвристика – способ нахождения «достаточно хороших» решений сложной проблемы за приемлемое время, теоретически не обосновывая их правильность или оптимальность, т.е. эмпирическим путем. Метаэвристика расширяет возможности эвристик, комбинируя эвристические методы (процедуры) на основе высокоуровневой стратегии (приставка «мета») [1].

Метаэвристики делятся на различные классы: популяционные и одноточечный поиск, вдохновленные природой и невдохновленные, с динамической или статической целевой функцией, а также многие другие [2, 3]. Целью работы является исследование работоспособности метаэвристики Yo-Yo BMA при нахождении оптимальных значений математических функций.

Yo-Yo Blind Man Algorithm. Yo-Yo BMA вдохновлен человеческими стратегиями решения проблем с помощью функций йо-йо. Йо-йо-игрушка, которая выглядит как катушка, привязанная к концу веревки [4]. Основной причиной выбора йо-йо является его потенциальная адаптация к разведке и эксплуатации за счет его особого движения в двух различных направлениях: дивергенция и конвергенция.

Представленный алгоритм начинается с создания случайной популяции, которая делится на 2 категории: мужчины и йо-йо. Отбор происходит исходя из значений, полученных в результате расчета фитнес-функции (особи с наименьшими значениями – мужчины, остальные – йо-йо). Мужчина, имеющий наименьшее фитнес-значение, становится боссом. После этого йо-йо случайным образом распределяются между мужчинами. Данные йо-йо будут осуществлять разведку, они «бросаются» на случайные координаты, после чего начинают возвращаться к владельцу, ища наилучшее фитнес-значение. Если йо-йо нашло значение, которое меньше, чем значение владельца, то мужчина занимает данную позицию.

Далее происходит проверка на нового босса, если у какого-либо мужчины фитнес-значение меньше, чем у босса, то он становится новым боссом, а вокруг него инициализируется некоторое число йо-йо. Если босс остается прежним, то инициализации не происходит.

Далее выполняется так называемый «слепой оператор», он проверяет лучшую позицию для босса, меняя только некоторое количество измерений. На данном шаге производится проверка нескольких точек возле босса, и, если у точки с наилучшим фитнес-значением оно окажется меньше, чем у босса, босс занимает эту позицию.

После этого вокруг босса инициализируются йо-йо, которые совершают эксплуатацию. Их координаты похожи на координаты босса, но несколько измерений отличаются. После инициализации они маленькими шагами начинают двигаться к боссу, ища лучшее значение, и, если оно найдено, босс занимает данную позицию.

Результаты эксперимента

		Размерность 5		Размерность 10	
Функции	Время	5	15	5	15
Sphere	Лучшее	0	0	0	0
	Среднее	0	0	0	0
Rastrigin	Лучшее	0	0	0	0
	Среднее	0	0	0	0
Rosenbrock	Лучшее	0,0004	3,08E-05	0,00308	0,71131
	Среднее	0,0025	0,00013	1,13864	0,80496
Bent Cigar	Лучшее	0	0	0	0
	Среднее	0	0	0	0
Discus	Лучшее	0	0	0	0
	Среднее	0	0	0	0
Schwefel	Лучшее	6,36E-05	6,36E-05	0,00013	0,11306
	Среднее	6,36E-05	6,36E-05	0,00013	0,80496
Zakharov	Лучшее	0	0	9,27E-17	3,54E-52
	Среднее	7E-307	0	3E-12	1,91E-18
Sum of diff POW	Лучшее	0	0	0	0
	Среднее	0	0	0	0
Ackley	Лучшее	3,99E-15	4E-15	7,55E-15	7,55E-15
	Среднее	7,19E-15	7,55E-15	1,22E-14	1,5E-15
Styblinski- Tang	Лучшее	-195831	-195,831	-391,662	-391,662
	Среднее	-195831	-195,831	-391,662	-391,662
Griewank	Лучшее	0	0	0	0
	Среднее	0,001479	0	0,0205	0,0147
Michalewicz	Лучшее	-4,9581	-4,6876	-9,4	-9,66
	Среднее	-4,6682	-4,6709	-9,088	-9,285

Алгоритм Йо-Йо ВМА завершается, когда выполняется его условие остановки. Стоп-условие может быть любым: количество итераций, ограничение по времени, пока не будет найден глобальный минимум [5].

Результаты эксперимента. Описанная выше метаэвристика была реализована на языке программирования Python, после чего была протестирована на 15 математических функциях (таблица) [6].

Для каждой функции было выполнено 10 прогонов по 5 и 10 мин. По результатам прогонов были найдены лучшие и средние значения.

Заключение. По результатам экспериментов можно увидеть, что описанная метаэвристика находит точный минимум при размерностях 5 и 10 за 5 и 15 мин у функций: Sphere, Rastrigin, Discus, Bent Cigar, Sum of diff. POW. В остальных случаях функция находит почти оптимальное решение. При мерности, равной 50, метаэвристика показывает значения хуже, чем при меньшей размерности, но при увеличении времени фитнес-значение уменьшается, отсюда следует, что алгоритму не хватает времени, чтобы найти минимум. Также на примере функции «Schwefel» видно, что алгоритм застревает в локальном оптимуме, и, хотя в алгоритме предусмотрен выход из данной ситуации, ему не хватает времени, чтобы сделать это.

ЛИТЕРАТУРА

1. Скобцов Ю.А. Метаэвристики // Федоров Е.Е., Скобцов Ю.А. – Донецк: Ноулидж (Донецкое отд.), 2013. – 426 с.
2. Dreco J. Dreaming of Metaheuristics [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://nojhan.free.fr/metah/> (дата обращения: 05.10.2020).
3. Birattari M., Paquete L., Stutzle T., Varrentrapp K. Classification of Metaheuristics and Design of Experiments for the Analysis of Components [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://eden.dei.uc.pt/~paquete/papers/AIDA-01-05.pdf> (дата обращения: 07.10.2020).
4. Как работает Йо-Йо [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://howitworks.iknowit.ru/paper1113.html> (дата обращения: 12.10.2020).
5. Soltani-Sarvestani M.A., Azimifar Zohreh, Hamzeh Human A. Strategy (HS) Optimization Algorithm // Soft Comput. – 2018. – Vol. 22. – P. 715–735.
6. Virtual Library of Simulation Experiments [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.sfu.ca/~ssurjano/optimization.html> (дата обращения: 25.10.2020).

**РАСЧЕТ КОНТРОЛИРУЕМОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ
ПОГЛОЩЕННОЙ ДОЗЫ ПО ГЛУБИНЕ ОБЪЕКТА ПРИ
ОБРАБОТКЕ ИМПУЛЬСНЫМ ЭЛЕКТРОННЫМ ПУЧКОМ**

М.А. Серебrenников, аспирант, НИ ТПУ;

*Е.В. Адамов, аспирант Института оптики атмосферы
им. В.Е. Зуева СО РАН;*

*А.В. Полосков, м.н.с., НИ ТПУ; И.С. Егоров, н.с. НИ ТПУ
г. Томск, mas48@tpu.ru*

Разработан способ, который позволяет рассчитать распределение поглощенной дозы при облучении объекта серией импульсов электронного пучка с разными параметрами или моноэнергетическими пучками с разной кинетической энергией. Программная часть реализована на языке Python.

Ключевые слова: эвристический алгоритм, Python, электронный пучок, поглощенная доза.

В настоящее время значительная часть радиационных технологий традиционно использует непрерывные и импульсные источники электронных пучков [1]. В ряде практических применений электронного пучка [2, 3] для облучения объектов ключевую роль играет распределение поглощенной дозы по глубине материала. Современные представления о взаимодействии электронов с веществом показывают, что равномерное поглощение энергии пучка невозможно получить при использовании моноэнергетического пучка (максимальная доза обеспечивается на некоторой глубине от поверхности материала). В нашей работе [4] показано, что более однородного распределения дозы (энергии) по глубине можно добиться при облучении серией импульсов с разным спектром кинетических энергий электронов в пучке. Тогда поглощенная доза для каждой глубины материала будет определяться суммой поглощенных доз от каждого импульса. Таким образом, представляется возможным подобрать необходимое число импульсов для пучков с известными характеристиками, которое обеспечит искомое суммарное значение распределения энергии (дозы) пучка по глубине.

Целью настоящей работы является разработка способа расчёта контролируемого распределения дозы в объекте после облучения непрерывным или импульсным пучком электронов с разной кинетической энергией частиц.

Представленная задача относится к классу «задач о рюкзаке», однако имеет дополнительное требование к максимальному заполнению

дальней границы области [5] (на рис. 1 распределение 250 кВ). Для достижения поставленной цели был разработан эвристический алгоритм расчета, который с физической точки зрения обеспечивает решение, близкое к оптимальному. Программа реализована на языке Python [6] с применением библиотек Matplotlib [7], Pandas [8], Numpy [9].

Результаты. В качестве исходных данных рассмотрен набор реальных распределений поглощенной дозы в полиэтилене для моноэнергетических пучков с разной энергией электронов (см. рис. 1) [1].

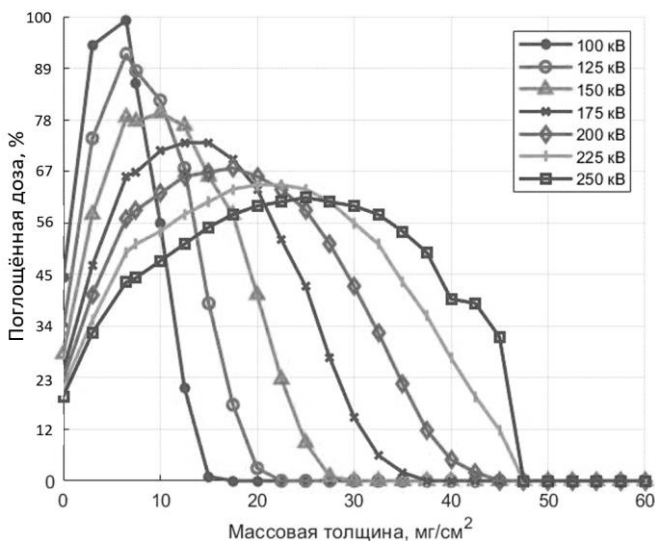


Рис. 1. Исходные данные распределений поглощенной дозы [1]

Результирующее распределение аддитивно складывается из всех исходных и обеспечивает наибольшую площадь заполнения в задаваемом диапазоне с допустимым отклонением по высоте и полном заполнении дальней границы диапазона расчета. При формировании результирующего распределения необходимо учитывать, что каждое исходное распределение следует использовать только целое число раз. Результат работы программы, учитывающий вывод пучка из области формирования в атмосферу (Air) через фольгу выводного окна (Ti), представлен на рис. 2.

Гистограмма, иллюстрирующая количество используемых исходных распределений (число импульсов пучка с разной кинетической энергией электронов) для достижения решения в выбранном диапазоне, близком к оптимальному, представлена на рис. 3.

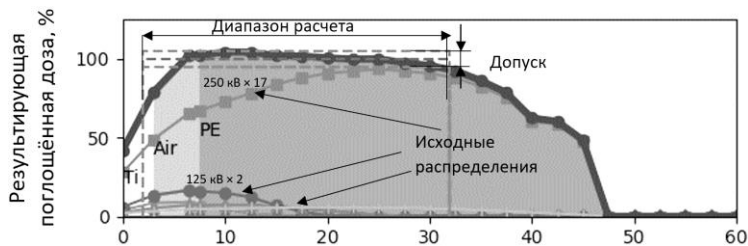


Рис. 2. Итоговое распределение поглощенной дозы: 250 кВ×17, 125 кВ×2 – иллюстрация количества используемых исходных распределений с заданной энергией частиц (см. рис. 1) для конкретного примера

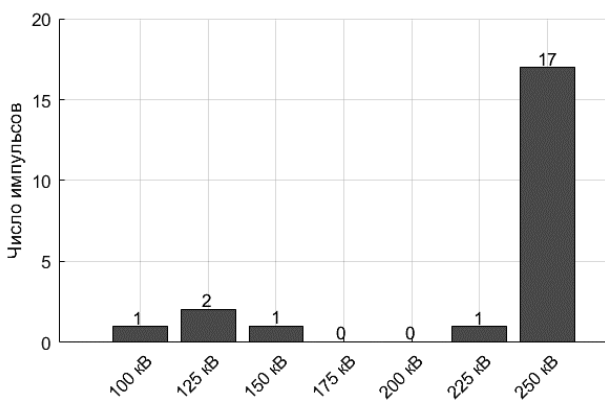


Рис. 3. Гистограмма числа импульсов пучка с разной кинетической энергией электронов

Закключение. Разработан способ расчета контролируемого (с заданными характеристиками) итогового распределения дозы в объекте после облучения электронным пучком (непрерывным или серией импульсов) с разной кинетической энергией частиц с наибольшей степенью заполнения в заданном диапазоне. Способ применим при настройке оборудования ускорителя для выполнения как научных, так практических задач. Исследование проведено в рамках Госзадания «Наука» FSWW-2020-0008.

ЛИТЕРАТУРА

1. Cleland M.R., Galloway R.A., Berejka A.J. Energy dependence of electron beam penetration, area throughput rates and electron energy utilization in the low-energy region // Nuclear Instruments and Methods Physics Research Section B. – 2007. – Vol. 261, № 1. – P. 94–97.

2. Egorov I.S., Kaikanov M.I., Kolokolov D.Y. et al. Treatment of industrial and household waste water with the pulse electron accelerator-based setup // Изв. высш. учеб. завед. Физика. – 2012. – Т. 55, № 10–3. – С. 61–64.

3. Mostovshchikov A.V., Ilyin A.P., Egorov I.S., Ismailov D.V. Thermal stability of iron micro- and nanopowders after electron beam irradiation // Key Engineering Materials. – 2016. – Vol. 712. – P. 60–64.

4. Егоров И.С., Полосков А.В., Серебренников М.А., Ремнев Г.Е. Оптимизация спектра кинетических энергий электронов пучка импульсного ускорителя для объемной обработки материалов // Матер. докл. 13-й Междунар. конф. «Взаимодействие излучений с твердым телом», Минск, 30 сентября – 3 октября 2019 г. – Минск: Изд-во БГУ, 2019. – С. 530–532.

5. Скиена С. Алгоритмы. Руководство по разработке. – СПб.: БХВ-Петербург, 2018. – 720 с.

6. Python™ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.python.org/> (дата обращения: 10.03.2021).

7. Matplotlib [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://matplotlib.org/3.1.0/index.html> (дата обращения: 10.03.2021).

8. Pandas [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://pandas.pydata.org/> (дата обращения: 10.03.2021).

9. Numpy [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://numpy.org/> (дата обращения: 10.03.2021).

УДК 004.896

УМЕНЬШЕНИЕ КОЛИЧЕСТВА ЛОЖНЫХ ПРОПУСКОВ ПРИ БИНАРНОЙ КЛАССИФИКАЦИИ URL

А.А. Шатрова, студент каф. БИС

*Научный руководитель И.А. Ходашинский, д.т.н., проф. каф. КИБЭВС
г. Томск, ТУСУР, shatrovaaleks@gmail.com*

Представлены два подхода по уменьшению количества ложных пропусков классификатора url-адресов, а также описан процесс получения результатов.

Ключевые слова: вредоносный url-адрес, ложные пропуски, классификация, свёрточная нейронная сеть.

В последнее время всё больше набирает популярность такая схема заработка, как кража личных данных и конфиденциальной информации через распространение вредоносных ссылок. Переход на удаленный режим в связи с пандемией только усугубил ситуацию. Так, Group-IB, международная компания, специализирующаяся на предотвращении кибератак, в 2020 г. выявила и заблокировала на 118% больше фишинг-ресурсов, чем ранее [1]. В связи с этим была постав-

лена цель: разработать программный продукт, позволяющий обнаружить вредоносные ссылки.

Постановка задачи. Предложено множество решений по обнаружению вредоносных url-адресов, большинство из них основываются на их бинарной классификации на «вредоносные» и «доброкачественные» или на класс «1» и «0» соответственно. При этом существует ряд решений, которые основаны на искусственном интеллекте и достигают достаточно большого процента доли правильных ответов, т.е. верно определенных классов. Однако, при оценке качества классификатора исследователи не акцентируют внимание на процент ложных пропусков, когда классификатор определяет вредоносный сайт как легитимный. Считаю, что именно этот показатель является наиболее эффективным при оценке классификатора, так как его значение может свидетельствовать о возможности успешной реализации атаки на вредоносном сайте. Исходя из вышесказанного, цель работы была уточнена, а именно, необходимо уменьшить количество ложных пропусков при классификации url-адресов на вредоносные и легитимные на основе анализа лексических характеристик адреса с применением нейронных сетей.

При этом под вредоносной ссылкой будем понимать url-адрес, переход по которому может привести к успешной реализации фишинговой атаки или к исполнению вредоносного кода в системе.

Описание эксперимента. В качестве основы классификатора была использована система URLNet [2], основанная на анализе лексических характеристик URL, с применением свёрточной нейронной сети. Реализация классификатора осуществлялась на языке Python с применением библиотеки tensorflow.

В качестве входных данных для обучения и тестирования классификатора был использован общедоступный набор данных [3] размером в 270149 url-адреса. При этом распределение классов «вредоносный url» и «легитимный url» в обучающей и тестовой выборках было принято, как 23 и 77% соответственно.

Архитектура сети аналогична архитектуре сети, предложенной в [2]. В классификаторе было реализовано разделение url-адреса на n -граммы, а также изменены функция потерь, метод инициализации весов и добавлена батч-нормализация.

Так как параметров и возможных значений много, был применен генетический алгоритм для определения лучшей комбинации параметров нейронной сети. Генетический алгоритм был запущен 7 раз. После чего были выбраны самые лучшие хромосомы в качестве начальной популяции и выполнен алгоритм ещё раз. Таким образом,

были найдены самые лучшие значения параметров нейронной сети, позволяющие уменьшить ложные пропуски.

Анализ полученных результатов. В результате анализа было выделено два подхода, которые уменьшают ложные пропуски при классификации url-адресов. Первый подход заключается в делении url-адреса на символы и символьный уровень слова с рассмотрением каждого специального символа как отдельного слова, с делением составляющих на n-граммы длиной 5, с «редкими словами», встречаемые 2 и менее раз, с процентом данных для обучения в 0,001%, с максимальным количеством символов в URL – 137, слов – 142, символов в слове – от 27 до 29, с темпом обучения, равным 0,0001, с количеством url в одном батче – 512, без применения батч-нормализации. При данном подходе достигаются наименьшие значения ложных пропусков (0,069%), но при этом резко ухудшается значение такой метрики, как точность (precision), и увеличивается время обнаружения.

Второй подход заключается в делении url-адреса на символы и слова и на n-граммы длиной 5, с размером встраиваемых слов и символов – 64, количеством эпох – 4, количеством url в одном батче – 64, темпом обучения – 0,0001, функцией потерь – сигмоидной кросс-энтропии. Стоит отметить, что деление url-адреса на символы и слова чаще всего встречается при лучших значениях и ни разу не встречается при худших. Также при такой комбинации не критично ухудшается точность и требуется меньше времени на обнаружение, чем при первой комбинации. Поэтому считаю такую комбинацию наиболее предпочтительной для задачи обнаружения вредоносного URL.

Если анализировать качество модификации модели, то наиболее существенный вклад в уменьшение ложных пропусков дает применение сигмоидной кросс-энтропии и разделение url на n-граммы длиной 5 совместно с разделением url на слова и символы. Кроме этого, лучшие значения чаще достигаются без применения батч-нормализации и с инициализацией весов методом HeNormal. Также можно сказать, что изменение метода инициализации весов имеет положительный эффект, так как базовая инициализация весов встречается редко (TruncatedNormal), но при этом нельзя явно выделить наилучший метод инициализации. Но можно выделить наихудший – LecunUniform. Исходя из вышесказанного, только 3 модификации имеют положительный эффект на модель в целях уменьшения ложных пропусков.

Заключение. Таким образом, в результате работы были разработаны два подхода по уменьшению количества ложных пропусков классификатора url-адресов. Предложенные подходы не превосходят самую лучшую модель, предложенную в исследовании [4], но они лучше справляются с обнаружением вредоносных url-адресов, чем

остальные рассмотренные системы [2, 5–7]. В качестве дальнейшего исследования стоит попробовать использовать другой метод обучения и другой набор данных.

ЛИТЕРАТУРА

1. Group-IB: итоги года и прогноз о главных киберугрозах [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.it-world.ru/cionews/security/168706.html> (дата обращения: 26.02.2021).

2. URLNet: Learning a URL representation with deep learning for malicious URL detection. / L.E. Hung, Pham Hong Quang, Sahoo Doyen, HOI Steven C.H. // PODS 2017: Proceedings of the ACM Symposium on Principles of Distributed Computing, Washington, DC, July 25–27. 1–13. Research Collection School Of Information Systems.

3. URL [Электронный ресурс]. – Режим доступа: dataset <https://www.unb.ca/cic/datasets/url-2016.html> (дата обращения: 28.09.2020).

4. Dharmaraj R. Patil1. Feature-based Malicious URL and Attack Type Detection Using Multi-class Classification / R. Patil1 Dharmaraj, B. Patil Jayantrao // ISC Int'l Journal of Information Security. – 2018. – № 10-2. – P. 141–162.

5. Shokan I. Detecting malicious URLs using lexical features and machine learning techniques // Project: Application of machine learning approaches in intrusion detection system. – 2018, 69 p. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.27270.01601>

6. DomainProfiler: toward accurate and early discovery of domain names abused in future / Daiki Chiba, Takeshi Yagi, Mitsuaki Akiyama, Toshiki Shibahara, Tatsuya Mori, Shigeki Goto // International Journal of Information Security. – 2017. – № 17 (4). – P. 661–680.

7. Suleiman Y. Yerima. High Accuracy Phishing Detection Based on Convolutional Neural Networks / Y. Yerima Suleiman, K. Alzaylae Mohammed // Third International Conference on Computer Applications & Information Security (ICCAIS 2020). – 2020. – P. 19–21.

УДК 004.8

СРАВНЕНИЕ МЕТОДОВ ИНИЦИАЛИЗАЦИИ ПОПУЛЯЦИИ ПРИ ОПТИМИЗАЦИИ ПАРАМЕТРОВ НЕЧЕТКОГО КЛАССИФИКАТОРА

А.О. Слезкин, аспирант каф. КИБЭВС

Научный руководитель И.А. Ходашинский, проф. каф. КИБЭВС

г. Томск, ТУСУР, saotom724@gmail.com

Сравниваются методы инициализации популяции при решении задачи оптимизации параметров нечеткого классификатора. Инициализация решений играет важную роль в алгоритмах, где отсутствие

разнообразия в популяции может привести к преждевременной сходимости и попаданию в локальный оптимум.

Ключевые слова: нечеткий классификатор, инициализация популяции, метаэвристический алгоритм, оптимизация параметров, машинное обучение.

Алгоритмы оптимизации ищут точку в пространстве поиска, в которой значение целевой функции максимально или минимально в зависимости от задачи оптимизации. Для решения задачи оптимизации роевыми алгоритмами на начальном этапе происходит инициализация популяции начальных решений. Эффективность методов оптимизации может быть повышена за счет разработки методов генерации перспективных начальных решений [1]. Можно выделить несколько различных методов инициализации: квазислучайные последовательности, метод оппозиционного обучения [2], многошаговый метод [3], хаотические методы [4] и др.

Целью данной работы является сравнение методов инициализации при решении задачи оптимизации параметров нечеткого классификатора.

Постановка задачи. Как следует из [5] правила нечеткого классификатора имеют следующий вид:

$$IF x_1 = A_{1j} \text{ AND } x_2 = A_{2j} \text{ AND } \dots \text{ AND } x_n = A_{nj} \text{ THEN } class = c_j,$$

где $j = \overline{1..m}$, m – количество правил; A_{ij} – терм j -го правила i -й переменной; c_j – идентификатор j -го уровня.

А сам нечеткий классификатор тогда может быть представлен как

$$C = f(\mathbf{x}, \boldsymbol{\theta}),$$

где \mathbf{x} – входной вектор; $\boldsymbol{\theta}$ – вектор параметров antecedентов.

Тогда задачей оптимизации будет являться нахождение такого вектора параметров $\boldsymbol{\theta}$, при котором качество классификации всех входных векторов данных будет максимальным.

Методы инициализации. Методы, основанные на *квазислучайных последовательностях*. Данные методы генерировали дополнительные решения с помощью квазислучайных последовательностей Фора [6] (Fauge) и Холтона [7] (Halton).

Метод, основанный на *итеративном хаотическом отображении Гаусса*. Данный метод генерировал новые решения с помощью итеративного отображения Гаусса (Gauss Map), имеющего следующий вид:

$$\theta_{n+1} = \exp(-\alpha \theta_n^2) + \beta,$$

где α и β – вещественные коэффициенты.

В качестве начального решения использовался исходный вектор θ . Методы, основанные на *распределениях случайных величин*. Данные методы генерировали векторы случайных величин, распределенных по нормальному (ND), равномерному (UD) или гамма (GD)-распределению. Далее исходный вектор θ поэлементно перемножался с каждым из полученных векторов и результат добавлялся и популяцию.

Постановка эксперимента. Эксперимент проводился по схеме десятикратной кроссвалидации. Основная цель эксперимента – сравнить различные методы инициализации популяции. Критерием эффективности является ошибка классификации на тестовой выборке данных. В качестве данных для исследования были использованы наборы данных из репозитория KEEL. Исходный вектор параметров θ всегда входил в популяцию начальных решений. В качестве алгоритма оптимизации использовался алгоритм стаи ласточек [8, 9].

Параметры методов инициализации приведены в табл. 1.

Таблица 1

Параметры методов инициализации	
Название	Параметры
Gauss Map	$\alpha = \text{rand}(1;3), \beta = \text{rand}(-1;1)$
UD	$a = 0.5; b = 2$
ND	$\mu = 1; \sigma = 1$
GD	$k = 1; \theta = 1$

Результаты экспериментов приведены в табл. 2.

Таблица 2

Сравнение результатов работы методов инициализации

Dataset	Faure	Halton	Gauss Map	UD	ND	GD
1	2	3	4	5	6	7
australian	20,323	23,407	15,817	15,388	15,375	16,169
balance	29,890	29,808	14,670	17,130	16,073	17,036
banana	20,949	24,180	23,282	30,544	27,011	26,610
bands	36,510	36,474	34,272	35,939	35,689	35,491
bupa	39,184	37,098	34,835	32,711	32,581	33,809
cleveland	44,001	45,803	42,252	45,781	42,954	43,607
contraceptive	52,470	53,429	51,047	51,278	50,378	50,026
dermatology	16,595	15,636	10,610	9,804	9,475	9,703
ecoli	43,419	37,313	30,766	28,657	31,421	30,477
glass	38,018	37,851	37,853	35,260	36,365	36,719
haberman	28,520	27,940	25,810	26,194	25,972	26,232
heart	26,025	24,320	18,360	21,839	20,111	20,419
hepatitis	16,753	14,457	14,892	16,499	14,335	15,054
ionosphere	21,041	21,688	11,501	19,306	19,802	19,687

Продолжение табл. 2

1	2	3	4	5	6	7
iris	6,223	6,245	5,689	5,400	4,778	5,289
newthyroid	4,397	4,307	4,643	4,060	4,433	4,421
page-blocks	8,390	6,648	6,827	6,117	4,780	4,881
penbased	36,286	36,685	33,127	34,259	34,688	35,029
phoneme	19,962	19,993	20,173	20,083	20,485	20,313
pima	26,593	28,315	25,750	25,205	26,203	26,065
ring	15,881	14,826	15,546	9,738	12,875	13,601
satimage	20,184	20,751	20,497	20,097	20,155	20,404
segment	13,002	12,088	12,460	10,336	10,517	10,623
sonar	32,674	34,665	27,833	29,574	28,370	28,438
spectfheart	20,857	21,555	21,611	20,719	20,973	20,598
tae	53,268	53,749	47,205	52,622	48,535	50,767
texture	21,318	21,015	22,277	21,839	21,342	21,522
thyroid	5,494	4,476	6,654	6,935	3,655	3,549
titanic	21,994	22,089	20,557	21,319	21,543	21,560
twonorm	3,659	3,610	3,593	3,547	3,570	3,622
vehicle	49,181	52,121	46,100	51,178	45,471	45,442
wdbc	6,070	6,123	5,556	5,004	5,052	5,522
wine	4,482	5,261	5,660	4,154	4,958	4,603
wisconsin	5,866	5,233	3,509	4,328	3,985	4,382

Для оценки результатов, приведенных в табл. 2, был применен критерий Фридмана. Полученные ранги приведены в табл. 3. Значение *p-value* было равно $6,83e-9$, что свидетельствует о высоком уровне статистической различимости результатов.

Таблица 3

Ранги, полученные критерием Фридмана

Метод	Faure	Halton	Gauss Map	UD	ND	GD
Ранг	4,74	4,74	3,15	2,82	2,53	3,03

Заключение. Как видно из результатов эксперимента, наилучшим из рассмотренных методов для инициализации популяции при решении задачи оптимизации параметров нечеткого классификатора является метод, основанный на нормальном распределении. В дальнейших работах планируется расширить набор методов инициализации, а также протестировать их на других метаэвристических алгоритмах оптимизации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ivorra B. A multi-layer line search method to improve the initialization of optimization algorithms / Ivorra B., Mohammadi B., Ramos A. M. // Eur. J. Oper. Res. – 2015. – Vol. 247. – P. 711–720.

2. Mahdavi S. Opposition based learning: A literature review / Mahdavi S., Rahnamayan S., Deb K. // *Swarm Evol. Comput.* – 2018. – Vol. 39. – P. 1–23.
3. Richards M. Choosing a starting configuration for particle swarm optimization / M. Richards, D. Ventura // *Proc. IEEE Int. Joint Conf. Neural Netw.* – 2004. – Vol. 3. – P. 2309–2312.
4. Kazimipour B. A review of Population Initialization Techniques for Evolutionary Algorithms / B. Kazimipour, X. Li, A.K. Qin // *Proc. IEEE Congress on Evolutionary Computation.* – 2014. – P. 2585–2592.
5. Bardamova M. A fuzzy classifier with feature selection based on the gravitational search algorithm / M. Bardamova, A. Konev, I. Hodashinsky, A. Shelupanov // *Symmetry.* – 2018. – Vol. 10, № 11. – P. 609.
6. Brits R. A niching Particle Swarm Optimizer / R. Brits, A.P. Engelbrecht, F. van den Bergh // *Proc. 4th Asia-Pacific Conf. Simulated Evol. Learning.* – 2002. – P. 692–696.
7. Ermakov S.M. On the Halton quasi-random sequences randomization // *Vestnik of St Petersburg University. Mathematics. Mechanics. Astronomy.* – 2017. – Vol. 4 (62). – P. 570–576.
8. Neshat M. Swallow swarm optimization algorithm: a new method to optimization / M. Neshat, G. Sepidnam, M. Sargolzaei // *Neural Computing and Application.* – 2013. – Vol. 23, No. 2. – P. 429–454.
9. Hodashinsky I.A. Feature selection based on swallow swarm optimization for fuzzy classification / I.A. Hodashinsky, K. Sarin, A.A. Shelupanov, A. Slezkin // *Symmetry.* – 2019. – Vol. 11, № 11. – P. 1423.

УДК 004.852

ОТБОР ПРИЗНАКОВ ДЛЯ НЕЧЕТКОГО КЛАССИФИКАТОРА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТАЭВРИСТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА «BIRD SWARM»

М.О. Светлаков, аспирант каф. КИБЭВС

*Научный руководитель И.А. Ходашинский, проф. каф. КИБЭВС, д.т.н.
г. Томск, ТУСУР, svetlakov.m4@gmail.com*

Рассмотрены вопросы построения нечетких классификаторов и снижения размерности признакового пространства данных с помощью метаэвристического алгоритма «Bird Swarm». Оптимизация антецедентов нечеткой системы проводилась с помощью непрерывного метаэвристического алгоритма «Bird Swarm», отбор информативных признаков проводился бинаризованным метаэвристическим алгоритмом «Bird Swarm». В итоге были построены нечеткие классификаторы, их проверка проводилась с использованием данных, взятых из хранилища KEEL.

Ключевые слова: отбор признаков, нечеткие системы, метаэвристический алгоритм, Bird Swarm.

Нечеткие классификаторы выделяются тем, что их правила интерпретируемы людьми, могут быть проверены на то, как они соотносятся со знаниями эксперта в предметной области. При создании нечеткой системы часто возникает проблема излишней размерности (числа признаков) обрабатываемых данных [1]. В данной работе предлагается использовать метаэвристический алгоритм оптимизации «стая птиц» для оптимизации параметров antecedентов, а для отбора признаков использовать бинаризованную метаэвристику.

Модель классификатора. В качестве классификатора используется нечеткая система с продукционными нечеткими правилами типа «ЕСЛИ-ТО». В рассматриваемом классификаторе i -е нечеткое продукционное правило выглядит следующим образом:

R_{ij} : ЕСЛИ $x_1=A_{1i}$ И $x_2=A_{2i}$ И $x_3=A_{3i}$ И ... И $x_k=A_{ki}$... И $x_n=A_{ni}$ ТО class= c_j ,
 A_{ki} – нечеткий терм, характеризующий k -й признак в i -м правиле ($i \in [1, R]$); R – число правил; c_j – идентификатор j -го класса; $j \in [1, m]$; x_k – значение k -го признака выходного образа данных.

Нечеткий терм A_{ki} можно определить с помощью функции принадлежности различных видов [2]. При проведении эксперимента была выбрана гауссова функция.

Рассматриваемый классификатор выглядит следующим образом в виде функции черного ящика:

$$c = f(\mathbf{x}^p, \boldsymbol{\theta}, \mathbf{D}, \mathbf{r}),$$

где $\boldsymbol{\theta}$ – вектор, содержащий значения ЕСЛИ-части правил нечеткого классификатора ($\boldsymbol{\theta} = \{\theta^k, k=1, \dots, s\}$), $\mathbf{r} = (r_1, \dots, r_s)$ – вектор значений ТО-части правил. В качестве численного критерия $E(\boldsymbol{\theta})$ качества работы рассматриваемого классификатора взята доля правильной классификации объектов выборки.

Метаэвристический алгоритм «Bird Swarm». Алгоритм основан на подобию поведения стай птиц в природе, является роевым. Метаэвристические алгоритмы оптимизации, подобные используемому, обычно позволяют находить близкие к истинному оптимуму решения за приемлемое время. Впервые данный алгоритм описан в работе [3]. При использовании метаэвристики «Bird Swarm» для отбора признаков $\theta_{i,j}^t$ – позиция каждой особи интерпретируется как бинарная переменная, определяющая, исключен ли некоторый признак из рассмотрения на итерации t . Для бинаризации метаэвристики используются функции трансформации. В качестве такой функции может выступать S-образная функция (Sigm):

$$\text{Если } 0,5 < \frac{1}{1 + e^{-\theta_{i,j}^t}}, \text{ то } \theta_{i,j}^t = 1, \text{ иначе } 0.$$

Для обновления элемента в бинарном векторе признаков возможно использование другого правила, где используется V-образная функция (V):

$$\text{Если } 0,5 < \frac{\theta_{i,j}^t}{\sqrt{1 + \theta_{i,j}^t{}^2}}, \text{ то } \theta_{i,j}^t = 1, \text{ иначе } 0.$$

В рамках исследования использовано еще одно правило (Tanh):

$$\text{Если } |\tanh(\theta_{i,j}^t)| > 0,5, \text{ то } \theta_{i,j}^t = 1, \text{ иначе } 0.$$

Также было рассмотрено другое, более простое правило (Naive):

$$\text{Если } \theta_{i,j}^t > 0,5 \text{ то } \theta_{i,j}^t = 1, \text{ иначе } 0.$$

Эксперимент. Используя рассмотренные правила, на данных из хранилища KEEL (<http://www.keel.es/>) был проведен отбор признаков и построение нечетких систем с помощью метаэвристического алгоритма. При оценке эффективности использовалась процедура кросс-валидации. В таблице приведены результаты. Полученные результаты исследованы с помощью критерия Фридмана. По числу признаков (#F) результаты статистически различимы ($p = 0,0194 < 0,05$), по проценту правильной классификации на тестовой выборке (#Т) результаты неразличимы ($p = 0,0984 > 0,05$).

Результаты

Набор данных	Алгоритм							
	Naive		Sigm		Tanh		V	
	#Т	#F	#Т	#F	#Т	#F	#Т	#F
wine	91,02	6,8	91,56	6,4	89,32	5,6	90,97	6,6
haberman	71,23	2	72,53	2,2	73,18	2	72,23	2
newthyroid	91,63	3,4	92,56	3,2	95,81	3,2	94,42	3
appendiciti	84,89	3,4	85,8	3,8	83,12	3	83,94	3,2
heart	77,78	7,8	74,81	8,2	80	8,6	77,78	7,8
mammographic	82,14	4,6	80,42	4,4	81,2	4,4	80,01	4,2
glass	50,47	6,2	53,26	6,2	56,57	6	57,49	5,6
hayes-roth	58,13	1,4	59,38	1,8	61,25	2	58,13	1,6
iris	95,33	2	95,33	1,8	93,33	1,8	93,33	2,2
wdbc	93,14	10,4	94,19	9,6	95,07	10,4	95,26	10,6
penbased	48,24	14,2	54,93	14,2	52,39	13,6	49,76	13,6
sonar	72,6	29,2	82,22	29,2	74,03	24,6	69,71	26,8
ionosphere	86,89	17,2	86,34	22,6	87,76	17	88,89	16,6
phoneme	77,89	3,8	78,61	3,8	79,16	3,8	78,59	3,6
tae	49,59	2,2	48,37	2,4	53,66	2,4	47,63	2
spectfheart	76,39	13,8	74,89	11,8	79,41	13,8	76	12,4
segment	60,43	8,8	62,16	8,8	62,55	8,4	63,94	7,6
Средний ранг	2,97	2,97	2,44	2,88	1,91	2,32	2,67	1,82

Заключение. На рассмотренных наборах данных рассматриваемые способы отбора показали различия по числу отобранных признаков при неразличимых результатах по проценту правильной классификации на тестовой выборке. Наилучший результат показали Tanh и V функции трансформации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Круглов В.В., Дли М.И., Голунов Р.Ю. Нечеткая логика и искусственные нейронные сети – М.: Изд. Физматлит, 2002. – 312 с.
2. Ходашинский И.А., Дудин П.А. Идентификация нечетких систем на основе непрерывного алгоритма муравьиной колонии // Автометрия. – 2012. – Т. 48, № 1. – С. 45–71.
3. Aljarah I., Faris H., Mirjalili S. Evolving neural networks using bird swarm algorithm for data classification and regression applications // Cluster Computing. – 2019. – Vol. 22. – P. 1317–1345.

УДК 004.021

НАХОЖДЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ЗНАЧЕНИЙ ЗАДАНЫХ МАТЕМАТИЧЕСКИХ ФУНКЦИЙ С ПОМОЩЬЮ CSA

Д.А. Воронин, студент каф. БИС

*Научный руководитель И.А. Ходашинский, проф. каф. КИБЭВС, д.т.н.
г. Томск, ТУСУР, dan54863@mail.ru*

Рассмотрена метаэвристика Crow Search Algorithm (CSA), которая базируется на поведении ворон. CSA относится к популяционной метаэвристике. Основная идея заключается в том, что вороны – жадные животные, и, в целях поиска благоприятного источника пищи они следят за другими птицами, в том числе и воронами. В результате слежки они прилетают в тайник с едой птицы жертвы. Метаэвристика была протестирована на 5 различных функциях в целях нахождения их минимумов.

Ключевые слова: метаэвристика, Crow Search Algorithm, тестирование, математическая функция, оптимизация.

Метаэвристические алгоритмы приобрели большую популярность в сравнении с точными методами решения задач оптимизации. Успех приносит их простота, надежность результатов, полученных при внедрении в ту или иную сферу деятельности человека.

Y. Wang в своих работах выделил несколько определений метаэвристик [1]. Распространенное определение метаэвристических алгоритмов выглядит следующим образом – это группа алгоритмов, задачей которых является поиск оптимального решения задачи, но не

всегда данное решение будет оптимальным, значение может быть и близким к оптимальному в многомерном пространстве поиска.

Целью данной работы является проверка эффективности метаэвристики CSA в задаче оптимизации математических функций.

Алгоритм поиска ворон. Алгоритм поиска ворон был предложен А. Аскарзаде в 2016 г. CSA является представителем метаэвристик, которые вдохновлены природой [2]. Они имитируют природные явления (коллективное поведение групп животных или образ жизни людей) и применяются для решения сложных проблем оптимизации. Вороны – птицы, которые считаются одними из самых умных животных в мире [3].

Поведение вороньей стаи схоже с процессом оптимизации. Все вороны прячут свою пищу в тайниках до того момента, пока она им не понадобится. Как правило, спрятанной еды им мало в силу их жадности. Они начинают вести слежку друг за другом, также и за другими птицами, чтобы их обокрасть и найти тайник посылнее.

На первом шаге выполнения CSA задаются основные параметры. На втором генерируются случайным образом позиции каждой из ворон, а также происходит процесс заполнения памяти (место, где находится их тайник). Далее вычисляется значение целевой функции при текущих позициях. После для каждой вороны выбирается та, за которой она погонится. В результате обновлений или же не обновлений позиций, при выполнении определенного условия, которое описано в метаэвристике, вычисляется целевая функция текущих позиций ворон. После данное значение сравнивается со значением целевой функции в памяти, если оно оказывается лучшим, то память обновляется. Шаги выполняются до тех пор, пока не сработает условие останова.

Для более наглядного представления, обновление позиции вороны на итерации k представлено в формуле (1):

$$x_i^{k+1} = x_i^k + r_i \cdot fl_i^k \cdot (m_j^k - x_i^k), \text{ при } r \geq AP_j^k, \quad (1)$$

где x_i^k – текущая позиция вороны i ; r_i – случайно сгенерированное число от 0 до 1; AP_j^k – вероятность осведомленности вороны j ; fl_i^k – длина полета вороны i ; m_j^k – значение позиции из памяти вороны j .

В случае если условие, указанное в формуле (1), не выполняется, ворона прилетает в случайную позицию пространства.

Проверка эффективности алгоритма. Был проведен эксперимент на 5 различных математических функциях [4]. Были зафиксированы мерность пространства при $d = 5, 10, 50$ и время тестирования

$t = 5$ и 15 мин. На каждом временном промежутке проводилось по 10 прогонов. Для проведения тестирования была написана программа на языке программирования Python. Тестирование проводилось на персональном компьютере, в котором установлено 16 GB ОЗУ DDR3 1600 МГц, процессор Intel Core i7 4770k с базовой тактовой частотой 3,5 ГГц. На время эксперимента отключено стороннее ПО и интернет-соединение.

Результаты эксперимента были записаны в таблицу. Приведены средние значения на каждой из пяти математических функций.

Закключение. В результате тестирования были сделаны выводы, что метаэвристика CSA находит оптимальные либо близлежащие к оптимуму значения на приведенных тестируемых функциях. На малой мерности $d = 5$ при разных временных промежутках CSA достигала оптимума функций. При увеличении мерности до $d = 10$ значения, которые достигала метаэвристика, были близкими к оптимальным. Аналогично при мерности $d = 50$.

Результаты тестирования

Функция	$d = 5$		$d = 10$		$d = 50$	
	5 мин	15 мин	5 мин	15 мин	5 мин	15 мин
Sphere	0	0	1,42E-101	9,61E-131	2,21E-42	6,32E-62
Rastrigin	0	0	0	0,995	2,985	1,99
Rosenbrock	0	0	2,59E-49	0	0,1904	0,02
Bent-Cigar Function	0	0	2,15E-83	6,42E-102	1,76E-04	0,005
Discus Function	0	0	3,01E-43	1,20E-65	2,80E-06	1,56E-15

Решением проблемы попадания в оптимальное значение может стать более четкий подбор параметров метаэвристики CSA либо увеличение времени, отводимого на тест. Но так или иначе алгоритм поиска ворон хорошо себя показал при решении своей основной задачи – поиска оптимума математической функции.

ЛИТЕРАТУРА

1. Wang Y. A sociopsychological perspective on collective intelligence in metaheuristic computing // International journal of applied metaheuristic computing. – 2010. – Vol. 1, № 1. – P. 110–128.
2. Glover F. Future paths for integer programming and links to artificial intelligence // Computers and Operations Research. – 1986. – Vol. 13, № 5. – P. 533–549.
3. Yang X.S. Engineering optimization: an introduction with metaheuristic applications. – USA: John Wiley & Sons, Inc., 2010. – 347 p.
4. Real-parameter black-box optimization benchmarking 2010: Presentation of the noiseless functions / S. Finck, N. Hansen, R. Ros R, A. Auger // Research Center PPE. – 2009.

ПОДСЕКЦИЯ 3.5

СОВРЕМЕННЫЕ БИБЛИОТЕЧНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

*Председатель секции – Абдрахманова М.В.,
директор библиотеки ТУСУРа;
зам. председателя – Карауш А.С., генеральный директор
ГПНТБ России, г. Москва, к.т.н.*

УДК 027.7:316.772.5:004-045.38

ИНФОРМАЦИОННАЯ КУЛЬТУРА СОТРУДНИКОВ УНИВЕРСИТЕТСКОЙ БИБЛИОТЕКИ В ПЕРИОД ДИСТАНТА

*И.В. Котова, аспирант каф. менеджмента
Научный руководитель М.А. Афонасова, зав. каф. менеджмента,
д.э.н., проф.
г. Томск, ТУСУР, kirina2302@mail.ru*

Рассматриваются вопросы организации работы вузовской библиотеки в период пандемии, удаленной работы и дистанционного формата обслуживания пользователей, а также повышения квалификации и информационной культуры сотрудников.

Ключевые слова: персонал, повышение квалификации, организация труда, компетенции, цифровизация, дистанционный режим работы, удаленный режим работы/

Вузовские библиотеки как центры информационной поддержки образовательного и научно-исследовательского процессов вузов претерпевают изменения. Это связано с цифровизацией экономики, переводом в электронный формат учебных и научных материалов, широким распространением и внедрения в работу библиотек электронных библиотечных систем, информационных баз данных, информационно-справочных систем и т.д. [1]. Вопрос перехода с бумажных носителей информации на электронные особенно остро встал в 2020 г., в период пандемии, удаленного режима работы и дистанционного формата обучения в университетах.

В этот период библиотеки столкнулись с двумя основными проблемами:

– часть функционала (сервисов, услуг) невозможно было перевести в онлайн-формат по техническим причинам;

– часть сотрудников не умела и не была готова работать в формате онлайн.

Рассмотрим более детально вторую проблему на примере сотрудника отдела обслуживания Научно-технической библиотеки Томского политехнического университета (НТБ ТПУ), который выполняет следующие функциональные обязанности:

- 1) отвечает за работу читального зала/абонемента,
- 2) консультирует пользователей,
- 3) выдает/расставляет документы,
- 4) редактирует, оформляет, обеспыливает фонд,
- 5) ведет статистический учет,
- 6) оформляет выставки,
- 7) участвует в организации мероприятий библиотеки,
- 8) готовит информацию для размещения в социальных сетях,
- 9) проводит занятия по курсу «Основы информационной культуры» для студентов,
- 10) занимается созданием аналитических записей для БД «МАРС»,
- 11) выполняет платные услуги.

При переходе на удаленную работу п. 1–3, 6, 7, 11 теряют свой смысл, так как эта работа непосредственно связана с обслуживанием читателей в читальных залах и на абонементах библиотеки. Таким образом, большая часть нагрузки сотрудника библиотеки с переходом в онлайн-формат исчезла.

Необходимо было найти задачи, которые, с одной стороны, были актуальны и востребованы вузом, с другой стороны, сотрудники библиотеки могли выполнять в режиме онлайн, например:

- работу с профилями сотрудников университета в индексах научного цитирования,
- редактирование метаописаний в электронном архиве университета и электронном каталоге библиотеки,
- подготовку вуза к аккредитации – проверку рабочих программ дисциплин и др.

Было принято решение подготовить программу повышения квалификации и провести обучение сотрудников по перечисленным направлениям [2, 3]. В результате предпринятых действий удалось:

- повысить информационную культуру персонала библиотеки;
- избежать вынужденного простоя сотрудников и сохранить в полном объеме их заработную плату;
- восстановить около 7 тыс. цитирований в базах данных Scopus и Web of science, аффилированных университету;
- отредактировать свыше 1 тыс. метаописаний в электронном архиве и многое другое.

Эти направления работы продолжают развиваться, несмотря на то, что библиотека вернулась в обычный режим работы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Казанцева К.Б. Вузовская библиотека в условиях цифровой трансформации университета // Информатизация образования и методика электронного обучения: цифровые технологии в образовании: труды IV Междунар. науч. конф., Красноярск, 06–09 окт. 2020 г. – Красноярск: Изд-во СФУ, 2020. – С. 151–156. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44406305> (дата обращения: 18.03.2021). – Режим доступа: Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU.

2. Волкова Е.О. Формирование информационных компетенций пользователей вузовских библиотек посредством виртуальных курсов / Е.О. Волкова, С.Б. Давыдова // Румянцевские чтения – 2020: матер. междунар. науч.-практ. конф.: в 2 ч. – Ч. 1. – Москва, 21–24 апр. 2020 г. – Изд-во «Пашков дом», 2020. – С. 156–159. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=43882334> (дата обращения: 18.03.2021). – Режим доступа: Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU.

3. Попова Е.В. Вузовская библиотека: формирование цифровой грамотности, или Чему нас научил covid-19? // Библиотека и молодежь в цифровом пространстве: матер. областной межведомств. науч.-практ. конф., Омск, 29–30 июня 2020 г. – Омск : Изд-во ОмГУПС, 2020. – С. 65–72. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=43075477> (дата обращения: 18.03.2021) . – Режим доступа: Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU.

УДК 64.011.328:351.852.11

РЕСУРСНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ИНФОРМАЦИОННО-БИБЛИОТЕЧНОЙ СРЕДЫ ВУЗА

*М.В. Абдрахманова, аспирант каф. менеджмента,
директор библиотеки*

*Научный руководитель М.А. Афонасова, зав. каф. менеджмента
г. Томск, ТУСУР, mva@lib.tusur.ru*

Рассматриваются формирование и структура информационно-библиотечной среды, а также характеристика потенциала совокупных ресурсов библиотеки.

Ключевые слова: ресурсный потенциал, информационно-библиотечная среда, доступ.

В настоящее время одним из наиболее ценных стратегических ресурсов является образование. Оно превращается в один из главных источников формирования человеческого капитала и накопления знаний, что определяет уровень социально-экономического развития об-

щества. Высокий темп информатизации системы образования является ответом на новые обстоятельства, связанные с переходом к цифровой экономике. Поэтому на сегодняшний день научные исследования в области эффективности использования информационных научно-образовательных ресурсов являются особенно актуальными.

Рассмотрены вопросы, связанные с оценкой эффективности использования информационных научно-образовательных ресурсов, входящих в структуру информационно-библиотечной среды.

В современных социально-экономических условиях именно ресурсы определяют стратегию развития деятельности библиотеки и формируют структуру информационно-библиотечной среды.

Структура информационно-библиотечной среды включает:

- корпоративные объединения (корпоративные и международные);
- смежные отраслевые объединения и другие организации;
- библиотеки, предоставляющие совместные услуги в рамках межбиблиотечных договоров;
- информационные интернет-порталы;
- информационно-библиографические ресурсы;
- книготорговые организации, центры научно-технической информации;
- информационные и образовательные ресурсы, базы данных;
- информационные системы доступа к удаленным ресурсам и базам данных.

Следует отметить, что эффективность использования электронных информационных ресурсов может рассматриваться как эффективность поиска необходимой информации и информационных ресурсов. Она проводится с использованием социально-экономических методов, которые позволяют оценить целесообразность применения цифровых технологий в организации работы библиотечных служб.

Для достижения эффективности использования в информационно-библиотечной среде вуза информационные ресурсы должны соответствовать следующим критериям:

- доступность электронно-информационных ресурсов для пользователей;
- достоверность, оперативность, полнота информационных научно-образовательных ресурсов;
- качество и разнообразие форм предоставления информации;
- минимальные затраты на проектирование, разработку или сопровождение информационных систем и баз данных;
- скорость передачи данных и простота получения информации.

Таким образом, рассматривая проблему формирования и использования ресурсного потенциала библиотеки в условиях развития цифровизации информационно-библиотечной среды, следует учитывать изменение характера взаимодействия различных элементов этой среды, появление новых возможностей осуществления обслуживания читателей и способов коммуникации библиотеки с ними.

ЛИТЕРАТУРА

1. Клюев В.К. Менеджмент ресурсного потенциала библиотеки: учеб. пособие. – М., 2011. – 136 с.

2. Кожевникова Л.А. Экономика библиотечной деятельности: учебник / ГПНТБ СО РАН. – Новосибирск, 2005. – 200 с.

ПОДСЕКЦИЯ 3.6

МОЛОДЕЖНЫЕ ИННОВАЦИОННЫЕ НАУЧНЫЕ И НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ПРОЕКТЫ

*Председатель секции – Костина М.А., доцент каф. УИ, к.т.н.;
зам. председателя – Нариманова Г.Н., зав. каф. УИ, к.ф.-м.н.*

УДК 659.113

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММЫ МЕРОПРИЯТИЙ ДЛЯ ПРОДВИЖЕНИЯ ИННОВАЦИОННОГО ПРОДУКТА «ПЦР-СТАНЦИЯ» НА РЫНОК

А.А. Сбитнева, магистрант каф. УИ ТУСУРа;

А.Ш. Галиуллина, магистрант каф. ФТМИ ИТМО

Научный руководитель Г.Н. Нариманова, декан ФИТ, к.ф.-м.н., доцент

г. Томск, ТУСУР, aljonasbitneva@rambler.ru,

г. Санкт-Петербург, ИТМО, galiullinaalbina1@gmail.com

Разработана программа мероприятий для вывода на рынок инновационного продукта «ПЦР-станция», предназначенного для определения содержания ГМО в продуктах питания. Заявить о продукте на рынке можно большим количеством способов, но не всегда использовать все способы целесообразно, так как некоторые мероприятия являются неприменимыми в силу специфичности продукта.

Ключевые слова: продукт, рынок, продвижение, программа мероприятий, потребители.

В настоящее время недостаточно разработать инновационный продукт, необходимо его правильно внедрить на рынок. Успешность компании может определяться ее выходом на рынок с новым предложением и внедрением нового продукта.

Ведущая роль в процессе продвижения продукта на рынок принадлежит маркетинговым исследованиям. Так как в наше время мало владеть продуктом, имеющим явное превосходство над конкурентами, чтобы успешно выйти на рынок и занять лидирующие позиции. Необходимо своевременно осуществлять тщательный анализ рынка и проводить эффективные маркетинговые мероприятия, которые в зависимости от окружающей среды компании, ее внутренних ресурсов и возможностей, а также от специфики рынка могут различаться [1].

В свою очередь, правильно проведенные маркетинговые исследования, связанные с формированием рынка, позволяют разработать

маркетинговую программу продвижения продукта на рынок. Данная программа мероприятий необходима для того, чтобы не понести значительных убытков компании, так как процесс вывода на рынок нового продукта или услуги имеет сложности, он многозадачен и требует вложения значительного объема инвестиций, сил и времени.

В настоящей работе рассматривается программа мероприятий для продвижения на рынок инновационного продукта «ПЦР-станция», предназначенного для молекулярно-генетического анализа различных образцов, включая анализ продуктов питания на ГМО, а также обнаружение инфекционных агентов у людей и животных. Данное оборудование является инновационным, его уникальность заключается в сокращении времени проведения диагностики с 1,5 ч до 15 мин, а также в автоматизации всех процессов диагностики – от выделения ДНК до получения результата [2].

Маркетинговая программа мероприятий по продукту компании ООО «Мелсер», в первую очередь, разрабатывалась на основе выявленных пробелов при анализе деятельности по продвижению данной компании и исследования рынка данного продукта.

Структура программы маркетинговых мероприятий состоит из двух блоков:

- 1) рекламная деятельность;
- 2) продажи.

Целями данной программы являются: информирование и ознакомление потенциальных потребителей с продуктом (его характеристиками, функциями и т.д.) и побуждение к покупке.

Рекомендованная программа мероприятий продвижения продукта на рынок (в рамках следующего года) представлена в таблице.

Программа мероприятий

№	Наименования мероприятия	Временной интервал
Рекламная деятельность		
1	Сайт (разработка и наполнение)	I–II квартал 2021 г.
2	Печать в специализированных журналах и размещение статей на интернет-порталах	Круглый год
3	Участие в специализированных семинарах, конференциях и конкурсах	Круглый год
4	Разработка рекламного материала: презентаций, буклетов, каталогов	I квартал 2021 г.
5	Проведение опытно-промышленных испытаний (раздача образцов)	III квартал 2021 г. – круглый год
6	Сотрудничество с поставщиками реагентов	III квартал 2021 г. – круглый год
7	Участие в специализированных выставках и ярмарках (полная выставочная деятельность)	III квартал 2021 г. – круглый год

Продолжение таблицы

№	Наименования мероприятия	Временной интервал
Продажи		
8	Запуск комплексного продвижения web-сайта	III квартал 2021 г. – круглый год
9	Запуск отдела продаж (звонки, email-рассылка, обработка заявок с сайта, работа с лояльностью и т.д.)	III квартал 2021 г. – круглый год
10	Сотрудничество с федеральными сетями поставки диагностического лабораторного оборудования	III квартал 2021 г. – круглый год
11	Участие в гос. закупках	III квартал 2021 г. – круглый год

Программа мероприятий, представленная в таблице, направлена на информирование потребителей, а также на получение первых заказов и продаж. Но необходимо понимать, что эффективность коммуникационных каналов зависит также и от информации, которую получают потенциальные потребители. Необходимо донести до клиента правдивую информацию, возбудить его любопытство, акцентируя внимание не на товаре, а на выгодах, которые получит покупатель с его приобретением.

Данную программу мероприятий могут дополнить сформированные перечни рекомендованных журналов, конкурсов, выставочных и конференционных мероприятий.

Настоящая работа выполнена в интересах инновационной компании ООО «Мелсер». Результаты исследования используются в процессах указанной организации с целью коммерциализации исследуемого продукта, что определяет практическую значимость работы.

В заключение следует отметить, что была разработана программа мероприятий для продвижения продукта на рынок, с помощью которой компания ООО «Мелсер» сможет ознакомить потенциальных потребителей с продуктом и получить первых клиентов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Маркетинг инноваций и инновационный маркетинг: учеб. пособие для студ. экон. спец. вузов / Ю.И. Осик, З.Н. Борбасова, О.В. Прокопенко, В.З. Валеева. – Караганда: Изд-во КарГУ, 2016. – 155 с.

2. Сбитнева А.А., Галиуллина А.Ш. Миниатюрная станция для экспресс-анализа на содержание ГМО в продуктах питания методом ПЦР в реальном времени // Научная сессия ТУСУР: матер. докладов междунар. науч.-техн. конф. – Томск: В-Спектр, 2020. – С. 85–87.

ПОДСЕКЦИЯ 3.7

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

*Председатель секции – Зариковская Н.В., доцент каф. АОИ,
зам. ген. директора ООО «АльдераСофт», к.ф.-м.н.*

УДК 004.021

ОБЗОР НЕЙРОСЕТЕВЫХ АЛГОРИТМОВ ДЛЯ ИСПРАВЛЕНИЯ ГРАММАТИЧЕСКИХ, ПУНКТУАЦИОННЫХ И ОРФОГРАФИЧЕСКИХ ОШИБОК

А.А. Аханов, студент каф. АОИ

*Научный руководитель Зариковская Н.В., доцент каф. АОИ, к.ф.-м.н.
г. Томск, ТУСУР, akhanov.alibek1@gmail.com*

Приведены результаты исследования алгоритмов нейронных сетей для исправления грамматических, пунктуационных и орфографических ошибок.

Ключевые слова: нейронные сети, обработка естественного языка, сверточные нейронные сети, рекуррентные нейронные сети, BERT.

На сегодняшний день сеть Интернет производит все больше текстовой информации из социальных сетей, блоговых сервисов и различных лонгридов. В связи с этим острота проблемы наличия ошибок в текстах возрастает с каждым днём. Для решения данной проблемы решено реализовать приложение, направленное на исправление грамматических, пунктуационных и орфографических ошибок.

На основе проведенного анализа существующих нейросетевых алгоритмов были выявлены недостатки стандартных алгоритмов: любое незнакомое (отсутствующее в словаре) слово будет воспринято как ошибочное, а следовательно, заменится. Напротив, всякое слово, которое есть в словаре, будет считаться правильным, что исключает возможность исправления ошибок, не приводящих к возникновению новых слов. Также при выборе исправления размера текста учитываемого контекста может оказаться недостаточно. Перечисленные проблемы указывают на узкие границы применимости существующих методов и алгоритмов.

Так как входные данные в нейронной сети независимо от их типа представляются в виде цифр, необходимо подготавливать данные для

обучения нейронной сети. Подготовка и очистка данных от шумов включает в себя несколько этапов:

1) очистка текста от специальных символов, таких как «\n», эти символы не несут никакой смысловой нагрузки и не помогают модели делать предсказания;

2) буквенный регистр: одни и те же слова с разным регистром нейронная сеть пометит по-разному, поэтому все данные нужно привести к нижнему регистру;

3) знаки пунктуации: «?», «!», «:» и т.д. также должны быть удалены;

4) стоп-слова: «на», «не», «в», «об» также никак не способствуют обучению модели и чаще всего являются шумом;

5) токенизация [1] – это разбиение текста на мелкие части, т.е. токены;

6) стемминг и лемматизация. Стемминг [2] – это более грубый процесс, нежели лемматизация. Он отрезает «лишнее» от корня слов, и часто это приводит к потере словообразных суффиксов. Лемматизация [3] – это более тонкий процесс, который использует словарь и морфологический анализ, чтобы в итоге привести слово к его канонической форме – лемме. Например: *бежала* → *бежать*, *бежала* → *беж*;

7) векторизация [4] – процесс преобразования текста в числовые векторы.

Для задачи обработки и классификации текстов используются:

1) рекуррентные нейронные сети (простые, LSTM);

2) одномерные сверточные нейронные сети;

3) архитектура BERT.

Рекуррентные нейронные сети – это сети, содержащие обратные связи и позволяющие сохранять информацию. В рекуррентных нейронных сетях результат зависит не только от расчетов текущего шага, но и от предыдущих временных шагов. Обратная связь в рекуррентной нейронной сети позволяет передавать информацию от одного шага к другому. Рекуррентные нейронные сети часто используются в задачах анализа тональности текста, так как в этих задачах важно понимать контекст слов в предложении.

В случаях со сложными текстами, в которых необходимо большее понимание контекста, рекуррентная нейронная сеть может терять способность связывать информацию прошлых циклов из-за возрастающего расстояния циклов. Эта проблема была исправлена в рекуррентных нейронных сетях типа LSTM.

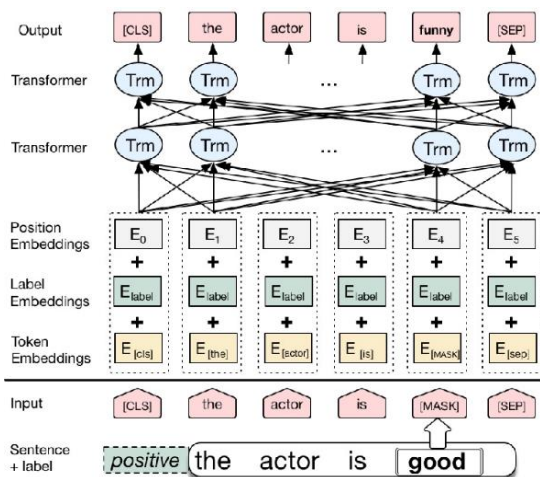
LSTM (Long-short-term memory; долгая краткосрочная память) – разновидность архитектуры рекуррентных нейронных сетей, способ-

ная к обучению долговременным зависимостям. LSTM-сеть, в отличие от обычных рекуррентных нейронных сетей, лучше приспособлена к задачам классификации из-за особенностей обучения долговременным зависимостям, также используется в распознавании рукописного текста [5].

Один из ключевых компонентов LSTM-сети – это состояние ячейки. Информация проходит по состоянию ячейки и может изменяться в зависимости от фильтров. Фильтры состоят из сигмоидальной функции активации и операции поточечного умножения. Фильтры пропускают информацию в зависимости от нескольких условий. Сигмоидальная функция возвращает числа от 0 до 1, по которым фильтр приходит к выводу, какую часть информации стоит пропускать. 0 – не пропускать ничего, 1 – пропустить все. В LSTM-сети присутствуют три таких фильтра [6].

Свёрточная нейронная сеть [6] – разновидность архитектуры нейронных сетей, построенная на основе особенностей зрительной коры головного мозга, т.е. умеет концентрироваться на небольшой области и выделять в ней важные особенности. Сверточной нейронная сеть называется, поскольку основой архитектуры является операция свёртки, где каждый фрагмент изображения поэлементно умножается на ядро (матрицу).

BERT – нейронная сеть от Google, основанная на обученном стеке энкодеров трансформеров. BERT принимает на вход последовательность слов, которая передается вверх по стеку энкодеров. Энкодеры применяют механизм «внутреннего внимания» и передают результаты в сеть прямого распространения, после чего результаты пе-



редаются следующему энкодеру, как показано на рис. 1. BERT обладает двумя разными режимами работы: предсказание слов и проверка логичности фраз.

Рис. 1. Схема работы BERT

Предсказание слов преобразовывает 15% входящей информации и заменяет их на токен [MASK]. После чего BERT пытается предсказать слово, скрытое за этим токеном, основываясь на контексте остальных «непомеченных» слов.

Проверка логичности фраз производится посредством разделения данных пополам. Берется предложение из первой половины и из второй, BERT проверяет, насколько предложения подходят друг другу по контексту. Во избежание ошибок в предложения вставляются два токена – [SEP] и [CLS]. [SEP] вставляется в конце каждого предложения, [CLS] вставляется в начале первого предложения. После такой маркировки вся последовательность проходит через модель «Трансформер», [CLS] токен преобразовывается в вектор размерности 2×1 . После чего высчитывается вероятность с помощью функции `IsNextSequence`, на основе значений которой решается, подходят фразы друг другу или нет.

На основе проведенного анализа можно сделать вывод, что алгоритм BERT является наиболее подходящим в силу нескольких причин:

- длина учитываемого контекста LSTM-сети порядка 20 слов, длина контекста, учитываемого BERT, – порядка 200 слов;
- BERT использует не слова, а квазиморфемы;
- BERT учитывает стилистику текста, что позволит исправлять стилистические ошибки в текстах.

Для реализации ПО, направленного на автоматизированную проверку текста и устранения грамматических, пунктуационных и орфографических ошибок, потребуется внести изменения в стандартный процесс обучения BERT.

ЛИТЕРАТУРА

1. Основы Natural Language Processing для текста [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://habr.com/ru/company/Voximplant/blog/446738/> (дата обращения: 05.03.2021).
2. Beginner's guide to text preprocessing in Python [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://medium.com/biaslyai/beginners-guide-to-text-preprocessing-in-python-2cbeafb5f44> (дата обращения: 05.03.2021).
3. Natural Language Processing: Text Data Vectorization [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://medium.com/@paritosh_30025/natural-language-processing-text-data-vectorization-af2520529cf7 (дата обращения: 05.03.2021).
4. Karen S. Jones. A statistical interpretation of term specificity and its application in retrieval [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.115.8343&rep=rep1&type=pdf> (дата обращения: 05.03.2021).

5. Hochreiter Sepp, Jürgen Schmidhuber. Long short-term memory [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://deeplearning.cs.cmu.edu/pdfs/Hochreiter97_lstm.pdf (дата обращения: 05.03.2021).

6. LeCun Y., Bottou L., Bengio Y., Haffner P. Gradient-Based Learning Applied to Document Recognition [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://yann.lecun.com/exdb/publis/pdf/lecun-98.pdf> (дата обращения: 05.03.2021).

УДК 004.021

ИГРОВОЙ БАЛАНС ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ПРОЦЕДУРНОЙ ГЕНЕРАЦИИ ИГРОВОГО СОДЕРЖИМОГО

К.В. Никитин, А.А. Комаров, Е.Э. Боргояков, студенты

Научный руководитель А.А. Матолыгин, ст. преп. каф. ЭМИС

г. Томск, ТУСУР, каф. ЭМИС, jasteron@rambler.ru,

justerfeedy@gmail.com, huskar_zheka@bk.ru

*Проект ГПО ЭМИС–2003 «Процедурная генерация
игрового контента»*

Рассматриваются проблемы игрового баланса – достижения равновесия между различными игровыми факторами в целях достижения достаточного уровня сложности, честности и интереса в игровом процессе в условиях использования процедурно генерируемого игрового содержимого.

Ключевые слова: игровой баланс, процедурная генерация, случайные алгоритмы.

Процедурная генерация игрового контента (ПГК) является пространственным решением множества проблем, возникающих в процессе разработки видеоигр [1]. Под ПГК понимают автоматическое или полуавтоматическое создание различных составляющих частей игр с возможностью их динамического изменения. Генерировать процедурно можно различное содержимое: уровни и объекты на них, графику, персонажей, визуальные и звуковые эффекты, что позволяет создать игровой мир, в определенной степени состоящий из элементов, генерируемых при помощи алгоритмов с элементом случайности. В таком случае каждый новый уровень уникален, будет вести себя по-разному и соответствующе наполнен. Это позволяет решить проблему низкого уровня реиграбельности (возможности повторных прохождений с иным игровым опытом), репетитивности и однообразности геймплея (англ. *gameplay* – «игровой процесс»). При достаточном уровне применения алгоритмов ПГК игра при желании может длиться теоретически бесконечно долгое время и удерживать интерес игрока за счет постоянно изменяющегося окружения.

Тем не менее использование процедурной генерации не является прямым решением другой основополагающей проблемы игростроения – проблемы игрового баланса [2]. Эта проблема выражается в необходимости тонкой настройки всех игровых факторов, которые так или иначе влияют на пользовательский опыт (сложность, игровой интерес, вариативность и эффективность механик). Процедурно генерируемый контент, как и созданный вручную, также нуждается в балансировке, необходимой для достижения равновесия между игровыми персонажами, предметами, механиками и тактиками. Если это не осуществляется, то существует риск создания излишне сложного или, наоборот, слишком легкого геймплея, что отрицательно повлияет на интерес игрока и его удовлетворенность игровым процессом. Недостаток работы в направлении баланса также грозит снижением «честности» игровых правил, что позволит игрокам получать преимущество в непредвиденных ситуациях или с минимальным количеством усилий. Особенно критично это для многопользовательских игр с упором на соревновательность («киберспортивные дисциплины» [3]).

В большинстве случаев баланс в видеоиграх ограничивается подгонкой числовых значений различных игровых характеристик. Совокупность таких параметров, уравновешенных по значимости и влиянию на игровой процесс, способна обеспечить честную и интересную игру с подходящим уровнем сложности. Несмотря на то, что процедурно генерируемое игровое содержимое является результатом работы алгоритмов с элементом случайности и заведомо точно предсказать такой результат невозможно, генерируемое содержимое поддается балансировке в условиях сохранения принципа автоматической работы алгоритма.

Если при создании игрового предмета вручную разработчик может заранее задать ему готовые характеристики, которые определяют предмет как сбалансированный, то достичь баланса в предмете, создаваемом случайно, возможно при помощи некоторых ограничений. Для этого для каждого генерируемого игрового предмета, имеющего некоторые числовые характеристики (урон, скорость, очки здоровья и т.п.), необходимо определить ограничения, в пределах которых случайным образом определяются конечные значения характеристик. В свою очередь, эти ограничения следует вычислять исходя из привязки к каким-либо факторам. Например, это могут быть показатели сложности, чтобы не сгенерировать слишком слабый и бесполезный предмет или излишне опасного противника, с которым игрок не сможет совладать. Ограничения также можно высчитывать исходя от начальных условий игры. Так, если игроку перед началом игры дается выбор между несколькими персонажами, то каждый из них должен иметь

максимально равные шансы на победу. Так, игрок сможет достичь победы вне зависимости от условий, которые определил себе перед игрой или во время нее. Ограничительные факторы теоретически могут относиться к любой составляющей игрового процесса – выбор остается за разработчиком.

При этом следует учитывать необходимость в обеспечении динамического изменения ограничительных условий. Если игровой персонаж в процессе игры набирает уровни, становясь сильнее, то используемые им предметы также должны повышать свои характеристики. Это позволяет обеспечить стабильную сложность игрового процесса, в котором в любой момент игрок получает все необходимые средства для достижения победы – не использует имбалансные (от англ. *imbalanced* – «несбалансированные») предметы для получения нечестного преимущества и не страдает от излишне тяжелых игровых условий. Так, ограничения в характеристиках можно привязать к уровню персонажа, выбранного игроком, или от выбранного им же уровня сложности.

Балансировать приходится и те игровые составляющие, которые не относятся к числовым характеристикам напрямую. Например, если в многопользовательской игре уровень генерируется процедурно, то существует опасность получения неожиданно выгодных игровых областей. Так, безопасная точка на карте в тактической игре позволит игрокам и командам получать преимущество над другими, прикладывая значительно меньше усилий и имея меньший игровой опыт, даже если все начинают в равных условиях. Разумеется, вероятность такой генерации необходимо устранять, например, путем введения максимально симметричных условий генерации – каждый игрок или команда имеет то же количество и качество тактически выгодных точек, что и любая другая.

Таким образом, достижение игрового баланса является возможным не только для содержимого, созданного вручную, но и сгенерированного процедурно, и его можно достичь, сохраняя требуемый уровень автоматизации – ограничения можно задать заранее, включив их в алгоритмы генерации, и не прибегать к ручной балансировке после.

ЛИТЕРАТУРА

1. Procedural Content Generation in Games / Shaker, Noor, Togelius, Julian, Nelson, Mark J. – Springer, 2016. – P. 1–2.
2. Chance and Skill in Game Design [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://clck.ru/ThPhJ> (дата обращения: 26.02.2021).
3. Киберспорт [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.pnp.ru/economics/kibersport-eto-sport-budushhego-ili-ravzlechenie.html> (дата обращения: 01.03.2021).

ВИЗУАЛИЗАЦИЯ АНАЛИТИЧЕСКИХ ДАННЫХ

*А.В. Потеряева, студентка каф. АОИ;
Н.В. Зариковская, доцент каф. АОИ, к.ф.-м.н.
г. Томск, ТУСУР, nase.poteryaeva@gmail.com*

Рассматривается один из способов визуального отображения аналитических данных с помощью радара.

Ключевые слова: аналитические данные, диаграмма, радар, React, Konva, svg, кривые Безье.

На данный момент крупные организации, которым необходимо представить информацию для дополнительного анализа в виде каких-либо аналитических отчетов, стараются найти наиболее оптимальные, визуально легко воспринимаемые простым человеком представления.

В качестве визуального представления могут выступать различного рода диаграммы, имеющие возможность контактировать с клиентом. Рассмотрим более конкретный пример – радар, который представляет собой круговую диаграмму (рис. 1).

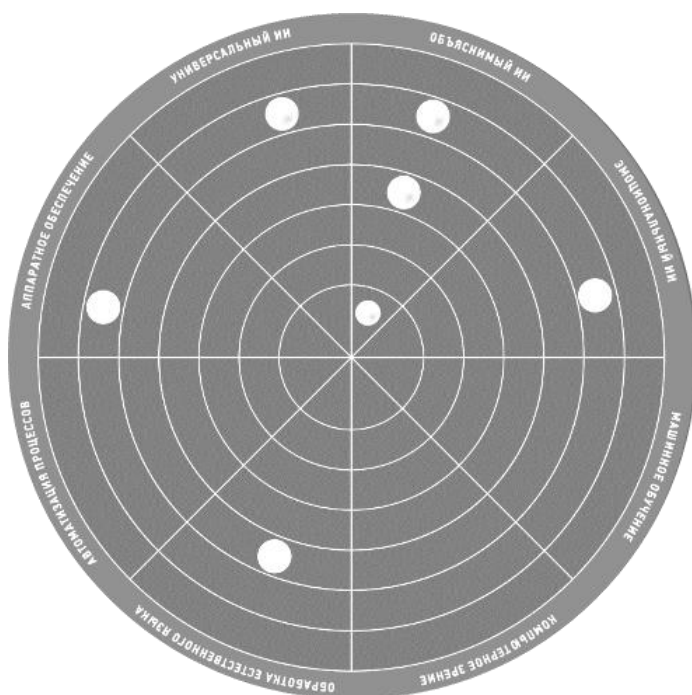


Рис. 1. Представление информации в виде круговой диаграммы

Данный радар направлен на визуализацию информации о различных технологических направлениях (сектора), инвесторами которых является заказчик. Радар состоит из следующих элементов:

- технологических направлений первого, второго или третьего уровня, количество которых варьируется от двух до десяти;
- ячеек – элементов, расположенных на радаре в конкретном технологическом направлении и на конкретном этапе жизненного цикла технологии;
- этапов жизненного цикла – границ ячейки, представляющих собой кольца;
- событий и новостей в виде маркеров, которые располагаются в определенной ячейке радара.

Система должна давать возможность просмотра детальной информации событий и новостей, а также производить фильтрацию информации по следующим параметрам:

- технические направления;
- временные параметры;
- тип отображаемых событий.

Frontend – часть подобной системы удобно реализовывать с помощью библиотеки React [1] и фреймворка Konva [2].

Наиболее часто выявляемой проблемой является отрисовка текста по дуге. При реализации данной задачи выявляется проблема «пляшущих букв» (рис. 2, *a*).

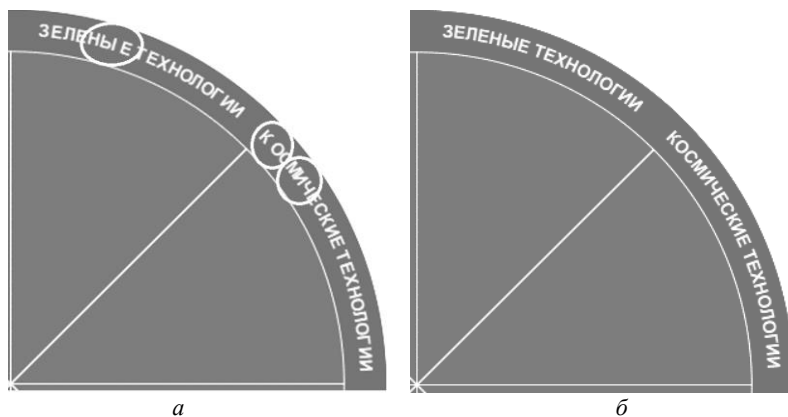


Рис. 2. Отображение подписей секторов: *a* – некорректное отображение; *б* – корректное отображение

Для решения данной проблемы траекторию отрисовки букв можно задать с помощью кривых Безье [3].

Кубическая кривая Безье (C) принимает две контрольные точки. Таким образом, чтобы создать кубическую кривую, необходимо указать три набора координат, шаблон представлен в формуле (1):

$$C \ x_3 \ y_3, \ x_4 \ y_4, \ x_2 \ y_2. \quad (1)$$

Последний набор координат (x_2, y_2) – это точка, в которой заканчивается линия. Две другие – контрольные точки: (x_3, y_3) – контрольная точка для начала кривой, а (x_4, y_4) – для конца кривой. Функция Безье создает плавную кривую, которая ведет от наклона, установленного в начале линии, к наклону на другом конце [4].

Таким образом, конечный вид задаваемой траектории будет иметь вид, представленный в формуле (2).

$$M \ \{x_1\} \ \{y_1\} \ C \ \{x_3\} \ \{y_3\}, \ \{x_4\} \ \{y_4\}, \ \{x_2\} \ \{y_2\}. \quad (2)$$

В рамках поставленной задачи нужно отрисовать кривую Безье, максимально приближенную к траектории дуги окружности. Исходя из рис. 3, можно сделать вывод, что задача сводится к нахождению координат x_3, y_3, x_4, y_4 с помощью расстояния L .

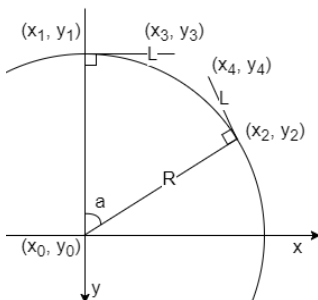


Рис. 3. Графическое представление поиска координат для построения кривой Безье

Углы между отрезками, соединяющими конечные и управляющие точки, и радиусами сегмента обозначены на диаграмме как прямые (L). Из условия коллинеарности, которое должно выполняться, чтобы кривая была плавной, следует, что отрезок, соединяющий конечную точку с управляющей, будет перпендикулярен радиусу окружности.

Согласно [5], следует аппроксимация, если взять для радиуса множитель из формулы (3):

$$L = \frac{4}{3} \tan\left(\frac{1}{4} \alpha\right). \quad (3)$$

Для дальнейших расчетов использована координатная форма.

В Web-разработке координатные оси располагаются слева направо сверху вниз. При отрисовке радара нам известны количество

секторов и радиус, координаты центра совпадают с началом системы координат.

Координаты x_1, y_1 и x_2, y_2 рассчитываются по формулам (5)–(8). По формуле (4) рассчитывается угол каждого сектора, где n – количество секторов, R – радиус окружности.

$$\alpha = 360/n, \quad (4)$$

$$x_1 = 0, \quad (5)$$

$$y_1 = -R, \quad (6)$$

$$x_2 = R \times \cos \alpha, \quad (7)$$

$$y_2 = R \times \sin \alpha. \quad (8)$$

Расчет координат x_3, y_3 и x_4, y_4 производится по формулам (12)–(15), формулы (9)–(11) являются промежуточными.

$$q_1 = x_1^2 + y_1^2, \quad (9)$$

$$q_2 = q_2 + x_1 \times x_2 + y_1 \times y_2, \quad (10)$$

$$k = \frac{4}{3} \times \frac{\sqrt{2 \times q_1 \times q_2} - q_2}{x_1 \times y_2 - y_1 \times x_2}, \quad (11)$$

$$x_3 = x_1 - k \times y_1, \quad (12)$$

$$y_3 = y_1 + k \times x_1, \quad (13)$$

$$x_4 = x_2 - k \times y_2, \quad (14)$$

$$y_4 = y_2 + k \times x_2. \quad (15)$$

Таким образом, для задания кривой Безье (2) все неизвестные найдены. Данное решение дает хороший результат при отображении текста по дуге, что показано на рис. 2, б.

Проанализирован один из способов представления аналитических данных с помощью круговой диаграммы-радара. Проект успешно выполнен со всеми требованиями заказчика и передан в эксплуатацию.

ЛИТЕРАТУРА

1. React [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://reactjs.org>, свободный (дата обращения: 19.01.2021).

2. Konva [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://konvajs.org>, свободный (дата обращения: 19.01.2021).

3. Кривые Безье [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://learn.javascript.ru/bezier-curve>, свободный (дата обращения: 19.01.2021).

4. Пути (Path) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://developer.mozilla.org/ru/docs/Web/SVG/Tutorial/Paths>, свободный (дата обращения: 19.01.2021).

5. Рисование окружностей и дуг Безье [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://netlib.narod.ru/library/book0039/ch13_04.htm, свободный (дата обращения: 19.01.2021).

РАЗРАБОТКА ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЯ АДМИНИСТРИРОВАНИЯ БАЗЫ ДАННЫХ ДЛЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ СОЗДАНИЯ ИНТЕРЬЕРА ПОМЕЩЕНИЯ

А.А. Зобнина, студентка

*Научный руководитель В.С. Шерстнев, доцент каф. ОИТ ТУСУР, к.т.н.
г. Томск, НИ ТПУ, aaz47@tpu.ru*

Рассматривается подход решения проблемы актуализации данных в базе данных информационной системы создания интерьера помещения. Описаны этапы проектирования и реализации веб-приложения информационной системы, включая алгоритмы актуализации данных в базе данных.

Ключевые слова: информационная система, база данных, программное обеспечение, веб-приложение.

В процессе выбора и покупки новой мебели, деталей интерьера возникают проблемы выбора товара, попытки мысленно представить, как этот товар будет смотреться в совокупности с общим интерьером помещения и каких размеров нужна мебель, чтобы она помещалась в предназначенное для нее пространство. С целью решения описанных проблем была поставлена задача разработать информационную систему (ИС), способную предоставить пользователю возможность выбора товара и размещения 3d-модели выбранного товара в помещении. В процессе проектирования ИС была выявлена потребность в веб-приложении для администрирования БД ИС. С помощью данного веб-приложения менеджер компании-продавца мебели может легко управлять 3d-моделями в БД и поддерживать данные в актуальном состоянии.

Описание веб-приложения ИС. Веб-приложение ИС поддерживает три роли пользователей: неавторизованный пользователь (гость), простой пользователь веб-приложения и администратор веб-приложения.

Неавторизованному пользователю доступны только функция просмотра главной страницы веб-приложения с информацией о приложении и функция авторизации в приложении.

Простому пользователю доступны функция просмотра главной страницы веб-приложения; функция авторизации в приложении; возможность просмотра товаров; добавление, удаление и просмотр 3d-моделей товаров и просмотр информации об интернет-магазине.

Администратору доступны те же функции, что и простому пользователю, а также функция запуска процесса парсинга сайта интернет-

магазина; возможность создания и удаления пользователей веб-приложения и просмотр их действий в веб-приложении.

В рамках проектирования ИС были разработаны серверная и клиентская БД. Модели данных БД веб-приложения и мобильного приложения немного различаются. 3d-модели товаров хранятся в БД в формате BLOB.

Взаимодействие с БД осуществляется с помощью системы управления базами данных (СУБД), которая поддерживает технологию доступа к базам данных JDBC.

Алгоритм получения актуальных данных для БД веб-приложения ИС. Наполнение БД веб-приложения ИС актуальными данными интернет-магазина осуществляется с помощью парсера данных сайта магазина мебели. После обработки данные, полученные с сайта магазина, сохраняются в БД, расположенную на сервере компании заказчика ИС.

Для актуализации данных БД были созданы два алгоритма реализации парсера сайта интернет-магазина: с помощью HTML-страниц сайта и с помощью YML-файла, сгенерированного на основе сайта заказчика ИС. Сравнение двух подходов представлено в таблице.

Сравнение парсеров HTML-страниц и YML-файла сайта

Критерии сравнения	Виды парсера	
	HTML-страницы	YML-файл
Среднее время работы	67 мин	10 мин + 20 мин
Полнота данных	Все необходимые данные	Отсутствует информация об атрибуте различия вариаций товара. Отсутствует контактная информация магазина
Зависимость от других систем	Зависит только от сайта магазина	Зависит от сайта магазина и от настроек генерирования YML-файла
Гибкость в выборе данных	+	-
Простота чтения данных	+	+

Чтение YML-файла происходит в несколько раз быстрее, чем HTML-страниц, и состоит из времени создания YML-файла (около 20 мин) и чтения данного файла в приложении (около 10 мин). Но чтение YML-файла предполагает наличие посредника, от которого зависит содержимое доступной для чтения информации. Следовательно, плохая гибкость в выборе данных.

В результате сравнения двух подходов чтения данных сайта сделан вывод об использовании метода получения данных с помощью чтения HTML-страниц сайта интернет-магазина. Данный подход предоставляет гибкость и полную свободу в выборе информации для чтения. При использовании данного подхода получения информации отсутствуют промежуточные системы, работа которых может быть нарушена. Единственным недостатком выбранного подхода является более низкая скорость работы в сравнении с чтением YML-файла, однако данный фактор является менее значимым в сравнении с остальными. На вход алгоритму чтения HTML-страниц подается только ссылка на сайт интернет-магазина.

Реализация веб-приложения ИС. Было принято решение создания такой информационной системы, которая могла бы использоваться работниками разных руководящих должностей, занимаемых в компании заказчика.

Веб-приложение ИС разработано на языке программирования Java. Для реализации приложения были использованы следующие технологии: JavaScript; HTML; CSS; Spring Framework; СУБД MySQL; ORM-библиотека Hibernate; библиотека FreeMarker для создания алгоритма парсинга html-страниц сайта; Java-библиотека Jsoup для анализа, извлечения и управления данными, хранящимися в документах HTML.

Веб-приложение имеет интуитивно понятный и удобный пользовательский интерфейс. Автором статьи были выполнены проектирование и реализация веб-приложения для администрирования БД ИС создания интерьера помещения.

ЛИТЕРАТУРА

1. SQLite, MySQL и PostgreSQL: сравниваем популярные реляционные СУБД [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://tproger.ru/translations/sqlite-mysql-postgresql-comparison/>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус. (дата обращения: 15.10.2020).

2. JetBrains IntelliJ IDEA [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://itpro.ua/product/jetbrains-intellij-idea/?tab=description>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус. (дата обращения: 15.10.2020).

3. Yandex Product Feed [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.mysitemapgenerator.com/yml/index.html>, свободный. – Яз. англ. (дата обращения: 15.10.2020).

ТЕСТИРОВАНИЕ МОБИЛЬНОГО ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ ПУТЕШЕСТВИЙ ПО ГОРОДУ ПАРИЖУ

П.Д. Бертман, студент каф. АОИ

*Научный руководитель Н.В. Зариковская, доцент каф. АОИ, к.ф.-м.н.
г. Томск, ТУСУР, p.incages@gmail.com*

Рассказывается о подходе, использованном для тестирования мобильного приложения на системе iOS.

Ключевые слова: мобильное приложение, тестирование, iOS, программное обеспечение.

Одним из наиболее распространённых видов программного обеспечения (далее – ПО) является мобильное приложение (далее – МП). В этой статье будет рассмотрено тестирование МП OuiGuide, направленное на нетипичный подход к изучению города Парижа.

Целью данного приложения является ознакомление русскоговорящих путешественников с Парижем, с помощью нестандартных и малоизвестных особенностей города.

В рамках тестирования МП необходимо было провести тестирование мобильного интерфейса, функционал разрабатываемой системы, API приложения и административной панели приложения.

Тестирование мобильных экранов проводилось с помощью дизайнера, переданного заказчиком. На основании него было проведено тестирование интерфейсов МП, вследствие чего были выявлены дефекты, которые в дальнейшем были переданы разработчикам для их устранения.

Далее проводилось тестирование API МП. Цель проведения этого тестирования заключалась в предотвращении возможных логических ошибок в поведении МП. Тестирование API проводилось в рамках тестирования методом «серого ящика». Благодаря этому были выявлены дефекты, которые в дальнейшем были переданы разработчикам для их устранения.

В рамках тестирования МП проводилось функциональное тестирование на основе технического задания, предоставленного заказчиком. В данном документе были указаны бизнес и функциональные требования к МП. Во время проведения функционального тестирования были выявлены дефекты приложения. В дальнейшем дефекты были переданы разработчикам для их устранения.

Тестирование административной панели приложения было необходимо для проверки правильности заведения данных, которые в дальнейшем отображались в приложении. Тестирование этой части

приложения проводилось с помощью метода «серый ящик». Тестирование методом «серого ящика» — это подход к тестированию, при котором проводящий тестирование частично обладает знаниями об устройстве системы и успешно применяет имеющиеся знания при проверке системы. По итогу проведенного тестирования были выявлены дефекты, которые были направлены разработчикам с целью их дальнейшего устранения.

После выдачи исправленных дефектов в тестирование было проведено ретестирование и регрессионное тестирование с целью проверки того, что дефекты не воспроизводятся, и система не претерпела значительных изменений после внесения исправлений.

В соответствии с найденными дефектами и последующим их устранением МП стало полностью удовлетворять требованиям и далее было передано заказчику в эксплуатацию.

ЛИТЕРАТУРА

1. Тестирование мобильных приложений. – URL: <https://sergeygavaga.gitbooks.io/kurs-lectsii-testirovanie-programnogo-obespecheni/content/lectsiya-9-ch1-testirovanie-mobilnih-prilozhenii.html> (дата обращения: 05.03.2021).

2. Тестирование программного обеспечения. Базовый курс. – URL: http://svyatoslav.biz/software_testing_book/ (дата обращения: 26.02.2021).

УДК 004.021

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССА ПРОВЕДЕНИЯ СОРЕВНОВАНИЙ ПО СПОРТИВНОЙ АЭРОБИКЕ

Д.А. Рыжков, студент каф. АОИ

*Научный руководитель Н.В. Зариковская, доцент каф. АОИ, к.ф.-м.н.
г. Томск, ТУСУР, ryzhkov_danila@gmail.com*

Приведены результаты исследования алгоритмов нейронных сетей для исправления грамматических, пунктуационных и орфографических ошибок.

Ключевые слова: проектирование, UX/UI дизайн, прототип, wireframe, спортивная аэробика.

Судейство является наиболее важной составляющей при проведении любых спортивных соревнований. Несмотря на уровень современной компьютеризации, судейство большей части соревнований проводится в «ручном» режиме. При этом в каждом виде спорта протоколы судей шаблонизированы, как и итоговые протоколы соревнований. Все это дает возможность и предпосылки для автоматизации

процесса судейства, т.е. выставления оценок каждым судьей, формирования итогового протокола соревнований в любой номинации и возрастной группе. На разработку подобной автоматизированной судейской системы и направлена данная работа. В качестве основы для разработки системы взят вид спорта «Спортивная аэробика» [1].

При проектировании системы учитываются основные принципы судейства соревнований по данному виду спорта, отраженные и описанные в регламенте проведения соревнований: «2017–2020. Правила соревнований. Аэробная гимнастика» (Международная федерация гимнастики, 2016) [1, 2].

Общий алгоритм по организации и проведению спортивных соревнований, в частности спортивной аэробики.

В начале года на основании утвержденных документов формируются календарные планы Всероссийской федерации и региональных отделений. Для участия в мероприятии до определенного срока необходимо подать заявку в оргкомитет мероприятия. Сроки подачи заявок определены в положениях по мероприятиям и отражаются в календарном плане. Подача заявок осуществляется за 1–1,5 месяца до начала мероприятия. После подачи заявки до момента проведения мандатной комиссии тренер имеет возможность скорректировать поданную заявку и внести изменения в составы участников.

После формирования окончательного списка участников оргкомитет мероприятий формирует списки участников по номинациям в соответствии с возрастом. После формирования списков участников проводятся жеребьевка участников и формирование стартовых протоколов соревнований. Сформированные стартовые протоколы отправляются всем тренерам на проверку и корректировку. На данной стадии возможны незначительные изменения в программе соревнований. Данные списки в последний раз корректируются в период прохождения командами мандатной комиссии, где сверяется правильность внесения данных (ФИО, год рождения), а также подтверждаются списки, заявленные ранее спортсменами для участия в соревнованиях.

Окончательно подтвержденные списки являются стартовыми протоколами для проведения соревнований и подлежат печати. Эти списки присутствуют у всех судей бригады и являются основой для работы звукооператора и ведущего. Корректировка этих списков в процессе соревнований очень сложна и практически невозможна.

Соревнования идут в соответствии с данными стартовыми списками. После выступления спортсменов одной номинации на основании выставленных оценок формируется итоговый протокол, который распечатывается, согласовывается главным судьей и главным секретарем, а затем публикуется.

Если соревнования имеют 2 этапа (квалификация и финалы), то на основании протоколов квалификации формируется стартовый протокол для проведения финальных соревнований. На основании протокола финальных соревнований проводится награждение спортсменов.

По окончании проведения соревнований оргкомитет обязан в обязательном порядке подготовить отчеты для Министерства спорта РФ и Общероссийской федерации, а также для организаций, выделявших бюджетные средства для проведения мероприятий (в Томской области это Центр спортивной подготовки сборных команд Томской области и Управление физической культуры и спорта администрации г. Томска).

Исходя из всего вышесказанного, большая часть процессов подлежит автоматизации с целью уменьшения трудозатрат в процессе организации и проведения судейства спортивных мероприятий, так как они хорошо описаны и шаблонизированы.

Для достижения поставленной цели были определены следующие задачи:

- определение пользовательских сценариев для каждой роли пользователя в системе;
- проектирование и реализация прототипов экранных форм системы;
- на основе спроектированных прототипов экранных форм системы реализовать UX/UI дизайн системы [3, 4].

В процессе проектирования информационной системы по проведению соревнований по спортивной аэробике были определены основные роли пользователей системы, на основе которых формировался функционал для каждой роли в отдельности. Помимо этого были выделены основные модули системы:

- организации информирования пользователей системы о предстоящих соревнованиях;
- формирования команд участников спортивных мероприятий;
- подачи заявок на участие в спортивных мероприятиях;
- выставления оценок участникам спортивных мероприятий;
- информирования зрителей, судей и секретариата о ходе соревнований.

На основе технического задания и проведенного анализа предметной области были спроектированы и реализованы прототипы экранных форм данной информационной системы, необходимые для определения отображаемого контента, а также расположения функциональных элементов системы [5].

На финальной стадии проектирования дизайна интерфейса были подобраны шрифты, цветовая гамма, был выработан общий визуальный стиль и изучен перечень требований дизайна для автоматизированной системы проведения соревнований, на основе чего был сделан чистовой дизайн-макет системы, который впоследствии был передан разработчикам для непосредственной реализации системы [6].

В результате проектирования и последующей реализации информационной системы для автоматизации процесса проведения соревнований по спортивной аэробике был проведен альфа-тест системы во время проведения региональных соревнований, результаты которого показали значительное снижение затрачиваемого времени, необходимого для сбора результатов участников соревнования, а также формирования итоговых протоколов соревнования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Калюжный Е.Р. Реализация мобильного комплекса судейской системы по спортивной аэробике / Е.Р. Калюжный, А.Е. Пискарев // Научная сессия ТУСУР–2019: Томск, 22–24 мая 2019 г.: в 4 ч. – Томск: В-Спектр, 2019. – Ч. 2. – С. 360–364.

2. Регламент проведения соревнований: «2017–2020. Правила соревнований. Аэробная гимнастика» // Международная федерация гимнастики, 2016 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.fig-gymnastics.com/publicdir/rules/files/ru_AER%20CoP%202017–2020.pdf, свободный (дата обращения: 21.05.2020).

3. UX/UI дизайн [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://habr.com/ru/post/321312/>, свободный (дата обращения: 18.05.2020).

4. Купер А. Алан Купер об интерфейсе. Основы проектирования взаимодействия / пер. с англ. / А. Купер, Р. Рейман, Д. Кронин. – СПб.: СимволПлюс, 2009. – 688 с.

5. Что строить в первую очередь: User Journey Map или User Flow? [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://medium.com/начинающему-их-дизайнеру/что-строить-в-первую-очередь-user-journey-map-или-user-flow-4e3e3ed60fb5> (дата обращения: 20.05.2020).

6. Мокап, вайрфрейм, прототип и скетч [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://blog.sibirix.ru/2017/08/29/mockup-wireframe-prototype-sketch/> (дата обращения: 21.05.2020).

ПОДСЕКЦИЯ 3.8

ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ СРЕДСТВА ПОДДЕРЖКИ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ

*Председатель секции – Хабibuлина Н.Ю., доцент каф. КСУП, к.т.н.;
зам. председателя – Потапова Е.А., ст. преп. каф. КСУП*

УДК 004.416'6

РЕАЛИЗАЦИЯ ПАРАЛЛЕЛЬНОГО ВЫПОЛНЕНИЯ СИНТАКСИЧЕСКОГО АНАЛИЗА И ОБРАБОТКИ ФАЙЛОВ ЖУРНАЛИРОВАНИЯ

А.А. Щедрин, А.А. Березин, В.С. Швоев

*Научные руководители: А.А. Калентьев, к.т.н.; Горяинов А.Е., к.т.н.
г. Томск, ТУСУР, shedrin2001@mail.ru*

Произведена реализация параллельных вычислений на языке программирования C# в программе LogAnalyzer. Произведены замеры изменения времени работы программы, сделаны выводы о преимуществах и недостатках данного подхода.

Ключевые слова: параллельные вычисления, оптимизация, файл журналирования.

При разработке приложений зачастую применяется система журналирования, или протоколирования. Протоколирование направлено на сохранение результатов промежуточных этапов в работе программы. Данные результаты помогают разработчикам отлаживать работу программы в условиях непосредственной работы программы. Однако большие объемы информации в файлах журналирования могут затруднить отладку. В этом случае применяются специальные программы для обработки таких файлов [1, 2].

Программа LogAnalyzer предназначена для работы с файлами, содержащими несколько сотен тысяч строк и имеющими размер до 300 Мб. Поэтому необходимо было произвести оптимизацию наиболее ресурсозатратных задач: загрузка файла, применение фильтров, разделение файлов на отдельные файлы.

Одним из способов оптимизации является применение параллельных вычислений. В этом случае задачи будут выполняться одновременно в нескольких потоках, на разных ядрах процессора. Для ре-

ализации параллельных вычислений в программе были использованы параллельная реализация языка интегрированных запросов LINQ (PLINQ) и класс Parallel [3]. Данные инструменты были выбраны в связи с простой реализацией и наличием проверки безопасности потоков.

Для замеров результатов оптимизации использовались файлы от 1 000 до 600 000 строк. В качестве инструмента для замеров времени был использован класс Stopwatch. Для каждого из оптимизированных методов было проведено по десять замеров с файлами каждого размера, затем среди десяти полученных значений в качестве измеренного выбиралось медианное.

Одной из оптимизированных задач была загрузка файла. Данная задача состоит из нескольких подзадач, среди которых наиболее ресурсозатратной является преобразование данных файла, к которой и были применены параллельные вычисления. Данную функцию выполняет метод ParseLog.

Результаты оптимизации метода ParseLog представлены в табл. 1 и на рис. 1.

Таблица 1

Результаты оптимизации метода ParseLog

Размер файла (Мб)	Количество строк	Время работы при стандартной реализации, с	Время работы с использованием параллельных вычислений, с
0,31	1 000	0,018	0,012
3,1	10 000	0,153	0,134
15,5	50 000	0,773	0,477
68,3	200 000	3,314	1,874
204	600 000	10,12	5,156

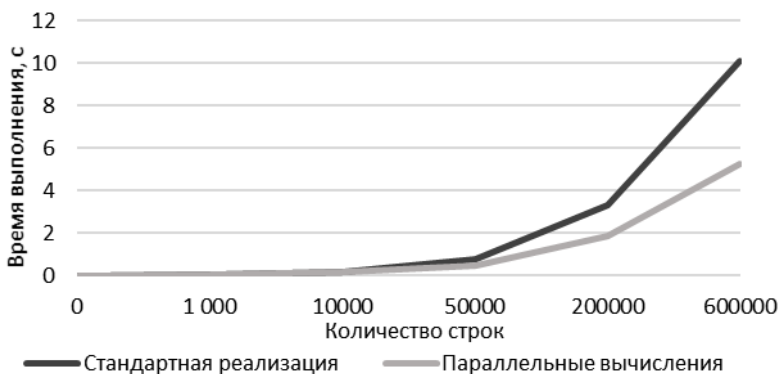


Рис. 1. Результат оптимизации метода ParseLog

В программе предусмотрено применение фильтров к тексту файла, с помощью которых по ключевому слову можно выбрать необходимые строки. Применение фильтров (метод ApplyFilter) также было оптимизировано. Для замеров к каждому логу применялись один включающий и один исключающий фильтры [4].

Результаты оптимизации метода ApplyFilter представлены в табл. 2 и на рис. 2.

Таблица 2

Результаты оптимизации метода ApplyFilter

Размер файла, Мб	Количество строк	Время работы при стандартной реализации, с	Время работы с использованием параллельных вычислений, с
0,31	1 000	0,002	0,002
3,1	10 000	0,005	0,005
15,5	50 000	0,018	0,01
68,3	200 000	0,069	0,035
204	600 000	0,205	0,11



Рис. 2. Результаты оптимизации метода ApplyFilter

Также была предпринята попытка применения параллельных вычислений к методу SeparateLog [5], который реализует разделение файлов на части. Однако значимого прироста производительности получить не удалось. В дальнейшем планируется произвести анализ текущей производительности и реализовать многопоточные вычисления с использованием других средств языка программирования C# и платформы .NET.

ЛИТЕРАТУРА

1. Taksa I., Spink A., Jansen B.J. Chapter XXV Web Log Analysis: Diversity Of Research Methodologies. – 2009. – P. 504–520.
2. Овсянникова Д.Ю. Анализ программных логов // Современная мировая экономика: проблемы и перспективы в эпоху развития цифровых технологий и биотехнологии. – М., 2019. – С. 196–197.
3. Троелсен Э., Джепикс Ф. Язык программирования C# и платформы .NET и .Net Core. – 8-е изд. – 2018. – С. 716–730.
4. Набережнев Н.А., Березин А.А., Швоев В.С. Разработка программы анализа файлов журналирования // Наука и практика: проектная деятельность – от идеи до внедрения: матер. IX рег. науч.-практ. конф. – Томск, 2020. – С. 64–67.
5. Дягай А.Р., Щедрин А.А. Разработка модуля фрагментирования файлов журналирования // Наука и практика: проектная деятельность – от идеи до внедрения: матер. IX рег. науч.-практ. конф. – Томск, 2020. – С. 52–55

СОДЕРЖАНИЕ

СЕКЦИЯ 2 ЭЛЕКТРОНИКА И ПРИБОРОСТРОЕНИЕ

ПОДСЕКЦИЯ 2.5

ОПТИЧЕСКИЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, НАНОФОТОНИКА И ОПТОЭЛЕКТРОНИКА

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

К.Г. Аксёнов, А.В. Михайленко

СПЕКТР ОПТИЧЕСКОГО ОТРАЖЕНИЯ КРИСТАЛЛА
НИОБАТА ЛИТИЯ, ЛЕГИРОВАННОГО МЕДЬЮ 11

В.А. Алтухов, И.В. Кузнецов

МОДЕЛИРОВАНИЕ ИНТЕРФЕРОМЕТРА МАХА–ЦЕНДЕРА
НА ОСНОВЕ ТОНКОПЛЕНОЧНОГО НИОБАТА ЛИТИЯ 14

М.А. Костеников, В.А. Леванисов, К.К. Ежова, С.С. Шмаков,

С.М. Шандаров, Н.И. Буримов

ФЛЕКСОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ВКЛАД В ФОТОРЕФРАКТИВНЫЙ
ОТКЛИК ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ СВЕТОВЫХ ВОЛН НА
ОТРАЖАТЕЛЬНЫХ ГОЛОГРАММАХ
В КРИСТАЛЛЕ $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$ СРЕЗА (110) 17

О.В. Тертишная, А.А. Согомоянц, А.А. Гуляева, И.В. Кулинич

СИСТЕМА ИЗМЕНЕНИЯ НАПРАВЛЕНИЯ
РАСПРОСТРАНЕНИЯ СВЕТА 20

В.О. Долгирев, В.Г. Иванченко, Д.С. Растрьгин, С.Н. Шарангович

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИФРАКЦИИ СВЕТА НА НАЛОЖЕННЫХ
МНОГОСЛОЙНЫХ НЕОДНОРОДНЫХ ФПМ ДИФРАКЦИОННЫХ
СТРУКТУРАХ 23

Д.А. Губинская, М.А. Федянина, Е.Н. Савченков

НАБЛЮДЕНИЕ АНИЗОТРОПНОЙ ДИФРАКЦИИ СВЕТА
НА РЕГУЛЯРНОЙ ДОМЕННОЙ СТРУКТУРЕ В КРИСТАЛЛЕ
ТАНТАЛАТА ЛИТИЯ 27

Д.К. Романенко, В.Е. Бодренин, А.В. Щукин

ЗАТУХАНИЕ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В КАНАЛЬНОМ
ВОЛНОВОДЕ, СФОРМИРОВАННОМ МЕТОДОМ ОПТИЧЕСКОГО
ИНДУЦИРОВАНИЯ В КРИСТАЛЛЕ НИОБАТА ЛИТИЯ 30

М.С. Цехановская, Д.М. Хамзин

ИССЛЕДОВАНИЕ ПИРОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА
В НИОБАТЕ ЛИТИЯ 33

ПОДСЕКЦИЯ 2.6

ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ СОВМЕСТИМОСТЬ

Председатель секции – *Заболоцкий А.М.*, проф. каф. ТУ, д.т.н.;

зам. председателя – *Куксенко С.П.*, доцент каф. ТУ, д.т.н.

Е.Б. Черникова

АНАЛИТИЧЕСКОЕ УСЛОВИЕ ВЫРАВНИВАНИЯ РАЗНОСТЕЙ
ЗАДЕРЖЕК МОД ЗЕРКАЛЬНО-СИММЕТРИЧНОГО
МОДАЛЬНОГО ФИЛЬТРА 36

А.А. Дроздова

ОЦЕНКА ВОСПРИИМЧИВОСТИ СИЛОВОЙ ШИНЫ
ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ С РАЗНЫМИ ПОПЕРЕЧНЫМИ СЕЧЕНИЯМИ
К ВОЗДЕЙСТВИЮ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО РАЗРЯДА 40

А.Ю. Фидирко, А.В. Носов

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ
МЕАНДРОВОЙ МИКРОПОЛОСКОВОЙ ЛИНИИ ИЗ ДВУХ ВИТКОВ,
СОЕДИНЕННЫХ КАСКАДНО 43

Р.Р. Газизов, А.Т. Газизов, М.Н. Калинина

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ПАРАМЕТРЫ
РЕЗЕРВИРОВАННОЙ ЦЕПИ 47

М.В. Храпцов

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РАЗВЯЗЫВАЮЩИХ
КОНДЕНСАТОРОВ НА ПОЛНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ
СИСТЕМЫ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПИТАНИЯ 50

М.А. Иноземцев

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОБРАТНЫХ ВОЛН
ГЕОРАДАРА, ОТРАЖЕННЫХ ОТ ОБЪЕКТОВ
В ВЕРХНЕМ ПОЛУПРОСТРАНСТВЕ 53

С. Карри

ОБЗОР УСТРОЙСТВ ЗАЩИТЫ ОТ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО
РАЗРЯДА 58

З.М. Кенжегулова

ОБЗОР АНАЛИТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ВЫЧИСЛЕНИЯ
ВРЕМЕННОГО ОТКЛИКА В ПОЛОСКОВЫХ
УСТРОЙСТВАХ ЗАЩИТЫ 61

Д.В. Ключкин

НОВЫЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРОГРАММНОГО
МОДУЛЯ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА
МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ 64

С.С. Журавлев, М.В. Ковлягин, Н.Ю. Шайманов

СПЛАЙНОВАЯ МОДЕЛЬ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ
ДЕГРАДАЦИИ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ
В РАНДОМИЗИРОВАННЫХ СРЕДАХ 68

М.С. Мурманский, Е.С. Жечев

РАЗРАБОТКА МАКЕТА ДВУХПРОВОДНОГО МОДАЛЬНОГО
ФИЛЬТРА СО СТРУКТУРОЙ ПРОВОДНИКОВ В ВИДЕ МЕАНДРА 71

И.И. Николаев	
ОЦЕНКА ПОГОННОЙ ЁМКОСТИ ЭКРАНИРОВАННЫХ N-ПРОВОДНЫХ ОТВОДОВ.....	73
С.В. Власов, Н.С. Павлов, Е.С. Жечев	
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ N-НОРМ ДЛЯ АНАЛИЗА ДВУХПРОВОДНОГО МОДАЛЬНОГО ФИЛЬТРА СО СТРУКТУРОЙ ПРОВОДНИКОВ В ВИДЕ СПИРАЛИ.....	76
В.А. Семенюк, А.В. Демаков	
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ПОРТОВ ВВОДА/ВЫВОДА МИКРОКОНТРОЛЛЕРА НА ЕГО ИЗЛУЧАЕМЫЕ ЭМИССИИ	80
И.А. Скорняков	
ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ СПОСОБОВ ЗАЗЕМЛЕНИЯ ЗАЩИТНОЙ ТРАССЫ СВЯЗАННОЙ ДВУХПРОВОДНОЙ ЛИНИИ НА ПЕРЕКРЕСТНЫЕ НАВОДКИ.....	83
И.А. Скорняков, Р.С. Суровцев	
АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ШИРИНЫ РАЗВЯЗЫВАЮЩЕЙ ТРАССЫ НА АМПЛИТУДУ ПЕРЕКРЕСТНЫХ НАВОДОК В СВЯЗАННОЙ ДВУХПРОВОДНОЙ ЛИНИИ	86
Н.С. Павлов, С.В. Власов, Е.С. Жечев	
АНАЛИЗ ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ДВУХПРОВОДНОГО МОДАЛЬНОГО ФИЛЬТРА СО СТРУКТУРОЙ ПРОВОДНИКОВ В ВИДЕ СПИРАЛИ.....	91

ПОДСЕКЦИЯ 2.7

СВЕТОДИОДЫ И СВЕТОТЕХНИЧЕСКИЕ УСТРОЙСТВА

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

Т.В. Глухова	
ПРИМЕНЕНИЕ ПОЛИМЕРНОГО СОСТАВА НА ОСНОВЕ ПВХ ДЛЯ ПРОТОТИПИРОВАНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ.....	95
К.Р. Хакимова, Е.И. Нижевич, Р.Г. Герасимов, А.В. Кулешов,	
С.Н. Идрисова, А.П. Шкарупо	
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СВЕТОДИОДНЫХ ИСТОЧНИКОВ СВЕТА НА АКВАРИУМНЫХ РЫБ.....	97
Е.А. Иванцева	
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПРОГРАММНЫХ СРЕД ДЛЯ СВЕТОТЕХНИЧЕСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ	101
Ю.И. Стасенко, А.А. Максименко, М.Н. Жилина	
ПОВЫШЕНИЕ СВЕТООТДАЧИ СВЕТИЛЬНИКА ДЛЯ УЛИЧНОГО ОСВЕЩЕНИЯ.....	103

<i>Е.В. Шнайдер, Е.Л. Егорова, М.Х. Фам, А.А. Мазина, Ю.И. Стасенко</i> СВЕТОДИОДНЫЕ СВЕТИЛЬНИКИ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ С ИК-ОБОГРЕВАТЕЛЕМ	106
<i>А.О. Шардина, Л.Ш. Юлдашова, Т.С. Михальченко</i> РЕАКЦИЯ ПИТАТЕЛЬНОЙ СРЕДЫ ПРИ НАНЕСЕНИИ ОБЛУЧЕННОЙ УФ СРЕДНЕГО ДИАПАЗОНА, ВОДЫ С МИКРООРГАНИЗМАМИ И ДОБАВЛЕНИЕМ ВЕЩЕСТВ В КАЧЕСТВЕ КОНТРОЛЯ ДЕЗИНФЕКЦИИ	109
<i>С.А. Романенко, П.А. Миненко, Ю.И. Стасенко, А.О. Шардина, А.М. Шрайбер</i> ПРОЕКТИРОВАНИЕ МАКЕТА ОБЛУЧАТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ ВЫРАЩИВАНИЯ САЖЕНЦЕВ ДЕРЕВЬЕВ ХВОЙНЫХ ПОРОД В УСЛОВИЯХ ЗАКРЫТОГО ГРУНТА	112
<i>К.Р. Хакимова, Е.И. Нижевич, Р.Г. Герасимов, А.В. Кулешов, А.П. Шкарупо</i> СВЕТОВЫЕ ЛОВУШКИ ДЛЯ РЫБ	115
<i>М.В. Славкин</i> РЕГУЛИРУЕМЫЙ ЭКСПОЗИЦИОННЫЙ СВЕТИЛЬНИК	118
<i>Д.А. Жаворонков, А.А. Типсина</i> АЭРОЗОЛЬНЫЙ ПРИНТЕР	121
<i>Д.Б. Тудупова</i> ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЙ ОБЛУЧАТЕЛЬ ДЛЯ РАЗНЫХ ВЕГЕТАЦИОННЫХ СТАДИЙ РАСТЕНИЙ	123

СЕКЦИЯ 3 **ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И СИСТЕМЫ**

ПОДСЕКЦИЯ 3.1

ИНТЕГРИРОВАННЫЕ ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩИЕ СИСТЕМЫ

*Председатель секции – Катаев М.Ю., проф. каф. АСУ, д.т.н.;
зам. председателя – Суханов А.Я., доцент каф. АСУ, к.т.н.*

<i>А.Б. Кураков, И.В. Соловьева, Б.Р. Хаюмов</i> МЕТОДИКА УСТОЙЧИВОГО ВЫДЕЛЕНИЯ ФИГУРЫ ЧЕЛОВЕКА В ПРОЦЕССЕ ДВИЖЕНИЯ	127
<i>В.В. Рябухин</i> РАЗБИЕНИЕ МОЗАИКИ ИЗОБРАЖЕНИЯ ПОЛЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ РАСТЕНИЙ	130
<i>И.Н. Журба</i> ПРИМЕНЕНИЕ ИЗОБРАЖЕНИЙ БПЛА ДЛЯ ЗАДАЧ ИЗУЧЕНИЯ РАСТЕНИЙ	132

ПОДСЕКЦИЯ 3.2

РАСПРЕДЕЛЁННЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И СИСТЕМЫ

*Председатель секции – Сенченко П.В., проректор по учебной работе
ТУСУРа, доцент каф. АОИ, к.т.н.;*

зам. председателя – Сидоров А.А., зав. каф. АОИ, к.т.н.

В.Е. Боровихин

МЕТОДИКА ТЕКСТУРИРОВАНИЯ ТРЕХМЕРНЫХ ОБЪЕКТОВ 135

И.А. Ермаков

ПОДХОД К МОНИТОРИНГУ КАЧЕСТВА ДОСТАВКИ
ПОТОКОВОГО ВИДЕО 138

И.В. Ковалев, В.И. Федосеев

РЕЧЕВОЙ КОРПУС ДЛЯ СИСТЕМЫ ОБРАБОТКИ
РЕЧЕВЫХ СИГНАЛОВ..... 141

Ю.П. Ехлаков, Г.М. Гелисханов

КЛАССИФИКАЦИЯ НАМЕРЕНИЙ АБИТУРИЕНТОВ
И ГЕНЕРАЦИЯ ШАБЛОННЫХ ОТВЕТОВ НА ОСНОВЕ
НЕЙРОСЕТЕВОЙ МОДЕЛИ – ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ 144

А.С. Максютин, М.А. Кирилкин, И.О. Осипов, Д.В. Ивлеников

РАЗРАБОТКА РАБОЧЕГО МЕСТА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ
ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
МЕХАНИЗМОВ СТП-ИСС 148

И.О. Мурашов

МЕТОД ПОСТРОЕНИЯ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ТРАЕКТОРИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
ДАННЫХ О РАСПРЕДЕЛЕНИИ ВНИМАНИЯ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ 151

Р.В. Захаров

СРАВНЕНИЕ ПЛАТФОРМ AWS, GCP И MSA В СФЕРЕ
ОБЛАЧНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ..... 154

ПОДСЕКЦИЯ 3.3

АВТОМАТИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ В ТЕХНИКЕ И ОБРАЗОВАНИИ

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

В.А. Боева

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРЕХОДНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК
СЛОЖНОЙ КЛИМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ..... 158

А.С. Болденков, Т.В. Ганджа

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ ВИЗУАЛЬНЫХ ОТОБРАЖЕНИЙ
ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ 161

<i>Т.В. Ганджа, А.А. Дрозд</i>	
РАЗРАБОТКА НА ОСНОВЕ СРЕДЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ОТОБРАЖЕНИЯ НА 3D-СЦЕНЕ РЕАЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ	164
<i>К.С. Жохов, А.А. Кун</i>	
ПЛАГИН АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ИЗМЕРЕНИЯ ТОЧКИ КОМПРЕССИИ УСИЛИТЕЛЕЙ МОЩНОСТИ	166
<i>А.А. Филипас, А.В. Мигель, Ю.Н. Исаев, Н.М. Семенов</i>	
РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ АНАЛИЗА ДИСПЕРСНОГО СОСТАВА СКВАЖИННОЙ ЖИДКОСТИ	169
<i>Р.С. Щербаков</i>	
РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА РЕГУЛИРОВАНИЯ КИСЛОТНОСТИ СРЕДЫ В СИСТЕМАХ ВОДОПОДГОТОВКИ ПЛАВАТЕЛЬНЫХ БАССЕЙНОВ	172
<i>Г.В. Сумин, О.О. Кушков, А.А. Денисевич</i>	
СИСТЕМА ИЗМЕРЕНИЯ МАЛЫХ РАСХОДОВ РАДИОАКТИВНЫХ РАСТВОРОВ С ФУНКЦИЕЙ ИЗМЕРЕНИЯ ПЛОТНОСТИ И УРОВНЯ	174
<i>В.А. Ушаков</i>	
ОЦЕНКА РОБАСТНОСТИ ДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ УПРАВЛЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫМИ ПРОЦЕССАМИ В АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ ПОДВИЖНЫМИ ОБЪЕКТАМИ	176
<i>Д.А. Кожин, В.Ю. Юшин, Т.В. Ганджа</i>	
ОБЩИЙ АЛГОРИТМ УСАДКИ GPS ТРЕКА НА ЗВЕНЬЯ ДОРОЖНОЙ СЕТИ	179
<i>Р.А. Василенко, О.С. Жабин</i>	
ИНФОРМАЦИОННОЕ И МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ «ИЗМЕРЕНИЕ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ПРИБОРАХ СЕРИИ Р2М»	181

ПОДСЕКЦИЯ 3.4

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ

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

М.Б. Бардамова

ПРИМЕНЕНИЕ АЛГОРИТМОВ ГЕНЕРАЦИИ ДАННЫХ
ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ НЕЧЕТКИХ КЛАССИФИКАТОРОВ

Е.А. Чистякова

МЕТАЭВРИСТИКА TREE-SEED ALGORITHM ДЛЯ ПОИСКА
МИНИМУМА МАТЕМАТИЧЕСКИХ ФУНКЦИЙ

З.А. Качалов, Ю.В. Шабля РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ РАНЖИРОВАНИЯ И ГЕНЕРАЦИИ ПО РАНГУ ДЛЯ КОМБИНАТОРНОГО МНОЖЕСТВА, ОПРЕДЕЛЯЕМОГО ЧИСЛАМИ ДЕЛАННУА	190
Д.А. Андреевских, Р.Е. Коломников ЛОКАЛЬНЫЕ И ГЛОБАЛЬНЫЕ ПРИЗНАКИ ПРИ АУТЕНТИФИКАЦИИ ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ПО РУКОПИСНОЙ ПОДПИСИ	193
Н.П. Корышев ПОСТРОЕНИЕ СИСТЕМЫ ОБНАРУЖЕНИЯ ВТОРЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ НЕЧЁТКОГО КЛАССИФИКАТОРА И АЛГОРИТМА «КИТОВ»	196
А.В. Крайцова, Д.В. Кручинин РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ РАНЖИРОВАНИЯ И ГЕНЕРАЦИИ ПО РАНГУ ДЛЯ КОМБИНАТОРНОГО МНОЖЕСТВА, ОПРЕДЕЛЯЕМОГО ЧИСЛАМИ БЕЛЛА	200
А.М. Федотова, С.Е. Шаньшин, А.В. Куртукова, А.С. Романов МОДЕЛИ RUBERT, MULTIBERT, SVM И MLP В ЗАДАЧЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ АВТОРА ТЕКСТА	203
А.Г. Бондаренко, Е.Г. Лобода СОЗДАНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ ДЛЯ СОЦИАЛЬНОГО РОБОТА INMOOV	206
К.А. Маслов БАЙЕСОВСКИЙ ПОДХОД К ПОДБОРУ ГИПЕРПАРАМЕТРОВ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ НА ПРИМЕРЕ ЗАДАЧИ СЕМАНТИЧЕСКОЙ СЕГМЕНТАЦИИ	209
Е.С. Романова, А.П. Мещеряков ПОИСК АВТОМАТИЧЕСКИ СОЗДАНЫХ ТЕКСТОВ В НОВОСТНОМ ПОТОКЕ НА ОСНОВЕ WORD2VEC	212
Д.Д. Мёдов НАХОЖДЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ЗНАЧЕНИЙ ЗАДАННЫХ МАТЕМАТИЧЕСКИХ ФУНКЦИЙ С ПОМОЩЬЮ МЕТАЭВРИСТИКИ YO-YO BLIND MAN ALGORITHM	216
А.В. Крайцова, Д.В. Кручинин РАСЧЕТ КОНТРОЛИРУЕМОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПОГЛОЩЕННОЙ ДОЗЫ ПО ГЛУБИНЕ ОБЪЕКТА ПРИ ОБРАБОТКЕ ИМПУЛЬСНЫМ ЭЛЕКТРОННЫМ ПУЧКОМ	220
А.А. Шатрова УМЕНЬШЕНИЕ КОЛИЧЕСТВА ЛОЖНЫХ ПРОПУСКОВ ПРИ БИНАРНОЙ КЛАССИФИКАЦИИ URL	223
А. О. Слезкин СРАВНЕНИЕ МЕТОДОВ ИНИЦИАЛИЗАЦИИ ПОПУЛЯЦИИ ПРИ ОПТИМИЗАЦИИ ПАРАМЕТРОВ НЕЧЕТКОГО КЛАССИФИКАТОРА	226

М.О. Светлаков ОТБОР ПРИЗНАКОВ ДЛЯ НЕЧЕТКОГО КЛАССИФИКАТОРА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТАЭВРИСТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА «BIRD SWARM»	230
Д.А. Воронин НАХОЖДЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ЗНАЧЕНИЙ ЗАДАНЫХ МАТЕМАТИЧЕСКИХ ФУНКЦИЙ С ПОМОЩЬЮ CSA.....	233

ПОДСЕКЦИЯ 3.5

СОВРЕМЕННЫЕ БИБЛИОТЕЧНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Председатель секции – Абдрахманова М.В.,

директор библиотеки ТУСУРА;

зам. председателя – Карауш А.С., генеральный директор

ГПНТБ России, г. Москва, к.т.н.

И.В. Котова

ИНФОРМАЦИОННАЯ КУЛЬТУРА СОТРУДНИКОВ УНИВЕРСИТЕТСКОЙ БИБЛИОТЕКИ В ПЕРИОД ДИСТАНТА	236
---	-----

М.В. Абдрахманова

РЕСУРСНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ИНФОРМАЦИОННО-БИБЛИОТЕЧНОЙ СРЕДЫ ВУЗА	238
--	-----

ПОДСЕКЦИЯ 3.6

МОЛОДЕЖНЫЕ ИННОВАЦИОННЫЕ НАУЧНЫЕ И НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ПРОЕКТЫ

Председатель секции – Костина М.А., доцент каф. УИ, к.т.н.;

зам. председателя – Нариманова Г.Н., зав. каф. УИ, к.ф.-м.н.

А.А. Сбитнева, А.Ш. Галиуллина

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММЫ МЕРОПРИЯТИЙ ДЛЯ ПРОДВИЖЕНИЯ ИННОВАЦИОННОГО ПРОДУКТА «ПЦР-СТАНЦИЯ» НА РЫНОК	241
---	-----

ПОДСЕКЦИЯ 3.7

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

Председатель секции – Зариковская Н.В., доцент каф. АОИ,

зам. ген. директора ООО «АльдераСофт», к.ф.-м.н.

А.А. Аханов

ОБЗОР НЕЙРОСЕТЕВЫХ АЛГОРИТМОВ ДЛЯ ИСПРАВЛЕНИЯ ГРАММАТИЧЕСКИХ, ПУНКТУАЦИОННЫХ И ОРФОГРАФИЧЕСКИХ ОШИБОК	244
---	-----

К.В. Никитин, А.А. Комаров, Е.Э. Боргояков ИГРОВОЙ БАЛАНС ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ПРОЦЕДУРНОЙ ГЕНЕРАЦИИ ИГРОВОГО СОДЕРЖИМОГО.....	248
А.В. Потеряева, Н.В. Зариковская ВИЗУАЛИЗАЦИЯ АНАЛИТИЧЕСКИХ ДАННЫХ.....	251
А.А. Зобнина РАЗРАБОТКА ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЯ АДМИНИСТРИРОВАНИЯ БАЗЫ ДАННЫХ ДЛЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ СОЗДАНИЯ ИНТЕРЬЕРА ПОМЕЩЕНИЯ.....	255
П.Д. Бертман ТЕСТИРОВАНИЕ МОБИЛЬНОГО ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ ПУТЕШЕСТВИЙ ПО ГОРОДУ ПАРИЖУ.....	258
Д.А. Рыжков ПРОЕКТИРОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССА ПРОВЕДЕНИЯ СОРЕВНОВАНИЙ ПО СПОРТИВНОЙ АЭРОБИКЕ.....	259

ПОДСЕКЦИЯ 3.8

ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ СРЕДСТВА ПОДДЕРЖКИ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ

Председатель секции – Хабибулина Н.Ю., доцент каф. КСУП, к.т.н.;
зам. председателя – Потапова Е.А., ст. преп. каф. КСУП

А.А. Щедрин, А.А. Березин, В.С. Швоев РЕАЛИЗАЦИЯ ПАРАЛЛЕЛЬНОГО ВЫПОЛНЕНИЯ СИНТАКСИЧЕСКОГО АНАЛИЗА И ОБРАБОТКИ ФАЙЛОВ ЖУРНАЛИРОВАНИЯ.....	263
--	-----

Научное издание

Сборник избранных статей научной сессии ТУСУР

**По материалам
Международной научно-технической конференции
студентов, аспирантов и молодых ученых
«Научная сессия ТУСУР–2020»**

13–15 мая 2021 г., г. Томск

В трех частях

Часть 2

**Корректор – В.Г. Лихачева
Верстка В.М. Бочкаревой**

Издательство «В-Спектр».
Сдано на верстку 15.04.2021. Подписано к печати 10.05.2021.
Формат 60×84¹/₁₆. Печать трафаретная. Печ. л. 17,25
Тираж 100 экз. Заказ 6.

Издано ТУСУР, г. Томск, пр. Ленина, 40, к. 205, т. 70-15-24
(для нужд всех структурных подразделений университета и авторов)

Издательство «В-Спектр».
634055, г. Томск, пр. Академический, 13-24, т. 8 905 089 92 40
E-mail: bvm@sibmail.com