

НАУЧНАЯ СЕССИЯ ТУСУР–2024



МАТЕРИАЛЫ МЕЖДУНАРОДНОЙ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ
СТУДЕНТОВ, АСПИРАНТОВ
И МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ

15–17 мая 2024 г. (в трех частях)

Часть 1
г. Томск

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

НАУЧНАЯ СЕССИЯ ТУСУР–2024

Материалы
международной научно-технической конференции
студентов, аспирантов и молодых ученых
«Научная сессия ТУСУР–2024»

15–17 мая 2024 г., г. Томск

В трех частях

Часть 1

ТУСУР
В-Спектр
Томск, 2024

УДК 621.37/.39+681.518 (063)

ББК 32.84я431+32.988я431

Н 34

Н 34 Научная сессия ТУСУР–2024: материалы международной научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Научная сессия ТУСУР–2024», Томск, 15–17 мая 2024 г.: в 3 частях. – Томск: ТУСУР (заказчик); В-Спектр (ИП Бочкарева В.М., исполнитель). – Ч. 1. – 286 с.

ISBN 978-5-902958-27-7

ISBN 978-5-902958-28-4 (Ч. 1)

ISBN 978-5-902958-29-1 (Ч. 2)

ISBN 978-5-902958-30-7 (Ч. 3)

Ч. 1 – 1-я секция (подсекции 1.1 – 1.7); 2-я секция (подсекции 2.1 – 2.7); 6 секция.

Ч. 2 – 3-я секция (подсекции 3.1 – 3.6); 8 секция.

Ч. 3 – 3-я секция (подсекции 3.7); 4 секция (подсекции 4.1 – 4.3); 5-я секция (подсекции 5.1 – 5.8).

7 секция издана отдельным сборником.

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

УДК 621.37/.39+681.518 (063)

ББК 32.84я431+32.988я431

ISBN 978-5-902958-27-7

ISBN 978-5-902958-28-4 (Ч. 1)

© ТУСУР, 2024

**Международная
научно-техническая конференция
студентов, аспирантов и молодых ученых
«Научная сессия ТУСУР–2024»,
15–17 мая 2024 г.**

ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ

- Рулевский В.М. – председатель Программного комитета, ректор ТУСУРа, д.т.н.;
- Лошилов А.Г. – заместитель председателя Программного комитета, проректор по научной работе и инновациям ТУСУРа, к.т.н.;
- Афонасова М.А., зав. каф. менеджмента ТУСУРа, д.э.н., проф.;
- Бабур-Карателли Г.П., к.т.н., PhD (TU Delft), научный сотрудник лаборатории радиооптики каф. ТОР ТУСУРа;
- Беляев Б.А., зав. лаб. электродинамики и СВЧ-электроники Института физики СО РАН, д.т.н., г. Красноярск (по согласованию);
- Ботаева Л.Б., руководитель направления по оказанию инжиниринговых услуг, АНО «Томский региональный инжиниринговый центр», к.т.н. (по согласованию);
- Васильковская Н.Б., доцент каф. экономики ТУСУРа, к.э.н.;
- Голиков А.М., доцент каф. РТС ТУСУРа, к.т.н.;
- Денисов В.П., проф. каф. РТС ТУСУРа, д.т.н.;
- Дмитриев В.М., проф. каф. КСУП ТУСУРа, д.т.н.;
- Еханин С.Г., проф. каф. КУДР ТУСУРа, д.ф.-м.н.;
- Заболоцкий А.М., зав. каф. СВЧИКР ТУСУРа, д.т.н.;
- Зариковская Н.В., доцент каф. АОИ ТУСУРа, к.ф.-м.н.;
- Зейниденов А.К., PhD, декан физико-технического факультета НАО Карагандинский университет им. академика Е.А. Букетова, проф., г. Караганда (Казахстан) (по согласованию);
- Исакова А.И., доцент каф. АСУ ТУСУРа, к.т.н.;
- Карташев А.Г., проф. каф. РЭТЭМ ТУСУРа, д.б.н.;
- Катаев М.Ю., проф. каф. АСУ ТУСУРа, д.т.н.;
- Ким М.Ю., зав. каф. ИСР ТУСУРа, к.и.н.;
- Кобзев Г.А., проректор по международному сотрудничеству, к.т.н.;
- Костина М.А., доцент каф. УИ, к.т.н.;
- Коцубинский В.П., зам. зав. каф. КСУП ТУСУРа, доцент каф. КСУП, к.т.н.;
- Красинский С.Л., декан ЮФ ТУСУРа, к.и.н.;
- Куприянов Е.А., директор Центра по работе с талантливой молодежью ТУСУРа;
- Лукин В.П., зав. лаб. когерентной и адаптивной оптики ИОА СО РАН, д.ф.-м.н., проф., г. Томск (по согласованию);

- Малюк А.А., проф. отделения интеллектуальных кибернетических систем офиса образовательных программ, Институт интеллектуальных кибернетических систем НИЯУ МИФИ, к.т.н., г. Москва (по согласованию);
- Малютин Н.Д., гл.н.с. НИИ Систем электрической связи, проф. каф. КУДР ТУСУРа, д.т.н.;
- Мицель А.А., проф. каф. АСУ ТУСУРа, д.т.н.;
- Озеркин Д.В., декан РКФ ТУСУРа, к.т.н.;
- Орлова В.В., зав. каф. ФиС ТУСУРа, д.соц.н.;
- Оскирко В.О., н.с. лаборатории прикладной электроники ИСЭ СО РАН, технический директор ООО «Прикладная электроника», к.т.н. (по согласованию);
- Покровская Е.М., зав. каф. ИЯ ТУСУРа, к.фил.н.;
- Разинкин В.П., проф. каф. ТОР, декан факультета радиотехники и электроники, Новосибирский государственный технический университет, д.т.н., г. Новосибирск (по согласованию);
- Рогожников Е.В., зав. каф. ТОР ТУСУРа, к.т.н.;
- Ромашко Р.В., член-корреспондент РАН, директор ИАПУ ДВО РАН, д.ф.-м.н., проф., г. Владивосток (по согласованию);
- Семенов В.Д., проф. каф. ПрЭ ТУСУРа, к.т.н.;
- Семенов Э.В., проф. каф. РСС ТУСУРа, д.т.н.;
- Сенченко П.В., проректор по учебной работе ТУСУРа, доцент каф. АОИ, к.т.н.;
- Титов В.С., зав. каф. вычислительной техники Юго-Западного государственного университета, д.т.н., проф., заслуженный деятель наук РФ, академик международной академии наук ВШ, г. Курск (по согласованию);
- Троян П.Е., зав. каф. ФЭ ТУСУРа, д.т.н., проф.;
- Туев В.И., зав. каф. РЭТЭМ ТУСУРа, д.т.н., проф.;
- Ходашинский И.А., проф. каф. КСУП ТУСУРа, д.т.н.;
- Цветкова Н.А., доцент Высшей школы проектной деятельности и инноваций в промышленности института машиностроения, материалов и транспорта Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого, к.т.н., г. Санкт-Петербург (по согласованию);
- Чжан Е.А., зам. директора по информационной политике Института космических и информационных технологий (ИКИТ) по научной работе, ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет», к.т.н. (по согласованию);
- Шарангович С.Н., проф. каф. СВЧиКР ТУСУРа, к.ф.-м.н.;
- Шелупанов А.А., президент ТУСУРа, директор ИСИБ, д.т.н., проф.;
- Шурьгин Ю.А., директор департамента управления и стратегического развития ТУСУРа, зав. каф. КСУП, д.т.н., проф.;
- Krozer V., professor at Goethe University, Frankfurt am Main (по согласованию).

ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ

- Медовник А.В. – председатель Организационного комитета, начальник научного управления, д.т.н.;
- 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., заведующая аспирантурой ОАиД, к.т.н.;
- Михальченко Т.С., председатель студенческого научного сообщества «Система», специалист по работе с молодежью ОПиРШ;
- Покровская Е.М., зав. каф. ИЯ, к.фил.н.;
- Юрченкова Е.А., вед. инженер ОАиД, к.х.н.

СЕКЦИИ КОНФЕРЕНЦИИ

Секция 1. Радиотехника и связь

Подсекция 1.1. Радиотехнические системы и распространение радиоволн. *Председатель секции – Денисов Вадим Прокопьевич, проф. каф. РТС, д.т.н.; зам. председателя – Аникин Алексей Сергеевич, доцент каф. РТС, к.т.н.*

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

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

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

Подсекция 1.5. Системы беспроводной связи и интернета вещей. *Председатель секции – Рогожников Евгений Васильевич, зав. каф. ТОР, к.т.н.; зам. председателя – Дмитриев Эдгар Михайлович, ассистент каф. ТОР.*

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

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

Секция 2. Электроника и приборостроение

Подсекция 2.1. Проектирование биомедицинских электронных и наноэлектронных средств. *Председатель секции – Еханин Сер-*

гей Георгиевич, проф. каф. КУДР, д.ф.-м.н.; зам. председателя – Романовский Михаил Николаевич, доцент каф. КУДР, к.т.н.

Подсекция 2.2. Разработка контрольно-измерительной аппаратуры.

Председатель секции – Лоцилов Антон Геннадьевич, проректор по НРИИ, зав. каф. КУДР, к.т.н.; зам. председателя – Бомбизов Александр Александрович, начальник СКБ «Смена», доцент каф. КУДР, к.т.н.

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

Подсекция 2.4. Промышленная электроника. *Председатель секции – Семенов Валерий Дмитриевич, проф. каф. ПрЭ, к.т.н.; зам. председателя – Оскирко Владимир Олегович, н.с. лаборатории прикладной электроники ИСЭ СО РАН, технический директор ООО «Прикладная электроника», к.т.н.; Михальченко Сергей Геннадьевич, зав. каф. ПрЭ, д.т.н.*

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

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

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

Секция 3. Информационные технологии и системы

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

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

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

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

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

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

Подсекция 3.7. Инструментальные средства автоматизации проектирования, управления и обработки данных. *Председатель секции – Хабибулина Надежда Юрьевна, декан ФВС, доцент каф. КСУП, к.т.н.; зам. председателя – Потапова Евгения Андреевна, ст. преподаватель каф. КСУП.*

Секция 4. Информационная безопасность

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

Подсекция 4.2. Цифровые системы радиосвязи и средства их защиты. *Председатель секции – Голиков Александр Михайлович, доцент каф. РТС, к.т.н.*

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

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

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

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

- Подсекция 5.3. Реализация современных экономических подходов в финансовой и инвестиционной сферах. *Председатель секции – Васильковская Наталья Борисовна, доцент каф. экономики, к.э.н.; зам. председателя – Цибульников Валерия Юрьевна, зав. каф. экономики, к.э.н.*
- Подсекция 5.4. Проектный менеджмент и его использование в цифровой экономике. *Председатель секции – Афонасова Маргарита Алексеевна, зав. каф. менеджмента, д.э.н., проф.; зам. председателя – Богомолова Алена Владимировна, доцент каф. менеджмента, декан ЭФ, к.э.н.*
- Подсекция 5.5. Современные социокультурные технологии в организации работы с молодежью. *Председатель секции – Орлова Вера Вениаминовна, зав. каф. ФиС, директор НОЦ «СГТ», д.соц.н., проф.; зам. председателя – Мальцева Мария Александровна, старший преподаватель каф. ФиС.*
- Подсекция 5.6. Актуальные проблемы социальной работы в современном обществе. *Председатель секции – Ким Максим Юрьевич, зав. каф. ИСР, к.и.н.; зам. председателя – Куренков Артем Валериевич, доцент каф. ИСР, к.и.н.*
- Подсекция 5.7 Актуальные вопросы частного права в условиях цифровой трансформации. *Председатель секции – Мельникова Валентина Григорьевна, доцент, зав. кафедрой ИГПиПОИД, к.ю.н.; зам. председателя – Часовских Кристина Викторовна, ст. преподаватель каф. ИГПиПОИД.*
- Подсекция 5.8. Современные тенденции развития российского права. *Председатель секции – Ахмедшин Рамиль Линарович, проф. каф. ГПДиПД, д.ю.н.; зам. председателя – Алексеева Татьяна Александровна, доцент каф. ГПДиПД, к.ю.н.*
- Секция 6. Экология и мониторинг окружающей среды. Безопасность жизнедеятельности.** *Председатель секции – Карташев Александр Георгиевич, проф. каф. РЭТЭМ, д.б.н., проф.; зам. председателя – Денисова Татьяна Владимировна, доцент каф. РЭТЭМ, к.б.н.*
- Секция 7. Открытия. Творчество. Проекты.** (Секция для школьников). *Председатель секции – Куприянов Евгений Александрович, директор Центра по работе с талантливой молодежью ТУ-СУРа; зам. председателя – Михальченко Татьяна Сергеевна, специалист по работе с молодежью ОПиРШ УНН.*
- Секция 8. Postgraduate and Master Students' Research in Electronics and Control Systems.** *Председатель секции – Покровская Елена Михайловна, зав. каф. ИЯ, доцент, к.филос.н.; зам. председа-*

теля – Шпит Елена Ирисметовна, доцент каф. ИЯ; Соболевская Ольга Владимировна, ст. преподаватель каф. ИЯ; Таванова Эльвира Борисовна, ст. преподаватель каф. ИЯ.

Адрес оргкомитета:

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

ФГБОУ ВО «ТУСУР»

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

Сборник в 3 частях:

Ч. 1 – 1-я секция (подсекции 1.1 – 1.7); 2-я секция (подсекции 2.1 – 2.7); 6 секция.

Ч. 2 – 3-я секция (подсекции 3.1 – 3.6); 8 секция.

Ч. 3 – 3-я секция (подсекции 3.7); 4 секция (подсекции 4.1 – 4.3); 5-я секция (подсекции 5.1 – 5.8).

7 секция издана отдельным сборником.

ГЕНЕРАЛЬНЫЕ СПОНСОРЫ

ООО «Научные приборы
и системы»



АО «НПФ «Микран»



АО «НИИПП»



Томское региональное отделение
ООО «Союз машиностроителей
России»



СПОНСОРЫ

ООО «СТК», г. Томск



ООО «500m ТЕХНОЛОДЖИЗ»



АО «ИнфоТекС»



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



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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Приглашаем к долгосрочному и взаимовыгодному сотрудничеству!

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

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



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

Т. +7 (382-2) 90-00-29
Ф. +7 (382-2) 42-36-15
www.micran.ru

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

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

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

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

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

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

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

Генеральный спонсор конференции –
АО «НПФ «НИИПП»



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

АО «НИИПП» входит в состав Союза машиностроителей России, являясь опорным предприятием объединения в регионе. С октября 2020 г. генеральный директор АО «НИИПП» Е.А. Монастырев возглавляет Томское региональное отделение «СоюзМаш России».

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

НИИПП основан в Томске в 1964 г. для разработки СВЧ0 и оптоэлектронных изделий на основе полупроводниковых соединений АЗВ5. Исследование нового материала – арсенида галлия – предопределило вектор развития предприятия на следующие 60 лет. В 1967 г. на базе института заработал завод по серийному выпуску полупроводниковых приборов. Начинаясь как научный институт, НИИПП и сегодня работает с ведущими вузами Томска: Томским государственным университетом систем управления и радиоэлектроники (ТУСУР), Томским политехническим университетом (ТПУ), Томским государственным университетом (ТГУ), Сибирским государственным медицинским университетом (СибГМУ). В 2022 г. у АО «НИИПП»

появилась вторая площадка по производству металлокерамических изделий, которая расположена в Великом Новгороде.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Система удалённого мониторинга и управления навигационными огнями решает задачи:

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

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

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

рения можно выполнять и на других материалах). В 2022/23 г. выполнены поставки ручных зондовых станций Omega Air-150 СОАХ на ведущие российские предприятия радиоэлектронной промышленности, в измерительные центры и научные лаборатории; заключены контракты на поставку полуавтоматических зондовых станций Terra-200 СОАХ; предприятие готово также выполнять поставки программно-аппаратных комплексов (ПАК) для измерения параметров монолитных интегральных схем на неразделенных полупроводниковых пластинах. Полностью российское решение задачи импортозамещения в условиях санкций, при этом более эффективное по соотношению цена/качество по сравнению с любыми импортными аналогами.

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

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

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

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

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

*Генеральный директор АО «НИИПП»
Монастырев Евгений Александрович*

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



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

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

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

ВИДЫ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

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

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

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

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

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

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

НАПРАВЛЕНИЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

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

ПРЕИМУЩЕСТВА

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

СОБСТВЕННАЯ РАЗРАБОТКА ОБОРУДОВАНИЯ

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

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

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

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

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

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

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

*Генеральный директор ООО «СТК»
Савин Андрей Дмитриевич*

НАШИ ЗАКАЗЧИКИ



НАШИ ВЕНДОРЫ



Спонсор конференции –
ООО «50ohm Technologies»

50ohm Technologies

✉ info@50ohm.tech ☎ +7-923-408-04-08

🌐 50ohm.tech/ru 📧 fiftyohm

📍 634045, г. Томск 🇷🇺 fiftyohm

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

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

Компания реализует программные решения по направлениям:

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

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

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

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

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

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



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

**Спонсор конференции –
АО «ИнфоТеКС»**



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

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

АО «ИнфоТеКС» является ведущим разработчиком, а также производителем высокотехнологичных программных и программно-аппаратных средств и систем защиты информации. Входит в ТОП-10 крупнейших российских компаний в сфере информационной безопасности. Будучи лидером, ИнфоТеКС активно развивает партнёрскую сеть, в которую на данный момент входит свыше 300 компаний. В штате трудоустроено более 1 600 сотрудников, а офисы открыты в 9 городах России.

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

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

Важным направлением для компании является поддержка научных разработок и исследовательских проектов, а также обучение и продвижение молодых специалистов.

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

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

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

*Генеральный директор АО «ИнфоТеКС»
Чапчаев Андрей Анатольевич*

Секция 1
РАДИОТЕХНИКА И СВЯЗЬ

(подсекции 1.1. – 1.7; стр. 31 – 137)

Секция 2
ЭЛЕКТРОНИКА
И ПРИБОРОСТРОЕНИЕ

(подсекции 2.1. – 2.7; стр. 138 – 247)

Секция 6
ЭКОЛОГИЯ И МОНИТОРИНГ
ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ.
БЕЗОПАСНОСТЬ
ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

(стр. 248 – 277)

Секция 1

РАДИОТЕХНИКА И СВЯЗЬ

ПОДСЕКЦИЯ 1.1

РАДИОТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И РАСПРОСТРАНЕНИЕ РАДИОВОЛН

Председатель – Денисов В.П., проф. каф. РТС, д.т.н.;
зам. председателя – Аникин А.С., доцент каф. РТС, к.т.н.

УДК 621.371.3

СПОСОБ ОЦЕНКИ УРОВНЯ СИГНАЛА ПРИ РАСПРОСТРАНЕНИИ ВДОЛЬ ЛЕСА

Д.Д. Зайков, Г.А. Калашиников, студенты каф. РТС
Научный руководитель Ф.Н. Захаров, доцент каф. РТС, к.т.н.
г. Томск, ТУСУР, Z_DanilA_01@mail.ru

Приведены возможные эффекты, возникающие из-за влияния лесного массива на распространение электромагнитной волны. Авторами предложена математическая модель для оценки уровня сигнала в условиях отражения радиоволн лесным массивом и подстилающей поверхностью.

Ключевые слова: распространение радиоволн, лесной массив, подстилающая поверхность, отражение радиоволн, затухание радиоволн, математическая модель, интерференционный множитель.

Радиосистемы передачи данных активно развиваются. В частности, актуальны задачи проектирования телеметрических радиолиний прямой радиовидимости для объектов вблизи лесного массива или просеки. Качество проектирования радиолиний связано с точностью расчёта и оценки уровня мощности принятого антенной сигнала. Для

радиолиний вблизи леса на уровень мощности принятого сигнала влияют следующие эффекты [1–3]:

- рассеивание;
- дифракция;
- деполяризация;
- отражение от лесной подстилки;
- отражение от лесного массива.

Известны математические модели [1], которые предназначены для оценки уровня сигнала при наличии леса с учетом одного из указанных эффектов. Большинство указанных моделей пригодны для условий распространения радиоволн через лес или в пределах него. Однако эти условия зачастую не выполняются для радиолиний вблизи леса. Это вызвано тем, что помимо отражённого лесом сигнала принимаются сигналы в результате распространения радиоволн: а) по кратчайшему пути от передатчика (так называемый «прямой сигнал»); б) в результате отражения подстилающей поверхностью.

Цель статьи – предложить математическую модель для оценки уровня мощности принятого сигнала, который образован суммой прямого сигнала и сигналов после отражения дециметровых радиоволн лесом и подстилающей поверхностью.

Описание способа оценки уровня сигнала. Математическая модель для оценки мощности сигнала после отражения радиоволн лесом описывается следующим образом [1]:

$$P_{\text{вх}} = \frac{P_{\text{и}} \cdot G_{\text{пер}} \cdot G_{\text{пр}} \cdot \lambda^2}{(4\pi)^3} \cdot \int \frac{\sigma(\gamma)}{R_1^2 \cdot R_2^2} dV, \quad (1)$$

где $P_{\text{и}}$ – мощность излучения передатчика; $G_{\text{пер}}$, $G_{\text{пр}}$ – коэффициенты усиления передающей и приемной антенн; λ – длина волны; R_1 , R_2 – расстояние от передающей и приемной антенн до лесного массива; $\sigma(\gamma)$ – удельная эффективная площадь рассеяния единицы объема, зависящая от угла отражения; dV – объем лесного массива.

Для применения модели (1) необходима информация о характеристиках леса и пригодна для ситуации, когда мощность прямой волны на входе приемной антенны не превышает чувствительность приемника [1]. В рассматриваемой задаче это условие не выполняется.

В связи с этим авторами этой работы предложена другая математическая модель.

Рассмотрим геометрию радиолинии вдоль лесного массива, в которой наряду с прямым сигналом основными явлениями, влияющими на поле радиоволны в точке приема, являются отражения радиоволн лесным массивом и подстилающей поверхностью (рис. 1).

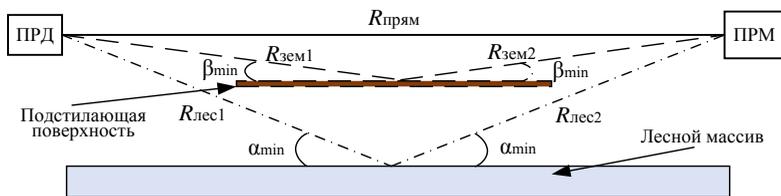


Рис. 1. Иллюстрация траекторий движения радиосигнала

Пусть лес является плотным, так что максимальное расстояние d между смежными деревьями мало, а радиоволна распространяется от передатчика к лесу под углом скольжения меньше $\alpha_{\min} < \arcsin(\lambda/(16 \cdot d))$. Тогда отражение радиоволн лесом можно считать квазизеркальным. Например, на частоте 1 ГГц угол $\alpha_{\min} < 1,2$ градуса для $d = 3 \cdot \lambda \approx 0,9$ м и $\alpha_{\min} < 12$ градусов для $d = 0,3 \cdot \lambda \approx 0,1$ м. Упростим задачу, считая, что радиоволна отражается от леса в некоторой характерной точке. Допустим также границу леса в среднем ровной и параллельной пути прямого прохождения радиоволны. В таком случае справедлив закон отражения радиоволн и допустимо использовать коэффициенты отражения Френеля от леса и подстилающей поверхности. Аналогичные условия считаем справедливыми и для подстилающей поверхности.

Уровень мощности выходного сигнала приёмной антенны с учётом отражений можно вычислить по формуле:

$$P_{\text{пр}} = P_{\text{и}} [\text{дБВт}] + G_{\text{пер}} [\text{дБ}] + G_{\text{пр}} [\text{дБ}] - 10 \lg \left(F_{\Sigma}^2 \right) - L_{\text{св}} [\text{дБ}],$$

$$F_{\Sigma}^2 = 1 + p_{\text{зем}}^2 + p_{\text{лес}}^2 + 2 \cdot p_{\text{зем}} \cdot p_{\text{лес}} \cos(\Delta\varphi_{\text{зем}} - \Delta\psi_{\text{лес}}) +$$

$$+ 2 \cdot p_{\text{зем}} \cos(\Delta\varphi_{\text{зем}}) + 2 \cdot p_{\text{лес}} \cos(\Delta\psi_{\text{лес}}),$$

где F_{Σ} – интерференционный множитель, учитывающий отражение от подстилающей поверхности и леса; $p_{\text{зем}}, p_{\text{лес}} \leq 1$ – модуль коэффициента отражения радиоволн от земной поверхности и леса; $\Delta\varphi_{\text{зем}}, \Delta\psi_{\text{лес}}$ – разность фаз между прямым сигналом и сигналом в результате отражения радиоволн подстилающей поверхностью и лесом соответственно с учётом фазы за счёт коэффициента отражения.

Учет в формуле (2) расстояния от леса, на котором располагаются передатчик и приемник, осуществляется путем вычисления разности хода волн.

Выводы. Предложен способ и математическая модель для оценки уровня мощности сигнала в точке приема в ходе проектирования радиолинии вдоль лесного массива с использованием коэффициентов отражения. Модель справедлива в условиях, когда подстилающая по-

верхность и граница леса являются квазизеркальными. Для леса с максимальным расстоянием между деревьями d угол скольжения радиоволн не должен превышать $\alpha_{\min} < \arcsin(\lambda/(16 \cdot d))$.

ЛИТЕРАТУРА

1. Попов В.И. Распространение радиоволн в лесах. – М.: Горячая линия – Телеком, 2015. – 392 с.

2. Попов В.И. Математические модели распространения радиоволн в лесных массивах // Евразийский союз ученых (ЕСУ–2015). Технические науки [Электронный ресурс]. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/matematicheskie-modeli-rasprostraneniya-radiovoln-v-lesnyh-massivah> (дата обращения: 30.01.2024).

3. Оценка эмпирических моделей распространения радиоволн в лесных массивах сантиметрового и миллиметрового диапазонов / А.В. Тихомиров, В.Ю. Михайлов, Е.В. Омелянчук, А.Ю. Семенова, М.А. Рожкова // Инженерный вестник Дона. – 2019. – № 9. – 22 с.

УДК 621.396.677.3

ФОКУСИРОВКА ПОЛЯ СПУТНИКОВОЙ АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ НА НАЗЕМНЫЙ РАДИОМАЯК

*Е.М. Семина, магистрант; Ю.И. Чони, доцент каф. РТС
г. Казань, КНИТУ-КАИ им. А.Н. Туполева, laim01@list.ru*

Представлены результаты исследования и оценки эффективности передачи солнечной энергии путем фокусировки поля спутниковой антенной решетки (АР) на наземный радиомаяк. Обсуждается возможность фокусировки радиолуча за счет возбуждения комплексно сопряжения (инверсии фазы) сигналов маяка, анализируется КПД в зависимости от расстояния до спутника и габаритов АР.

Ключевые слова: солнечная энергия, спутник, радиомаяк, фокусировка, антенная решетка.

В настоящее время освоение альтернативных (с акцентом на экологически чистые) источников энергии составляет актуальную проблему. Благодаря техническому прогрессу давно высказанная идея создания космических электростанций, аккумулирующих солнечную энергию и «сбрасывающих» ее на Землю, превращается из фантастики в перспективу недалекого будущего.

Очевидный принцип сводится к сбору солнечной энергии на орбите с помощью солнечной батареи, размещенной на орбите, преобразованию этой энергии в СВЧ-излучение твердотельной фазированной антенной решетки, формирующей узкий луч, и обратному преобразованию энергии полотном из приемных выпрямительных антенн (рек-теннов), находящихся на Земле. Потенциальные преимущества идеи

включают в себя: возможность круглосуточного сбора солнечной энергии на орбите, питание соседних космических аппаратов и передачу солнечной энергии на наземный радиомаяк, используя принцип фокусировки радиолуча.

По данным исследований [1–3], в случае спутника с солнечными батареями, находящегося на геостационарной орбите с высотой перигея в интервале 500–1000 км, потребуются антенные решетки на самом спутнике и ректеннов на Земле с внушительными габаритами. Размеры площади ФАР около 1 км², а ректенны – более 25 км². Данные размеры необходимы для передачи энергии без особых потерь в КПД системы [1].

Антенная решетка, формирующая радиолуч. Логично, что от габаритов АР и высоты расположения спутника будет зависеть интенсивность луча, передаваемого на Землю, соответственно, для более полной передачи энергии сигнала необходимо, во-первых, сфокусировать луч в нужной точке (на наземный радиомаяк). При этом решающую роль играет концентрированность сфокусированного пятна в пределах площади приемных ректеннов (КПД системы) в зависимости от диаметра АР и расстояния до спутника.

При удаленности геостационарного спутника на 35 786 км от поверхности Земли габариты его АР должны быть такими, чтобы ректенны располагались в зоне ближнего излученного АР. При длине волны 5 см соответствующие оценки приведены в [2].

Крупногабаритная антенная решетка на спутнике содержит большое число N элементов, которые в режиме передачи необходимо фазировать таким образом, чтобы обеспечить синфазное сложение их полей в центре полотна ректеннов для максимальной фокусировки потока энергии.

Тем самым излучающая спутниковая ФАР формирует поле в виде пучка, пятно которого на поверхности Земли имеет форму эллипса [1], эксцентриситет которого изменяется при движении станции по орбите.

Приемная выпрямительная антенна на поверхности Земли имеет вид плоской антенной решетки из дипольных элементов и принимает узкополосный и сфокусированный, допустим, в точке $x = 0$, $y = 0$, сигнал от спутниковой ФАР.

При пребывании спутника в точке апогея или перигея пятно на приемной антенне имеет структуру концентрических колец с самым «ярким» центральным пятном и серией «угасающих» по мере удаления окружающих боковых колец. Для снижения потерь в КПД (отношение мощности облучающего поля в пределах площади, занятой

ректеннами, к мощности по безграничной площади [3]) необходимо, чтобы ректенны перехватывали, как минимум, и второе пятно вокруг центрального.

Расчетные результаты. Получим оценочные зависимости интенсивности поля в фокальном пятне на Земле. Для моделирования ситуации в среде MathCad была выбрана круглая антенная решетка.

Для расчета поля круглой апертуры антенной решетки, сфазированной в точку $x = 0$, применим формулу расстояния между излучателем с координатами ξ, η и координатой излучения x, y, H – высота спутника от поверхности Земли:

$$r(\xi, \eta, x, y) = \sqrt{H^2 + (\xi - x)^2 + (\eta - y)^2}. \quad (1)$$

Учитывая малости x/H и y/H , с точностью до первого порядка имеем двойной интеграл.

$$E_{p\alpha}(H, x) = \left| \int_0^D \int_0^D e^{-i[\gamma(x^2 - 2x\rho \cos(\alpha) + (2H))]d\alpha} \rho d\rho \right| \div [\pi(D)^2 \div 2]. \quad (2)$$

Рассмотрим три расстояния орбит: 36 000, 12 000, 6 000 км (рис. 1).

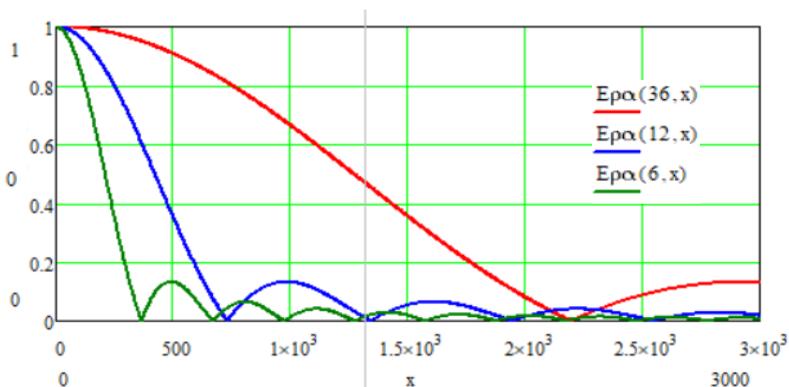


Рис. 1. Зависимость поля фокального пятна от высоты спутника

При значении длины антенной решетки космической системы, равной 2 км, диаметр фокального пятна на Земле равен 1,2 км. КПД системы при расстоянии 36 000 км для сфокусированной АР составляет 87%. Формула для расчета КПД с учетом мощности P_0 и P_1 приведена ниже:

$$P_0 = \int_0^D (|E(H, x, 1)|)^2 dx, \quad (3)$$

$$P_1 = \int_0^D (|E(H, x, 1)|)^2 dx, \quad (4)$$

$$\text{КПД} = P_0 / (P_0 + P_1). \quad (5)$$

Таким образом, фазированная антенная решетка позволяет создать узконаправленный пучок радиоволн, направленный на наземный радиомаяк, что обеспечивает достаточно высокий КПД системы передачи солнечной энергии со спутника на Землю.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пат. RU2713129C1. Система передачи энергии на Землю с орбитальной солнечной электростанции. – Яндекс.Патенты (yandex.ru) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: https://yandex.ru/patents/doc/RU2713129C1_20200203?ysclid=lq6kvf8voi731454.
2. Геостационарные спутники Земли как основа развития спутниковой связи [Электронный ресурс]. – URL: <https://forumtech.ru/novosti-v-sfere-telekommunikaczij/geostacionarnye-sputniki?ysclid=ltev02niu1516849952>.
3. Пат. SU1094110. – Ректенна. Яндекс.Патенты (Yandex.ru) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: https://yandex.ru/patents/doc/SU1094110A1_19840523.

УДК 621.396.946

РАДИОВЫСОТОМЕРНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОСАДКИ ПЕРВОЙ СТУПЕНИ РАКЕТЫ-НОСИТЕЛЯ

Е.Д. Морозов, М.Е. Ильясов, А.В. Зяблицев, студенты каф. РТС

Научный руководитель А.С. Аникин, доцент каф. РТС

г. Томск, ТУСУР

Описана реализация математической модели радиовысотомерной системы для обеспечения посадки первой ступени ракеты-носителя.

Представлены аналитические выражения для расчёта высоты полёта.

Ключевые слова: радиовысотомерная система, координаты, высота полёта, уравнение плоскости.

Радиовысотомерная система применяется в составе системы управления первой ступени ракеты-носителя для обеспечения посадки на подготовленную площадку путём определения высоты над подстилающей поверхностью площадки в зоне посадки ступени в пределах заданной погрешности [1].

Радиовысотомерная система состоит из N приёмопередающих антенн (N больше или равно 3), расположенных на одинаковом расстоянии друг от друга по периметру ракеты. Каждая антенна излучает сигнал под заданным углом, который отражается и приобретает за-

держку по времени, по которой рассчитывается расстояние от антенны до точки отражения. Зная данное расстояние, можно рассчитать высоту полёта.

Задачей данного исследования является изучение принципов работы радиовысотомерной системы для дальнейшей реализации в виде лабораторного макета.

Методика расчёта высоты полёта. Схема расположения антенн на плоскости и в пространстве изображена на рис. 1.

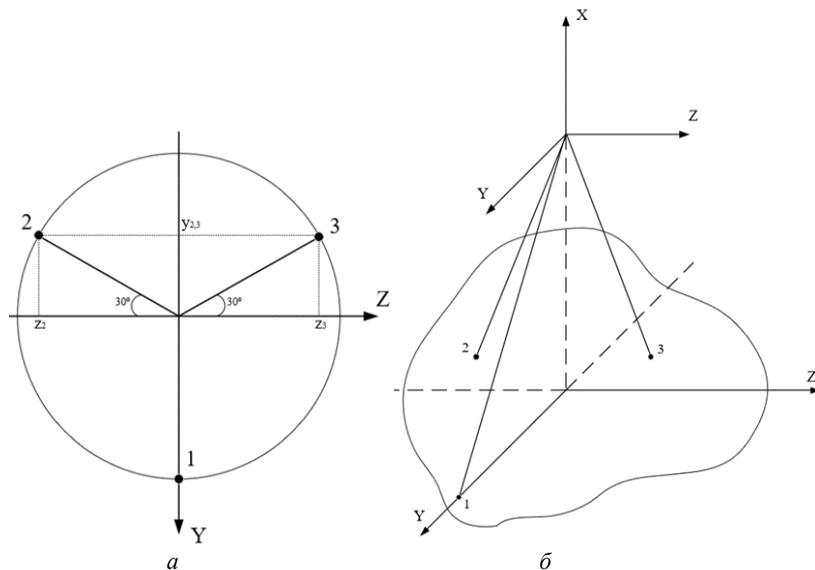


Рис. 1. Схема расположения антенн: *a* – на плоскости; *б* – в пространстве

Каждая из антенн излучает сигнал под углом γ , длина луча h измеряется по задержке отражённого сигнала. Знание данных параметров позволяет рассчитать координаты точек отражения луча от земной поверхности в декартовой системе координат, начало которой расположено в центре поперечного сечения первой ступени на высоте расположения антенн H_0 . Координаты точек для трёх антенн рассчитываются по формулам, полученным с помощью тригонометрических соотношений:

$$x_{1,2,3} = -h * \cos(\gamma); \quad y_1 = h * \sin(\gamma); \quad z_1 = 0;$$

$$y_{2,3} = -y_1 * \sin(30^\circ); \quad z_2 = -y_1 * \cos(30^\circ); \quad z_3 = y_1 * \cos(30^\circ).$$

Точки отражения формируют плоскость, которая задаётся уравнением [2]

$$x - b * y - c * z - d = 0,$$

где a, b, d – коэффициенты, которые находятся при решении системы уравнений [2]

$$\left\{ \begin{array}{l} b * \sum_{i=1}^N y_i^2 + c * \sum_{i=1}^N y_i * z_i + d * \sum_{i=1}^N y_i - \sum_{i=1}^N x_i * y_i = 0, \\ b * \sum_{i=1}^N y_i * z_i + c * \sum_{i=1}^N z_i^2 + d * \sum_{i=1}^N z_i - \sum_{i=1}^N x_i * z_i = 0, \\ b * \sum_{i=1}^N y_i + c * \sum_{i=1}^N z_i + d * N - \sum_{i=1}^N x_i = 0. \end{array} \right.$$

Рассчитав коэффициенты в уравнении плоскости, можно найти высоту полёта по формуле [2]:

$$H = \frac{|d|}{\sqrt{1+b^2+c^2}} - H_0.$$

Данная математическая модель является идеализированной и может быть использована для дальнейших исследований зависимости погрешности измерения высоты полёта от различных параметров, таких, как: угол наклона ступени относительно поверхности, ширина диаграммы направленности и т.д.

ЛИТЕРАТУРА

1. Методы измерения параметров движения ВА СРВ МАВИ.300-Э0091. – УПКБ «Деталь», 2020. – 31 с.
2. Параметры излучаемого сигнала СРВ МАВИ.300-Э0091 ПЗ. – УПКБ «Деталь», 2020. – 19 с.

УДК 004.772

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ PER ОТ ОТНОШЕНИЯ СИГНАЛ/ШУМ В СТАНДАРТЕ 802.11AC (WI-FI 5)

В.П. Постол, Д.А. Палилей, магистранты каф. РТС

Научный руководитель Ф.Н. Захаров, зав. лаб. РТС, к.т.н.

г. Томск, ТУСУР, palidan@mail.ru

Рассмотрены зависимости PER от отношения сигнал/шум стандарта 802.11ac (Wi-Fi 5) с использованием канала с восьмью пространственными потоками и схемы кодирования MCS № 8 при значениях ширины канала 20, 40, 80, 160 МГц. В схеме кодирования MCS № 8 использовалась модуляция 256 QAM при кодировании 3/4.

Ключевые слова: PER, схема кодирования MCS, ширина канала, Wi-Fi 5, SNR, QAM.

Стандарт 802.11ac, который еще называют VHT (very high throughput – очень высокая пропускная способность), разработан с учетом определенных требований. Он должен обеспечивать полную обратную совместимость с устройствами 802.11a и 802.11n, работающими в полосе 5 ГГц, и необходимо предусмотреть механизм одновременной работы с сетями стандартов 11a и 11n [1]. Так как в этом стандарте данные передаются пакетами, показателем для количественной оценки качества и надежности передачи данных является PER. Коэффициент ошибок пакетов (PER) – это отношение количества неправильно принятых пакетов данных к общему количеству принятых пакетов [2].

Задача исследования состоит в получении зависимости PER от отношения сигнал/шум (SNR) в канале при значениях ширины канала 20, 40, 80, 160 МГц. В качестве канала будет рассматриваться конфигурация 8x8 TGac, которая содержит 8 передающих антенн, 8 пространственно-временных потоков, а также будет использоваться схема кодирования MCS № 8 [3].

Под индексом схемы модуляции и кодирования (MCS) подразумевают список схем модуляции и кодирования, которые используются для отправки данных с устройств Wi-Fi. Для стандарта 802.11ac индекс зависит от типа модуляции, скорости кодирования, количества пространственных потоков, ширины канала и защитного интервала. При использовании схемы кодирования MCS №8 применяется модуляция 256-QAM и скорость кодирования 3/4. Модуляция 256-QAM является типом квадратурной амплитуды, который сочетает амплитудную и фазовую модуляцию для передачи цифровых данных. Данная модуляция позволяет передавать до 8 бит на символ, используя 256 различных уровней амплитуды и 16 различных фазовых углов. Скорость кодирования 3/4 означает, что для передачи трех бит данных используется четыре бита, из которых три информационных и один контрольный.

Принцип обработки каждого пакета:

1. Задается значение PSDU (Physical Service Data Unit) и формируется сигнал, соответствующий одному передаваемому пакету.

2. Между последовательными пакетами добавляется фиксированное время простоя.

3. Сформированный сигнал передается по каналу распространения радиоволн TGac (Very High Throughput Task Group).

4. Белый гауссовский шум добавляется к передаваемому сигналу для создания желаемого среднего значения SNR (signal-to-noise ratio) на активную поднесущую после демодуляции OFDM (Orthogonal Frequency-Division Multiplexing).

5. VHT-LTF (Very High Throughput Long Training) извлекается из принятой формы сигнала, VHT-LTF демодулируется OFDM и выполняется оценка канала.

6. Поле данных VHT извлекается из синхронизированной принятой формы сигнала.

7. Оценка шума выполняется с использованием пилотных данных демодулированного поля данных и оценки однопоточного канала на пилотных поднесущих.

8. Оцененный SNR для каждого пакета сравнивается с пороговым значением, сравнение используется для корректировки MCS (Modulation Coding Scheme) для следующего пакета.

9. PSDU восстанавливается с использованием извлеченного поля VHT-данных [4].

Результат моделирования алгоритма обработки пакетов представлен на рис. 1.

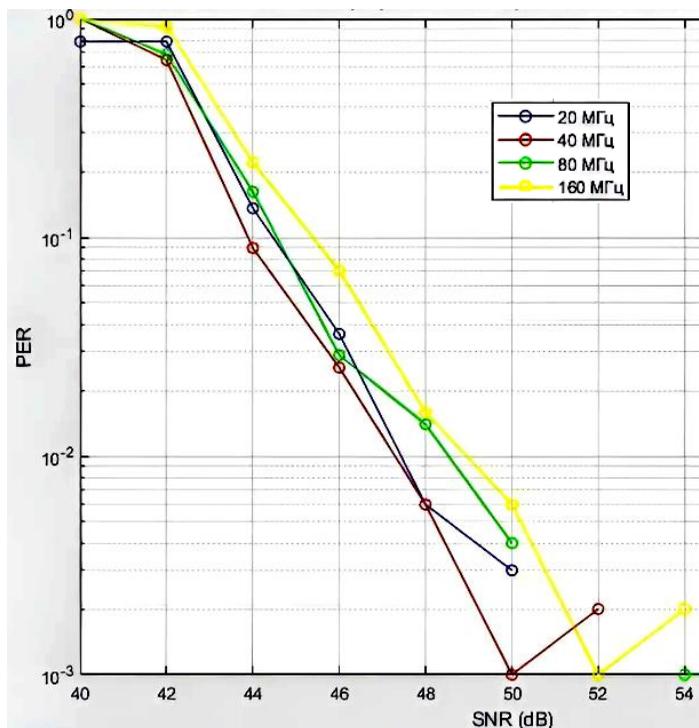


Рис. 1. Зависимости PER от отношения С/Ш при различной ширине канала с использованием стандарта 802.11ac

Анализируя рис. 1, можно сделать вывод, что при увеличении ширины канала увеличивается значение PER, следовательно, количество ошибок в пакете будет больше. Сравнивая значения PER при ширине канала, равной 20 и 160 МГц, видно преимущество первой ширины канала на 56%.

ЛИТЕРАТУРА

1. Стандарт IEEE 802.11 [Электронный ресурс]. – URL: https://en.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.11 (дата обращения: 01.03.2024).
2. Технологии современных беспроводных сетей Wi-Fi / А.В. Пролетарский и др. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2017. – 446 с.
3. Таблица индексов MCS [Электронный ресурс]: сайт MCS Index Table. – URL: <https://mcsindex.com/> (дата обращения: 25.02.2024).
4. Симуляция коэффициента ошибок для 8x8 канал TGac [Электронный ресурс]: сайт ЦИТМ Экспонента. – URL: <https://docs.exponenta.ru/wlan/ug/802-11ac-packet-error-rate-simulation-for-8x8-tgac-channel.html> (дата обращения: 19.02.2024).

ПОДСЕКЦИЯ 1.2

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ЭКСПЛУАТАЦИЯ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ

*Председатель – Озёркин Д.В., декан РКФ, к.т.н.
зам. председателя – Пономарев Д.Е., преп. каф. КИПР*

УДК 621.396.62

АНАЛИЗ ЗАВИСИМОСТИ ХАРАКТЕРИСТИКИ СИГНАЛ/ШУМ МШУ НА КРИСТАЛЛЕ И В SMD-КОРПУСЕ

И.В. Бобков, студент

*Научный руководитель Н.Н. Кривин, доцент, зав. каф. КИПР, к.т.н.
г. Томск, ТУСУР*

Представлены результаты моделирования малошумящего усилителя (МШУ) в двух конструктивных исполнениях. При конструктивном исполнении МШУ на кристалле отношение сигнал/шум равно 15,3 дБм, а при SMD – 12,2 дБм. Полученные результаты отражают сравнительно улучшенные характеристики сигнал/шум при разработке МШУ в конструктивном исполнении на кристалле.

Ключевые слова: усилитель, отношение сигнал/шум, кристалл, SMD, схема МШУ, сравнение характеристик.

Основная задача при проектировании МШУ заключается в оптимизации характеристик, таких как коэффициент усиления; энергопотребление; уровень шума; согласование на входе и выходе; линейность в пределах рабочего диапазона, массогабаритные показатели и выбор конструктивного исполнения.

При моделировании были рассмотрены два конструктивных исполнения: на кристалле и в SMD-корпусе. Исполнение на кристалле реализуется при помощи применения идеального устройства на МИС, а SMD-корпус – с реализацией схемы на рис. 1.

Схема МШУ представляет собой двухкаскадный усилитель [3, 4].

Схема на рис. 1 промоделирована в САПР Advanced Design System (ADS) [2] для определения точных параметров компонентов для анализа вклада в сигнал до усиления.

Параметр согласования S восстанавливает коэффициенты отражения на входе и выходе, стабильность, уровень шума и коэффициент усиления, полученные в результате S21. Кроме того, линейность и усиленный переходный сигнал иллюстрируются на рис. 2.

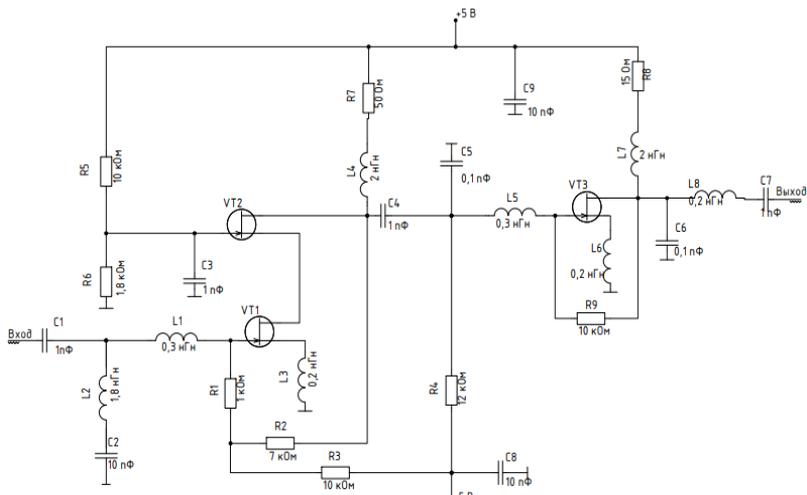


Рис. 1. Схема электрическая принципиальная МШУ

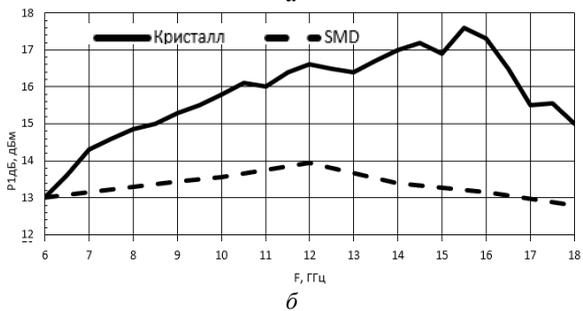
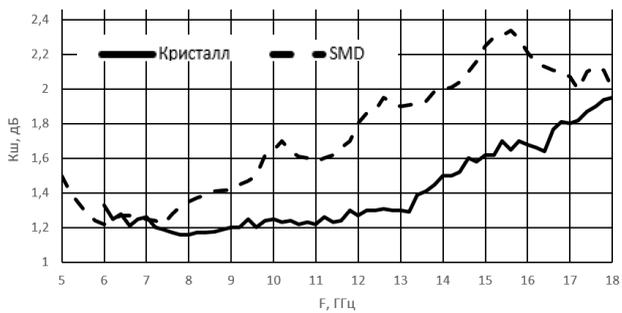


Рис. 2. Амплитудно-частотные характеристики в зависимости от исследуемых параметров; *a* – коэффициент шума; *б* – выходная мощность при компрессии коэффициента усиления на 1 дБ

Результаты моделирования. Было выполнено моделирование работы МШУ при лабораторных условиях без учёта внешних воздействий. В ходе моделирования на вход МШУ подавали гармонический сигнал мощностью 2 дБм и диапазоном частоты от 6 до 18 ГГц. При изменении частоты амплитуда сигнала оставалась постоянной.

Результатом анализа моделирования является отношение сигнал/шум. При максимальных значениях амплитуды выходной мощности при компрессии на 1 дБ для исполнения на кристалле и SMD-типа 17 и 14 дБм соответственно, получены значения коэффициента шума 1,7 и 1,8 дБ [1]. Данные значения были получены на разных частотах в диапазоне моделирования.

Температура шума при температуре устройства $T_0 = 290$ К для исполнения на кристалле

$$T_{\text{ш}} = T_0 \cdot (F - 1) = 203 \text{ К.}$$

Температура шума при температуре устройства $T_0 = 290$ К для SMD-исполнения

$$T_{\text{ш}} = 290 \text{ К.}$$

Мощность шума на частоте $B = 16$ ГГц для исполнения на кристалле

$$N = k \cdot T_{\text{ш}} \cdot B = 44,8 \text{ пВт.}$$

Мощность шума на частоте $B = 12$ ГГц для SMD-исполнения

$$N = 38,4 \text{ пВт.}$$

Отношение сигнал/шум S/N для исполнения на кристалле

$$S/N = P_{\text{ВЫХ}} - K_{\text{ш}} = 15,3 \text{ дБм.}$$

Отношение сигнал/шум S/N для SMD-исполнения

$$S/N = 12,2 \text{ дБм.}$$

В результате математического анализа двух исполнений делаем вывод, что тип исполнения SMD уступает по выходным характеристикам корпусному исполнению при равных заданных параметрах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Браун Т. Спутниковая связь, полезная нагрузка и система / Т. Браун, В. Браун. – 2-е изд. – Нью-Джерси, США: Джон Вилли и Сонс, 111 Ривер Стрит, Хобокен, 2021. – 143 с.

2. Котлинский С.В. Компьютерное моделирование радиоэлектронных средств на базе среды схемотехнического моделирования ADS: учеб. пособие / С.В. Котлинский, В.А. Павлов. – Тверь, 2020. – 160 с.

3. Кривин Н.Н. Введение в методологию системно- и схемотехнического проектирования электронных и радиоэлектронных средств: учеб. пособие. – Томск: ТУСУР, 2020. – 250 с.

4. Лаборатория радиолюбителя. Автомобильный антенный усилитель [Электронный ресурс]. – Режим доступа: radiolabs.ru/index.php?controller=post&action=view&id_post=285, свободный (дата обращения: 01.10.2023).

**ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ТЕПЛОТВОДА
ОТ ЭЛЕКТРОРАДИОИЗДЕЛИЙ В СИЛОВЫХ
ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯХ В КОСМИЧЕСКОЙ
БОРТОВОЙ РАДИОАППАРАТУРЕ**

С.Р. Хемий, студент каф. КИПР

*Научный руководитель А.А. Чернышев, доцент каф. КИПР, к.т.н.
г. Томск, ТУСУР, stanislav.hemiy@mail.ru*

Целью работы является улучшение теплоотвода от теплонагруженных электрорадиоэлементов в космической бортовой радиоаппаратуре. Подбираются материалы подложек для уменьшения температуры на электрорадиоэлементах.

Ключевые слова: теплопроводность, керамика, тепловой режим, изолирующая теплопроводящая подложка, алюминий, микродуговое окислирование.

Выбор необходимых тепловых режимов электрорадиоизделий (ЭРИ) является одной из наиболее важных задач в бортовой радиоаппаратуре космических аппаратов, так как правильно подобранный тепловой режим обеспечивает заявленную надежность и срок активного существования устройства.

В космосе теплообмен у ЭРИ реализован с помощью теплопроводности. Поэтому на предприятии АО «НПЦ «ПОЛЮС» теплонагруженные ЭРИ устанавливаются отдельно от платы на основании прибора через изолирующие теплопроводящие подложки из оксида алюминия марки ВК 100-1. Например, в источнике питания и синхронизации (ИПС) используются ЭРИ в корпусе КТ-95. При проведении испытаний первого образца прибора ИПС была установлена рабочая температура для основания прибора, равная 50 °С. Температура на элементах составила 85 °С, что свидетельствует о перегреве на 35 °С. Данный показатель является допустимым, но все же влияющим на температурный режим диода и рядом расположенных элементов.

В проектировании устройств для обеспечения тепловых режимов работы ЭРИ используются схемотехнические и конструктивные методы. После их анализа можно взяться за улучшение конструкции теплопроводящих подложек, а именно, за выбор более подходящего материала, чтобы улучшить теплоотвод от подобных теплонагруженных ЭРИ. В настоящее время существует огромное количество материалов с различными значениями теплопроводности. Материалы, которые по своим характеристикам так или иначе подходят для решения данной проблемы, внесены в таблицу [1–5].

Материалы и их характеристики

Характеристики	Материалы				
	Керамика			АД1 с	АМг2 с
	ВеО	Al ₂ O ₃	AlN	МДО	МДО
Теплопроводность, Вт/(м·К)	270	30	180	220	150
Плотность, г/см ³	2,8	3,7	3,3	2,7	2,7
Прочность на пробой, кВ/мм	25	15	15	60	60
Термостойкость, °С	2 000	220	220	280	280
Токсичность	+	–	–	–	–
Стоимость при толщине 1 мм, 1 руб./см ²	450	25	80	10	10

Из всех представленных материалов алюминий АД1 с покрытием из микродугового оксидирования (МДО) удовлетворяет по всем представленным параметрам и имеет меньшую стоимость при сравнении с используемой керамикой из Al₂O₃. Покрытие из МДО имеет слоистую структуру, благодаря которой его показатели прочности на пробой выше в 4 раза, чем у обычной керамики, а благодаря его толщине, равной 40–60 нм, тепловое сопротивление крайне мало и составляет приблизительно $166 \cdot 10^{-9}$ К/Вт.

На предприятии АО «НПЦ «ПОЛЮС» используются разные способы установки выводных (корпус ТО-220) и безвыводных ЭРИ (корпус КТ-95) на подложки из оксида алюминия:

- выводные: на основание клеится подложка, на которую клеится ЭРИ, при необходимости он дополнительно крепится винтом. После застывания клея выводы элемента распаивают или проводами, или напрямую к печатной плате, но в данном случае требуется предварительно сформовать выводы по шаблону/по месту;

- безвыводные: в подложку вжигаются проводниковые пасты, формируя контактные площадки на поверхности, к которым припаиваются ЭРИ одновременно с контактами (штампуются из ДПРНТ 0,3 НД ГОСТ 1173-2006), располагающимися между подложкой и ЭРИ. Получившаяся сборка приклеивается на основание. После застывания клея контакты распаивают к печатной плате.

В обоих вариантах используется клей-герметик Герсиласт 137-490 ТУ 2252-162-00209013-2016. Также после установки все доступные внутренние поверхности устройства покрываются лаком УР-231 ТУ 6-21-14-90, что способствует ещё более надёжной фиксации всей сборки.

При использовании токопроводящих паст с МДО-покрытием существует большая вероятность прожечь насквозь слой оксида алюминия на подложке, поэтому всё следует крепить только на клей-герметик.

Теоретические принципы использования подложек из АД1 с МДО:

1. Закупка ЭРИ, подложек с покрытием МДО, листового металла для изготовления пластин (для SMD) – лента ДПРНТ 0,3 НД ГОСТ 1173-2006.

2. Штамповка пластин, производство сборки: пайка паяльной пастой получившихся пластин к контактам ЭРИ (для SMD).

3. Обезжиривание всех приклеиваемых поверхностей. Одновременное склеивание клеем-герметиком Герсиласт 137-490 ТУ 2252-162-00209013-2016 ЭРИ/сборки к подложке, подложки к основанию. Нанесение необходимого количества клея по контуру. Выдержка в течение 24 ч для затвердевания клея.

4. Пайка выводов сборки к контактными площадкам печатной платы.

5. Обезжиривание поверхностей. Нанесение лака УР-231 ТУ 6-21-14-90. Выдержка для застывания лака.

Таким образом, в данной работе проведен анализ существующих материалов для подложек теплонагруженных ЭРИ, и обосновано применение нового – алюминия марки АД1 с покрытием МДО. Также разработаны теоретические принципы использования такого материала для увеличения эффективности теплоотвода.

ЛИТЕРАТУРА

1. АО «МАНЭЛ» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://manel.ru/>, свободный (дата обращения: 01.02.2024).

2. ООО «ВИНТЕХ» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://v-intech.ru/catalogue/laminates/>, свободный (дата обращения: 01.02.2024).

3. АЛЬФА-ТОРГ. Керамические подложки [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://alfa-t.org/kieramicheskie_podlozhki, свободный (дата обращения: 01.02.2024).

4. НПП Электрохимия. Статьи о гальванике. Оксидирование алюминия МДО [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://zctc.ru/sections/microdugovoye_oxidirovaniye_mdo_1, свободный (дата обращения: 01.02.2024).

5. Марочник сплавов и стали [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.splav-kharkov.com/choose_type_class.php?type_id=11, свободный (дата обращения: 01.02.2024).

УДК 539.262

ПРИМЕНЕНИЕ МИКРОПОЛОСКОВОГО ПОЗИЦИОННО-ЧУВСТВИТЕЛЬНОГО ДЕТЕКТОРА НА ОСНОВЕ СЕНСОРОВ ИЗ HR GaAs:Cr ДЛЯ РЕГИСТРАЦИИ ИЗМЕНЕНИЙ В МАТЕРИАЛАХ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИ СОЗДАНИИ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

В.В. Кривиенко, магистрант

Научный руководитель Н.Н. Кривин заф. каф. КИПР, к.т.н.

г. Томск, ТУСУР, vladislavkrivsenko@gmail.com

Обсуждается возможность использования микрополоскового позиционно-чувствительного детектора (ПЧД) на основе сенсоров из

HR GaAs:Cr для регистрации изменений в кристаллической структуре материалов, используемых при создании космических аппаратов (КА), под воздействием агрессивных сред в условиях, аналогичных космическим.

Ключевые слова: космическое пространство, космический аппарат (КА), рентгеноструктурный эксперимент, микрополосковый позиционно-чувствительный детектор (ПЧД).

В настоящее время выполнение космических программ и реализация перспективных проектов непосредственно зависят от надежности и срока службы КА. В условиях космического пространства, где КА подвергаются экстремальным воздействиям окружающей среды, надежность и стойкость материалов играют важную роль. В результате воздействия агрессивных сред космоса, таких как радиационное излучение, вакуум, космическая пыль, частицы и т.п., в материалах и элементах бортового оборудования КА протекают разнообразные физико-химические процессы, приводящие к ухудшению их характеристик [1].

Для обеспечения надежности и долговечности КА следует проводить изучение влияния космических сред на материалы и элементы их конструкции. Проведение *in situ* рентгеноструктурных экспериментов с использованием синхротронного излучения (СИ) и микрополоскового ПЧД позволяет наблюдать изменения в кристаллической структуре и фазовом составе материалов.

Характеристики источников СИ четвертого поколения в сочетании с современными микрополосковыми ПЧД рентгеновского излучения обеспечивают возможность получения информации о текущем состоянии исследуемого образца с частотой до нескольких измерений в секунду. Таким образом, становится возможным оценивать структурные изменения и анализировать скорость происходящих процессов образования и исчезновения дефектов внутренней структуры материалов в процессе их эксплуатации [2].

Применение. При проведении *in situ* рентгеноструктурных экспериментов можно одновременно подвергать образец воздействию агрессивных сред, схожих с космическими условиями, и наблюдать изменения его состояния в реальном времени. Это позволяет получать непрерывные данные о процессах и динамике, происходящих с материалом, включая изменения в структуре кристаллической решетки и фазовом составе под воздействием высоких температур, давления и других факторов, схожих с космическими.

Регистрация изменений во внутренней структуре материала в условиях агрессивных сред, схожих с космическими условиями, явля-

ется критической для разработки и оценки материалов, используемых в КА. Понимание этих изменений позволяет инженерам и ученым разрабатывать новые более устойчивые и надежные материалы, способные выдержать экстремальные условия окружающей среды космического пространства и обеспечивать успешное выполнение космических миссий.

Микрополосковый ПЧД на основе сенсоров из HR GaAs: Cr. Для большинства рентгеноструктурных экспериментов одним из основных звеньев, определяющим результат, является детектор рентгеновского излучения.

Функционирование микрополоскового ПЧД основано на обнаружении рентгеновских фотонов, воздействующих на образец материала. При попадании фотонов на сенсор детектора происходит эмиссия электронов, что создает электрический сигнал. Этот сигнал затем анализируется электроникой по времени его появления на различных полосках сенсора. Таким образом, определяется точное местоположение взаимодействия фотонов в пространстве, позволяя регистрировать изменения в кристаллической структуре образца.

Наиболее распространенными материалами сенсоров при конструировании ПЧД рентгеновского излучения с энергией квантов до 40 кэВ являются кремний (Si) и теллурид кадмия (CdTe). Однако эти материалы обладают некоторыми недостатками, что делает более актуальным применение сенсоров из арсенида галлия, компенсированного хромом (HR GaAs: Cr). У Si это резкое снижение эффективности регистрации излучения при энергиях квантов более чем 20 кэВ, а у CdTe существенная нелинейность зависимости темнового тока от площади сенсора и продолжительности работы из-за эффекта поляризации. Сенсор из HR GaAs:Cr превосходит эти материалы, имея при этом в ~ 4 раза лучшую чувствительность на энергии 25 кэВ по сравнению с Si и значительно лучшую стабильность значений темнового тока по сравнению с CdTe.

Микрополосковый ПЧД на основе сенсоров из HR GaAs: Cr позволяет более эффективно регистрировать изменения эксплуатационно-технических характеристик материалов, используемых при создании КА.

Заключение. Таким образом, применение метода *in situ* рентгеноструктурных экспериментов с использованием микрополоскового ПЧД на основе сенсоров из HR GaAs:Cr позволяет точно и эффективно определять структурные изменения материалов, используемых при создании КА. Понимание этих изменений позволит создать более устойчивые и надежные материалы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Новиков Л.С. Космическое материаловедение: учеб. пособие. – М.: Макс Пресс, 2014. – 448 с.
2. Эмурлаев К.И. Применение дифракции синхротронного рентгеновского излучения для анализа эволюции структуры углеродистых и легированных сталей в условиях сухого трения скольжения: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Новосибирск, 2022. – 19 с.

УДК 621.3.049.75

МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ ЧИП-ЭЛЕМЕНТОВ НА ПЕЧАТНЫХ ПЛАТАХ

А.А. Мазейна, студентка каф. КИПР

*Научный руководитель А.А. Чернышев, доцент каф. КИПР, к.т.н.
г. Томск, ТУСУР, lina.mazeina@mail.ru*

Рассматриваются причины усталостных повреждений элементов на печатных платах космической аппаратуры и методы снижения термомеханических напряжений в конструкциях. Даны рекомендации по выбору рациональных технических решений, повышающих надежность печатных узлов.

Ключевые слова: печатные платы, надежность, конструкция, чип-элементы, микротрещины, усталость, температурные коэффициенты линейного расширения.

В процессе эксплуатации бортовой космической аппаратуры (БКА) отмечаются повреждения чип-элементов, монтируемых без монтажных отверстий непосредственно на поверхность печатных плат (ПП). Как правило, эти повреждения связаны с процессами усталости материалов элементов и паяных соединений [1], обусловленной знакопеременными нагрузками:

- на участке выведения космического аппарата – из-за вибрации ракетных двигателей, вызывающей изгибные колебания ПП;
- при движении по околоземной орбите – из-за термоциклирования и возникающих при этом механических напряжений, обусловленных разницей температурных коэффициентов линейного расширения (ТКЛР) тела чип-элемента и материала ПП [2]. К аналогичному эффекту может приводить неравномерное распределение меди (проводящего рисунка) и других материалов по площади ПП, а также способ крепления печатного узла к несущей конструкции более высокого уровня.

Следствием описанных процессов является развитие в чип-элементах микротрещин с последующим выходом элементов из строя.

Целью работы является выбор рациональных конструктивных решений, обеспечивающих повышение надежности печатных узлов БКА.

Предлагаемые ниже варианты рассмотрим на примере наиболее распространенных керамических элементов. Как следует из проведенного выше анализа, ПП для их монтажа должны обеспечивать компенсацию механических деформаций в паяных соединениях и в корпусах элементов, вызванных как различиями ТКЛР, так и изгибными колебаниями ПП.

1. Выравнивание температурного коэффициента линейного расширения чип-элемента и печатной платы.

Безвыводные керамические корпуса, а равно бескорпусные керамические конденсаторы, например К10-17в, имеют ТКЛР порядка $(5-7) \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$. В то же время значения ТКЛР широко применяемых марок стеклотекстолитов (СТФ и подобные) превышают их в 2–3 раза и лежат в пределах $(13-16) \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$. В отечественной практике для выравнивания ТКЛР используют многослойные ПП с несколькими внутренними металлическими слоями из металла с малым ТКЛР, покрытого медью. При этом внутренний металлический слой (сердечник) ПП может иметь окна, обусловленные особенностями проводящего рисунка.

Материал сердечника ПП целесообразно выбирать из числа сплавов Fe-Ni, хорошо освоенных технологически в радиоэлектронном производстве.

Состав и свойства Fe-Ni сплавов

Названия сплавов	Марка сплава	Массовая доля элементов, %			Тепловые свойства	
		Ni	Co	Cu	Интервал температур	α , $10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$
Инвар	36Н	35–37	–	–	20–80	1,5
Ковар	29НК	28,5–29,5	17–18	–	20–400	4,5–5,2
Платинит	47НД	46–48	–	4,5–5,5	20–400	9,2–10

Как следует из таблицы, из всех сплавов Fe-Ni, удовлетворяющих условию с коэффициентом линейного расширения порядка $1 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$, наибольший интерес представляет инвар. При прочих равных условиях этот сплав обеспечивает минимальную массу будущей ПП.

Предлагаются два варианта конструкций ПП с использованием этого материала. В первом случае металлический сердечник медь-инвар-медь располагается с одной стороны ПП и отделяется от нее слоем изоляции. Во втором случае композиционный материал непосредственно встраивается в конструкцию многослойной ПП и используется для слоев питания и заземления, находящихся внутри слоистой структуры.

2. Уменьшение габаритов контактных площадок чип-элементов.

Сложные компоненты, которые имеют жесткие и значительные по размеру контактные площадки, могут использоваться только на керамических ПП или ПП, согласованных по ТКЛР. Уменьшение ширины контактных площадок позволяет снять эти ограничения [4].

3. Пайка чип-элементов с помощью дополнительных гибких выводов. В качестве таких выводов может использоваться, в частности, профилированная серебряная проволока. При данном типе монтажа элементы фиксируются на ПП с помощью эластичных клеевых составов. Элементы с эластичными выводами позволяют выдержать прогиб печатной платы, что поможет предотвратить появление микротрещин.

4. Уменьшение размеров ПП или разделение большого печатного узла на отдельные функциональные группы элементов («депанелизация») путем местных разрезов платы. ПП приобретает вид плитки шоколада, отдельные дольки которой практически не подвержены изгибу. Данный метод способен уменьшить величину прогибов ПП под чип-элементами, если такую возможность дает сложность проводящего рисунка.

В заключение отметим, что все предложенные методы повышения эксплуатационной надежности печатных узлов с чип-элементами требуют дополнительных технических и экономических затрат. Поэтому их применение должно сопровождаться выявлением наиболее опасного воздействия (например, вибрация или термоциклирование) и выбором в конкретных условиях наименее затратного варианта.

В частности, для ПП ответственного применения в наиболее жестких условиях может быть рекомендован вариант с внешним сердечником из материала медь-инвар-медь. Такой сердечник позволяет снабдить его штампованными или дополнительными ребрами жесткости, обеспечивая дополнительный эффект «депанелизации».

ЛИТЕРАТУРА

1. Механические свойства металлов и сплавов. – М.: Мир, 1968. – 484 с.
2. Технология изготовления печатных плат: учеб. пособие. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2015. – 200 с.
3. Электрорадиоэлементы и устройства функциональной электроники: учеб. пособие. – Минск: РИПО, 2020. – 323 с.
4. Технологические процессы в производстве печатных плат. – М.: Техносфера, 2006. – 360 с.

МЕТОД ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЦЕЛОСТНОСТИ ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ ЦИФРОВЫХ СИГНАЛОВ НА ПЕЧАТНОЙ ПЛАТЕ ПРИ ПРОХОЖДЕНИИ ИХ ЧЕРЕЗ СКВОЗНЫЕ ПЕРЕХОДНЫЕ ОТВЕРСТИЯ

Р.Б. Михо, студент каф. КИПР

*Научный руководитель А.А. Чернышёв, доцент каф. КИПР, к.т.н.
г. Томск, ТУСУР, roman.b.mikho@tusur.ru*

Проектирование высокоскоростных устройств сопровождается высокой плотностью размещения печатных проводников и применением переходных отверстий для соединения. Переходные отверстия (ПО) являются неоднородностью в линии передачи и ухудшают качество передаваемого сигнала. В статье рассмотрены причины нарушения целостности высокоскоростных цифровых сигналов при прохождении их через переходные отверстия, представлены методы уменьшения влияния паразитных параметров переходного отверстия путём согласования волнового сопротивления линии передачи с волновым сопротивлением переходного отверстия.

Ключевые слова: цифровой сигнал, печатная плата, волновое сопротивление, неоднородность.

Сквозное ПО – это отверстие в печатной плате, соединяющее электрорадиоэлементы на разных слоях. Структура сквозного ПО представлена на рис. 1.

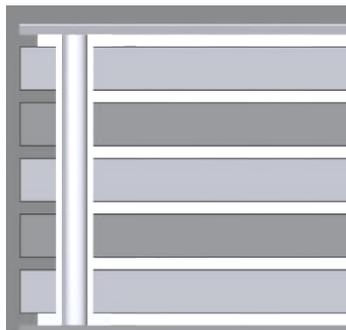


Рис. 1. Структура сквозного переходного отверстия

Поскольку ПО является отрезком линии передачи (ЛП), то, соответственно, имеет три паразитные составляющие – паразитная ёмкость, паразитная индуктивность и паразитное сопротивление. Паразитное сопротивление возникает из-за внутренней металлизации ПО, выполняющей роль проводника и являющейся резистором с распределён-

ным сопротивлением вдоль всего металлизированного участка ПО. Паразитную ёмкость составляют контактные площадки (КП), расположенные на соседних слоях, например на первом и втором слое, а также антипад КП – сумма диаметра КП и двойного гальванического зазора, расположенный на соседнем слое. Возникновение индуктивной составляющей связано с тем, что ПО является печатным аналогом проводного кабеля со своим сопротивлением. При возникновении паразитной ёмкостной и индуктивной составляющей, у ПО формируется собственное волновое сопротивление, зависящее от материала платы и геометрических параметров ПО.

Основываясь на [1], сведём в табл. 1 основные параметры ПО, влияющие на индуктивную и ёмкостную составляющие.

Таблица 1

Основные параметры ПО

Параметр ПО	Манипуляция с параметром	Характер изменения	
		Ёмкостная/ Индуктивная составляющие	Волновое сопротивление
Диаметр ПО	Уменьшение	Не изменяется/увеличивается	Увеличивается
Диаметр КП	Увеличение	Увеличивается/не изменяется	Уменьшается
Антипад КП	Увеличение	Уменьшается/не изменяется	Увеличивается
Высота ПО	Увеличение	Увеличивается/увеличивается	Увеличивается
Диэлектриче-ская проникаемость	Уменьшение	Уменьшается/не изменяется	Увеличивается

На основе полученных результатов, необходимо разработать такое ПО, которое позволит его использовать в многослойных печатных платах для прокладки высокоскоростных ЛП данных без существенного искажения сигнала. В табл. 2 представлены несколько современных интерфейсов для передачи данных и требования к конструкции ЛП.

Таблица 2

Характеристики современных интерфейсов передачи данных

Интерфейс передачи данных	Тип ЛП	Требуемое волновое сопротивление линии, Ом
USB 2.0	Дифференциальная линия	90±10%
LVDS	Дифференциальная линия	100±10%
DDR4 (линии данных)	Однопроводная линия	50±10%

На основе данных из табл. 2 спроектируем ПО для удовлетворения требования к волновому сопротивлению ЛП. Геометрические параметры были рассчитаны в системе автоматизированных расчётов

Saturn PCB для печатной платы толщиной 1,6 мм со средним значением диэлектрической проницаемости материала $\epsilon = 4,2$.

Таблица 3

Геометрические параметры ПО

Интерфейс	Геометрические параметры				Полученное волновое сопротивление линии, Ом
	Диаметр ПО, мм	Диаметр КП, мм	Антипад КП, мм	Расстояние между ПО, мм	
USB 2.0	0,2	0,4	0,6	1,3	93
LVDS	0,2	0,4	0,65	1,5	99,8
DDR4	0,2	0,45	0,75	–	50,5

Заключение. Разработанные ПО полностью совместимы с технологическими возможностями отечественных производителей печатных плат и соответствуют 5-му классу точности [2]. Высокий класс точности обусловлен размером гарантийного пояса контактной площадки ПО, которая напрямую влияет на параметры высокоскоростного цифрового сигнала.

ЛИТЕРАТУРА

1. Johnson H. High-Speed Signal Propagation: Advanced Black Magic / H. Johnson, M. Graham. – USA: Upper Saddle River, 2003. – 749 p.

2. ГОСТ Р 53429–2009. Платы печатные. Основные параметры конструкции. – М.: Стандартинформ, 2009. – 11 с.

УДК 004.94

**МЕТОДИКА СОЗДАНИЯ 3D-МОДЕЛЕЙ
ДЛЯ КОМПЬЮТЕРНОГО СИМУЛЯТОРА РАБОТЫ
ИНЖЕНЕРА СЛУЖБЫ ЭКСПЛУАТАЦИИ
РАДИОТЕХНИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ И СВЯЗИ**

М.А. Коржов, студент каф. КИПР

Научный руководитель Н.Н. Кривин, доцент каф. КИПР

Проект ГПО КИПР-2301. Промышленный дизайн радиоэлектронной аппаратуры на игровом движке Unreal Engine 5

г. Томск, ТУСУР, bdsfdzxc@mail.ru

Представлена методика создания 3D-моделей, освоенная в ходе работы над проектом кафедры КИПР «Промышленная радиоэлектронная аппаратура на игровом движке Unreal Engine 5».

Ключевые слова: Marmoset Toolbag, Substance Painter, трисы, квады.

В ходе данного проекта перед его участниками, ответственными за 3D-графику, была поставлена задача изготовить 3D-модели, которые соответствовали бы всем стандартам производства игровых моде-

лей. Общей же задачей проекта является работа над компьютерным симулятором работы инженера службы эксплуатации радиотехнического оборудования и связи (ЭРТОС) центров организации воздушного движения (ОВД).

В ходе работы над моделями, предназначенными для использования в нашем проекте, мы используем три программы.

А именно:

1. Blender3D – для создания базовой геометрии 3D-объекта. Эта программа обладает впечатляющими возможностями для работы с 3D-графикой. Это ПО используется нами для создания базовой геометрии 3D-объекта [1, 5, 6].

2. Marmoset Toolbag – для переноса геометрии и оптимизации ресурсов. Эта программа специализирована для так называемого «запекания» карт модели. Запекание – перенос информации с одной модели на другую, что позволяет оптимизировать используемые системой ресурсы [4].

3. Substance Painter – для детальной проработки текстур. Эта программа предназначена для детальной проработки текстур. Substance Painter является мощным инструментом в руках опытного художника и обладает инструментами, у которых нет аналогов.

В ходе работы над моделями для компьютерного симулятора инженера службы ЭРТОС возникали проблемы. Они связаны с тем, что для работы над моделью требуется каждый раз переносить информацию о ней в разные программы. Из-за этого возникают проблемы с экспортом и совместимостью файлов.

Правила при создании и экспорте модели из 3D-пакета Blender3D заключаются в следующем.

При построении базовой геометрии объекта необходимо учитывать тот факт, что все игровые движки и в том числе Unreal Engine 5 работают с так называемыми трисами. Трисы – это треугольники, на которые разделена вся геометрия 3D-объекта. Но так как в 3D-пакетах работа происходит не с трисами, а с квадрами, т.е. квадратами (квад – это два соединенных вместе триса), то могут возникать проблемы при экспорте модели в движок [3]. Из-за того, что движок автоматически триангулирует модель, т.е. разделяет все квады на два триса, могут возникать визуальные ошибки просчета геометрии либо же ошибки визуализации при работе с цветом. Делая вывод из вышесказанного, можно заключить, что при работе с 3D-объектами нужно учитывать каждый следующий этап проработки модели.

Для работы с моделью требуется ее высокополигональная и низкополигональная версия [2].

Следующей и одной из главных особенностей работы с моделями является подбор «референсов» – изображений объекта, если таковые имеются, или же получение технического задания. Работа 3D-художника напрямую зависит от правильно подобранных референсов и правильного понимания технического задания. Нужно уметь правильно воплотить в жизнь те задумки, которые возникают в ходе работы над моделью. Это очень важно для всех видов деятельности, будь то разработка симулятора инженера службы ЭРТОС либо проектирование нового оборудования, разрабатываемого с нуля [1].

Таким образом, методика создания 3D-моделей для компьютерного симулятора работы инженера службы ЭРТОС может быть представлена в виде алгоритма, представленного на рис. 1.

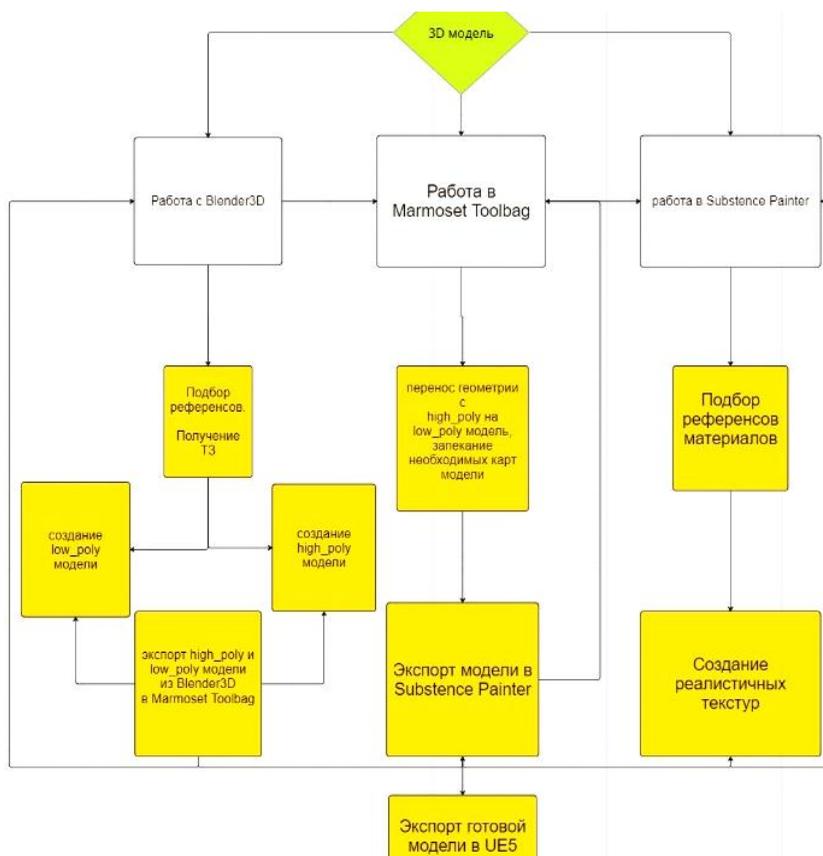


Рис. 1. Методика создания 3D-моделей для компьютерного симулятора работы инженера службы ЭРТОС

Подводя итог вышесказанному, можно утверждать, что производство 3D-модели – это очень ресурсозатратный процесс. Он требует немалой практической и теоретической подготовки, т.к. без должных знаний то и дело будут возникать проблемы на каждом этапе разработки 3D-модели и вы не сможете использовать весь тот потенциал программ, который в них заложен.

ЛИТЕРАТУРА

1. Blender 4.0 Reference Manual [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://docs.blender.org/manual/en/latest/>, свободный (дата обращения: 14.03.2024).
2. Статья 3/7 про сетку. Lowpoly, Highpoly и вертекс нормали [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://dtf.ru/gamedev/73251-statya-3-7-pro-setku-lowpoly-highpoly-i-vertexs-normali>, свободный (дата обращения: 5.03.2024).
3. Почему графика состоит из треугольников? Разбор [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://dzen.ru/a/YyT75xbL6TPkkKSF>, свободный, (дата обращения: 25.02 2024).
4. Трёхмерная графика / Википедия [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Трёхмерная_графика, свободный (дата обращения: 8.03.2024).
5. 3D-моделирование / Википедия [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://en.wikipedia.org/wiki/3D_modeling , свободный (дата обращения: 20.02.2024).
6. Subdivision Surface Modifier – Blender [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://docs.blender.org/manual/en/latest/modeling/modifiers/generate/subdivision_surface.html, свободный (дата обращения: 3.03.2024).

УДК 621.372

ВЛИЯНИЕ ВЕЛИЧИНЫ ЗАЗОРА МЕЖДУ ЦЕНТРАЛЬНЫМ ПРОВОДНИКОМ СВЧ-ПЕРЕХОДА И МИКРОПОЛОСКОВОЙ ЛИНИЕЙ НА ПЕЧАТНОЙ ПЛАТЕ НА КСВ

В.С. Стульников, Д.С. Мартюшев,

С.А. Подлиннов, студенты каф. СВЧиКР

*Научный руководитель А.О. Семкин, доцент каф. СВЧиКР, к.ф.-м.н.
г. Томск, TVСУР, Stulnikovvitalya@gmail.com*

Проведены анализ и экспериментальные исследования влияния зазора между центральным проводником СВЧ-перехода и микрополосковой линии на печатной плате, при его запаивании СВЧ-перехода, на параметр КСВ. Приведены практические рекомендации по выполнению монтажа СВЧ-переходов на печатные платы.

Ключевые слова: печатная плата, согласование, КСВ, СВЧ-переход.

Одним из этапов производства СВЧ-модулей является их настройка. При настройке модуля проверяются корректная работа элементов тракта, потери, а также согласование всего тракта. Для обеспечения наилучшего значения коэффициента стоячей волны (КСВ) требуется согласовать переход с коаксиального тракта на микрополосковую линию печатной платы. Производители СВЧ-переходов, как правило, предоставляют информацию о том, как должен устанавливаться переход для обеспечения наилучшего значения КСВ что должно учитываться на этапе разработки и моделирования.

При производстве отдельных частей СВЧ-модулей нередко возникают ситуации с отличием изготовленного продукта от модели. Например, при производстве корпусов их габаритные размеры могут отличаться из-за технологических особенностей производства.

В исследуемом СВЧ-модуле было выявлено, что после изготовления корпуса зазор между микрополосковой линией печатной платы и центральным проводником перехода составил более 200 мкм, при этом, согласно документации от производителя перехода, центральный проводник должен вплотную прилегать к контактной площадке при припайивании для обеспечения наилучшего значения КСВ. Расположение центрального проводника при моделировании и при производстве представлено на рис. 1.

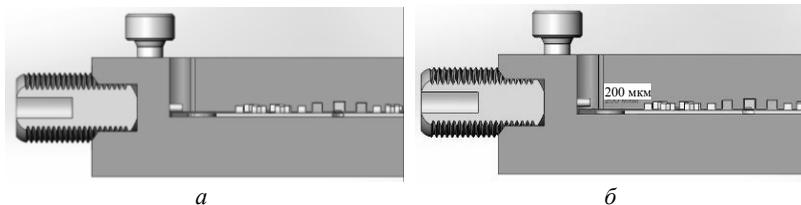


Рис. 1. Положение центрального проводника: при моделировании (*a*), при производстве (*б*)

Далее рассматривается влияние зазора между центральным проводником перехода и микрополосковой линией на печатной плате на параметр КСВ при припайивании.

Для проверки параметров используется печатная плата с микрополосковой линией, помещенная в корпус, представленная на рис. 2.

Зазор между центральным проводником перехода и платой составляет 200 мкм, подъем печатной платы для устранения зазора производится путем подкладывания фольги общей толщиной 200 мкм под плату, так чтобы центральный проводник вплотную соприкасался с платой. Исследование проводилось с зазором и без него в диапазоне частот от 10 МГц до 38 ГГц. Метод измерения представлен в [1].

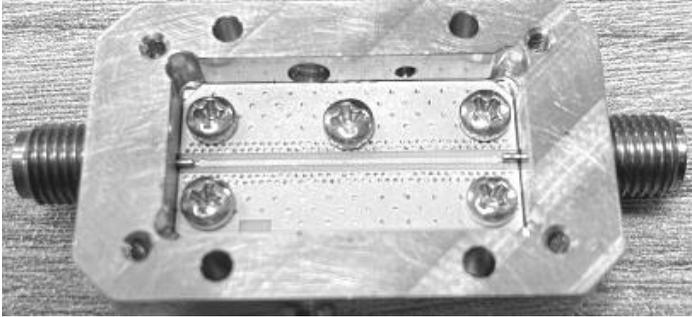
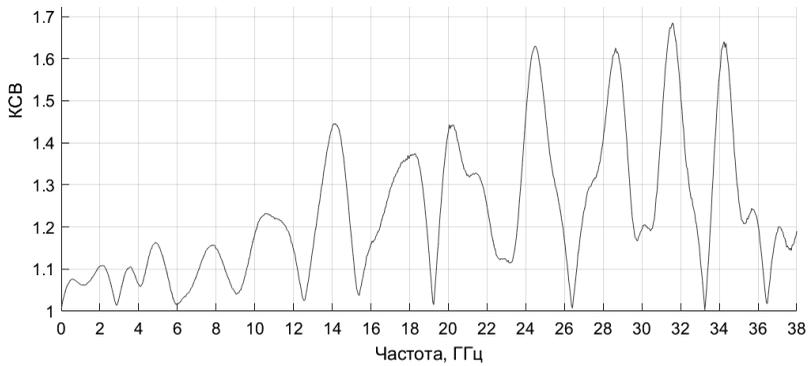
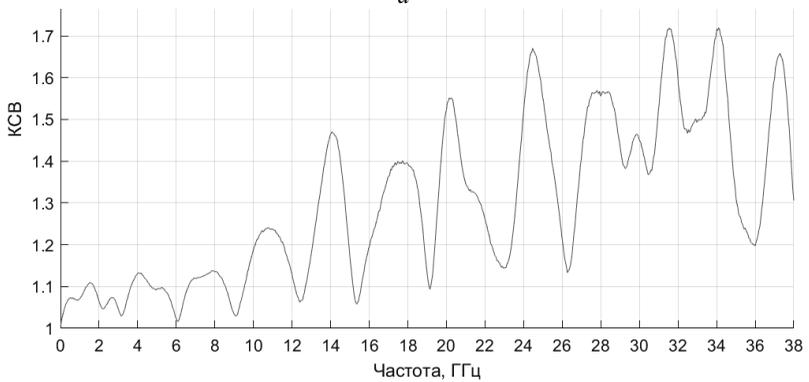


Рис. 2. Исследуемый модуль

Результаты измерения КСВ при зазоре 200 мкм представлены на рис. 3.



a



б

Рис. 3. Значение КСВ при зазоре 200 мкм в полосе частот от 10 МГц до 38 ГГц: *a* – первого порта; *б* – второго порта

Результаты измерения КСВН без зазора представлены на рис. 4.

По полученным данным видно, что при отсутствии зазора при припайвании центрального проводника перехода к контактной площадке значение КСВ существенно лучше, чем с зазором, так как при наличии зазора появляется паразитная емкостная составляющая, изменяющая волновое сопротивление линии, что приводит к ухудшению коэффициента обратных потерь.

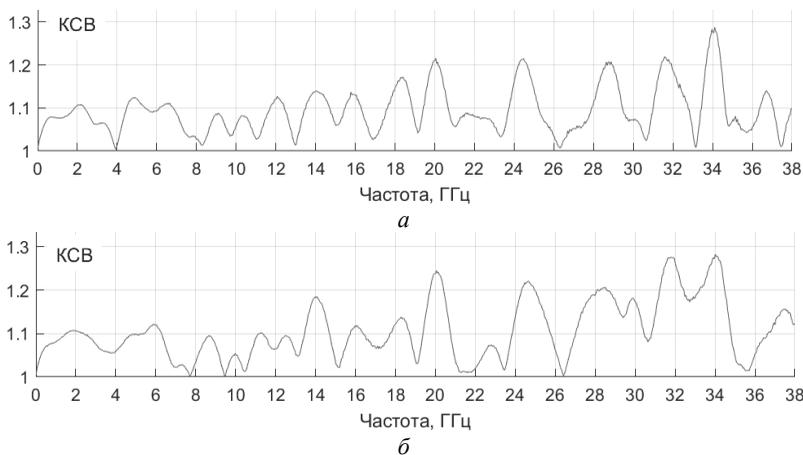


Рис. 4. Значение КСВ без зазора в полосе частот от 10 МГц до 38 ГГц:
а – первого порта ; *б* – второго порта

Для обеспечения хорошего значения КСВ СВЧ-модулей требуется соблюдать рекомендации производителей СВЧ-элементов при трассировке и монтаже печатных плат. Печатная плата должна быть зафиксирована и плотно прилегать к корпусу СВЧ-модуля, а также требуется избегать наличия зазоров между центральным проводником СВЧ-перехода и контактной площадкой печатной платы. При монтаже печатной платы флюс не должен затекать под элементы и переходы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Данилин А.А. Измерение в технике СВЧ: учеб. пособие для вузов. – М.: Радиотехника, 2008. – 184 с.

ПОДСЕКЦИЯ 1.3

РАДИОТЕХНИКА

Председатель – Семенов Э.В., проф. каф. РСС, д.т.н.;
зам. председателя – Артищев С.А., доцент каф. КУДР, к.т.н.

УДК 621.376.4

РЕАЛИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ СВЯЗИ С 8-PSK-МОДУЛЯЦИЕЙ В GNU RADIO

Г.А. Таразанов, Д.В. Ленкова, Н.Н. Раульев, студенты каф. РСС
Научный руководитель А.А. Трубачев, проф. каф. РСС, д.ф.-м.н.
г. Томск, ТУСУР, mr.tarazano@mail.ru

Построена модель системы связи с фазовой модуляцией PSK-8, с блоком, выполняющим суммирование выходных сигналов, написанным на языке программирования Python для GNU Radio.

Ключевые слова: фазовая модуляция, суммирование выходных сигналов, PSK-8, GNU Radio, Python.

GNU Radio предлагает бесплатный комплект инструментов для создания ПО с открытым исходным кодом. Этот набор предоставляет блоки для обработки сигналов и позволяет создавать программные радиостанции. В данной работе моделировалась система связи с 8-PSK-модуляцией и проектировался блок с помощью встроенных библиотек GNU Radio. Это дает возможности самим писать блоки для дальнейшего удобства в проектировании систем связи.

В ходе проектирования системы связи возникла потребность суммировать выходные сигналы, после анализа имеющихся блоков библиотеки GNU было принято решение написать свой блок. Для этой задачи было необходимо изучить библиотеку элементов GNU Radio. Подобные математические операции выполняют всего 2 блока, такие как Add и Add Const. Первый работает по принципу теоремы Котельникова, разбивает имеющийся сигнал на отсчеты и производит операцию сложения, его мы не можем использовать. Второй же блок имеет всего один вход, что по определению нам не подходит, так как мы имеем два сигнала [2].

Для написания блока в программной среде GNU Radio был взят простой сумматор в лице блока Add, который, в свою очередь, работает с сигналом, преобразованным в битовую последовательность, тогда

как блок, разработанный для данной схемы, помечает выходные биты и выделяет их в выходном потоке битовой последовательности. Также блок берет входные параметры со схемы и производит операцию суммирования [3].

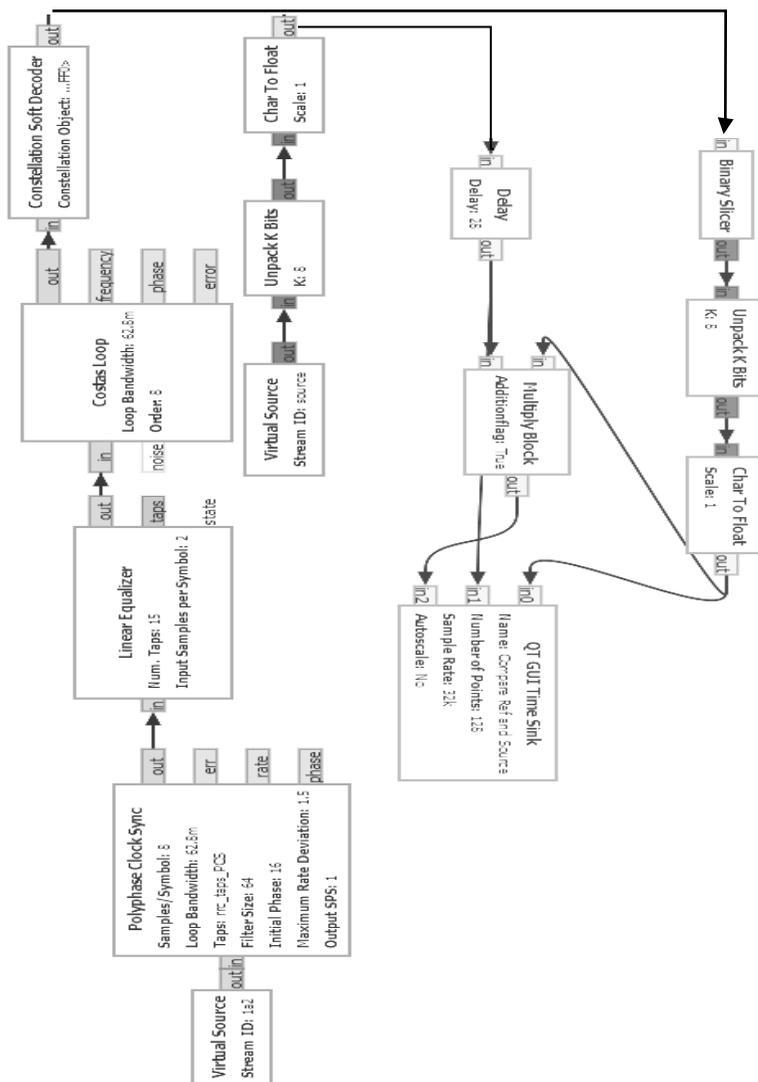


Рис. 1. Модель приемной части системы связи с использованием блока суммирования, написанного на языке программирования Python

На рис. 2 показаны выходные последовательности битов без применения блока суммирования, выходной поток данных различим, но после применения блока, написанного на языке программирования Python.

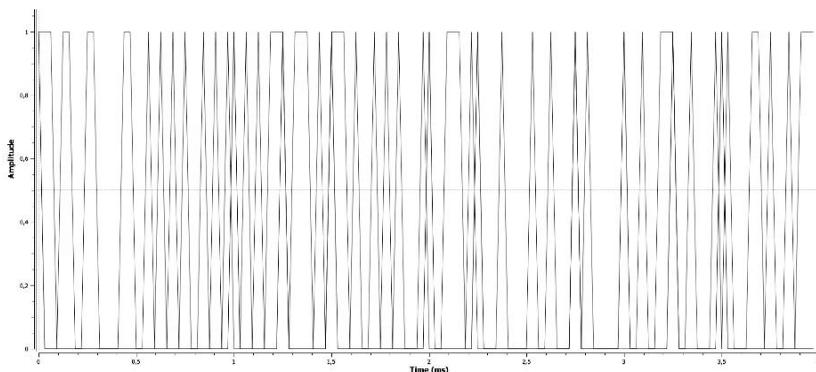


Рис. 2. Выходная последовательность сигналов без использования блока суммирования

Результаты проектирования блока суммирования выходной последовательности для схемы с 8-PSK-модуляцией показаны на рис. 3. Для того чтобы выходная последовательность показала корректную работу Multiply Block, он же блок суммирования, было принято решение установить задержку по времени.

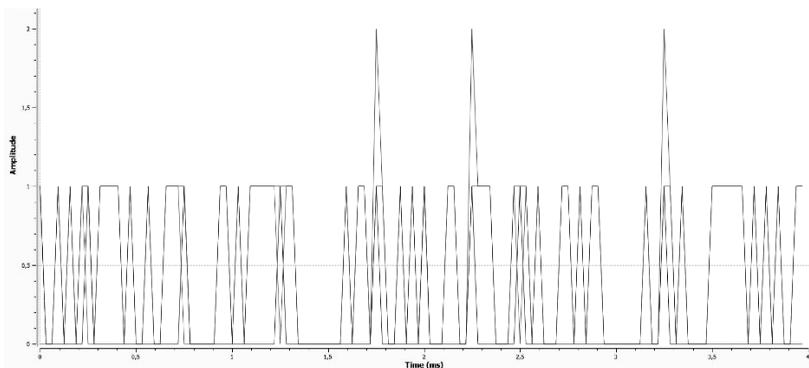


Рис. 3. Результат работы блока суммирования на выходе схемы с двумя выходными сигналами с использованием задержки по времени

Заключение. Таким образом, с помощью программирования на Python можно создавать блоки под любые задачи в GNU Radio. В ходе проектирования системы связи с 8-PSK-модуляцией был создан блок

суммирования, рассмотренный в данной статье метод, является не последним для реализации в системах связи, ограниченность функционала базовых библиотек элементов является слабым местом, всех открытых проектов, но в руках инженеров, имеется возможность создать любой блок для дальнейшего использования в проектировании любого рода систем.

ЛИТЕРАТУРА

1. GNU Radio Main Page [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://wiki.gnuradio.org/index.php/Main_Page (дата обращения: 19.02.2024).

2. Проектирование блока на Python [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://play.fallows.ca/wp/radio/software-defined-radio/gnuradio-embedded-python-block/> (дата обращения: 15.02.2024)

3. Скляр Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение. – 2-е изд. испр.: пер. с англ. – М.: ИД «Вильямс», 2017. – 1106 с.

УДК 621.3.029.55, 004.942

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ 3D-МОДЕЛИ КОПЛАНАРНОЙ ЛИНИИ

А.А. Охотина, студентка каф. радиоэлектроники

*Научный руководитель О.А. Доценко, доцент каф. радиоэлектроники
НИ ТГУ, к.ф.м.н.*

г. Томск, НИ ТГУ, anne.ohotina@yandex.ru

Работа посвящена исследованию влияния геометрических размеров, конструкции и материалов подложки на S-параметры копланарной линии. Моделирование проводилось в программе CST Microwave Studio.

Ключевые слова: копланарная линия, S-параметры, диэлектрик, ферромагнитный материал, аддитивные технологии.

В последнее время быстро развивается направление аддитивной электроники [1]. Появляется возможность изготовления персонализированного изделия любой геометрической сложности со сниженным временем на разработку. Поиск новых возможностей создания систем позволяет дополнить информацию о возможных способах построения СВЧ-элементов. Использование копланарной линии (КПЛ) повышает гибкость конструирования, упрощает исполнение при реализации некоторых функциональных устройств, а также имеет ряд других преимуществ. На основе КПЛ можно изготовить разнообразные СВЧ-устройства, в том числе невзаимные, изменяя ее конструкцию. Например, в работе [2] рассматривается фазовращатель, конструкция

которого включает в себя пластинки из магнитного материала, расположенные в зазорах КПЛ.

Цель работы – моделирование прототипа копланарной линии с учетом её дальнейшего изготовления с использованием промышленно выпускаемых материалов для 3D-печати.

На рис. 1 показан вариант модели разрабатываемого изделия для оценки и выбора наилучшего технического решения [3], разработанный в программе трехмерного моделирования электромагнитного поля CST Studio Suite. Характеристики линии приведены на рисунке.

На рис. 2 представлены частотные зависимости S -параметров данной модели КПЛ. Из рис. 2 видно, что резонансная частота разработанной модели КПЛ равна примерно 18 ГГц. На эквидистантном расстоянии от частоты резонанса наблюдаются частоты, кратные резонансной: 39 и 60 ГГц.

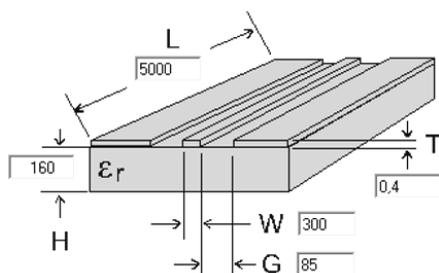


Рис. 1. Модель копланарной линии: подложка – кварц ($\epsilon = 3,75$, $\text{tg}\delta_\epsilon = 0,0004$, $d = 2200 \text{ кг/м}^3$); проводящая линия земли – золото ($\rho = 0,023 \text{ Ом}\cdot\text{м}$, $d = 19320 \text{ кг/м}^3$). Размеры на рисунке КПЛ записаны в мкм

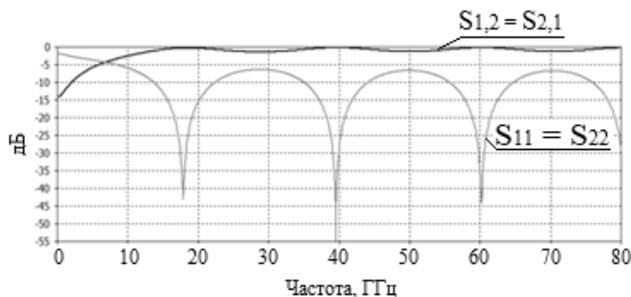


Рис. 2. S -параметры КПЛ в частотной области 0–80 ГГц

Также было исследовано влияние наличия ферромагнитного материала, расположенного в зазоре между проводящей линией и землей. В качестве ферромагнитного материала использовался оксид железа с характеристиками: ($\epsilon = 5$, $\mu = 3$, $\text{tg}(\delta) = 0,75$, $d = 5300 \text{ кг/м}^3$). Его ширина варьировалась в диапазоне 20–80 мкм с шагом 20 мкм.

На рис. 3 приведены результаты моделирования описанной выше конструкции КПЛ. Для более наглядного представления изменения формы S -параметров показан диапазон от 10 до 20 ГГц.

Видно, что увеличение ширины ферромагнитных полос, находящихся в зазоре КПЛ, от 0,01 до 0,04 мкм приводит к сдвигу влево минимумов S -параметров до 1 ГГц. При этом чем шире ферромагнитная полоса, тем больше будет набег фазы по длине КПЛ.

Замена материала диэлектрической подложки на ABS-пластик с характеристиками $\epsilon = 3$, $\text{tg}(\delta) = 0,015$, $d = 1\,040 \text{ кг/м}^3$ привела к изменению S -параметров КПЛ, выраженному в сдвиге минимумов, что указывает на изменение ее электрической длины.

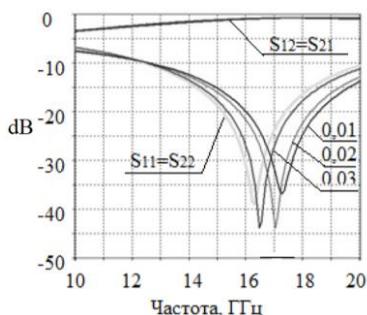


Рис. 3. S -параметры КПЛ с подложкой из кварца и зазором, заполненным ферромагнитным материалом

Моделирование также показало, что увеличение ширины полоски из ферромагнитного материала, находящейся в зазоре копланарной линии, приводит к сдвигу резонансов влево и уменьшению их глубины, что позволяет изготовить на основе такой линии фазовращатель.

Таким образом, в работе показано, что варьирование конструктивными характеристиками КПЛ без изменения ее геометрических размеров позволяет получить устройства с разными электромагнитными характеристиками.

ЛИТЕРАТУРА

1. Карнута Д. Применение аддитивных технологий на современном этапе развития машиностроения // Оборонный комплекс – научно-техническому прогрессу России. – 2020. – № 2 (146). – С. 13–19.
2. Wen C.P. Coplanar waveguide: a surface strip transmission line suitable for nonreciprocal gyromagnetic device applications // G-MTT International Microwave Symposiu. – Dallas, TX, USA, 1969. – P. 110–115.
3. Пассивные элементы МИС СВЧ. Линии передачи СВЧ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://studref.com/htm/img/33/9067/1094.png>, свободный (дата обращения: 15.11.2023).

РЕАЛИЗАЦИЯ МОДЕЛИ СИСТЕМЫ ПРИЕМНОЙ ЧАСТИ СИГНАЛА НА БАЗЕ QPSK-МОДУЛЯЦИИ В GNU RADIO

Н.Н. Раульев, Г.А. Таразанов, Д.В. Ленкова, студенты каф. РСС

Научный руководитель А.А. Трубачев, доцент каф. РСС, к.т.н.

г. Томск, ТУСУР, nurik555nurik@gmail.com

Представлена модель системы приемной части, которая использовалась в модели системы связи с передающей частью и каналом связи на базе QPSK-модуляции и GNU Radio.

Ключевые слова: цифровая связь, QPSK-модуляция, GNU Radio, прием сигнала.

Для закрепления теоретических знаний о цифровых системах связи и отработки на практике навыков моделирования систем связи отлично подходит программный инструментальный GNU Radio.

GNU Radio – это бесплатный набор инструментов, который предоставляет блоки обработки сигналов для создания и тестирования систем связи [1].

Основой для данной статьи послужила работа по созданию модели системы связи с модуляцией QPSK, которая состоит из передающей части, канала связи и приемной части, разобранный в этой статье. На рис. 1 представлены блоки приемной части в первоначальном виде без настройки.

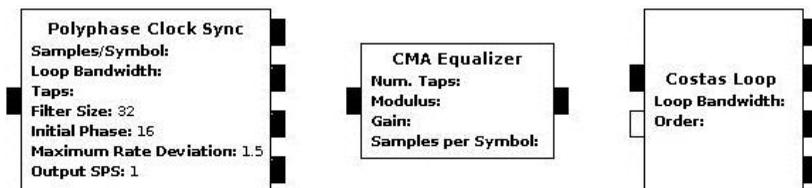


Рис. 1. Блоки приемной части сигнала без настройки

Система приемной части начинается с блока Polyphase Clock Sync – это блок синхронизации по времени, основанный на банке многофазных фильтров. Он обеспечивает восстановление тактовой частоты, устраняет межсимвольную интерференцию с помощью применения согласованной фильтрации, уменьшает количество выборок на символ [2]. Результат работы блока Polyphase Clock Sync представлен на рис. 2.

Далее сигнал поступает на блок CMA (Constant Modulus Algorithm) Equalizer. Это слепой эквалайзер, который работает только с сигналами постоянной амплитуды. Сигналы с модуляцией QPSK

отлично подходят для работы данного эквалайзера, поскольку у них есть точки только на единичной окружности [3]. На рис. 3 представлены графики спектра сигнала до и после прохождения блока CMA Equalizer.

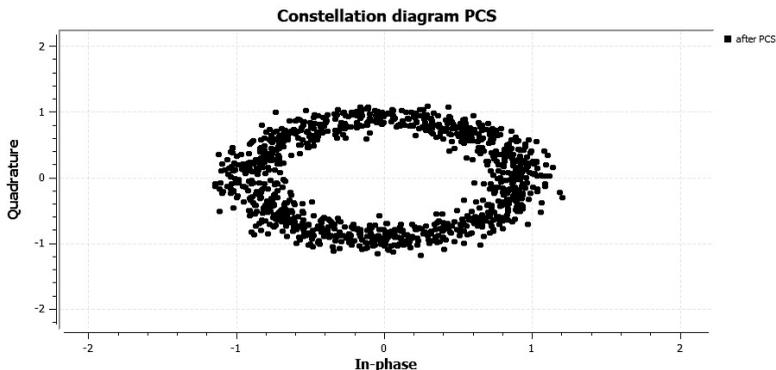


Рис. 2. Диаграмма созвездия после блока Polyphase Clock Sync

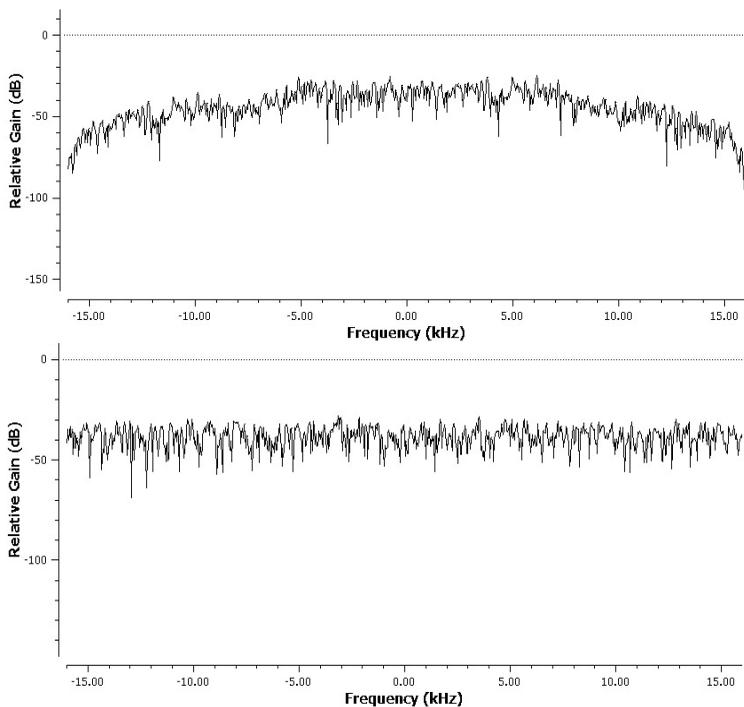


Рис. 3. Спектр сигнала до и после прохождения блока CMA Equalizer

Выравнивание спектра с помощью слепого метода оценки канала передачи не решает проблему смещения фазы и частоты. Поэтому следующим блоком используется Costas Loop, корректирующий смещение фазы и частоты с помощью петли обратной связи. На рис. 4 представлен результат корректировки смещения фазы и частоты.

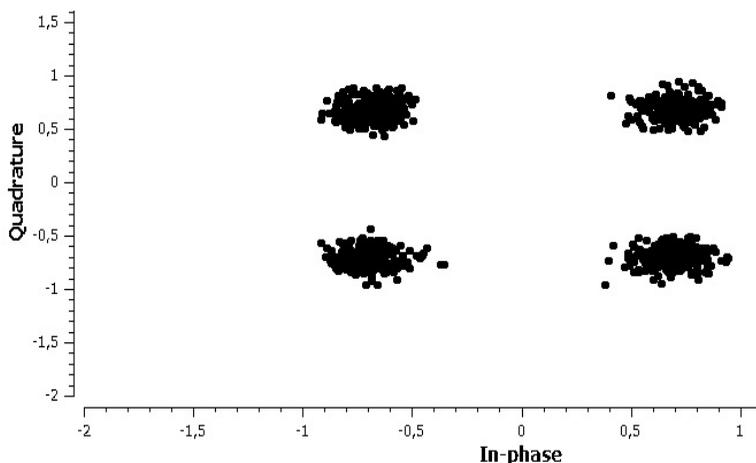


Рис. 4. Диаграмма созвездия после блока Costas Loop

На рис. 5 представлены блоки приемной части с настроенными параметрами, позволяющими принять и обработать сигнал для дальнейшего восстановления.

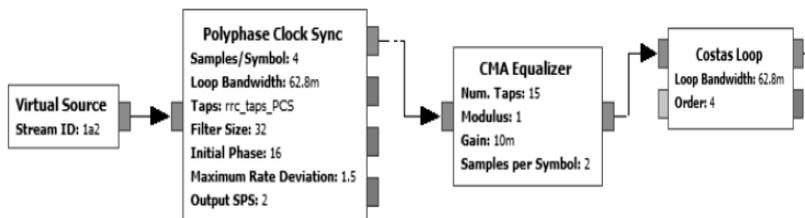


Рис. 5. Настроенные блоки приемной части сигнала

Описана настройка блоков приемной части сигнала на основе модуляции QPSK. Рассмотренные в рамках исследования методы приема и обработки сигналов являются наглядным примером для обработки теоретического материала на практике, получения опыта в среде GNU Radio и закрепления знаний о цифровых системах связи, методах приема и обработки сигналов.

ЛИТЕРАТУРА

1. GNU Radio Main Page [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://wiki.gnuradio.org/index.php/Main_Page (дата обращения: 07.03.2024).
2. Polyphase Clock Sync - GNU Radio [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://wiki.gnuradio.org/index.php?title=Polyphase_Clock_Sync (дата обращения: 07.03.2024).
3. QPSK Mod and Demod – GNU Radio [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://wiki.gnuradio.org/index.php?title=QPSK_Mod_and_Demod#Polyphase_Clock_Sync (дата обращения: 07.03.2024).

ПОДСЕКЦИЯ 1.4

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ВИДЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

*Председатель – Курячий М.И., доцент каф. ТУ, к.т.н.;
зам. председателя – Каменский А.В., доцент каф. ТУ, к.т.н.*

УДК 004.932

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО ОТСЛЕЖИВАНИЯ ДВИЖЕНИЙ ОБЪЕКТОВ ПО ВХОДНОМУ ВИДЕОПОТОКУ

Д.М. Батенко, студент каф. ТУ

*Научный руководитель В.В. Капустин, доцент каф. ТУ, к.т.н.
Проект ГПО ТУ-2204. Методы и алгоритмы машинного зрения
для навигации автономных мобильных роботов
и интеллектуальных транспортных средств
г. Томск, ТУСУР, dmbatenko@mail.ru*

Проводится сравнительный анализ методов выделения особых точек SIFT, ORB, AKAZE, BRISK и их отслеживания при изменении характеристик входного видеопотока.

Ключевые слова: объект интереса, особые точки, SIFT, AKAZE, BRISK, ORB, трекинг.

В современном мире, где видеонаблюдение становится всё более распространённым и важным инструментом безопасности и мониторинга, разработка алгоритмов для автоматического отслеживания движений объектов по входному видеопотоку становится одной из ключевых задач.

Целью работы является разработка алгоритма для определения особых точек на изображениях по выбранной области интереса и отслеживания движения объектов по входному видеопотоку. Результаты исследований можно использовать в видеонаблюдении, разработке систем технического зрения.

В работе было выполнено исследование методов SIFT и ORB. Данные алгоритмы использовались для определения особых точек на изображении по выбранной области.

Ключевой особенностью метода SIFT является построение пирамиды гауссианов и разностей гауссианов. Из каждого пикселя изоб-

ражения вычитается пиксель изображения с другой степенью размытия. Далее масштабируемые пространства делятся на октавы. Следующим шагом является определение особых точек. Если значение в одной точке существенно отличается от значений других точек, то такая точка будет являться локальным экстремумом разности гауссианов, т.е. считаться особенной [1].

Функции FAST не имеют компонента ориентации и функций нескольких масштабов. При этом алгоритм ORB использует многомасштабную пирамиду изображений. Каждый уровень в пирамиде содержит уменьшенную версию изображения, чем предыдущий уровень. Как только ORB создал пирамиду изображения, он использует алгоритм FAST для определения ключевых точек на изображении [2].

Разработка алгоритма выполнялась с использованием графического дизайнера Qt Designer языка Python [3] и библиотеки OpenCV [4]. В качестве оценки эффективности входной видеопоток подвергался изменению с использованием размытия по Гауссу. Для оценки эффективности были выбраны и сравнены между собой на количество найденных особых точек два метода: ORB и SIFT.

В интерфейсе находятся область для вывода видеоряда, 3 поля для вывода данных по общему количеству особых точек, количеству точек в области интереса и дистанции, 2 кнопки для вывода видеоряда и начала отслеживания, проверка на вывод особых точек и выбор метода построения особых точек.

Изначально был разработан алгоритм для определения особых точек на изображениях по выбранной области интереса и отслеживания движения объектов по входному видеопотоку. Работа метода SIFT приведена на рис. 1. Работа метода ORB без изменения входных характеристик приведена на рис. 2.

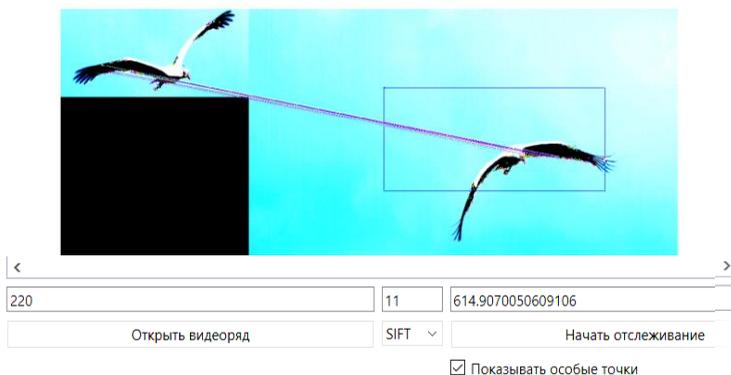


Рис. 1. Работа метода SIFT без изменения входных характеристик

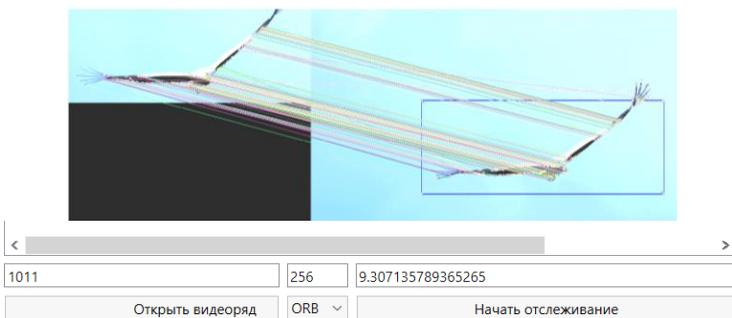


Рис. 2. Работа метода ORB без изменения входных характеристик

Работа метода SIFT при добавлении размытия по Гауссу приведена на рис. 3. Работа метода ORB при добавлении размытия по Гауссу приведена на рис. 4. Для размытия по Гауссу брались следующие параметры: размер ядра – 5×5 , отклонения ядра по оси X – 1,5. Результаты сравнений представлены в табл. 1 для метода SIFT и табл. 2 для метода ORB.

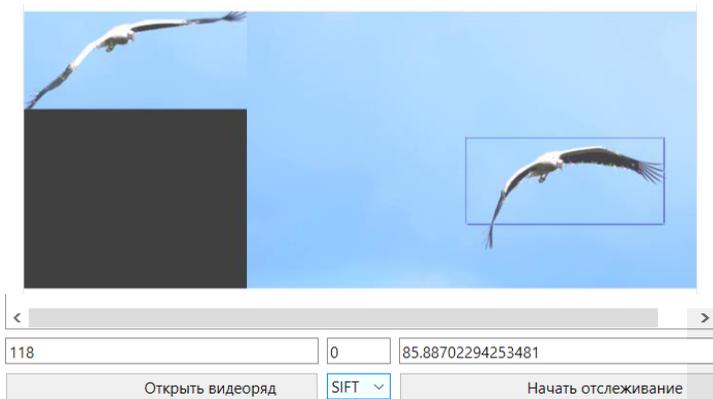


Рис. 3. Работа метода SIFT с применением размытия по Гауссу

Таблица 1

Оценка эффективности метода SIFT

Номер кадра	Количество точек на оригинале	Количество точек при добавлении размытия по Гауссу
0	58	27
25	12	0
50	9	0
75	20	0

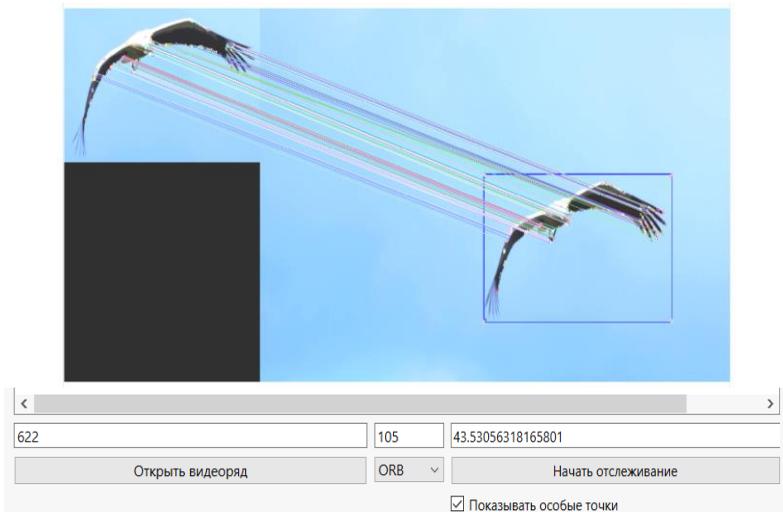


Рис. 4. Работа метода ORB с применением размытия по Гауссу

Таблица 2

Оценка эффективности метода ORB

Номер кадра	Количество точек на оригинале	Количество точек при добавлении размытия по Гауссу
0	320	250
25	75	25
50	15	10
75	15	10

Исходя из полученных данных, можно сделать вывод о том, что работа метода SIFT становится значительно хуже. В самом начале алгоритма находится только 27 особых точек, в то время как на оригинале 59, также после 20-го кадра количество особых точек становится равным нулю, в то время как на оригинале продолжают находиться особые точки. Работа алгоритма ORB также становится хуже. В самом начале алгоритма находится 250 особых точек, в то время как на оригинале 340, однако ближе к 30-му кадру количество особых точек у оригинала и эксперимента становится одинаковым и мало различается.

Таким образом, при изменении входных характеристик алгоритм ORB в сравнении с алгоритмом SIFT работает намного лучше. Это может быть связано с тем, что при нахождении особых точек контраст между пикселями становится меньше и нахождение особых точек становится проблемой для используемых алгоритмов. Трекинг объек-

та при изменении входных характеристик оставался без изменений и работал исправно. Однако при добавлении изменений входных характеристик ухудшалось быстродействие выполнения приложения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Построение SIFT дескрипторов и задача сопоставления изображений [Электронный ресурс]. – URL: <https://habr.com/ru/articles/106302/>, (дата обращения: 05.03.2024).

2. Shaharyar Ahmed Khan Tareen. A Comparative Analysis of SIFT, SURF, KAZE, AKAZE, ORB, and BRISK // International Conference on Computing, Mathematics and Engineering Technologies. – 2018 (дата обращения: 05.03.2024).

3. Основы языка Python 3: синтаксис, операторы, циклы, функции, переменные [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://pythonru.com/osnovy> (дата обращения: 11.03.2024).

4. Open Source Computer Vision [Электронный ресурс]. – URL: https://docs.opencv.org/4.x/d6/d00/tutorial_py_root.html, (дата обращения: 11.03.2024).

УДК 004.932.4

ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ МЕТОДОВ ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Д.А. Гребенщикова, А.С. Катасонов, студенты каф. ТУ

Научный руководитель А.В. Каменский, доцент каф. ТУ, к.т.н.

*Проект ГПО ТУ-2002. Исследование и разработка методов анализа
и обработки фото- и видеоданных в телевизионных
измерительных системах*

г. Томск, ТУСУР, gredasha9443@gmail.com

Работа посвящена реализации методов пространственного улучшения цифровых изображений и реализации единого программного обеспечения для их использования.

Ключевые слова: методы пространственной обработки изображений, обработка изображений, программа для обработки изображений.

Пространственные методы обработки изображений – это область, которая объединяет подходы, основанные на прямом манипулировании пикселями изображения [1]. К числу наиболее простых и общедоступных методов улучшения качества изображений относится обработка с помощью функции градиационного преобразования. Оно основывается на трех основных типах преобразований: линейном, логарифмическом и степенном [2, 3].

Разработан алгоритм функционирования программы использования пространственных методов обработки изображений, который по-

дробно описывает, как программа должна работать в конечной версии, блок-схема алгоритма представлена на рис. 1.

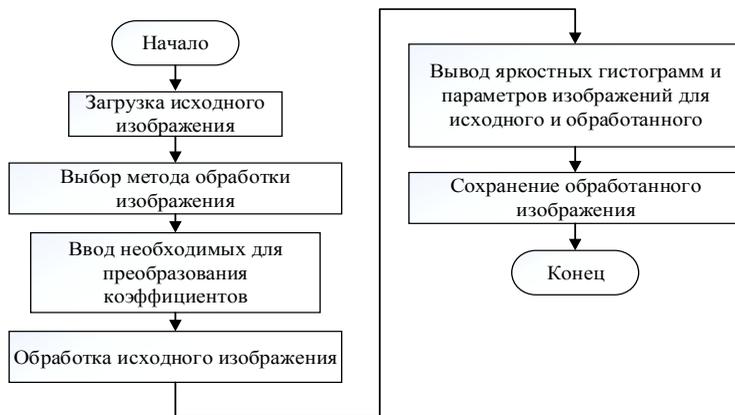


Рис. 1. Алгоритм работы программы

Принцип работы методов пространственной обработки изображений представлен в виде блок-схемы на рис. 2.

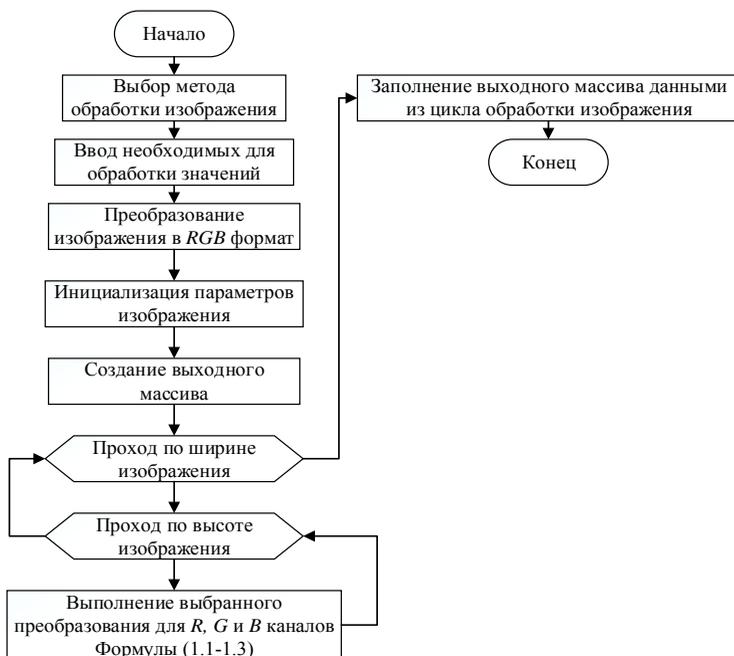


Рис. 2. Блок-схема для методов пространственной обработки изображений

Далее после выбора метода обработки изображения необходимо задать коэффициенты, необходимые для этого преобразования, после чего оно будет обработано соответствующей функцией, например, функцией для логарифмического преобразования.

Заключительным этапом работы алгоритма является вызов функции сохранения изображения по нажатию на соответствующую кнопку, где сначала выставляется итоговое разрешение обработанного изображения, в котором оно будет сохраняться, и вызывается метод класса `QFileDialog` для сохранения изображения.

При запуске приложения пользователю предлагается загрузить изображение путем нажатия на кнопки «файл открыть» → «файл», остальные виджеты приложения при этом заблокированы.

После загрузки изображения виджеты приложения становятся активны. Пользователь может выбрать метод обработки изображения в меню → «обработка», задать коэффициенты преобразований, получить справку по работе с программой, вывести параметры загруженного изображения, построить гистограммы изображения и очистить сцену.

После выполнения обработки и вывода гистограмм пользователь может нажать на кнопку «сохранить изображение» и в диалоговом окне выбрать путь, куда он хочет его сохранить.

Для проверки работоспособности приложения необходимо загрузить изображение и выполнить каждый вид пространственной обработки, с построением гистограмм. Для тестирования использовалось изображение размером 1920×1080 элементов, которое служит для точной визуальной оценки правильности обработки.

Для выполнения логарифмического преобразования необходимо задать значение в поле константа в диапазоне от 1 до 46. Результат логарифмического преобразования изображения показан на рис. 3.

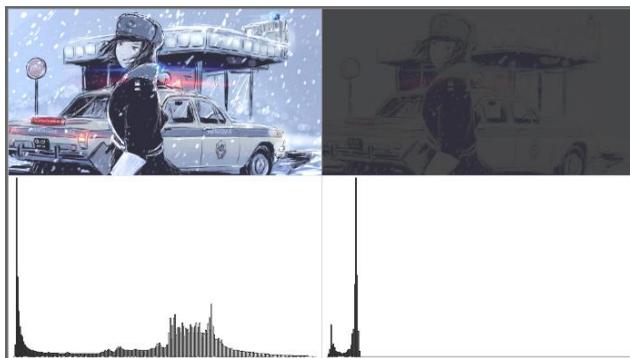


Рис. 3. Результат логарифмического преобразования для изображения размером 1920×1080 элементов при $c = 5$

Для преобразования изображений в негатив внутри приложения не требуется задавать никаких коэффициентов, необходимо лишь выбрать его в меню «Обработка». Результат преобразования в негатив показан на рис. 4.



Рис. 4. Результат преобразования в негатив для изображения размером 1920×1080 элементов

Для того чтобы выполнить степенное преобразование необходимо задать 2 значения, а именно значение константы и степени преобразования. Результат обработки при $c = 10$, $\gamma = 0,6$ показан на рис. 5.

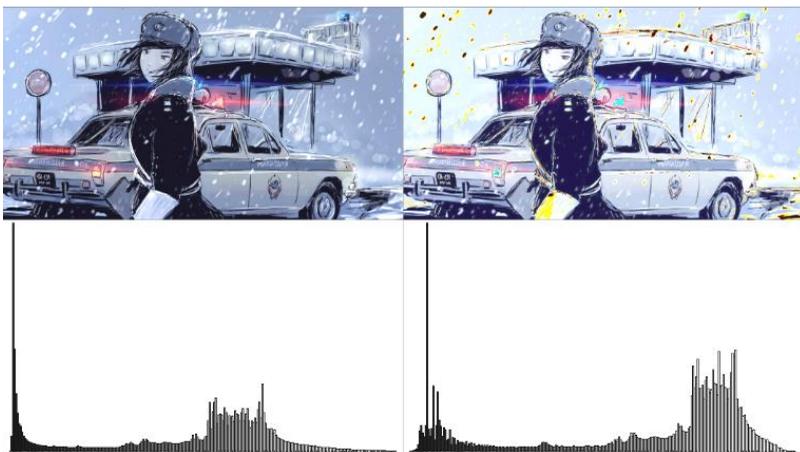


Рис. 5. Результат степенного преобразования для изображения размером 1920×1080 элементов при $c = 10$, $\gamma = 0,6$

Таким образом, в данной статье описан алгоритм работы приложения, а также описан интерфейс для взаимодействия с пользователем. Приложение было протестировано на изображении размером 1920×1080 элементов, а на основании тестирования было установлено, что приложение работает корректно.

ЛИТЕРАТУРА

1. Черномордов С.В. Способы восстановления и улучшения изображений методами пространственной фильтрации // Развитие науки и техники: механизм выбора и реализации приоритетов: сборник статей междунар. науч.-практ. конф. – 2017. – С. 215–217.
2. Gonzalez R. Digital image processing // R. Gonzalez P. Вудс. – Litres, 2012. – 1105 p.
3. Черногорова Ю.В. Исследование методов улучшения изображений // Наука через призму времени. – 2018. – С. 14.
4. Tao L. An Efficient Illuminance–Reflectance Nonlinear Video Stream Enhancement Model / L. Tao, V.K. Asari // SPIE-IS&T Electronic Imaging. – 2006. – Vol. 6063. – P. 60630I–160630I.
5. QtReleases [Электронный ресурс]: Qt_creator_releases. – URL: wiki-qt.io-standing.com/Qt_Creator_Releases (дата обращения: 11.10.2023).

УДК 004.891.3

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СИАМСКОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ ДЛЯ СРАВНЕНИЯ НАБОРОВ ИЗОБРАЖЕНИЙ ФИГУРЫ ЧЕЛОВЕКА

А.А. Мороз, магистрант каф. АСУ

*Научный руководитель М.Ю. Катаев, проф. каф. АСУ, д.т.н.
г. Томск, ТУСУР, artyom.moroz.00@gmail.com*

Представлен алгоритм работы программы для обработки потока изображений походки человека с использованием сиамской нейронной сети. Рассмотрены основные этапы алгоритма сравнения потоков изображений, полученных из видеоданных.

Ключевые слова: сиамская нейронная сеть, программа, фигура человека, походка человека.

Использование нейронных сетей в наши дни является популярным и достаточно часто встречаемым способом решения разнообразных задач, связанных со сравнением, обработкой и анализом данных, результат которых помогает человеку принимать различные решения. Движение, в свою очередь, является видом человеческой деятельности, которая предоставляет достаточно большой набор информации о здоровье, личности, настроении, спортивном состоянии человека. Поэтому изучение двигательной активности человека является довольно

важным и актуальным. В связи с этим объектом исследования являются изображения с двигающимся человеком. Цель работы – разработка алгоритма сравнения походки здорового человека и при неизвестном состоянии с помощью сиамской нейронной сети. Основными задачами данной работы являются выделение фигуры человека и оценка параметров походки [1].

Для работы нейронной сети используются предварительно обработанные наборы изображений, представляющие собой кадры видеозаписей походки человека. Из каждого кадра выделяется фигура человека при помощи алгоритма поиска разностей между базовым кадром – кадром без фигуры человека и кадром, содержащим фигуру человека в процессе ходьбы. После чего каждый кадр переводится в бинарный формат, затем при помощи морфологических преобразований и фильтров удаляются артефакты. Затем происходит обрезка изображений по фигуре человека и последующее сжатие размеров изображения до 50×50 пикселей. Данное сжатие необходимо для возможности обработки его нейронной сетью [2].

На рис. 1 представлен пример преобработанных сравниваемых изображений.

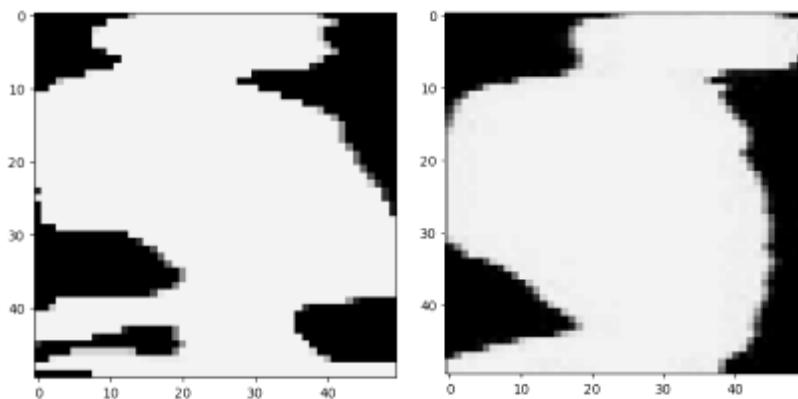


Рис. 1. Пример сравниваемых пар изображений для двух потоков данных

После полной обработки всех имеющихся кадров для обеих сравниваемых последовательностей производится маркирование пар на «правильные» и «неправильные». Правильными парами являются несовпадающие пары кадров, взятые из одного набора изображений. Не-правильными, в свою очередь, являются пары, взятые из различных наборов изображений. После того как все возможные пары были промаркированы, на их основе генерируется обучающая и тестирующая выборки в соотношении 75 и 25% соответственно. Общее число сге-

нерированных примеров равно 20 000. Ввиду использования алгоритма обучения, называемого one-shot learning, имеем довольно высокий процент результативности работы нейронной сети при небольшом количестве изначальных данных и малом количестве эпох обучения. На рис. 2 продемонстрирована архитектура разработанной нейросети.

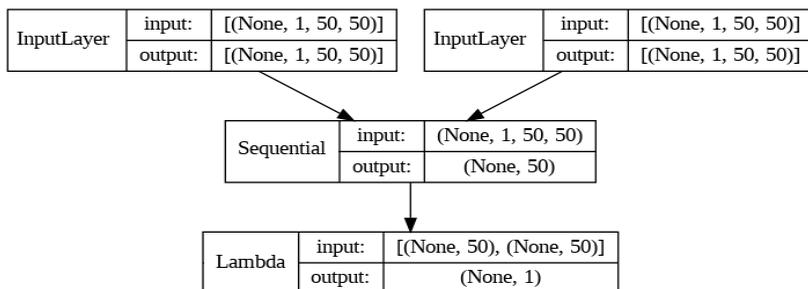


Рис. 2. Архитектура используемой сиамской нейронной сети

None на схеме обозначает, что слой способен принимать входные данные любого размера.

Используемый вариант сети представляет собой архитектуру вида: две идентичные подсети с общим набором весов, каждая подсеть состоит из одного сверточного слоя. Результаты работы свертки идут на проверочный слой, в котором вычисляется коэффициент сходства двух векторов, получаемых на выходе из слоев свертки. Ввиду использования one-shot learning метода обучения, даже при небольшом количестве поколений обучения имеем достаточно высокий процент точности обучения – 91%. Такой процент точности получаем при использовании сверточного фильтра размером 5×5 пикселей.

В результате выполнения работ были проведены изменения в предварительной подготовке кадров. Для этого были взяты видеозаписи, представленные студентами СибГМУ и других источников. Подготовлены обучающая и тестовая выборки на основе имеющихся датасетов. Разработана и обучена сиамская нейронная сеть, и для нее проведена оценка точности определения объектов интереса.

Результаты работы могут использоваться в различных прикладных областях от медицины и спорта до общественной безопасности и маркетинга.

ЛИТЕРАТУРА

1. Абдуллин Ю.Э. Обнаружение и трассировка движущихся объектов в потоке видеоданных: дип. раб. – Томск, 2004. – 58 с.
2. Сиамские нейронные сети [Электронный ресурс]. – URL: <https://machinelearningmastery.ru/one-shot-learning-with-siamese-networks-using-keras-17f34e75bb3d/>, свободный (дата обращения: 25.02.2024).

РОБОТИЗИРОВАННАЯ КОЛЁСНАЯ ПЛАТФОРМА ДЛЯ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО ТРАНСПАРАНТА

Р.С. Успанов, Д.В. Морозов, студенты каф. ТУ

Научный руководитель А.К. Мовчан, доцент каф. ТУ, к.т.н.

*Проект ГПО ТУ-2204. Методы и алгоритмы машинного зрения
для навигации автономных мобильных роботов
и интеллектуальных транспортных средств
г. Томск, ТУСУР, danil.morozov.8787@mail.ru*

Представлен результат разработки роботизированной платформы, предназначенной для прямолинейного перемещения измерительного транспаранта на точно заданное расстояние. Представлена структурная схема системы управления, произведены расчеты привода платформы и приведена 3D-модель конструкции роботизированной платформы.

Ключевые слова: АИ ТИС, 3D-моделирование, робототехника, программирование, алгоритм, машиностроение.

Целью работы является перемещение измерительного транспаранта на точно заданное расстояние впереди испытуемой активно-импульсной телевизионной измерительной системы (АИ ТИС) для автоматизации процесса расстановки объектов наблюдения, оптимизации затраченного времени и повышения точности измерений.

Таким образом, предлагается беспроводная двухсторонняя связь роботизированной платформы (РП) и терминала оператора (ТО) с передачей данных с дальномера непосредственно через терминал, представленная на рис. 1. В качестве управляющей платы используется esp 32, способная создать точку доступа wi-fi, обеспечивающую высокоскоростное соединение между платой и терминалом. Управляющая плата подаёт сигнал на драйвер, а он, в свою очередь, осуществляет управление двигателем.

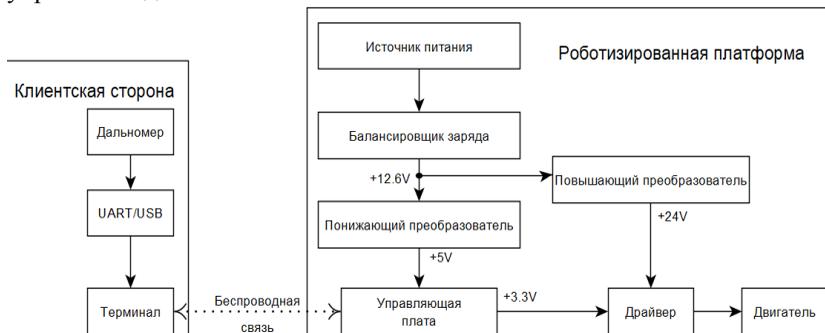


Рис. 1. Структурная схема системы управления с дальномером на стороне ТО

Система питания предполагает работу РП в течение двух часов с возможностью подзарядки, реализованной с помощью аккумуляторов и балансировочной платы для равномерного распределения напряжения на них.

Для двигателя были рассчитаны необходимые параметры, такие как мощность, ускорение и крутящий момент [1], при массе $m = 2,5$ кг, скорости $v = 0,5$ м/с и радиусе колеса $r = 29$ мм. Ускорение $a = 0,125$ м/с². Вращающий момент, который необходим для перемещения робота и получения им ускорения, необходимого для достижения максимальной скорости, равен 0,045 Н/м. Мощность двигателей пропорциональна крутящему моменту и частоте, равна 1,563 Вт. Для обеспечения оптимальных характеристик лучше использовать двигатели с запасом по мощности как минимум в два раза.

Исходя из выполненных расчётов, в качестве компонента, приводящего в движение РП, был выбран шаговый двигатель нета 17 – двигатель, который преобразуют электрические импульсы в перемещение вала на определенный угол, что позволяет достичь высокой точности позиционирования робота в пространстве.

Для передачи вращательного движения выбран зубчатый ремень, такая конфигурация детали отличается повышенной точностью за счет наличия зубьев на поверхности. Во время работы зубчики ремня цепляются за зубья шкива, передавая вращение и движение. Оптимальная длина ремня по расчётам [2] равна 280 мм. Была разработана 3D-модель РП, представленная на рис. 2, и подобраны доступные компоненты для робота.

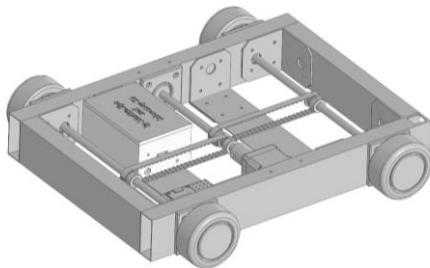


Рис. 2. 3D-модель роботизированной платформы

Конструкция робота представляет собой прямоугольный корпус, каркас выполнен из профильных труб размером 20×50 мм. Габариты корпуса: 250×350 мм. Система, приводящая в движение робота, состоит из 4 колёс 68×27 мм; шагового двигателя нета 17; 2 зубчатых ремней 280 мм; 2 осей 300×8 мм и оси двигателя 250×8 мм

Управление роботом осуществляется с использованием web-интерфейса [3], что обеспечивает подключение с любого устройства без необходимости скачивания программы.

Перемещение РП должно производиться в четырех режимах:

1) ручной режим с указанием лишь направления перемещения (управление производится с места оператора с кнопок (вперед, назад, стоп) в интерфейсе управляющей программы);

2) автоматический режим перемещения на заданное приращение расстояния Δd (управление производится с места оператора с кнопок (старт, стоп) с интерфейса управляющей программы и предварительным вводом величины перемещения Δd и направлением движения в соответствующее поле ввода программы);

3) автоматический режим перемещения на заданное абсолютное значение расстояния d (управление производится с места оператора с кнопок (старт, стоп) с интерфейса управляющей программы и предварительным вводом величины абсолютного расстояния d в соответствующие поле ввода программы), должна быть предусмотрена автоматическая коррекция положения РП по данным с лазерного дальномера для достижения точного значения заданного расстояния d ;

4) автоматическое перемещение по заданной карте дальностей до контрольных точек с заданным временем ожидания на них (управление производится с места оператора с кнопок (старт, стоп) из интерфейса управляющей программы с предварительным вводом массива абсолютных значений расстояния d для каждой контрольной точки (карта дальностей) и общего для всех точек времени ожидания в соответствующее поле ввода программы или загрузка массива из файла), также должна быть предусмотрена автоматическая коррекция положения РП по данным с лазерного дальномера для достижения точного значения заданного расстояния d в каждой контрольной точке.

По окончании движения РП передаёт флаг на терминал управления. Для управления роботом в интерфейсе программы управления реализованы кнопки «Старт», «Стоп», «Вперёд», «Назад», а также поля для ввода данных относительных и абсолютных значений дальности перемещения РП. Также предусмотрена автоматическая коррекция положения РП по данным лазерного дальномера для достижения точного значения заданного расстояния d .

ЛИТЕРАТУРА

1. Бобров Г.С. Шаговые двигатели и их применение / Г.С. Бобров, Ю.Е. Герасимова, Н.К. Юрков // Труды международного симпозиума «Надежность и качество». – 2019. – Т. 2. – 20 с.

2. Курлов Б.А. Теоретические вопросы точностных расчетов зубчатых передач / Б.А. Курлов, Б.А. Курлов. – М.: Спутник+, 2009. – 263 с.

3. Ищенко В.А. 100% самоучитель Web-дизайна: создавай свои сайты. – М.: Технолоджи-3000, 2009. – 144 с.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ ДЛЯ ИГРЫ С РОБОТОМ В ШАШКИ

*А.В. Мирошников, Р.С. Титова, М.А. Салмин, студенты
Научный руководитель Н.Ю. Хабибулина, доцент каф. КСУП, к.т.н.
Проект ГПО КСУП-1803. Автоматизированная информационная
система поддержки учебного процесса кафедры
г. Томск, ТУСУР, tamoshka2@gmail.com*

Предлагается использование библиотеки OpenCV, средств программирования на языке C++ для осуществления возможности организовать игру в шашки с роботом-рукой.

Ключевые слова: OpenCV, C++, компьютерное зрение, шашки.

Компьютерное зрение – одна из технологий современного мира. Люди уже научили машины анализировать изображения, которые им передаются, и выделять ключевые объекты по некоторым алгоритмам. Не стоит забывать о том, что потом на основе анализа изображений компьютер может начать выполнять другие действия, связанные с их оценкой, например перемещение необходимого предмета.

В ТУСУРе появился робот-рука, движения которого уже настроены, но есть необходимость в добавлении возможности обзора при помощи видеокамеры для выполнения различных задач. Возникла идея использовать компьютерное зрение для достижения данных целей.

В рамках ГПО проводится работа над написанием программного комплекса, осуществляющего анализ игрового поля шашек, передачу информации компьютеру, считывание ходов OpenSource системы и осуществление хода на доске для игры в шашки роботом-рукой.

Для реализации данного проекта необходимо использовать изображение доски в прямом эфире. Для анализа изображения, передаваемого компьютеру с видеокамеры, используются различные технологии, при этом наибольшей популярностью среди разработчиков пользуются следующие библиотеки: OpenCV, TensorFlow, PyTorch. Приведем краткое описание каждой из библиотек.

1. **OpenCV** [1] – это мощная библиотека с открытым исходным кодом, которая предоставляет широкий спектр функций для обработки изображений и видеоданных. Она поддерживает множество языков программирования, включая C++, Python, Java и др. OpenCV легко интегрируется с другими библиотеками машинного обучения.

2. **TensorFlow** [2] – одна из самых популярных библиотек машинного обучения, которая обладает высокой производительностью и гибкостью. Она предоставляет широкие возможности для создания и

обучения нейронных сетей, включая модели для программирования машинного зрения.

Иногда TensorFlow может быть сложной для новичков из-за её высокого уровня абстракции и сложности некоторых концепций.

3. **PyTorch** [3] – это еще одна популярная библиотека машинного обучения, которая отличается простотой использования и удобным интерфейсом. Она предоставляет гибкие инструменты для создания и обучения нейронных сетей для задач программирования машинного зрения.

Часто отмечается, что PyTorch менее оптимизирована для работы с большими объемами данных по сравнению с TensorFlow.

В результате анализа представленного списка библиотек команда разработчиков приняла решение начать работу с библиотекой OpenCV из-за наличия свободного доступа к использованию библиотеки, а также возможности сочетания её с различными языками программирования, в частности C++.

Для передачи информации компьютеру используется анализ нумерации по краям шахматного поля и вычисление пересечений перпендикулярных линий. Такая простая концепция дополнительно позволяет передавать данные в удобном формате в компьютер, ведь при перемещении фигуры просто записывается её старая и новая позиция, как обычно, и фиксируется при ходах в шашках.

Концептуальная модель взаимодействия всех функциональных частей при участии человека представлена на рис. 1.

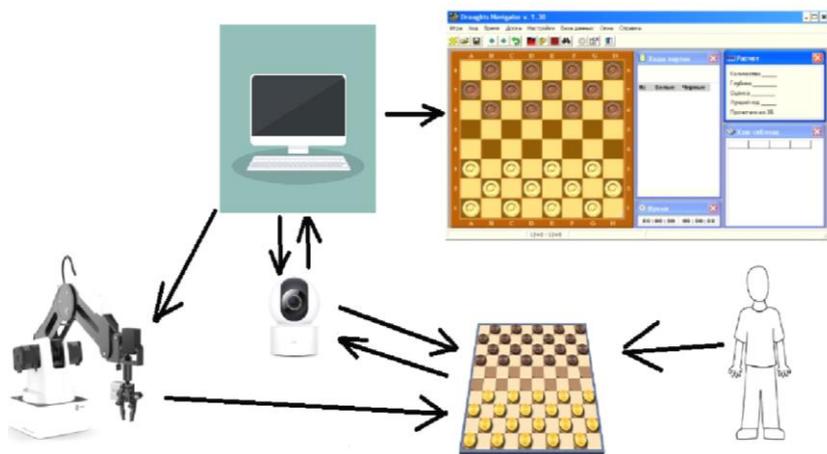


Рис. 1. Концептуальная модель взаимодействия функциональных частей при участии человека

Также команде разработчиков необходимо найти уже созданную OpenSource платформу, на которой можно имитировать шашечную партию в текущий момент времени. Существует два варианта отслеживания ходов компьютера:

1. Установка записи экрана и считывание подобное считыванию реального поля при помощи использования видеокамеры.

2. Сбор текстовой информации о переходе и передача её в систему.

Оба варианта имеют право на существование, но в первом варианте существует дополнительная вычислительная нагрузка для анализа изменений на поле в отличие от второго. Второй же вариант более трудозатратный в поисках необходимой платформы, которая будет фиксировать каждый ход на поле в журнал.

В заключение хотелось бы сказать, что команде разработчиков также предстоит работа над оптимизацией программного комплекса и рассмотрение различных вариантов реализации отдельных частей программы, в том числе возможное написание или использование дополнительных библиотек для работы с компьютерным зрением.

ЛИТЕРАТУРА

1. OpenCV [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://blog.skil-lfactory.ru/glossary/opencv/>, свободный (дата обращения: 21.02.2024).

2. TensorFlow [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.tensorflow.org/?hl=ru>, свободный (дата обращения: 21.02.2024).

3. PyTorch [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://pytorch.org/>, свободный (дата обращения: 21.02.2024).

ПОДСЕКЦИЯ 1.5

СИСТЕМЫ БЕСПРОВОДНОЙ СВЯЗИ И ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ

*Председатель – Рогожников Е.В., зав. каф. ТОР, к.т.н.;
зам. председателя – Дмитриев Э.М., ассистент каф. ТОР*

УДК 621.396.97

СРАВНЕНИЕ БАЗОВЫХ СТАНЦИЙ СТАНДАРТА GSM С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ YATEBTS, OPENBTS, OSMOCOMBTS

Н.А. Иванников, студент ПИШ

*Научный руководитель Е.В. Рогожников, доцент зав. каф. ТОР, к.т.н.
г. Томск, ТУСУР, ivannikoy0201@mail.ru*

Представлено сравнение трех базовых станций, созданных для работы на SDR-устройствах. Также представлена сравнительная таблица с основными характеристиками данных платформ. Базовые станции могут быть хорошо использованы для организации связи в местах с их отсутствием.

Ключевые слова: базовые станции, мобильные станции, радиосвязь, сотовая связь.

С развитием технологий сотовой связи и повсеместным использованием мобильных устройств открытые программные решения для построения сетей сотовой связи становятся все более популярными. Такие проекты, как YateBTS, OpenBTS и OsmocomBTS, предлагают возможность создания базовых станций на основе открытого программного обеспечения, что позволяет снизить затраты на развертывание и обслуживание сетей связи.

Сравним базовые станции YateBTS, OpenBTS и OsmocomBTS.

Архитектура и функциональность. YateBTS предлагает гибкую архитектуру, которая позволяет интегрировать базовую станцию с различными сетевыми элементами. OpenBTS известен своей простотой в установке и настройке, что делает его популярным среди разработчиков. OsmocomBTS предлагает расширенные возможности для настройки и мониторинга базовой станции [3].

Поддержка стандартов и протоколов. YateBTS и OpenBTS поддерживают GSM-стандарты, что делает их совместимыми с большинством мобильных устройств. OsmocomBTS также поддерживает GSM, но предлагает более широкий спектр протоколов для работы с различными устройствами [3].

Производительность и масштабируемость. YateBTS и OpenBTS обеспечивают хорошую производительность для небольших сетей, в то время как OsmocomBTS может масштабироваться для работы в более крупных сетях. Данные сравнения сведены в таблицу.

Сравнительная таблица с характеристиками платформ [1–3]

Характеристика / платформа	YateBTS	OpenBTS	Osmocom
Лицензия	GPL	AGPLv3	GPL
Поддерживаемые поколения	2G, 2.5G, 4G	2G, 3G, 4G	2G, 2.5G, 3G, 4G
Поддерживаемые протоколы	GSM, GPRS, SIP, RTP	GSM, GPRS, SIP	GSM, GPRS, SIP, RTP
Дополнительные особенности	Устойчивость к сбоям, гибкость	Встроенная поддержка SMS, богатый функционал	Гибкость настройки
	Управление сетевым доступом. Дополнительные инструменты для LAC	Групповое звонковое обслуживание в GSM-сети, управление движением зон	Поддержка различных стандартов 3GPP, реализация пониженных шлюзов
Веб-интерфейс	Да	Да	Да
Автоматическая перенастройка	Да	Да	Да
Стандарты сотовой связи	GSM, GPRS, SS7	GSM, GPRS, SIP	GSM, GPRS, EDGE, 3G, SS7, VoLTE

Заключение. Сравнение базовых станций YateBTS, OpenBTS и OsmocomBTS показывает, что каждая из них имеет свои преимущества и недостатки в зависимости от конкретных потребностей пользователей. Выбор конкретной базовой станции будет зависеть от требуемой функциональности, уровня гибкости и масштабируемости. Однако все три проекта отличаются открытым программным обеспечением, что делает их привлекательным решением для разработчиков и операторов связи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Структура YateBTS: портал публикаций, исследований или вопросов [Электронный ресурс]. – URL: https://www.researchgate.net/figure/Inner-structure-of-a-YateBTS-base-station-20_fig1_313477443, свободный (дата обращения: 05.03.2024).
2. Русские приключения OpenBTS [Электронный ресурс]: OpenBTS. – URL: <https://openbts.chemeris.ru>, свободный (дата обращения: 05.03.2024).
3. Анализ проектов построения базовых станций стандартов GSM / UMTS с открытым кодом [Электронный ресурс]. – URL: <http://omoled.ru/publications/view/874>, свободный (дата обращения: 05.03.2024).

**ПАРАМЕТРЫ КОДИРОВАНИЯ И МОДУЛЯЦИИ,
ПРИМЕНЯЕМЫЕ В СОВРЕМЕННЫХ СИСТЕМАХ СВЯЗИ**

*А.А. Моисеенко, М.А. Аксенов, Д.В. Рыбалов, студенты
Научный руководитель Д.А. Покаместов, доцент каф. ТОР, к.т.н.
г. Томск, ТУСУР, andrey.moiseenko.0202@mail.ru*

Описаны процесс канального кодирования и его актуальность, приведены сигнально-кодовые конструкции современных систем связи различного назначения.

Ключевые слова: канальное кодирование, системы связи, модуляция, спектральная эффективность.

Канальное кодирование – это процесс добавления избыточной информации к передаваемой последовательности битов, чтобы повысить ее устойчивость к шумам и помехам в канале связи. Канальное кодирование позволяет обнаруживать и исправлять ошибки, а также увеличивать пропускную способность и дальность передачи данных. Канальное кодирование является важной составляющей любой системы связи и особенно востребовано в беспроводных сетях, где каналы связи подвержены различным источникам помех, таким как тепловой шум, многолучевое распространение, замирания, интерференция и др.

В различных системах связи используются разные виды модуляции и канального кодирования, которые зависят от параметров передачи данных, характеристик канала связи, требований к качеству передачи. Модуляция – это процесс преобразования цифровых данных в аналоговый сигнал, который может быть передан по каналу связи. Скорость кодирования – это отношение числа исходных битов к числу передаваемых битов. Спектральная эффективность – это отношение скорости передачи данных к ширине полосы частот, занимаемой сигналом. В общем случае чем выше модуляция и скорость кодирования, тем выше спектральная эффективность, но тем ниже устойчивость к помехам. Поэтому выбор канального кодирования для каждого конкретного случая должен учитывать компромисс между этими факторами и параметрами.

В таблице приведены сводные данные о модуляции, типе кодирования, скорости кодирования (R) и спектральной эффективности (SE) для современных систем связи различного назначения [1–7].

Из данных таблицы можно сделать вывод, что различные системы связи имеют между собой существенные отличия как в параметрах физического уровня в целом, так и параметрах канального кодирования в частности. Это обусловлено различными целями, условиями и

требованиями к каждой конкретной системе связи. Например, системы 5G NR должны обеспечивать высокую пропускную способность и низкую задержку для поддержки разнообразных приложений, включая интернет вещей, дополненную и виртуальную реальность, автономные транспортные средства. Выбор оптимальной системы связи для конкретной задачи должен учитывать все эти факторы и стремиться к достижению максимальной эффективности и надежности передачи данных.

Параметры физического уровня для систем связи

Параметры	Система связи			
	5G NR	LTE E-UTRA	Wi-Fi (IEEE 802.11be)	DVB-T2
Модуляция, миним.	QPSK	QPSK	BPSK	QPSK
Модуляция, макс.	256-QAM	64-QAM	4096-QAM	256-QAM
Тип кодирования	LDPC, полярное	Турбо коды, сверточное	LDPC, блочное сверточное	LDPC, БЧХ
R , миним.	0,0293	0,094	1/2	1/2
R , макс.	0,92578	0,837	5/6	5/6
SE , миним.	0,0586	0,188	0,5	1
SE , макс.	7,4063	5,022	10	6,666
	Система связи			
	DVB-S2	DVB-S2X	Wi-Fi HaLow	WIMAX 2
Модуляция, миним.	QPSK	QPSK	BPSK	QPSK
Модуляция, макс.	32-APSK	256-APSK	256-QAM	64-QAM
Тип кодирования	LDPC, БЧХ	LDPC, БЧХ	LDPC	Convolutional turbo codes
R , миним.	1/4	2/9	1/2	0,121
R , макс.	9/10	3/4	5/6	0,925
SE , миним.	0,4902	0,4348	0,5	0,242
SE , макс.	4,4530	5,9	6,666	5,55

Результаты проведенного анализа будут использоваться при определении параметров разрабатываемого универсального канального кодера, который может применяться в системах связи различного назначения.

ЛИТЕРАТУРА

- 3GPP TS 38.214 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://portal.3gpp.org/desktopmodules/Specifications/SpecificationDetails.aspx?specificationId=3216>, свободный (дата обращения: 31.01.2024).
- ETSI TS 136 213 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://portal.3gpp.org/desktopmodules/Specifications/SpecificationDetails.aspx?specificationId=2427>, свободный (дата обращения: 31.01.2024).

3. IEEE 802.11be [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://en.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.11be, свободный (дата обращения: 31.01.2024).

4. DVB-T2 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://dvb.org/?standard=implementation-guidelines-for-a-second-generation-digital-terrestrial-television-broadcasting-system-dvb-t2>, свободный (дата обращения: 01.02.2024).

5. DVB-S2 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://dvb.org/?standard=second-generation-framing-structure-channel-coding-and-modulation-systems-for-broadcasting-interactive-services-news-gathering-and-other-broadband-satellite-applications-part-1-dvb-s2>, свободный (дата обращения: 01.02.2024).

6. DVB-S2X [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://dvb.org/?standard=second-generation-framing-structure-channel-coding-and-modulation-systems-for-broadcasting-interactive-services-news-gathering-and-other-broadband-satellite-applications-part-2-dvb-s2-extensions>, свободный (дата обращения: 02.02.2024).

7. IEEE 802.11ah [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://en.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.11ah, свободный (дата обращения: 02.02.2024).

8. IEEE Std 802.16m-2011 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://sciarium.com/file/86594/>, свободный (дата обращения: 02.02.2024).

УДК 621.391.1

РАЗРАБОТКА ПРИЕМОПЕРЕДАЮЩЕГО МОДУЛЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ LORA ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ НА БПЛА

И.В. Гридин, студент ПИИШ

*Научный руководитель Е.В. Рогожников, доцент каф. ТОР, к.т.н.
г. Томск, ТУСУР, vanyagridin2001@bk.ru*

Описана разработка приёмопередающего модуля на технологии LoRa (Long Range) для применения на БПЛА, приведены структурная схема и печатная плата с модулем LoRa.

Ключевые слова: приёмопередающий модуль, микроконтроллер, документация, разработка.

В современном мире беспилотные летательные аппараты (БПЛА) занимают все более важное место в различных областях, начиная от военного применения и заканчивая гражданскими целями, такими как наблюдение за территорией и даже поиск потерявшихся людей. Одним из ключевых аспектов работы любого беспилотного летательного аппарата является эффективная система передачи данных между пунктом управления и самим летательным аппаратом. В данной статье рассмотрен процесс разработки приёмопередающего модуля на

технологии LoRa [1] для оптимизированной передачи телеметрии между пунктом управления и БПЛА, который обеспечивает возможность передачи данных на дальние расстояния с низким энергопотреблением.

Выбран приемопередающий модуль, который будет установлен как на наземный пункт, так и на БПЛА: LoRa Ra-01H [2]. Данный модуль является компактным и эффективным устройством для беспроводной передачи данных по технологии LoRa.

Далее, для приемопередающего модуля подобран микроконтроллер компании STMicroelectronics STM32L151 [3], потому что он имеет доступную, широкую документацию и своё ПО для настройки и программирования. Микроконтроллеры данной серии являются производительными и имеют низкое энергопотребление, что соответствует потребностям проекта.

Ниже описана структурная схема (рис. 1), в которой соблюдены все рекомендации, согласно документации компонентов. Питание может быть осуществлено через батарейку CR2032 3V либо через USB 5V, но через стабилизатор напряжения 3.3V. Питание подается на джампер, чтобы у разработчика была возможность по-разному запитать устройство. Далее питание идет на LoRa Ra01-H и микроконтроллер, который состоит из различных пинов, и подключается через информационные контакты к приёмопередающему модулю. Затем от LoRa Ra-01H информация передается на антенну.



Рис. 1. Структурная схема

Используя документацию компонентов, разработана печатная плата с приёмопередающим модулем на технологии LoRa (рис. 2, 3), которая будет использоваться для передачи служебных данных между пунктом управления и БПЛА.

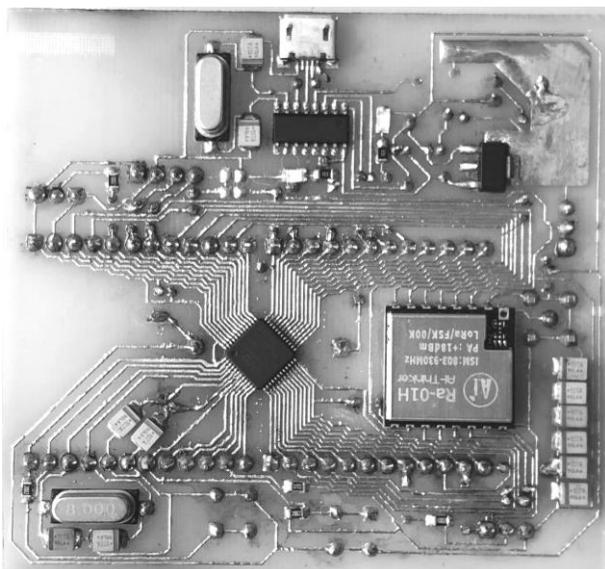


Рис. 2. Лицевая сторона печатной платы с LoRa Ra-01H

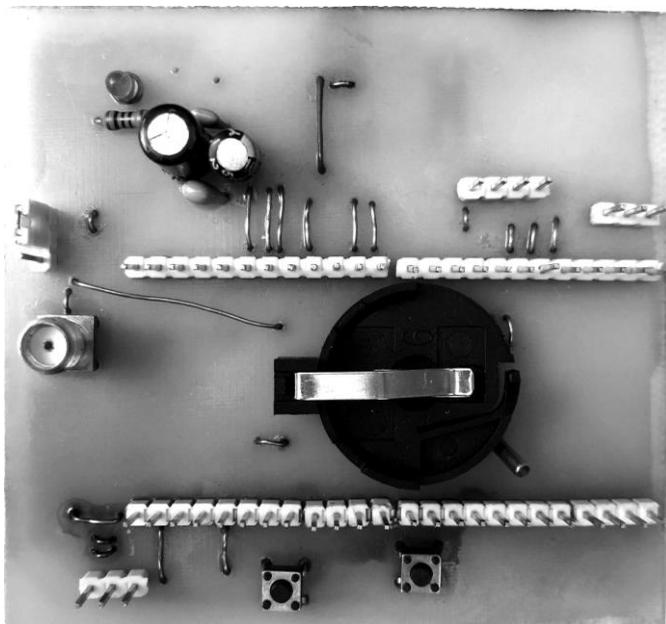


Рис. 3. Обратная сторона печатной платы с LoRa Ra-01H

ЛИТЕРАТУРА

1. Технология LoRa WAN [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://itechinfo.ru/content/обзор-технологии-lora>, свободный (дата обращения: 31.01.2024).

2. LoRa Ra-01H datasheet [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://cdn.ozdisan.com/ETicaret_Dosya/632831_134737.pdf, свободный (дата обращения: 31.01.2024).

3. STM32L151/152 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.st.com/en/microcontrollers-microprocessors/stm32l151-152.html>, свободный (дата обращения: 31.01.2024).

ПОДСЕКЦИЯ 1.6

РОБОТОТЕХНИКА

Председатель – Коцубинский В.П., доцент каф. КСУП, к.т.н.

УДК 004.65

АВТОМАТИЗАЦИЯ И УМНОЕ УПРАВЛЕНИЕ: ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ В ПОВСЕДНЕВНОЙ ЖИЗНИ

*М.А. Салмин, В.Д. Москвин, Р.С. Титова, студенты
Научный руководитель Н.Ю. Хабибулина, доцент каф. КСУП, к.т.н.
г. Томск, ТУСУР, salminmack@yandex.ru*

Исследованы и реализованы различные технические решения с использованием программирования для автоматизации процессов. В первой части проекта была сконструирована программируемая машина, способная двигаться по заданному маршруту. Во второй части создан конвейер, способный сортировать детали.

Ключевые слова: конструирование, программирование, локальная сеть.

В современном мире существует такое понятие, как интернет вещей, в котором повседневная электроника выполняет за вас ряд действий, облегчающих жизнь человека. За каждой такой техникой стоит программирование, сигнал и связь.

В ходе проекта разработан и написан код для устройства, которое способно автоматически двигаться по очерченному на плоскости маршруту, используя программное обеспечение для управления его движением. Также для сортировки деталей с использованием инфракрасного датчика собрано устройство, запрограммированное на отличие цвета и последующую сортировку путем изменения угла созданной заслонки. Изучены программные обеспечения для управления и организации карты локальной сети. Впоследствии построена карта сети и произведено подключение устройства к локальной сети.

Первой задачей в проекте стало конструирование программируемой машины, способной двигаться по очерченному на платформе маршруту. Для выполнения данной задачи сконструирована машина на основе комплекта конструктора «LEGO Mindstorm» [1], что можно увидеть на рис. 1.

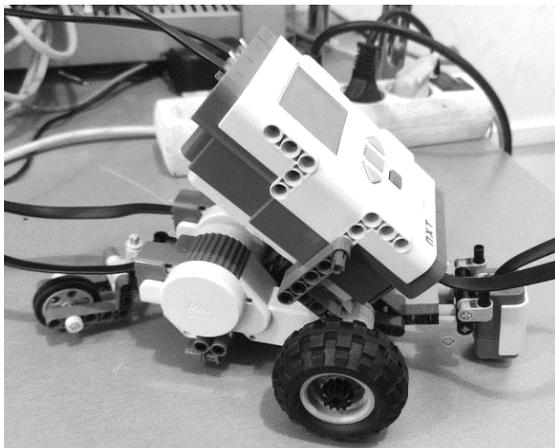


Рис. 1. Программируемая машина

К конструкции подключены два мотора для движения передних колес, также подключен инфракрасный датчик к передней части конструкции, направленный вниз для нахождения линии. После создания общей формы машины написан алгоритм в программе «mindstorm» [2] для прохождения заданного маршрута.

Следующая задача состояла в том, чтобы сконструировать конвейер, способный сортировать детали с помощью датчика света путем манипулирования углом поворота заслонки. Готовый конвейер можно увидеть на рис. 2.



Рис. 2. Программируемый конвейер

Как и для первой машины, написан алгоритм, который с помощью датчика света определял цвет проходящей по конвейеру детали и после уже поворачивал заслонку, направляя деталь в нужную сторону.

В ходе проекта поставлена задача составить локальную карту сети, к которой можно будет подключить сконструированные ранее устройства для дальнейшего дистанционного управления. Первым этапом стало ознакомление с такими программами, как Fpinger [3], WireShark [4], LanState pro [5]. После изучения программ составлена собственная карта сети при помощи программы LanState pro. Построив карту сети, подключаем к ней сконструированные ранее устройства. Для этого сбрасываем IP-адрес устройств и переадресовываем их на свободные адреса той локальной сети, к которой мы хотим подключить машину и конвейер. После подключения можно дистанционно программировать машину и конвейер, находясь от них на приличном расстоянии.

Проект направлен на изучение того, как техника и даже обычные вещи с помощью программирования могут двигаться без физической силы. В подобном варианте запрограммирован комплект конструктора «LEGO Mindstorm» а также изучены способы подключения устройств к локальной сети, их переадресация и составление карты сети, включающей в себя эти устройства.

ЛИТЕРАТУРА

1. Обзор набора Lego Mindstorms Education EV3 от компании [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://robotbaza.ru/blogs/blog/vse-omindstorms-education-ev3?ysclid=ltiyw6snt7325615339>, свободный (дата обращения: 17.02.2024).
2. Среда программирования Lego Mindstorms EV3. Обзор «Лобби» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://legoteacher.ru/osnovy-robototekhniki/sreda-programmirovaniya-ev3?ysclid=ltizbh5o23944583532>, свободный (дата обращения: 20.02.2024).
3. Пульт управления локальной сетью на базе Friendly Pinger [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://admcomp.ru/fpinger.html>, свободный (дата обращения: 17.02.2024).
4. Официальная русскоязычная Wireshark Wiki (2024) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://wireshark.wiki/wiki/>, свободный (дата обращения: 19.02.2024).
5. Программа администрирования и мониторинга сети – 10-Strike LANState [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.10-strike.ru/lanstate/>, свободный (дата обращения: 20.02.2024).

АРХИТЕКТУРА СИСТЕМЫ КАРТОГРАФИРОВАНИЯ ПОМЕЩЕНИЯ НА ОСНОВЕ 2D-ЛИДАРА

Д.В. Евтеев, студент

г. Таганрог, ЮФУ, buochka1@gmail.com

Система построения карты местности и определение координат объектов с использованием 2D-лидара.

Ключевые слова: 2D-лидар, картографирование местности, определение координат.

Актуальность данного проекта заключается в развитии робототехники и автономной навигации, где необходима возможность создания карты местности и определения координат в пространстве. Это имеет большую перспективу и востребованность. В данном кейсе будет создаваться карта помещения с помощью датчика 2D-лидара Neato XV-11.

Разработка структурной схемы позволяет показать наглядно показать, как взаимосвязаны компоненты системы, какие элементы являются ключевыми, а какие вспомогательными. Их взаимодействие, представленное на рис. 1, рассматривается с точки зрения функциональности и потоков информационных данных, которые они передают между собой согласно заданной схеме.

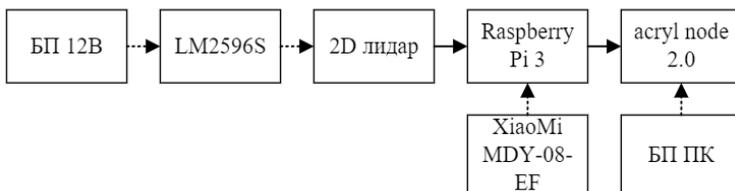


Рис. 1. Структурная схема

Согласно структурной схеме, в системе используются следующие компоненты:

- LM2596S – понижающий преобразователь напряжения, предназначенный для регулирования напряжения путем понижения входного напряжения на выходе;

- 2D Lidar – массив данных, представляющий собой расстояния до объектов в окружающей среде;

- Raspberry Pi 3 – одноплатный компьютер с установленной системой Ubuntu Server 20.04, предназначенный для приема данных с Lidar и ретрансляции их на ПК;

– XiaoMi MDY-08-EF – блок питания 5 В, предназначенный для питания Raspberry Pi 3 ;

– Acryl Node 2.0 – неттоп, предназначенный для приема данных и построения карты местности и дальнейшей ее визуализации в RViz.

Разработка функциональной схемы помогает участникам и заинтересованным лицам проекта разобраться, какие есть функциональные связи между элементами системы. В данном случае это Acryl Node 2.0, Raspberry Pi 3 и 2D-лидар Neato XV-11. На схеме наглядно показаны входные и выходные данные, в какие блоки объединены функции элементов, какие задачи выполняют, а также описание внутренних и внешних сигналов.

В данном проекте двухмерный лидар используется для определения расстояния до объектов, препятствий, окружающих его. Массив данных, состоящий из угла поворота датчика и расстояния до объекта отправляется на одноплатный компьютер с установленной системой, Ubuntu Server, где производится ретрансляция их на Acryl Node 2.0 – неттоп. На ПК применяются алгоритмы SLAM для определения местоположения лидара и построения карты окружения. ROS позволяет упростить настройку системы и взаимодействие элементов между собой в локальной сети, предоставляя возможность передачи данных от одного к другому и дальнейшей обработки их. Карта строится на Acryl Node 2.0 посредством топиков, принятых от Raspberry Pi 3, где ее можно визуализировать с использованием инструментов RViz.

Рассмотрим некоторые методы построения карт местности:

1. Core_slam – алгоритм для упрощения потерь производительности, вычисления расстояния и обновления карты. Шаг 1: вычисление расстояния через фильтр частиц для каждого сигнала сканирования. Сопоставитель фильтра частиц для лазера и карты, представляющий возможное положение робота. Выбор гипотетического распределения: частицы с малым весом исчезают, генерируются новые. Шаг 2: добавление отсканированной линии на карту при обновлении. При препятствии коррекция рисуется вокруг него, а не только в точке.

2. Hector SLAM – для него нужны только данные 2D-лидара в формате sensor_msgs/LaserScan (/scan) для построения карты и локализации на той же частоте, что и сканирование лидара, без данных одометрии. Лидар дает точки в пространстве и вычисляет угол относительно начала отсчета. hector_slam требует преобразования системы координат лидара в систему координат плоскости движения робота.

3. Karto_slam – метод графов, использующих матрицы Холецкого для разделения систем. Оптимизация графика через среднее значение. Узел – положение и данные датчика. Стрелка – движение робота. Добавление узла базе пространстве. Ограничения в стрелках обновляются.

ROS-версия karto_slam: SPA связана со сканированием и обнаружением. Больше ориентиров – больше требования к памяти. Графика преимущество в других средах. В некоторых случаях karto_slam эффективен, имеет только карту для поиска позиции. Попросите карту.

4. Gmapping_slam – 2Dslam-метод. Gmapping использует RBPF. Позиционирование точное, требуется полная аппаратная платформа.

ЛИТЕРАТУРА

1. Данилин М.Ю. Как сделать робота на ROS своими руками [Электронный ресурс]. – URL: <https://amperka.ru/blogs/projects/abot-robot-part-1>

2. Построение карты и локализации мобильного робота в ROS без одометрии с использованием laser_scan_matcher [Электронный ресурс]. – URL: <https://habr.com/ru/articles/399827/>

УДК 007.51

ЭКЗОСКЕЛЕТЫ ПРОМЫШЛЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ, СОДЕРЖАЩИЕ ЧЕЛОВЕКА В КАЧЕСТВЕ ЗВЕНА СИСТЕМЫ

И.В. Долгополов, Н.А. Грибов, студенты каф. КСУП

Научный руководитель В.П. Коцубинский, доцент каф. КСУП, к.т.н.

г. Томск, ТУСУР, kyp@kcup.tusur.ru

Рассмотрены примеры применения военных экзоскелетов в эксплуатации военными и сделан обзор на некоторые из них.

Ключевые слова: экзоскелет, военный, инновационная технология, уникальное устройство.

Экзоскелеты – это уникальные устройства, предназначенные для усиления физической силы и выносливости человека. Они используются в различных сферах деятельности, включая военную.

Военные экзоскелеты представляют собой инновационные технологии, которые значительно улучшают боеспособность солдат на поле боя. Они помогают увеличить нагрузку, которую может выдержать солдат, а также снижают риск получения травм в результате выполнения сложных задач.

Основные преимущества экзоскелетов для военных:

- **Увеличение физической выносливости.**

Экзоскелеты позволяют солдатам не уставать на длительных походах или в экстремальных условиях.

- **Увеличение силы.**

С помощью экзоскелетов солдаты могут без труда нести тяжелое вооружение или снаряжение.

- **Защита от травм.**

Экзоскелеты помогают снизить риск получения повреждений при выполнении сложных задач.

Однако несмотря на все преимущества, военные экзоскелеты имеют и недостатки. Они могут быть дорогими в производстве и обслуживании, требовать дополнительного обучения солдат и, кроме того, иметь ограниченный ресурс службы.

Тем не менее военные экзоскелеты продолжают развиваться и совершенствоваться, и уже сегодня они активно применяются в ряде стран для улучшения боеспособности и эффективности военных действий. В будущем данные технологии могут стать неотъемлемой частью вооружения солдат и обеспечить им значительное преимущество на поле боя.

Lockheed Martin – HULC (Human Universal Load Carrier). Производитель: Lockheed Martin, известная американская компания, специализирующаяся на разработке и производстве оборонительных технологий.

Модель HULC – это экзоскелет, созданный для усиления физических возможностей солдат и обеспечения поддержки при переноске тяжелых грузов.

Особенности: HULC обладает возможностью уменьшить усталость и повысить эффективность солдат на поле боя за счет помощи в перемещении тяжелых нагрузок. Экзоскелет имеет эргономичный дизайн и позволяет сократить нагрузку на мышцы и суставы.

Sarcos Robotics – Guardian XO. Производитель: Sarcos Robotics – ведущая компания по разработке технологий в области робототехники и экзоскелетов.

Модель Guardian XO – это инновационный экзоскелет, разработанный для применения в военных и промышленных целях.

Особенности: Guardian XO позволяет увеличить силу и выносливость оператора, облегчая выполнение тяжелых физических задач. Этот экзоскелет обладает уникальной технологией, позволяющей оператору чувствовать и контролировать движения робота с высокой точностью и отзывчивостью.

Ekso Bionics – EksoVest. Производитель: Ekso Bionics – инновационная компания, специализирующаяся на разработке медицинских и промышленных экзоскелетов.

Модель EksoVest – это легкий и удобный экзоскелет, который предназначен для помощи операторам в поддержке рабочей нагрузки на плечах и спине.

Особенности: EksoVest помогает уменьшить риск травм и усталости, связанный с подниманием и переноской тяжелых предметов.

Этот экзоскелет обеспечивает дополнительную поддержку и комфорт при выполнении повседневных задач.

Заключение. Военные экзоскелеты представляют собой передовые технологии, которые помогают улучшить физические возможности и эффективность операторов в военных сферах. Инновации в данной области позволят в будущем совершенствовать технологию, что впоследствии приведёт к более масштабным улучшениям качества работы солдат в полевых и экстренных условиях, вплоть до обеспечения полной безопасности пользователя.

ЛИТЕРАТУРА

1. The Incredible HULC: Lockheed Martin unveils exoskeleton technology [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://newatlas.com/lockheed-martin-exoskeleton-hulc/11220/> (дата обращения: 09.03.2024).

2. Guardian XO Alpha: Up Close and Personal with the Sarcos Robotics Full-Body Powered Exoskeleton [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://exoskeletonreport.com/2019/12/guardian-xo-alpha-up-close-and-personal-with-the-sarcos-robotics-full-body-powered-exoskeleton/> (дата обращения: 09.03.2024).

3. EksoVest Экзоскелет верхней части тела для промышленной отрасли [электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.legakord.ru/product/reabilitatsiya/ekzoskelety/eksovest-ekzoskelet-verkhney-chasti-tela-dlya-promyshlennoy-otrasli/> (дата обращения: 09.03.2024).

УДК 004

АНАЛИЗ И ИСПЫТАНИЕ АЛГОРИТМОВ SLAM В РАМКАХ ЛИГИ RESCUE SIMULATION СОРЕВНОВАНИЙ РОБОКАП

*Д.А. Анисимов, студент каф. ЭП; Е.С. Шандаров, зав. ЛРИИ
г. Томск, ТУСУР, shandarov@mail.ru*

Рассматриваются задачи картографирования заранее неизвестной местности с использованием алгоритмов SLAM в среде симуляции лиги RCJ Rescue Simulation. Рассмотрены и реализованы два алгоритма SLAM, проведен анализ их эффективности.

Ключевые слова: RoboCup, SLAM, роботы-спасатели, Rescue robot.

Выполнение аварийно-спасательных работ может создавать ситуации, опасные для жизни человека. Использование безлюдных технологий на базе робототехнических комплексов поможет свести к минимуму степень риска для спасателей [1]. Таким образом, перед разработчиками стоит задача создания конструкций, компонентов и программного обеспечения, обеспечивающих автономный режим роботов-спасателей, при этом особую актуальность приобретает использо-

вание систем симуляции. Также следует отметить важность задачи профориентации для школьников и студентов в области разработки робототехнических систем.

Международный чемпионат по робототехнике RoboCup включает соревнования роботов-спасателей в виртуальной среде для команд юниоров (школьники и студенты младших курсов) RCJ Rescue Simulation [2]. Начиная с 2023 г. базовой средой в лиге стал Webots, что существенно повысило качество симуляции и сложность задач.

Задача картографирования лиги Rescue Simulation. Роботу необходимо передать виртуальному наблюдателю массив, в котором с помощью символов записана карта полигона. Бонус карты оценивается как множитель к общим баллам.

Поле, созданное в виртуальной среде, разделено на четыре области. Области 1–3 представляют собой зоны, состоящие из плиток размера 6×6 см, похожие на лабиринт. Дополнительная область 4 состоит из хаотично расположенных стен. Здесь командам рекомендуется изучить и разработать интересные алгоритмы одновременной локализации робота и картографирования [3].

Правила составления карты. Карта лабиринта предназначена для кодирования геометрии окружающей среды в установленном формате – массив символов, где каждый символ представляет собой элемент лабиринта. Карта, как и полигон, должна состоять из условных плиток. Плитка делится на 25 ячеек, где каждая ячейка представляет собой какое-либо значение в зависимости от того, что расположено на данной плитке.

Символьные обозначения для составления карты

Стены	1
Яма	2
Болото	3
Контрольная точка	4
Начальная плитка	5
Плитка перехода из зоны 1 в зону 2	6
Плитка перехода из зоны 2 в зону 3	7
Плитка перехода из зоны 3 в зону 4	8
Плитка перехода из зоны 4 в зону 1	9
Жертвы	H, S, U, F, P, C, O
Отсутствие препятствия	0

Картографирование. Основным инструментом картографирования в симуляции является лидар, который представляет собой датчик, возвращающий расстояния до объектов окружающей среды в метрах

аналогично датчику расстояния, но обеспечивающий полный охват на 360 градусов. [3] Для создания более эффективного и оптимального алгоритма картографирования были рассмотрены и реализованы два алгоритма **SLAM** (Simultaneous Localization and Mapping), а также проведено их сравнение по эффективности и точности в рамках задачи лиги Rescue Simulation.

Основные принципы алгоритмов SLAM. В качестве отсчета алгоритмы SLAM используют начальное положение робота, относительно которого строятся карта и траектория движения. Задачу SLAM, которая заключается в поиске точек интереса – углы стен, прямые линии, можно разделить на несколько основных пунктов (рис. 1). Робот должен точно распознавать ранее встреченный ориентир. Новая точка, о которой робот получает информацию из разных положений, является временной, пока робот не удостоверится в ее существовании [4].

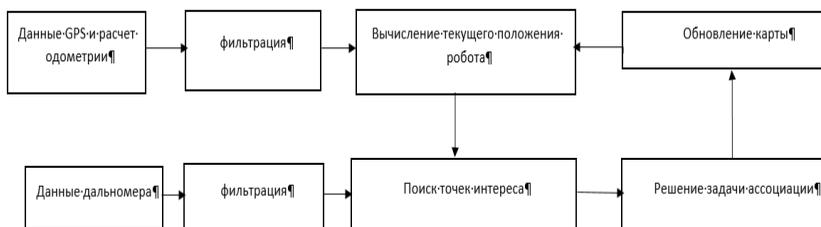


Рис. 1. Задачи SLAM

Алгоритм Distributed Particle SLAM. Робот по мере движения производит обработку данных, полученных с лидара и GPS датчика, на их основе составляет общую карту, для чего учитывается движение робота, в том числе его угол поворота относительно общей системы координат карты. Используя гироскоп, можно получить значение угла поворота робота относительно своего прошлого положения. Пересчет облака точек выполняется путём умножения матрицы поворота на вектор-столбец, описывающий вращаемую точку формулой

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\theta) \\ \pm \sin(\theta) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix}.$$

После отсеивания случайных выбросов полученное облако точек записывается в массив, где каждой точке присваивается свой вес, который может быть увеличен, если робот во время движения встречает уже записанную точку. Общая карта масштабируется и переписывается до условленного в симуляции формата. Пример построенной карты данным методом представлен на рис. 2.

тат составил 84,2%, при этом совершалось меньше ошибок. Значительным минусом алгоритма Distributed Particle SLAM являлось длительное время обработки и составления финальной карты.

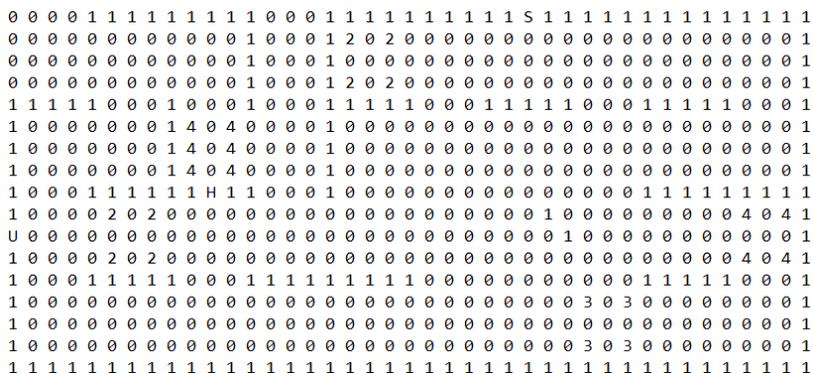


Рис. 3. Карта полигона, построенная с помощью метода построения карты по плиткам

Заключение. В рамках лиги Rescue Simulation более эффективным и простым для реализации является алгоритм построения карты по плиткам. В сравнении с алгоритмом Distributed Particle SLAM он имеет меньшее число данных для обработки и является более простым в реализации, так как нет необходимости составлять подробную карту полигона. При этом процент соответствия действительной конфигурации полигона не уступает результатам Distributed Particle SLAM.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шляков С.А. Трансформация отечественных институтов безопасности (на примере МЧС России // Власть. – 2011. – № 2. – С. 6–10.
2. Ронжин А.Л. Международные соревнования роботов по футболу Robocup и перспективы участия в них российских команд / А.Л. Ронжин, Л.А. Станкевич, Е.С. Шандаров // Робототехника и техническая кибернетика. – 2015. – № 2 (7). – С. 24–29.
3. Официальный сайт платформы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://v23.erebus.rcj.cloud/>, свободный (дата обращения: 14.09.2023).
4. Собченко М.И. Алгоритмы SLAM: обзор существующих решений / М.И. Собченко, В.И. Ухандеев // Электронные информационные системы. – 2014. – № 1 (1). – С. 69–77.

РОБОТОТЕХНИКА: КОНВЕЙЕРНЫЙ СКАНЕР ДЛЯ ПЕЧЕНЬЯ

М.Ю. Подольхов, Д.Б. Кравцов, студенты;

А.А. Изюмов, ст. преп. каф. КСУП

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

г. Томск, ТУСУР, kontrakt1996@gmail.com

Робототехника представляет сферу инженерных наук, отвечающую за конструирование, программирование и внедрение роботов в различные аспекты человеческой жизни с целью улучшения её качества.

Ключевые слова: робототехника, автоматизация, искусственный интеллект.

Робототехника – это одно из самых быстроразвивающихся направлений в современной технике [1]. Роботы находят применение во многих отраслях промышленности, включая производство продуктов питания. Один из интересных примеров использования роботов в пищевой промышленности – сканирование печенья на конвейере. Производство печенья – это сложный и масштабный процесс, который требует тщательного контроля качества каждого изделия, проходящего через производственную линию [2].

Роботы, оснащенные современными системами компьютерного зрения, могут быть запрограммированы для сканирования каждого печенья в конце конвейера для обнаружения любых дефектов или несоответствий стандартам качества перед упаковкой и отправкой на склад [3].

Процесс распознавания можно представить в виде схемы (рис. 1). Сканер печенья на конвейере представляет собой автоматизированное устройство, предназначенное для контроля качества и целостности изделий на производственной линии. Состоит из аппаратной и программной части.

Для обнаружения наличия изделия на конвейерной ленте используется модуль машинного зрения Pixu CMUcam5. Данная плата состоит из цифровой камеры и собственного процессора, отвечающего за обработку и анализ видеоизображения. Встроенные алгоритмы камеры способны обнаруживать и отслеживать сотни объектов одновременно (таблица).

На этапах определения наличия печенья и снятие визуального образа используется модуль машинного зрения для сканирования изображения в режиме реального времени и его предобработки для очистки от артефактов и защиты от ложного срабатывания. Также

возможно проверить наличие царапин, трещин или других дефектов на поверхности печенья.

Технические характеристики PiXu CMUcam5

Процессор	NXP LPC4330, 204 MHz, dual core
Оптическая матрица	Omnivision OV9715, 1/4", 1280×800
Поле зрения линзы	75° – по горизонтали, 47° – по вертикали
Тип линзы	standard M12
Энергопотребление	140 мА
Питание	USB (5 В), 6–10 В
Оперативная память	264 кБ
Флэш память	1 МБ
Интерфейсы	UART serial, SPI, I2C, USB, digital, analog
Габариты	2,1×2,0×1,4 дюйм (5,3×5,08×3,55 см)
Масса	27 г

Полученные данные обрабатываются быстро и точно специальным программным обеспечением – искусственным интеллектом на базе модуля Dense Prediction системы You Only Look Once (YOLO), который является мощным компонентом архитектуры нейронных сетей, обеспечивающим пространственно плотное предсказание классов или меток для каждого пикселя или патча входного изображения. Это позволяет достичь более высокой точности, лучшей локализации и более детальной информации о содержании изображений в различных задачах компьютерного зрения [4]. Программа сравнивает измеренные параметры печенья с заданными стандартами качества предприятия.

Нейросеть обучена для распознавания печенья на конвейерной ленте с использованием библиотеки YOLO, код написан на Python (рис. 2). YOLO унифицировал этапы обнаружения объектов, определяя все ограничивающие рамки одновременно. Для этого YOLO делит входное изображение на сетку $S \times S$ и предсказывает в ограничивающих рамках одного класса, а также вместе со своей уверенностью для C различных классов на каждый элемент сетки. Каждый прогноз граничной зоны состоит из пяти значений: P_c , b_x , b_y , b_h , b_w , где P_c – показатель уверенности для рамки, который отражает, насколько модель уверена, что в рамке содержит объект, и насколько точным является ящик. Координаты b_x и b_y являются центрами ячейки относительно сетки ячейки, а b_h и b_w – высота и ширина ячейки относительно всего изображения. Результатом работы YOLO является тензор в виде $S \times S \times (B \times 5 + C)$, по желанию с последующим немасштабированным подавлением для удаления дублирующих обнаружений.

На основе результатов анализа принимается решение о качестве каждого печенье. Если печенье соответствует стандартам, оно остается на конвейере и продолжает движение по линии. В случае обнаружения дефекта робот может автоматически отсортировать или отбраковать такое печенье.

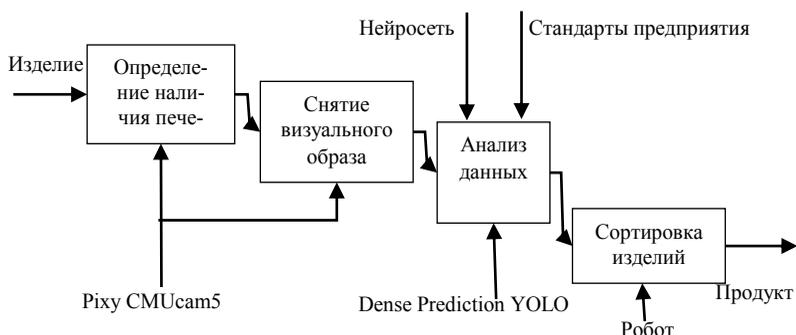


Рис. 1. Схема распознавания печенья на конвейерной ленте

```

def predict_with_size(model, path_to_img: str, confidence: float, path_to_save: str):
    os.makedirs(path_to_save, exist_ok=True)
    result = model.predict(source=path_to_img,
                           save_conf=True,
                           conf=confidence)

    image = Image.open(path_to_img)
    draw = ImageDraw.Draw(image)
    for bbox, conf in zip(result[0].boxes.xyxy, result[0].boxes.conf):
        left, up, right, bottom = bbox.numpy()
        conf_lvl = conf.numpy()
        width = right - left
        height = bottom - up
        draw.rectangle(((left, bottom), (right, up)), outline='red', width=10)
        text_class = f"Rock:{conf_lvl:.02f}"
        draw.text((left, 0.98 * up), text_class, fill='White')
        text = f"Width: {width}\nHeight: {height}"
        draw.text((left * 1.01, 1.01 * up), text, fill='White')
    basename = os.path.basename(path_to_img).split('.')[0]
    out_path = path_to_save + basename + f'_predicted_conf_{confidence}' + '.jpeg'
    print(out_path)
    image.save(out_path, "JPEG")
  
```

Рис. 2. Фрагмент кода

Таким образом, сканер печени на конвейере обеспечивает автоматизированный контроль качества продукции, помогает улучшить производственные процессы и предотвращает выпуск дефектной продукции.

ЛИТЕРАТУРА

1. Нефтегаз ставит на роботизацию [Электронный ресурс]. – URL: https://www.vedomosti.ru/technologies/new_technologies/articles/2023/12/10/1010314-roboti-issleduyut-reaktori-i-prognoziruyut-razrusheniya (дата обращения: 25.02.2024).
2. Чен З. Технология машинного зрения для контроля качества и безопасности пищевых продуктов / З. Чен, Р. Лу // Тенденции развития в области пищевой науки и технологий. – 2019. – С. 15–25.
3. Ли Я. Технология машинного зрения для онлайн-контроля качества продукции пищи: обзор / Я. Ли, Х. Сонг, Д. Чжан // Журнал пищевой инженерии. – 2017. – С. 30–39.
4. Habr. Как работает Object Tracking на YOLO и DeepSort [Электронный ресурс]. – URL: <https://habr.com/ru/articles/514450/> (дата обращения: 30.01.2024).

ПОДСЕКЦИЯ 1.7

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ

*Председатель – Шурыгин Ю.А., директор департамента
управления и стратегического развития ТУСУРа,
зав. каф. КСУП, д.т.н., проф.;*
зам. председателя – Черкашин М.В., доцент каф. КСУП, к.т.н.

УДК 625.578.4

КОНТЕЙНЕР С СЕРВОПРИВОДОМ

*В.Г. Арзюков, С.А. Невежин, К.К. Шаттык,
А.В. Тимофеев, К.Д. Симонов, студенты ИЯТШ
г. Томск, НИ ТПУ, vga3@tpu.ru*

Разработан узел управления механизмом открывания крышки контейнера при помощи сервопривода.

Ключевые слова: сервопривод, контейнер, драйвер, ультразвуковой датчик расстояния, микроконтроллер.

Устройство предназначено для хранения твердых предметов. Открывание крышки производится с помощью сервопривода, установленного внутри корпуса. Контейнер снабжен датчиком расстояния, уведомляющим о необходимости открытия крышки.

При срабатывании ультразвукового датчика расстояния микроконтроллер даёт сигнал сервоприводу повернуться на определённый угол для поднятия крышки. По истечении времени крышка опустится и контейнер перейдёт в режим ожидания. Параметры определения расстояния и длительности ожидания закрывания крышки можно изменять. Алгоритм работы программы показан на рис. 1.

Основой устройства является микроконтроллер Arduino Nano. Для управления сервоприводом используются библиотека Servo.h, позволяющая настроить угол открытия и закрытия крышки, время открытой крышки и диапазон срабатывания датчика расстояния. Для используемого сервопривода значение угла открытия и закрытия установлено равным соответственно 10 и 150. В коде программы предусмотрены несколько функций, определяющих правильность настройки пинов на плате.

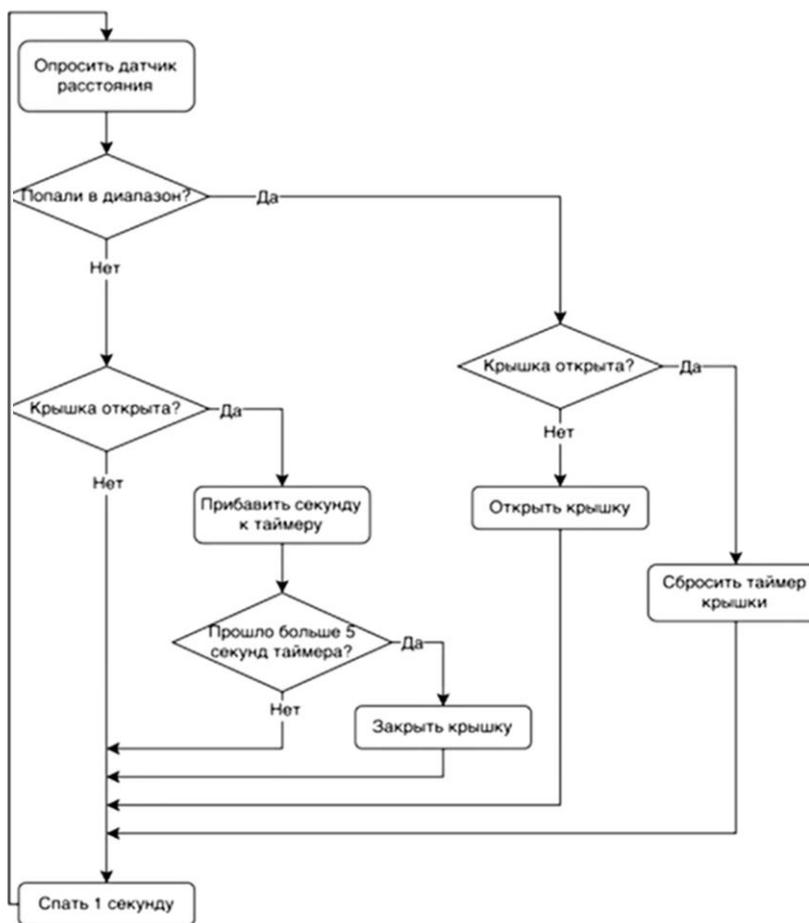


Рис. 1. Алгоритм работы программы

Структурная схема устройства показана на рис. 2. Два резистора и транзистор играют роль экономии заряда батареи, так как сервопривод в режиме ожидания потребляет ток (необходимое напряжение составляет около 12 В, максимальный ток 20 мА). Конденсатор используется для предотвращения перепадов напряжения. В начале работы на сервопривод поступает напряжение, значение которого превышает необходимое, во избежание этого установлен транзистор на питание Arduino Nano.

Для проведения тестирования был собран макет устройства. Результаты тестирования подтвердили полную работоспособность схе-

мы устройства, а именно закрытие и открытие крышки контейнера, и корректную работу программной реализации ультразвукового датчика расстояния. Разработана печатная плата (рис. 3).

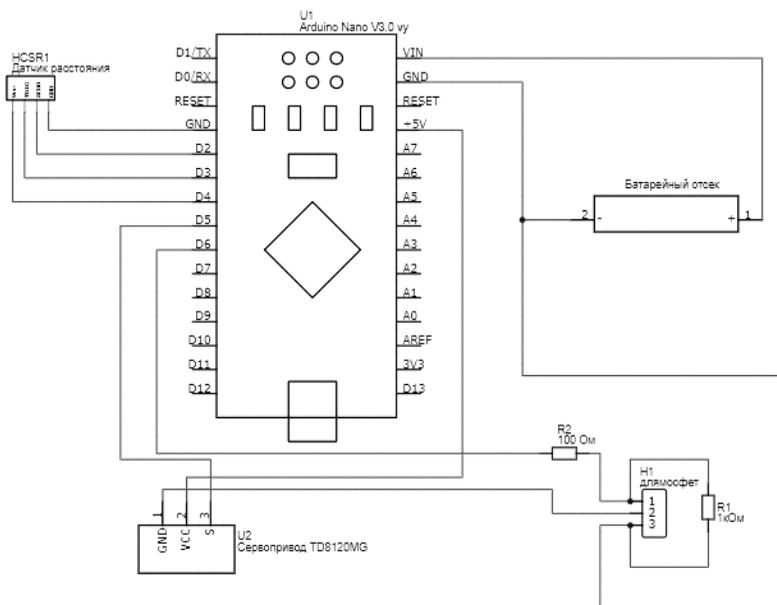


Рис. 2. Структурная схема устройства

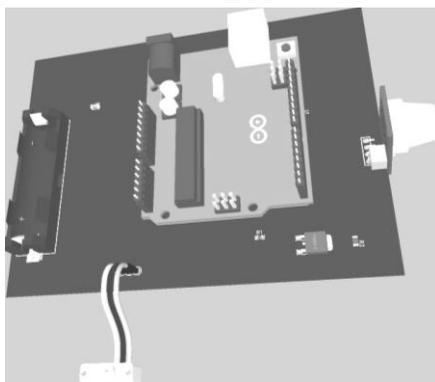


Рис. 3. Трёхмерная модель печатной платы

При первом запуске устройства была выявлена проблема недостатка напряжения: устройство не включалось. Впоследствии источник питания был заменен на другой, имеющий большее напряжение.

Выявлена проблема неправильной калибровки датчика расстояния: крышка контейнера открывалась лишь при поднесении руки на близкое от датчика расстояние. Данную проблему можно исправить после внесения изменений параметров в коде программы.

Таким образом, разработан узел управления механизмом открытия крышки контейнера, позволяющий автоматизированно получать доступ к содержимому контейнера без выполнения лишних операций.

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ ИЕС 60947-5-7–2017. Устройства и коммутационные элементы цепей управления. Требования к бесконтактным устройствам с аналоговым выходом (введен в действие с 2019-08-01). – М., 2019. – 26 с.

2. Петин В.А. Проекты с использованием контроллера Arduino. – 2-е изд. – СПб.: БХВ-Петербург, 2015. – 464 с.

УДК 004.912

РАЗРАБОТКА МОДУЛЯ ПАРСИНГА ФАЙЛОВ С ОПИСАНИЕМ ПРИНЦИПИАЛЬНЫХ СХЕМ

*Г.П. Лубов, И.А. Ершов, В.Д. Боровкова,
В.Е. Борнаишов, студенты каф. КСУП*

*Научные руководители: А.Е. Горяинов, к.т.н., доцент каф. КСУП,
А.А. Калентьев, к.т.н., доцент каф. КСУП
г. Томск, ТУСУР, glubov@yandex.ru, ershov64372@gmail.com,
mionallis@gmail.com, shipverty@vk.com*

Представлен разрабатываемый модуль парсинга файлов с описанием принципиальных схем программы LNA Designer. Показаны его ключевые функциональные возможности и пользовательский интерфейс. Описаны требования к структуре обрабатываемых файлов.
Ключевые слова: текстовый редактор, принципиальная электрическая схема, парсинг.

Программа LNA Designer компании \$50ohm Technologies\$ позволяет выполнять автоматизированный структурно-параметрический синтез принципиальных схем СВЧ-устройств [1]. Важным элементом программы является возможность пользователя задать ограничения на варьируемую в процессе синтеза структуру устройства. В настоящее время ограничения на структуру задаются в виде древовидной структуры, состоящей из электрических элементов (листьев дерева), подцепей (листьев) и их допустимых соединений (узлов дерева). Редактирование древовидной структуры является одной из неоднозначных задач в дизайне пользовательских интерфейсов. Несмотря на наличие разных механизмов графического интерфейса, таких как Drag&Drop, ви-

зуализации и т.п., в отдельных случаях редактирование древовидных данных может быть выполнено быстрее, если работать с данными, как с текстом.

Целью данной работы является разработка текстового редактора, позволяющего задавать требования к структуре синтезируемых устройств в программе LNA Designer.

Редактор предназначен для упрощения редактирования требований к структуре синтезируемых устройств. Редактор должен позволять редактировать требования к структуре цепи, используя её текстовое представление. Редактор должен уметь преобразовывать в текстовое представление заданную цепь (для её редактирования) либо позволять ввести собственную цепь и преобразовать в объект цепи. Макет пользовательского интерфейса текстового редактора представлен на рис. 1.

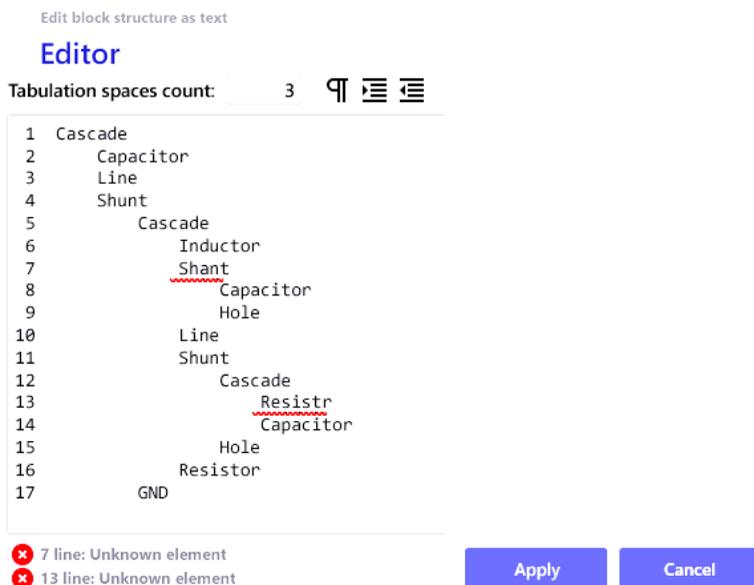


Рис. 1. Макет пользовательского интерфейса текстового редактора

Ключевым модулем редактора является парсер текстового представления цепи, проверяющего её правильность. Если какой-либо из элементов дерева не удастся считать, нарушена вложенность элементов дерева (например, листья дерева имеют собственные вложенные элементы) или неправильно указаны настройки, редактор должен указать строки текстового представления, в которых содержатся ошибки.

Для реализации работы редактор должен хранить несколько списков допустимых слов:

1. Список соединений (узлы дерева).
2. Список подцепей (листья дерева).
3. Список элементов (листья дерева).

Все элементы дерева, узлы и листья, имеют настройку о включении элемента:

1. Req (Required – обязательное включение, является значением по умолчанию).
2. Opt (Optional – опциональное включение).
3. Off (Toggle Off – элемент отключен).

Соединения имеют набор дополнительных настроек, которые определяют варьирование структуры во время синтеза:

1. Order: bool (отвечает за сохранение порядка элементов, по умолчанию true).
2. Any: bool (отвечает за обязательное включение, по умолчанию false).
3. Multiple: int (указывает, сколько раз элементы соединения должны продублироваться в конечной цепи, если они будут включены, по умолчанию 1).

Редактор должен выполнять проверку тестовой структуры дерева через 5 с после редактирования текста (последнего введенного символа), затем выводить список ошибок с указанием номеров строк либо выполнять подсветку самих строк, содержащих ошибку. Редактор должен обрабатывать без заметных задержек для деревьев до 50 строк. Редактор должен быть интегрирован в существующее ПО LNA Designer в качестве модуля для улучшения пользовательского опыта редактирования древовидной структуры принципиальных схем.

Процесс парсинга – основа на алгоритме обхода графа в глубину [2] и начинается со считывания файла и записи каждой его строки в список. Далее для полученного списка выполняется линейный проход по каждой строке, в процессе которого можно выделить следующие этапы:

1. Определение уровня вложенности каждого элемента структуры на основе отступов в текстовом файле.
2. Определение взаимосвязей родитель-потомок для каждого элемента структуры на основе вложенности.
3. Формирование древовидной структуры.
4. Валидация орфографии и определение ключевых слов.
5. Валидация очередности элементов в строках.
6. Валидация параметров внутри строк.
7. Валидация структур.

Полученную древовидную структуру планируется хранить в качестве списка, элементы которого имеют следующую структуру данных:

1. Ссылку на узел-родитель (если элемент является корнем дерева, то хранится null).

2. Список ссылок на потомков (если элемент является листом, то хранится null).

3. Тип элемента (соединение, подцепь или элемент).

4. Список параметров.

Данный подход к проектированию позволит использовать полученную древовидную структуру и в контексте списка, и в контексте графа, что облегчит её дальнейшее использование.

В данный момент модуль находится на этапе проектирования. Следующим этапом работ будет разработка этого модуля, его интегрирование в LNA Designer и выпуск новой версии программы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Разработка алгоритма структурно-параметрического синтеза схемных решений СВЧ-малошумящих усилителей с учетом технологического процесса / Е.В. Кабанова, В.С. Швоев, Н.А. Набережнев, А.Е. Горяинов, А.А. Калентьев // Матер. докл. XIX Междунар. науч.-техн. конф. «Электронные средства и системы управления», Томск, 15–17 ноября 2023 г. – Томск: В-Спектр (ИП В.М. Бочкарева), 2023. – Ч. 1. – С. 69–72.

2. Блог компании OTUS. Реализуем алгоритм поиска в глубину [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://habr.com/ru/companies/otus/articles/660725/>, свободный (дата обращения: 10.03.2024).

УДК 629.004.5

ИНТЕРАКТИВНЫЙ МЕТОД РАСЧЕТА РЕАКТИВНЫХ СОГЛАСУЮЩИХ ЦЕПЕЙ ДЛЯ СВЧ-УСТРОЙСТВ

В.А. Гладков, студент

*Научный руководитель М.В. Черкашин, к.т.н., доцент каф. КСУП
г. Томск, ТУСУР, каф. КСУП, glavital99@mail.ru*

Рассматривается метод расчета простых реактивных согласующих цепей, входящих в состав многокаскадных СВЧ-усилителей, на основе применения ДМС и интерактивной визуальной методики синтеза пассивных цепей.

Ключевые слова: СВЧ-усилитель, согласующая цепь, визуальный метод синтеза, области допустимых значений.

При проектировании СВЧ-полупроводниковых устройств (ППУ) одним из эффективных подходов является декомпозиционный метод

синтеза (ДМС), предложенный Л.И. Бабаком [1]. При этом СВЧ ППУ представляется в виде блоков, часть из которых заданы (например, активные элементы, цепи питания по постоянному току и др.), а структуру и значения элементов других (согласующие и/или корректирующие цепи (СКЦ), двухполосные цепи коррекции и ОС – корректирующие двухполосники (КД) и пр.) нужно определить, исходя из заданных требований к характеристикам устройства. Для примера на рис. 1 показана структурная схема 2-каскадного СВЧ-усилителя, на которой выделены транзисторы T_1 и T_2 , четырехполосные СКЦ и двухполосные цепи ОС и коррекции – L_{s1} , L_{s2} , Z_{g2} , Z_{d2} и Z_{p2} .

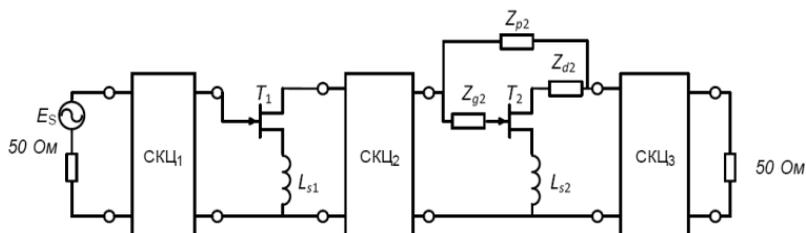


Рис. 1. Структурная схема СВЧ-усилителя

Решение задачи проектирования СВЧ ППУ на основе ДМС включает в себя два основных этапа [1]:

1) построение областей допустимых значений (ОДЗ) на комплексной плоскости параметров СКЦ или КД на заданных частотах в полосе рабочих частот, которые соответствуют заданному комплексу требований к характеристикам устройства (например, коэффициент усиления, входное/выходное сопротивление, коэффициент шума, устойчивости и др.);

2) синтез СКЦ (КД) (определение структуры и значений элементов) по полученным ОДЗ.

Методы и алгоритмы получения ОДЗ для линейных СВЧ-усилителей можно найти в [1–3] и др. Для решения 2-го этапа может применяться интерактивный визуальный метод синтеза [2, 4, 5], когда разработчик одновременно на экране компьютера видит цель проектирования в виде ОДЗ и годографа СКЦ (или КД). По расположению ОДЗ на комплексной плоскости входного иммитанса СКЦ (КД) можно выбрать ее структуру [2]. После выбора структуры СКЦ (КД) разработчик в режиме реального времени может управлять формой годографа с помощью интерактивных инструментов, тем самым определяя значения элементов цепи. Цель – добиться попадания точек годографа на заданных частотах в соответствующие ОДЗ. Данная задача для

случая двухполюсной КЦ или реактивной СКЦ, нагруженной с одной стороны на резистор, описана в [2, 4, 5].

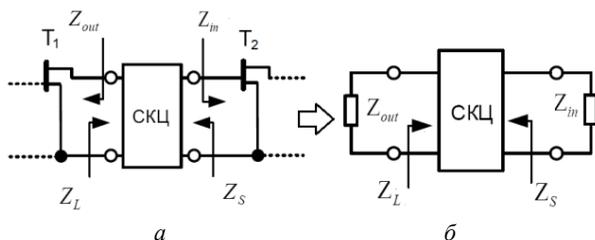


Рис. 2. Межкаскадная СКЦ (а) в усилителе, реактивная СКЦ с комплексными нагрузками (б)

Однако при проектировании многокаскадных усилителей межкаскадная СКЦ работает при комплексных импедансах со стороны входа и выхода (рис. 2). Применение методики [4, 5] в этом случае вызывает определенные затруднения. Поэтому предлагается расширить методику интерактивного визуального синтеза [2, 4, 5] для случая реактивной СКЦ при комплексных нагрузках со стороны входа и выхода (рис. 2, б).

Межкаскадную СКЦ представим в виде Т- или П-образной реактивной цепи (рис. 3).

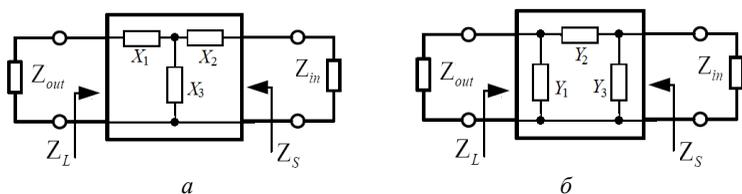


Рис. 3. Т-образная (а) и П-образная (б) межкаскадная СКЦ

Рассмотрим Т-образную СКЦ, которая описывается системой z-параметров.

$$Z_c = \begin{bmatrix} z_{11c} & z_{12c} \\ z_{12c} & z_{22c} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} jX_1 + jX_2 & jX_3 \\ jX_3 & jX_2 + jX_3 \end{bmatrix}.$$

Входное (Z_L) или выходное (Z_S) сопротивление СКЦ нагруженной на комплексные импедансы $Z_{in} = R_{in} + jX_{in}$ и $Z_{out} = R_{out} + jX_{out}$ можно найти по формулам

$$Z_L = \frac{\Delta_z + z_{11c}Z_{in}}{z_{22c} + Z_{in}}; \quad Z_S = \frac{\Delta_z + z_{22c}Z_{out}}{z_{11c} + Z_{out}}. \quad (1)$$

Если на некоторой опорной частоте (ω_0) задать желаемое сопротивление СКЦ со стороны выхода $Z_S(\omega_0) = Z_S^0$, то можно рассчитать два импеданса из трех в матрице Z_c , решив систему из двух уравнений, которые получаются из (2) после выделения реальной и мнимой частей.

$$Z_S = \frac{(X_3^2 - X_1 X_2) + j(X_2 + X_3)Z_{out}}{j(X_1 + X_2) + Z_{out}} = R_S^0 + jX_S^0. \quad (2)$$

Например, если задать величину X_3 , то, решив уравнение (2), получим выражения для расчета значений X_1 и X_2 :

$$X_1 = -X_{out} \pm \frac{\sqrt{R_S^0 R_{out} X_3^2 - (R_S^0)^2 R_{out}^2}}{R_S^0} - X_3;$$

$$X_2 = X_S^0 \pm \frac{\sqrt{R_S^0 R_{out} X_3^2 - (R_S^0)^2 R_{out}^2}}{R_{out}} - X_3.$$

Аналогичные формулы можно получить, если зафиксировать в СКЦ импеданс X_1 или X_2 . Двухполюсники X_1 , X_2 и X_3 представляют собой реактивный элемент – катушку индуктивности или конденсатор, величину которого легко найти, зная частоту ω : $L_i = X_i / \omega$ и $C_i = -1 / (X_i \omega)$.

Если задать желаемое значение сопротивления СКЦ со стороны входа $Z_L(\omega_0) = Z_L^0$, то все формулы для расчета X_i будут верны при замене $R_S^0 \leftrightarrow R_L^0$, $X_S^0 \leftrightarrow X_L^0$, $R_{out}^0 \leftrightarrow R_{in}^0$, $X_{out}^0 \leftrightarrow X_{in}^0$, $X_1 \leftrightarrow X_2$.

Методика интерактивного проектирования СКЦ состоит в следующем:

1) на плоскости входного Z_L и выходного Z_S импедансов СКЦ на ряде фиксированных частот ω_k строятся ОДЗ, которые соответствуют заданным требованиям к усилителю или коэффициенту передачи СКЦ. Методы построения ОДЗ для реактивных согласующих цепей и СКЦ в составе линейных СВЧ усилителей представлены, например, в [1–4];

2) выбираем опорную частоту ω_0 и желаемый импеданс со стороны входа (Z_L^0) или выхода (Z_S^0) внутри одной из ОДЗ соответственно на плоскости Z_L или Z_S ;

3) задаем один из элементов СКЦ и определяем его импеданс на опорной частоте (X_1 , X_2 или X_3), далее рассчитываем два оставшихся элемента СКЦ по полученным формулам;

4) рассчитываем годографы входного и выходного импедансов СКЦ $Z_L(\omega_k)$ и $Z_S(\omega_k)$ на частотах ω_k по формуле (1);

5) визуально проверяем попадание точек годографа на этих частотах внутрь соответствующих ОДЗ на плоскостях Z_L и Z_S ;

6) если точки годографа на каких-то частотах не попадают в соответствующие ОДЗ, можно управлять формой годографов, изменяя положение опорной точки внутри выбранной ОДЗ или варьируя значения элементов X_1 , X_2 или X_3 с помощью тюнеров;

7) когда все точки годографов $Z_L(\omega_k)$ и $Z_S(\omega_k)$ попали внутрь соответствующих ОДЗ, расчет заканчиваем.

При этом весь процесс нахождения элементов СКЦ происходит в режиме реального времени, тем самым реализуется интерактивная визуальная методика, подобная [4, 5].

В статье рассматривается метод расчета простых реактивных согласующих цепей, входящих в состав многокаскадных СВЧ-усилителей, на основе применения ДМС и интерактивной визуальной методики синтеза пассивных цепей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бабак Л.И. Теория, методы и алгоритмы автоматизированного синтеза СВЧ-транзисторных усилителей на основе декомпозиционного подхода: дис. ... д-ра техн. наук. – Томск: ТУСУР, 2012. – 360 с.

2. Черкашин М.В. Интерактивное «визуальное» проектирование транзисторных СВЧ-усилителей на основе декомпозиционного метода синтеза: дис. ... канд. техн. наук. – Томск: ТУСУР, 2006. – 316 с.

3. Бабак Л.И. Автоматизированное проектирование малошумящих транзисторных СВЧ-усилителей с реактивными согласующими цепями / Л.И. Бабак, А.Ю. Поляков // Доклады ТУСУР. – Т. 1, вып. 1. – Томск: Изд-во ТУСУР, 1997. – С. 94–108.

4. Бабак Л.И. «Визуальное» проектирование корректирующих и согласующих цепей полупроводниковых СВЧ-устройств. – Ч. 1. Описание процедуры проектирования / Л.И. Бабак, М.В. Черкашин, Д.А. Зайцев // Доклады ТУСУР. – Томск: ТУСУР, 2006. – № 6 (14). – С. 11–23.

5. Бабак Л.И. «Визуальное» проектирование корректирующих и согласующих цепей полупроводниковых СВЧ-устройств. – Ч. 2. Программная реализация и примеры / Л.И. Бабак, М.В. Черкашин, Д.А. Зайцев // Доклады ТУСУР. – Томск: ТУСУР, 2007. – № 1 (15). – С. 10–19.

МОДИФИКАЦИЯ ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКОГО ИНТЕРФЕЙСА В ПРОГРАММЕ HEXFORMER

И.А. Ершов, Г.П. Лубов, И.А. Данилов,

К.А. Ларионов, студенты каф. КСУП

Научный руководители: А.Е. Горяинов, доцент каф. КСУП, к.т.н.;

А.А. Калентьев, доцент каф. КСУП, к.т.н.

*Проект ГПО КСУП-2203. Разработка программного обеспечения
в области радиоэлектроники*

г. Томск, ТУСУР, ershov64372@gmail.com

Описан обновленный пользовательский интерфейс приложения HexFormer. В его основу легли замечания и пожелания конечных пользователей прошлой версии продукта. Обновлённый интерфейс включает в себя следующее: поиск фрагментов по их названию, список из недавно открытых шаблонов, кнопки для дублирования фрагментов, а также более компактное представление шаблона пакета на экране.

Ключевые слова: измерительное оборудование, программное обеспечение, пользовательский интерфейс, рефакторинг, MVVM.

Ранее уже проводилось тестирование программы HexFormer, после которого была получена обратная связь от пользователя. На основе неё были вынесены новые функциональные требования к обновлённой версии программы. Подход к проработке новой архитектуры для внедрения новой функциональности и процесс её реализации подробно описаны в статье [1]. В этой работе будут подробно разобраны недостатки прошлой версии интерфейса программы (рис. 1), выявленные после повторного тестирования, и подходы к решению этих недостатков.

В прошлой версии пользовательского интерфейса пользователь мог выполнять навигацию по шаблону пакета с помощью левой панели путём нажатия по выбранному фрагменту левой кнопкой мыши. Но после повторного тестирования оказалось, что пользоваться ею неудобно, так как пользователю приходилось постоянно переключаться между левой панелью для навигации и основной функциональной правой частью. Это происходило из-за того, что каждый отдельный фрагмент занимал слишком много вертикального пространства на экране. Поэтому работа с пакетом данных большого размера была затруднительная. В итоге было решено объединить компактный вид панели для навигации и основной функциональной части программы, за счёт чего получилось избавиться от совершения постоянных и рутинных действий во время навигации.

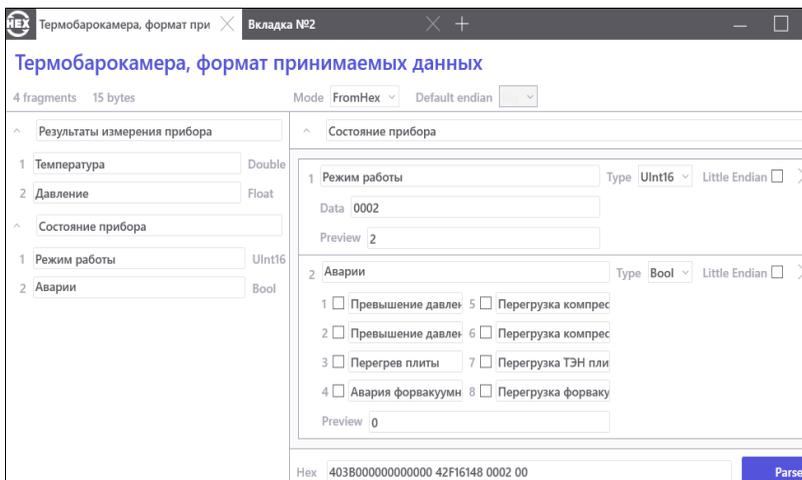


Рис. 1. Интерфейс главного окна приложения до модификации

Для каждого фрагмента и их групп были добавлены кнопки для создания нового или дублирования текущего фрагмента с сохранением его параметров. Это позволит ускорить формирование шаблона для конкретного прибора, так как пользователю не придётся каждый раз создавать фрагмент с настройками по умолчанию. Он может продублировать уже существующий и переместить его в нужное место с помощью механизма Drag and Drop. Это особенно критично для пакетов данных большого размера.

Дополнительно был добавлен поиск внутри шаблона пакета по введённому названию фрагмента, что позволит с легкостью находить нужный параметр прибора или результат его измерения.

Окончательный вид обновлённого пользовательского интерфейса программы представлен на рис. 2.

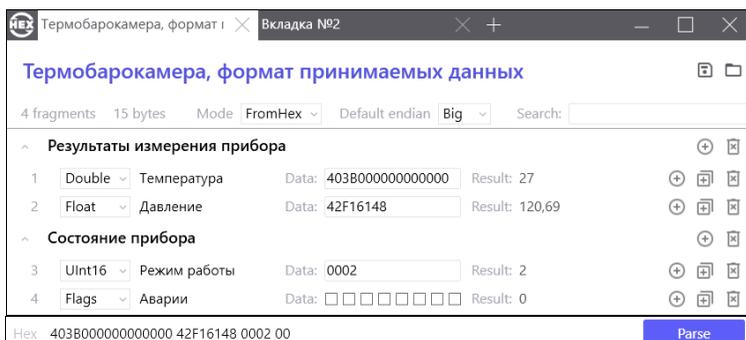


Рис. 2. Модифицированный интерфейс главного окна приложения

Также теперь при запуске программы или создании новой вкладки пользователь может просмотреть список из недавно открытых шаблонов пакета и по желанию выбрать нужный (рис. 3).

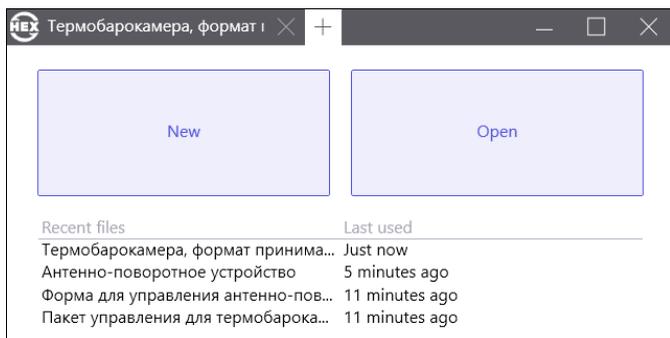


Рис. 3. Интерфейс создания новой вкладки со списком недавно открытых шаблонов пакета

Помимо перечисленных выше изменений в интерфейсе, также реализовано пользовательское расширение для файлов *.hexpack. Во время установки программы происходит его регистрация в реестре Windows. Благодаря чему при двойном нажатии на файл с этим расширением операционная система знает, что файл с соответствующим расширением она должна открыть в приложении HexFormer.

Благодаря применению MVVM [2] удалось в короткие сроки обновить пользовательский интерфейс без изменения логики работы приложения или его составляющих. В итоге обновлённый пользовательский интерфейс получился компактным, большее число фрагментов помещается на экран. Пользователи оценили модифицированный интерфейс как более удобный для работы с шаблонами пакетов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бизнес-логика приложения HEXFormer / Г.П. Лубов, И.А. Ершов, Н.А. Набережнев, В.С. Швоев // Сборник избр. статей научной сессии ТУСУР по матер. междунар. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых «Научная сессия ТУСУР–2023», Томск: 17–19 мая 2023 г. – Томск: В-Спектр (ИП В.М. Бочкарева), 2023. – Ч. 2. – С. 245–249.

2. Ryan Vice. MVVM Survival Guide for Enterprise Architectures in Silverlight and WPF / Ryan Vice, Muhammad Shujaat Siddiqi. – Packt Publishing Ltd, 2012. – P. 490.

УДК 658.512.2

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МЕТОДИКИ
АВТОМАТИЗИРОВАННОГО РАЗМЕЩЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ
НА ГИБКО-ЖЕСТКОЙ ПЕЧАТНОЙ ПЛАТЕ ЭЛЕКТРОННОГО
СРЕДСТВА С УЧЕТОМ ТЕПЛОВОЙ И ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ
СОВМЕСТИМОСТИ НА ОСНОВЕ ДВУХУРОВНЕВОГО
ГЕНЕТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА**

П.А. Макеев, науч. сотр. каф. САПР

*Научный руководитель С.Ф. Чермошенцев, проф., зав. каф. САПР, д.т.н.
г. Казань, КНИТУ-КАИ им. А.Н. Туполева, pragramer@yandex.ru*

Рассмотрена методика автоматизированного размещения элементов на гибко-жесткую печатную плату. Проведена апробация рассмотренной методики при проектировании гибко-жестких печатных плат. Сравнительный анализ ручного варианта размещения элементов на печатную плату с автоматизированным режимом подтверждает эффективность и качество предлагаемой методики.

Ключевые слова: автоматизированное размещение, гибко-жесткая печатная плата, генетический алгоритм, компьютерное моделирование.

Развитие современных электронных средств (ЭС) направлено на повышение быстродействия путем увеличения тактовых частот применяемых микросхем. Однако повышение вычислительных способностей без увеличения габаритных размеров, а в большинстве случаев при уменьшении габаритных размеров приводит к увеличению тепловыделения. Таким образом, в современных ЭС становятся актуальными проблемы, связанные с тепловой (ТС) и электромагнитной совместимостью (ЭМС).

Обеспечение минимизации габаритных размеров ЭС достигается за счет близкого расположения печатных плат (ПП), а также плотной компоновки элементов на самих ПП. Такой подход позволяет уменьшить габаритные размеры ЭС, но жгутовые соединения, необходимые для соединения ПП, занимают объем, равный объему самих ПП, что приводит к невозможности дальнейшей миниатюризации ЭС. Для решения проблем жгутового соединения применяются гибко-жесткие ПП (ГЖПП). Применение ГЖПП позволяет существенно уменьшить габаритные размеры ЭС, повысив их технологичность и надежность.

Проектирование ГЖПП заключается в осуществлении таких проектных операций, как схемотехническое проектирование ГЖПП, конструкторское проектирование ГЖПП, технологическое проектирование ГЖПП. На этапе конструкторского проектирования реализуются следующие основные процедуры: размещение элементов на ГЖПП и

трассировка межсоединений ГЖПП. В рамках данной работы рассматривается процедура автоматизированного размещения элементов на ГЖПП.

Размещение элементов – это выбор их оптимального расположения с учетом некоторых критериев качества [1, 2]. При решении задачи автоматизированного размещения элементов на ГЖПП необходимо учитывать критерии, направленные на обеспечение ТС и ЭМС. Игнорирование проблем ТС и ЭМС на этапе проектирования может привести к сбою функционирования готового ЭС, а исправление ошибок на этапе испытаний приводит к существенным временным и финансовым затратам [3].

Для решения задачи автоматизированного размещения элементов на ГЖПП в рамках данной работы предлагается применение методики автоматизированного размещения элементов на ГЖПП ЭС с учетом ТС и ЭМС на основе двухуровневого генетического алгоритма [4]. Отличительной особенностью предлагаемой методики является двухуровневое решение задачи автоматизированного размещения элементов на ГЖПП. На первом уровне производится размещение суперэлементов на ГЖПП (под суперэлементом понимается набор из активного элемента, например микросхема, и связанных с ним пассивных элементов), а на втором уровне размещаются элементы внутри суперэлементов. Применение такого подхода позволяет на первом уровне производить размещение с учётом ТС, а на втором уровне с учетом ЭМС. На каждом из уровней размещение элементов осуществляется с использованием модифицированного генетического алгоритма.

Целью данной работы является подтверждение эффективности разработанной методики автоматизированного размещения элементов на ГЖПП ЭС с учетом ТС и ЭМС на основе двухуровневого генетического алгоритма на реальных практических примерах ГЖПП ЭС.

Экспериментальные исследования. Применение методики автоматизированного размещения элементов на ГЖПП ЭС с учетом ТС и ЭМС на основе двухуровневого генетического алгоритма осуществлялось на 7 реальных практических примерах ГЖПП. Среди них устройства: ввода и обработки данных, вычислительное, интерфейсное, процессорное, аналого-цифрового преобразователя, управления и фотоприемное. Габаритные размеры ГЖПП варьировались от 80×40 до 157×70 мм, а количество элементов, подлежащих размещению, от 184 до 648. Время, затрачиваемое на решение задачи, напрямую зависит от количества подлежащих размещению элементов и их плотности расположения на ГЖПП. В среднем для рассматриваемых примеров на решение задачи затрачивалось порядка 60 мин.

Для подтверждения эффективности и качества предлагаемой методики проводился сравнительный анализ результатов, полученных с применением методики в автоматизированном режиме, и результатов, полученных в ручном режиме инженерами различного уровня подготовки.

Заключение. Апробация методики автоматизированного размещения элементов на ГЖПП ЭС с учетом ТС и ЭМС на реальных проектах подтверждает её эффективность, а именно время, затрачиваемое на размещение элементов на ГЖПП, сократилось в 5–10 раз относительно ручного варианта размещения элементов на плату инженером, а качество, по значениям критериев ТС и ЭМС, улучшено до 10% относительно ручного варианта размещения элементов на плату инженером.

Работа выполнена в рамках соглашения № 075-03-2023-032 от 16.01.2023 (шифр FZSU-2023-0004).

ЛИТЕРАТУРА

1. Алексеев О.В. Автоматизация проектирования радиоэлектронных средств: учеб. пособие / О.В. Алексеев, А.А. Головков, И.Ю. Пивоваров. – М.: Высшая школа, 2000. – 479 с.
2. Батищев Д.И. Оптимизация в САПР: учеб. / Д.И. Батищев, Я.Е. Львович, В.Н. Фролов. – Воронеж: ВГУ, 1997. – 416 с.
3. Кечиев Л.Н. Проектирование печатных плат для цифровой быстродействующей аппаратуры. – М.: ООО «Группа ИДТ», 2007. – 616 с.
4. Макеев П.А. Апробация методики автоматизированного размещения элементов на гибко-жесткой печатной плате на практических примерах / П.А. Макеев, С.Ф. Чермошенцев // Труды МАИ. – 2024. – № 134. – URL: <https://trudymai.ru/published.php?ID=178481>

УДК 621.3.011.733

МОДУЛЬ ПРОВЕДЕНИЯ ЧИСЛЕННЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО СИНТЕЗА СВЧ-УСТРОЙСТВ В ПРОГРАММЕ LNA DESIGNER

Е.В. Кабанова, магистрант каф. КСУП;

Н.А. Набережнев, В.С. Швоев, магистранты каф. АОИ;

А.Е. Горяинов, доцент каф. КСУП, к.т.н.

г. Томск, ТУСУР, kabanova.ekaterina.2000@gmail.com

Представлен модуль проведения численных экспериментов структурно-параметрического синтеза СВЧ-устройств, в частности, малошумящих усилителей (МШУ). Модуль предназначен для иссле-

дования сходимости алгоритма синтеза, основанного на использовании генетических алгоритмов.

Ключевые слова: автоматизированное проектирование СВЧ-устройств, структурно-параметрический синтез СВЧ-устройств, проектирование СВЧ малошумящего усилителя, исследование сходимости генетических алгоритмов.

В [1] описывается программа LNA Designer, выполняющая автоматизированный структурно-параметрический синтез СВЧ-устройств, в частности, малошумящих усилителей (МШУ). Процесс проектирования основан на применении генетического алгоритма (ГА), перебирающего возможные структуры и параметры схем в области допустимых решений [2–4].

Так как ГА относятся к стохастическим оптимизационным алгоритмам, при разработке программы возникает задача проверки сходимости синтеза при решении различных задач проектирования. Проверка сходимости может быть проведена с помощью сбора статистических данных о результатах запусков программы при решении одной и той же задачи. Задача осложняется тем, что ГА имеет большое количество настроек (размер популяции, операции селекции, кроссовера и мутации, веса ЦФ), которые также влияют на сходимость. Таким образом, целью исследования сходимости может быть задача поиска оптимальных настроек ГА для обеспечения наилучшей сходимости.

В данной статье представлена разработка модуля для проведения подобных численных экспериментов для исследования сходимости структурно-параметрического синтеза в программе LNA Designer. Также, поскольку на разных запусках полученные решения могут отличаться, модуль может использоваться для выполнения многократного запуска синтеза некоторой задачи для сбора большего количества возможных решений.

Модуль выполнен в качестве дополнительной вкладки «Эксперименты» в пользовательском интерфейсе программы (рис. 1).

В блоке «Настройки эксперимента» пользователь может задать количество запусков синтеза и количество сохраняемых решений в запуске. Если параметру «Количество запусков синтеза» будет задано значение 10, а параметру «Количество сохраняемых решений в запуске» – 5, в результате выполнения эксперимента будет сохранено 50 решений.

Для сохранения выбираются решения, характеристики которых наиболее точно приближены к поставленным требованиям. Пользователь может задавать дополнительные фильтры на сохраняемые решения:

- опция «Только соответствующие требованиям» сохраняет решения, удовлетворяющие требованиям к устройству;
- опция «Только с уникальной структурой» выполняет автоматическое исключение решений, чья структура повторяется с уже сохраненными;
- опция «Сохранить результаты эксперимента как CSV» сохраняет статистические данные выполненного эксперимента в csv-файл;
- опция «Экспортировать сохраненные решения в SNP» сохраняет результаты моделирования каждого сохраненного решения в формате *.s2p;
- опция «Автоматически сохранять проект между запусками» будет автоматически сохранять проект с найденными решениями после выполнения каждого запуска синтеза.

Приложение

- 🏠 Начало
- ⚙️ Настройки
- Требования к устройству
- 🏗️ Техпроцесс
- 📈 Характеристики
- 📁 Группы моделей
- 🏗️ Структура устройства
- Синтез
- 🔧 Настройки ГА
- ▶️ Запуск синтеза
- 🔍 Эксперименты
- Решения
- 🔧 Сохраненные схемы

Задайте настройки для многократного запуска синтеза с автосохранением найденных решений

Эксперименты

Настройки эксперимента

Количество запусков:

Количество сохраняемых решений в запуске:

Только соответствующие требованиям
 Только с уникальной структурой
 Сохранить результаты эксперимента как CSV
 Экспортировать сохраненные решения в SNP
 Автоматически сохранять проект между запусками

Условия остановки запуска

Количество итераций:

Ограничение по времени, мин:
 Достижение значения ЦФ:
 Количество итераций после достижения значения ЦФ:

Панель управления

Текущий запуск: 5/5

Итерация: 0/1000

Лучшая ЦФ: 1.714

Решение впервые найдено (итер.): NaN

Время текущего запуска: 00:00:00

Общее время: 00:00:58

Отчет по эксперименту

СТАТУС	#	ЦФ	РЕШЕНИЯ	УНИК. СТРУКТУРЫ	РЕШЕНИЕ НАЙДЕНО	ОБЩЕЕ ВРЕМЯ
Успех	1	1.613	14	6	6	00:00:11
Успех	2	3.034	20	9	76	00:00:11
Успех	3	2.545	18	10	29	00:00:11
Успех	4	2.164	16	8	89	00:00:11
Успех	5	1.714	16	4	71	00:00:10

Рис. 1. Интерфейс вкладки «Эксперименты»

Блок «Условия остановки запуска» позволяет задавать условия остановки запусков синтеза:

- параметр «Количество итераций» – количество итераций, которое должно выполняться на каждом запуске синтеза;
- параметр «Ограничение по времени» – время выполнения одного запуска синтеза в минутах;
- параметр «Достижение значения ЦФ» – значение ЦФ, при достижении которого запуск синтеза завершается;
- параметр «Количество итераций» после достижения значения ЦФ – количество итераций, которое будет выполнено после достижения значения ЦФ, заданного параметром «Достижение значения ЦФ».

Пусть параметру «Достижение значения ЦФ» задано значение 0, а параметру «Количество итераций после достижения» значения ЦФ – 1000. Предположим, что решение, значение ЦФ которого больше или равно 0, было найдено на двухтысячной итерации. В таком случае в рамках текущего запуска будет выполнено 3 000 итераций.

Блок «Панель управления» позволяет отслеживать процесс выполнения эксперимента и содержит такие параметры, как текущий запуск, итерация, лучшая ЦФ, решение впервые найдено (итер.), время текущего запуска, общее время.

Блок «Отчет по эксперименту» содержит таблицу с информацией о всех выполненных запусках. Для каждого запуска отображаются следующие параметры:

- параметр СТАТУС показывает для каждого запуска статус, с которым он был завершен (в случае успешного завершения – «Успех», в случае возникновения ошибки – «Провал»);
- параметр № отображает номер запуска;
- параметр ЦФ отображает наилучшее значение ЦФ, полученное в рамках текущего запуска;
- параметр «Решения» отображает количество уникальных решений (с учётом параметров моделей компонентов), полученных в рамках этого запуска;
- параметр «уникальные структуры» отображает количество уникальных структурных решений (без учета параметров моделей компонентов), полученных в рамках этого запуска;
- параметр «Решение найдено» отображает номер итерации, на которой было найдено первое решение, с положительным значением ЦФ;
- параметр «Общее время» отображает время выполнения запуска.

Модуль разработан и внедрен в программу LNA Designer, проведены эксперименты по влиянию типа ЦФ на сходимость ГА в задачах синтеза одно- и двухкаскадных МШУ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Программа автоматизированного структурно-параметрического синтеза малошумящих усилителей с учетом влияния особенностей технологического процесса / Е.В. Кабанова, Н.А. Набережнев, В.С. Швоев // Матер. докл. междунар. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых «Научная сессия ТУСУР – 2023», Томск, 17–19 мая 2023 г. – Томск: ТУСУР, В-Спектр» (ИП В.М. Бочкарева), 2023. – Ч. 1. – С. 148–151.
2. Калентьев А.А. Автоматизированный структурно-параметрический синтез малошумящих СВЧ-транзисторных усилителей на основе генетического алгоритма: дис. ... канд. техн. наук. – Томск: ТУСУР, 2015. – 275 с.
3. A new genetic-algorithm-based technique for low noise amplifier synthesis / L.I. Babak, A.A. Kokolov, A.A. Kalentyev, D.V. Garays // Microwave Integrated Circuits Conference (EuMIC), 2012 7th European. – 2012. – P. 381–384.
4. Разработка алгоритма структурно-параметрического синтеза схемных решений СВЧ-малошумящих усилителей с учетом технологического процесса / Е.В. Кабанова, В.С. Швоев, Н.А. Набережнев, А.Е. Горяинов, А.А. Калентьев // Матер. докл. XIX междунар. науч.-техн. конф. «Электронные средства и системы управления», Томск, 15–17 ноября 2023 г. – Томск: ТУСУР, В-Спектр (ИП В.М. Бочкарева), 2023. – Ч. 1. – С. 69–72.

УДК 621.372

ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО СИНТЕЗА ДВОЙНОГО БАЛАНСНОГО СМЕСИТЕЛЯ

В.И. Степанов, аспирант каф. ФЭ;

А.С. Сальников, зав. лаб. «50ohm Lab», к.т.н.

г. Томск, ТУСУР, vladislav.stepanov@50ohm.tech

Приведены результаты исследования генетического алгоритма, применяемого для решения задачи структурно-параметрического синтеза двойного балансного смесителя. Исследование направлено на определение оптимальных параметров генетического алгоритма. Во всех тестовых запусках синтеза достигается решение с характеристиками, близкими к требуемым. Это подтверждает эффективность генетического алгоритма при определенных параметрах.

Ключевые слова: двойной балансный смеситель, генетический алгоритм, суррогатная модель, симметрирующий трансформатор Маршанда, GaAs рНЕМТ, электромагнитное моделирование.

СВЧ-смесители являются одним из ключевых компонентов современных приемопередающих модулей [1]. При стремительном развитии технологий беспроводной связи повышаются требования к характеристикам всех компонентов, включая смесители. Для повыше-

ния эффективности поиска оптимальных параметров устройства и обеспечения наилучших электрических характеристик может использоваться автоматизированный синтез. Существует большое количество подходов к его реализации, среди которых стоит выделить эволюционные алгоритмы, поскольку они не требуют первоначального приближения, эффективны для широкого диапазона поиска и работают одинаково с вещественными и целыми числами.

Одними из ключевых параметров, влияющих на скорость выполнения автоматизированного синтеза, являются параметры генетического алгоритма (ГА). Отметим, что задача структурно-параметрического синтеза смесителя обладает большой размерностью и соответственно, большими временными затратами на один запуск. Поэтому для подбора параметров ГА, используемых в дальнейшем для синтеза смесителей, следует решить задачу меньшей размерности, а именно, оптимизация геометрических параметров трансформаторов.

Для определения параметров ГА были проведены численные эксперименты для выбора операторов мутации и отбора, а также настройки количества поколений и особей в популяции. Наибольшее влияние на сходимость ГА оказывало изменение оператора мутации. Для сравнения выбрана случайная мутация, изменяющая ген на любое число из заданного диапазона с равной вероятностью, и мутация по Гауссу, при которой наиболее вероятным будет небольшое изменение гена. Для оценки сходимости ГА было проведено по 100 запусков для каждого оператора мутации. Запуск считался успешным, если во время выполнения алгоритма достигается заданное пороговое значение целевой функции (ЦФ). Гистограмма, отражающая частоту достижения пороговой ЦФ в зависимости от поколения, представлена на рис. 1, где 101-е поколение означает, что это значение не достигнуто.

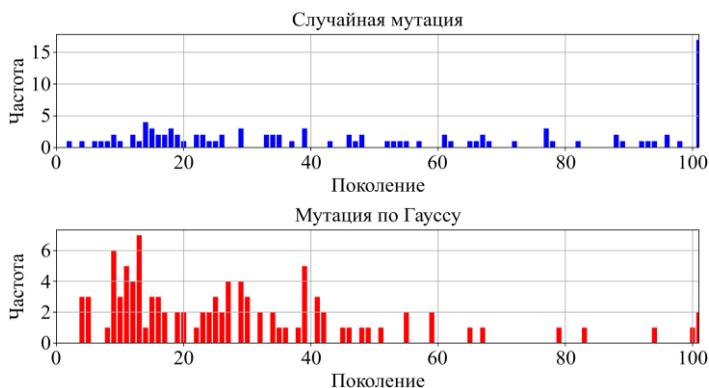


Рис. 1. Результаты тестов на сходимость ГА

Вероятность мутации при этом была 20%. Другие параметры ГА: для скрещивания особей используется односточечный кроссовер с вероятностью 80%; отбор реализуется двумя операторами: элитарным, который отбирает 20% лучших особей, и рулеточным, который случайно отбирает 80% особей пропорционально их ЦФ; размер популяции составляет 100 особей, а количество поколений равно 100; для формирования начальной популяции используется выборка Соболя.

Из рисунков следует, что при использовании мутации по Гауссу в 79 запусках из 100 максимальная ЦФ достигается до 40-го поколения. В случае же случайной мутации наблюдается более равномерная гистограмма. Кроме того, лучшее решение не было найдено в 17 случаях из 100, что говорит о худшей сходимости.

Для решения задачи структурно-параметрического синтеза смесителя в САПР была собрана схема, рассчитываемая методом гармонического баланса. Для управления ГА и геометрическими параметрами элементов схемы используется отдельный программный модуль на языке Python. Симметрирующие трансформаторы со стороны гетеродина и радиочастоты, а также фильтр промежуточной частоты в САПР представляют собой блоки с S -параметрами, рассчитываемые в программном модуле. Для расчета характеристик симметрирующих трансформаторов используется суррогатная модель [2].

Для оценки сходимости ГА при решении задачи структурно-параметрического синтеза смесителей было проведено 10 запусков. Результаты тестов на сходимость представлены на рис. 2.

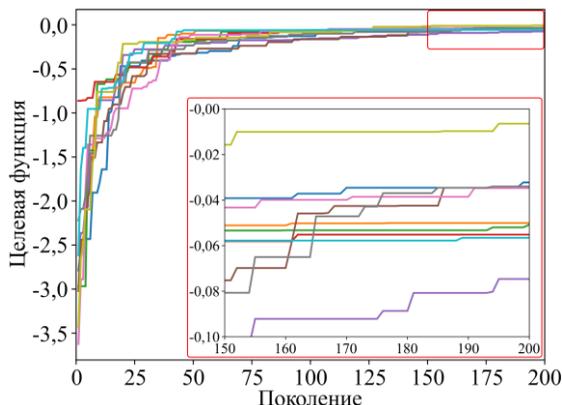


Рис. 2. Результаты тестов на сходимость ГА

Из представленного графика следует, что во всех 10 запусках достигается ЦФ не менее $-0,1$. В данном случае такое значение говорит

о том, что полученное решение в целом удовлетворяет всем предъявляемым требованиям за исключением некоторых частотных точек. Среднее время синтеза составляет около 8 ч, а время расчета характеристик одного решения составляет 1,5 с.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 19-79-10036, <https://rscf.ru/project/22-79-41023/>.

ЛИТЕРАТУРА

1. Li. Y. Systematic design of 7 to 40 GHz on chip mixer based on optimal impedance deviation coefficient / Y. Li, X. Zhu, R. Liu, L. Tian // International Journal of RF and Microwave Computer-Aided Engineering. – 2020. – Vol. 30. – P. 1–12.

2. Stepanov V.I. Inductor Synthesis Technique Based on Surrogate Modeling / V.I. Stepanov, A.A. Metel, A.S. Salnikov, D.V. Bilevich // IEEE Ural-Siberian Conference on Biomedical Engineering, Radioelectronics and Information Technology (USBREIT). – 2023. – P. 139–142.

Секция 2

ЭЛЕКТРОНИКА

И ПРИБОРОСТРОЕНИЕ

ПОДСЕКЦИЯ 2.1

ПРОЕКТИРОВАНИЕ БИМЕДИЦИНСКИХ ЭЛЕКТРОННЫХ И НАНОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ

Председатель – Еханин С.Г., проф. каф. КУДР, д.ф.-м.н.;
зам. председателя – Романовский М.Н., доцент каф. КУДР, к.т.н.

УДК 53.097

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЛЬТ-АМПЕРНЫХ И ВОЛЬТ-ФАРАДНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СИД С МНОЖЕСТВЕННЫМИ КВАНТОВЫМИ ЯМАМИ НА ОСНОВЕ InGaN/GaN

С.С. Сафонов, А.В. Кинах, И.А. Павлова, студенты

*Проект КУДР-2002. Изучение деградации светодиодных гетеро-
структур методом измерения ВАХ и свечения в области микротоков*

Научный руководитель С.Г. Еханин, проф. каф. КУДР, д.ф.-м.н.

г. Томск, ТУСУР, каф. КУДР, stalker@main.tusur.ru

Проведены эксперименты по измерению вольт-фарадных характеристик для экспериментального подтверждения паспортных данных светоизлучающих диодов, а именно количества квантовых ям и их толщин. Проведено сравнение результатов по нахождению квантовых ям с помощью дифференцирования вольт-фарадных и вольт-амперных характеристик.

Ключевые слова: светоизлучающие диоды, наногетероструктура, вольт-фарадные характеристики, вольт-амперные характеристики, профилирование.

В настоящее время широко используются устройства наноэлектроники на основе гетероструктур с множественными квантовыми ямами (МКЯ). Успехи в их применении в значительной мере обусловлены развитием методов диагностики. Одними из самых информативных методов диагностики полупроводниковых наногетероструктур являются фотоэлектронные методы.

Ранее нами была опубликована статья [1], где рассматривался фотоэлектрический метод диагностики светоизлучающих диодов (СИД) с гетероструктурой на основе GaN. Однако для более точной диагностики и профилирования (МКЯ) кроме исследования ВАХ с фотоподсветкой необходимо измерение и вольт-фарадных характеристик (ВФХ).

Описание экспериментальной установки. Методика исследования. В качестве исследуемых образцов были использованы образцы СИД на основе нитрида галлия – кристаллы собственного производства АО НИИПП. Автоматические измерения фотоэлектрических характеристик проводились с помощью прецизионного источника-измерителя Keysight B2912A [2]. Одновременно с измерением ВАХ на образец СИД осуществлялась постоянная подсветка узкополосным излучением такого же светодиода, что и светодиод, выбранный для исследования. Полученные результаты обрабатывались с помощью ПК в Excel MS.

Измерения ВФХ проводились с помощью RLC-измерителя Agilent E4980A [3]. На основании ВФХ можно выполнить экстракцию некоторых параметров гетероструктуры. С помощью емкостного профилирования можно определить ширину слоев активной области СИД.

Экспериментальные результаты и обсуждение. Вначале проводились измерения ВФХ в диапазоне от +2 до -5 В. ВФХ образца 4527015 после дифференцирования представлена на рис. 1.

На рис. 1 видны характерные изгибы зависимости, отражающие внутреннюю структуру СИД. Стрелками показаны максимумы предполагаемых откликов квантовых ям.

Используя известную формулу определения емкости плоского конденсатора и зная площадь кристалла СИД, из ВФХ можно определить толщину активной области в характерных точках напряжения (см. рис. 1). Как показали расчеты, на кривой (см. рис. 1) выявлена периодичность, обусловленная откликами квантовых ям гетероструктуры. Выявленная периодичность составила следующую последовательность (в нанометрах): 10,76; 10,02; 10,95, что хорошо согласуется с периодами слоев активной области гетероструктуры пластин, представленных производителями. На наш взгляд, видны только четыре

квантовые ямы, пятая яма маскируется в самом начале характеристики (примерно при 2–2,2 В).



Рис. 1. ВФХ после дифференцирования

Для экстракции других параметров гетероструктуры следует построить ВФХ в координатах $(S/C)^2 = f(U)$, продлить её до пересечения с осью абсцисс и определить контактную разность потенциалов, а определяя наклон зависимости, найти концентрацию примеси в базе СИД.

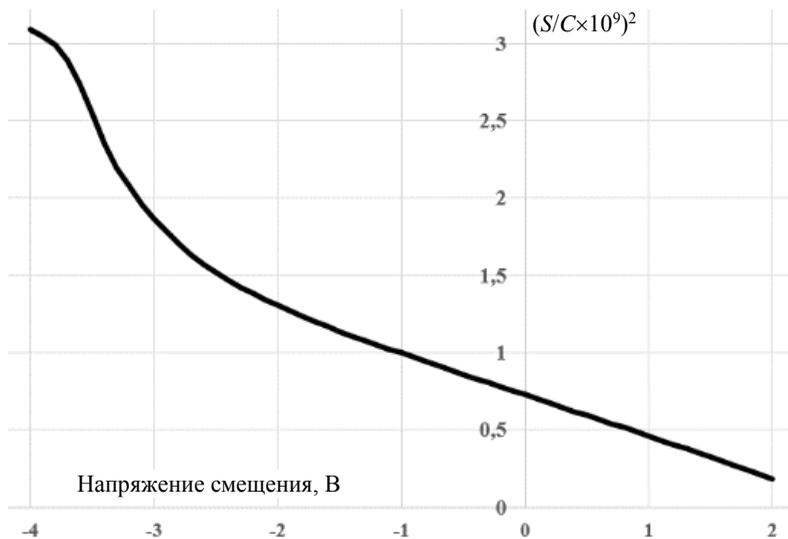


Рис. 2. Зависимость $(S/C)^2 = f(U)$

Как видно из рис. 2, контактная разность потенциалов p - n перехода равна $U_0 = 2,6$ В. Вычисляя тангенс угла наклона характеристики (см. рис. 2), была определена концентрация примеси в базе диода $N = 5 \times 10^{17}$ 1/см³. Полученная концентрация соответствует значениям, указанным производителями.

Заключение. Таким образом, представленная информация от АО НИИПП о внутреннем строении выбранного нами светодиода была экспериментально подтверждена. Данная методика в дальнейшем позволит проводить диагностику при отсутствии информации о внутренней структуре готовых СИД/пластин у поставщиков.

Выражаем благодарность сотрудникам отдела № 110 АО «НИИПП» М.И. Воротникову, Ю.А. Хотненко, Р.А. Гальченко за предоставленные образцы для исследования, которые использовались в данной работе и активное участие в обсуждении полученных результатов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Исследование фотоэлектрических характеристик светодиодных гетероструктур на основе GaN / С.Г. Еханин, С.А. Санько, А.В. Кинах, А.С. Степанова // Матер. докл. XIX Междунар. науч.-практ. конф. «Электронные средства и системы управления», Томск, 15–17 ноября 2023 г. – Томск: ТУСУР, В-Спектр (ИП В.М. Бочкарева), 2023. – Ч. 1. – С. 141–143.

2. Keysight E4980A/AL Precision LCR Meter User's Guide [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.keysight.com/zz/en/assets/9018-05655/user-manuals/9018-05655.pdf> (дата обращения: 11.03.2024).

3. Keysight B2912A Series Precision Source [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.keysight.com/ru/ru/support/B2912A/precision-source-measure-unit-2-ch-10fa-210v-3a-dc-10-5a-pulse.html> (дата обращения: 11.03.2024).

4. Славникова М.М. Исследование вольт-амперных и вольт-фарадных характеристик полупроводникового диода: метод. указ. к лаб. занятиям по дисциплине «Физические основы микро- и нанозлектроники» / М.М. Славникова, С.А. Артищев [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://edu.tusur.ru/publications/9960> (дата обращения: 11.03.2024).

УДК 621.317.332.3

СПОСОБ ОЦЕНКИ БИОИМПЕДАНСА МЫШЦЫ С ПОМОЩЬЮ ЗОНДИРУЮЩЕГО СИГНАЛА С БОЛЬШОЙ БАЗОЙ

Е.С. Ульянова, студентка каф. 310 МАИ

Научный руководитель В.В. Егоров, ст. преп. каф. 410 МАИ

г. Москва, МАИ, liza.korolev@gmail.com

Предложен способ выделения информационного сигнала из шумов с помощью ФКМ-импульса применительно к задачам оценки

биоимпеданса мышц в области предплечья, а также разработана структурная схема прототипа измерительного прибора.

Ключевые слова: бионика, протез, кисть руки, биоимпеданс, большая база, зондирующий сигнал, бионический протез.

В наше время системы протезирования переживают значительное развитие, благодаря миниатюризации и увеличению производительности электроники. Это позволяет создавать протезы, способные восстановить частично или полностью потерянную функциональность. При разработке протезов, включая роботизированные протезы кисти руки, одной из ключевых и сложных задач является точное определение требуемого положения пальцев протеза. Для этого производится анализ работы мышц, отвечающих за сгибание и разгибание пальцев в области предплечья.

Для данной оценки применяются разнообразныe методы с разной степенью чувствительности и устойчивостью к помехам. Важным моментом также является сохранение неповрежденности кожи, что требует использования неинвазивных техник. Один из таких методов – метод биоимпеданса. Он включает передачу высокочастотного сигнала через поверхностные электроды к коже в области различных мышц руки, что создает слабые электрические токи в тканях. Токи затем регистрируются с помощью датчиков, что позволяет оценить состояние конкретных мышц и в итоге определить положение пальцев.

При использовании данного метода важным аспектом являются растекание тока в толще тканей и наводка его на другие электроды. В работе [1] применялась концепция временного разделения каналов, однако при такой концепции определение состояния каждой мышцы требует времени, а также система не защищена от помех, наводимых на приёмные электроды.

В данной работе предлагается иной подход, основанный на кодовом разделении каналов. Структурная схема устройства приведена на рис. 1.

В данной концепции сигнал одновременно передаётся на все 8 пар зондирующих электродов, однако сигнал каждого из них представляет собой различные ФКМ-последовательности, представленные на несущей частоте 100 кГц. Длительность каждого единичного импульса составляет 100 мкс, что эквивалентно полосе сигнала в 10 кГц. ФКМ-последовательности выбираются таким образом, чтобы их взаимная корреляция была минимальна.

Сформированные модуляторами ФКМ-последовательности на несущей частоте 100 кГц поступают на миниатюрные трансформаторы гальванической развязки и далее на 8 пар электродов зондирования, закрепленных на руке в области предплечья.

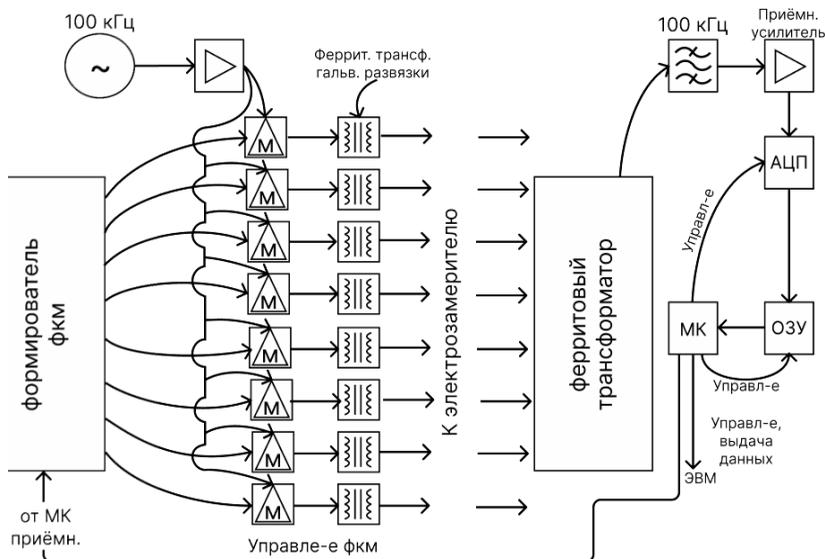


Рис. 1. Структурная схема устройства

Далее с 8 пар приёмных электродов сигналы поступают на приёмный ферритовый трансформатор, где объединяются и поступают на полосовой фильтр и усилитель и далее на устройство записи выборки, представляющее собой комбинацию микроконтроллера, оперативной памяти и АЦП. Записывается выборка длительностью 100 мс, после чего она может быть отправлена для анализа на ЭВМ по интерфейсу UART.

Это улучшенное решение не только обеспечивает высокую помехозащищенность устройства, но также позволяет одновременно оценить состояние восьми мышц за счет кодового разделения каналов, что значительно сокращает время анализа и повышает скорость реакции протеза на изменения в мышечной активности.

В дальнейшем планируется разработка прототипа данной системы и проведение испытаний для подтверждения ее эффективности и целесообразности применения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Sazonov O.I. Prototype of the Forearm Muscle EIT Generator with Automatically Switchable Sensors for the Prosthesis Control System / O.I. Sazonov, M.K. Zolotenkova, V.V. Egorov // 2023 IEEE 24th International Conference of Young Professionals in Electron Devices and Materials (EDM), Novosibirsk, Russian Federation, 2023. – P. 1440–1443. DOI: 10.1109/EDM58354.2023.10225184.

2. Сафин Д. Современные системы управления протезами / Д. Сафин, И. Пильщиков, М. Ураксеев // Электроника: наука, технология, бизнес. – 2009. – 9 с.

3. Сафонова И.А. Моделирование, анализ и исследование информатичности сигналов импедансной реографии / И.А. Сафонова, Д. Сафин, И. Пильщиков, М. Ураксеев. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана. – 18 с.

4. Сташенко В.Б. Школа схемотехнического проектирования устройств обработки сигналов // Компоненты и технологии. – 2000. – № 3, 4. – 4 с.

5. Науман Г. Стандартные интерфейсы для измерительной техники / Г. Науман, В. Майлинг, А. Щербина; пер. с нем. А.С. Бондаревского. – М.: МИР, 1982. – 304 с.

УДК 53.097

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ФОНОВОЙ РАДИОАКТИВНОСТИ КРИСТАЛЛА КСІ

Д.А. Гульков, А.А. Швадленко, студенты каф. КУДР

Научный руководитель С.Г. Еханин, проф. каф. КУДР, д.ф.-м.н.

г. Томск, ТУСУР, stalker@main.tusur.ru

Проведены исследования вариации интенсивности фонового излучения кристалла КСІ в течение длительного времени. Показано, что помимо атмосферных гамма-квантов значительное влияние на показания датчика оказывают факторы техногенного характера. Учёт данных факторов позволил получить более точные показания вариации фонового излучения кристалла КСІ.

Ключевые слова: дезактивация радиоактивных отходов, фоновые вариации радиоактивного распада.

Благодаря развитию атомной энергетики все более возрастает потребность в создании и развитии новых способов обезвреживания радиоактивных отходов. Существует множество способов по дезактивации твердых радиоактивных веществ [1], однако методы, основанные на прямом физическом воздействии на атомное ядро и его полураспад, выявлены недавно.

В настоящий момент существует несколько статей, в которых упоминается о наблюдении воздействий лазерного излучения на скорость распада радиоактивных веществ [2–4]. Проблема подобных исследований определяется тем, что в распоряжении обычных экспериментаторов имеются лишь слабые источники радиоактивности. Ранее нами была реализована попытка определения степени воздействия лазерного излучения на радиоактивный распад кристалла КСІ. Однако на этапе фонового измерения в состоянии покоя было обнаружено, что радиоактивный фон кристалла нестабилен сам по себе.

В данной работе исследуются причины вариации интенсивности радиоактивного распада изотопов калия в кристаллах KCl при длительных измерениях без дополнительного внешнего воздействия.

Описание установки. Методика измерений. Экспериментальная установка содержит искусственно выращенный кристалл KCl габаритами 40×30×10 мм [5], расположенный на датчике радиоактивного излучения – газоразрядном счетчике Гейгера Мюллера (СБМ-20). Данное устройство встроено в дозиметр MyGeiger ver.3 PRO. Обновление информации происходит каждые 5 с с последующим переносом на карту памяти.

Измерение фоновой активности происходит в течение 20 ч. Данные эксперимента (интенсивность бета- и гамма-излучения) записывались в память компьютера в виде первичного массива данных. Эти данные содержат информацию об изменении радиоактивности от времени, в том числе о вариациях атмосферных гамма-квантов. Очевидно, что такие вариации будут влиять на результаты эксперимента, поэтому с помощью аналитического метода выделения полезного сигнала с применением преобразования Фурье производится вычитание короткопериодических солнечных гармоник из массива данных. Используя данные остаточного ряда, производим статистический анализ, в результате которого получаем средние значения по каждому часу.

Анализ и обсуждение результатов. После анализа данных эксперимента в MS Excel были вычислены средние показания, зарегистрированные датчиком за каждый час.

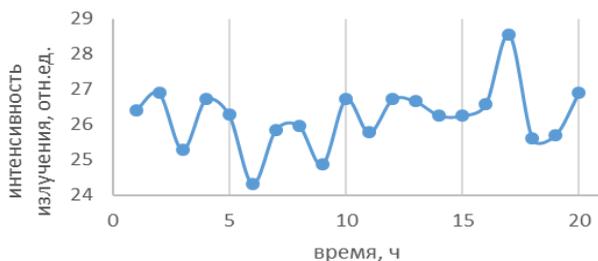


Рис. 1. Изменение интенсивности радиоактивного излучения кристалла хлорида калия в процессе эксперимента

На рис. 1 представлен график изменений средних значений в течение всего периода испытания и полиномиальный тренд 6-го порядка. Из рисунка можно увидеть, что тренд имеет колебательный характер. Причины такого тренда неизвестны, поскольку циклы вариации солнечной активности были вычтены. Из дальнейшего анализа стало известно, что помимо влияния солнечной активности на показания

датчика могут также влиять некоторые «переменные» техногенного характера (суточные колебания выбросов тепловых электростанций и др.), которые также необходимо учесть. Чтобы убрать влияние техногенных факторов, проведено вычитание из общего ряда данных значения тренда. Результат такой обработки представлен на рис. 2.

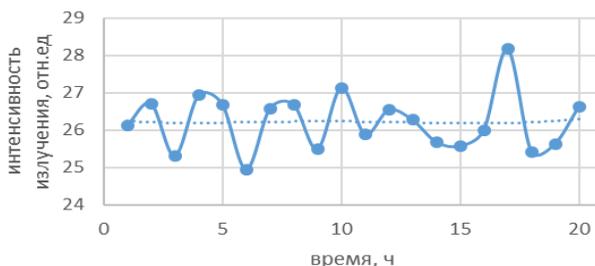


Рис. 2. График изменения радиоактивности на протяжении 20 ч после вычитания циклического тренда

Из графика можно увидеть значительное спрямление полиномиального тренда 6-й степени фона по сравнению с предыдущим рисунком (см. рис. 1).

Заключение. В ходе данного исследования было проанализировано фоновое излучение кристалла KCl при длительном измерении (20 ч). Стало известно, что помимо влияния атмосферных гамма-квантов на кристалл также влияют факторы техногенного характера. Вычитание влияния техногенных факторов позволило получить более точные показания вариации фонового излучения кристалла KCl.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дезактивация: Википедия. Свободная энциклопедия [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https:// ru.wikipedia.org/wiki/Дезактивация](https://ru.wikipedia.org/wiki/Дезактивация) (дата обращения: 15.03.2021).
2. Тернов И.М. Влияние сильного электромагнитного поля на бета-распад // Физика элементарных частиц и атомного ядра. – 1989. – Т. 20, № 1. – С. 51–96.
3. Коробкин В.В. Возбуждение ядер под действием сильного лазерного поля / В.В. Коробкин, М.Ю. Романовский // Труды Института общей физики РАН. – 2000. – Т. 57. – С. 3–27.
4. Андреев С.Н. Обнаружение эффекта влияния импульсного лазерного излучения на радиоактивный распад Cs-137 в коллоидном растворе золота / С.Н. Андреев, Е.В. Бармина, В.Г. Калинин // Письма в ЭЧЕА. – 2017. – Т. 14, № 6 (211). – С. 630–636.
5. Калий-40: Википедия. Свободная энциклопедия [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https:// ru.wikipedia.org/wiki/Калий-40](https://ru.wikipedia.org/wiki/Калий-40) (дата обращения: 17.03.2021).

РЕАЛИЗАЦИЯ ИСТОЧНИКА ПИТАНИЯ ДЛЯ АВТОНОМНОГО УСТРОЙСТВА АВТОМАТИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ И МОНИТОРИНГА

А.В. Александров, студент каф. КУДР

*Научный руководитель А.А. Бомбизов, начальник СКБ «Смена», к.т.н.
г. Томск, ТУСУР, quttro.0002@gmail.com*

Описаны реализация источника питания для автономного устройства автоматизации управления и мониторинга, проверка его энергоэффективности путём тестирования.

Ключевые слова: КПД, энергоэффективность, сила тока, напряжение, источник питания.

При реализации автономных устройств автоматизации управления и мониторинга могут быть использованы система связи, GPS-трекеры, магнитометры, акселерометры и др. Для непрерывной и стабильной работы таких устройств имеется необходимость в реализации надёжного источника питания, способного эффективно распределять заряд аккумулятора устройства, а также заряжать встроенный аккумулятор и питать всё устройство от солнечных панелей.

Структурная схема источника питания. В качестве центрального компонента схемы (рис. 1) используется контроллер заряда BQ25672 [1]. BQ25672 отвечает за постоянное питание всего устройства, за заряд встроенного в устройство аккумулятора, передачу информации главному чипу о состоянии заряда, о состоянии поломок, а также за определение источников питания. При достаточной освещенности устройство заряжает аккумулятор и запитывается от солнечных панелей, при недостаточной – питается от аккумулятора или же частично питает его.



Рис. 1. Структурная схема источника питания упрощенная

При входном напряжении 3,6–4,2 В для обеспечения напряжения 3,3 В используется стабилизатор напряжения LD1117S33TR [2], для 5 В – повышающий преобразователь MP3410DJ [3], а для достижения напряжения 4 В последовательно повышающему преобразователю установлен стабилизатор напряжения MIC29302 [4].

КПД преобразователей. Для повышения энергоэффективности устройства проведены тесты, в ходе которых посчитаны КПД преобразователей вместе с контроллером заряда и по отдельности от него. Для проведения тестов на вход солнечных панелей подавалось напряжение с лабораторного источника питания 12 В, а в нагрузку был установлен реостат. Также в разрыве между контроллером заряда и преобразователями был установлен амперметр для фиксации потребляемого тока без учёта потребления ВQ25672 для последующих расчётов КПД без учёта влияния контроллера заряда. Тесты проводились поочередно с каждым преобразователем. К нетестируемому преобразователю нагрузка не подключалась. Зависимость КПД LD1117S33TR с напряжением на выходе 3,3 В от токопотребления нагрузки представлена на рис. 2.

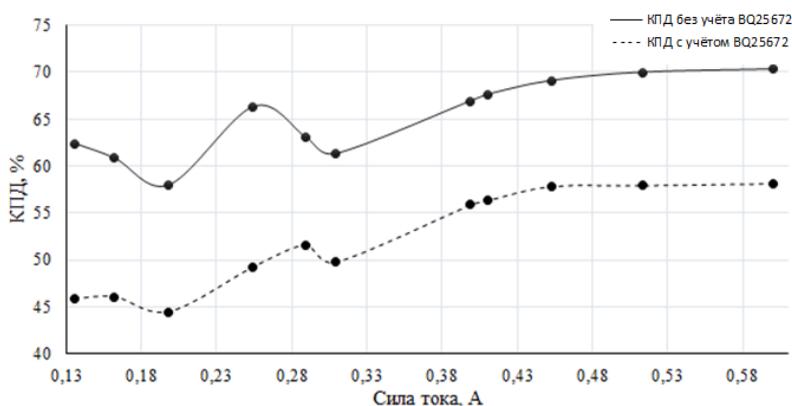


Рис. 2. Полученные значения КПД линейного стабилизатора LD1117S33TR

Значение КПД с учётом ВQ25672 не достигает и 60 %, что является критичным показателем для устройства, которое эксплуатируется автономно от аккумулятора длительный срок времени. Отсюда следует, что данный блок требует доработки в виде замены линейного стабилизатора, к примеру, на импульсный понижающий преобразователь MAX1626ESA [5].

На рис. 3 представлены зависимости КПД, последовательно расположенных MP3410DJ и MIC29302 с напряжением выхода 4 В от тока нагрузки с учётом ВQ25672 и без. Из графиков видно, что с учётом ВQ25672 КПД последовательности повышающего и понижающего преобразователей местами достигает отметки 65%, что является удовлетворительным значением КПД для автономного устройства.

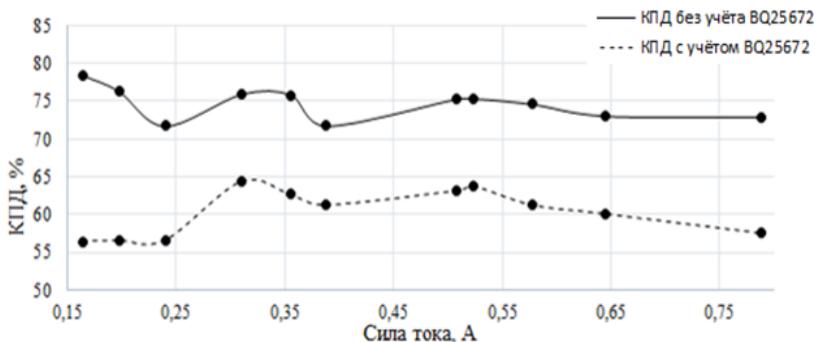


Рис. 3. Полученные значения КПД MP3410DJ и MIC29302

Для получения напряжения 4 В с большим КПД можно воспользоваться buck-boost преобразователями, например TPS63020 [6].

На рис. 4 изображены графики зависимостей КПД MP3410DJ с установленным напряжением на выходе 5 В от потребляемой силы тока нагрузкой. Из графиков видно, что коэффициент полезного действия с учётом контроллера заряда достигает 80%, что говорит о целесообразности его использования.

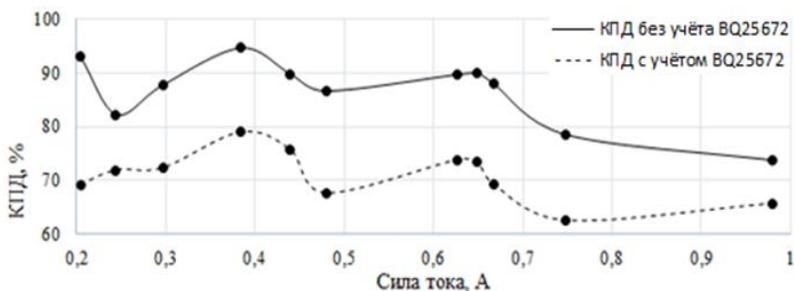


Рис. 4. Полученные значения КПД MP3410DJ

ЛИТЕРАТУРА

1. Контроллер заряда BQ25672 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/1274911/TI/BQ25672.html>, свободный (дата обращения: 12.11.2023).

2. Линейный стабилизатор LD1117S33TR [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/94465/STMICRO-ELECTRONICS/LD1117S33TR.html>, свободный (дата обращения: 17.01.2024).

3. Импульсный повышающий преобразователь напряжения MP3410DJ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/552632/MPS/MP3410DJ.html>, свободный (дата обращения: 17.10.2023).

4. Линейный стабилизатор напряжения MIC29302 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/74604/MICREL/MIC29302BU.html>, свободный (дата обращения: 17.08.2023).

5. Преобразователь напряжения MAX1626ESA [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://static.chipdip.ru/lib/655/DOC013655977.pdf>, свободный (дата обращения: 19.01.2024).

6. Преобразователь напряжения TPS63020 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://static.chipdip.ru/lib/551/DOC001551575.pdf>, свободный (дата обращения: 21.01.2024).

ПОДСЕКЦИЯ 2.2

РАЗРАБОТКА КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ АППАРАТУРЫ

*Председатель – Лоцилов А.Г., проректор по НРиИ,
зав. каф. КУДР, к.т.н.;*

зам. председателя – Бомбизов А.А., начальник СКБ «Смена», к.т.н.

УДК 62-791.2

УСТРОЙСТВО ПРОВОДНОЙ СВЯЗИ НА БАЗЕ ТОКОВОЙ ПЕТЛИ 4–20 МА С РЕАЛИЗАЦИЕЙ ПРОТОКОЛА HART

*М.Я. Афанасьев, студент; Е.И. Тренкаль, доцент каф. КУДР, к.т.н.
г. Томск, ТУСУР, каф. КУДР, mihalmann178@gmail.com*

Представлены результаты работы по разработке устройства для организации проводной связи с уровнемером на базе интерфейса токовой петли 4–20 мА с реализацией протокола HART. Описаны структурная схема, принцип работы и взаимодействия основных узлов устройства: HART, 4–20 мА и гальванической развязки. Выполнены изготовление и испытание макета устройства.

Ключевые слова: токовая петля, 4–20 мА, HART, гальваническая развязка.

Протокол HART в последние годы широко применяется во многих отраслях промышленности. Его распространенность, в частности, обусловлена совместимостью с традиционно применяемым в промышленности стандартом токовой петли 4–20 мА. Токовая петля 4–20 мА легко дополняется цифровым интерфейсом HART, тем самым организуя возможность двухстороннего обмена данными между управляющим узлом и датчиком [1].

В рамках разработки устройства измерения уровней требовалось создать управляющий узел (далее – устройство) с возможностью коммуникации по интерфейсу HART на базе токовой петли 4–20. Особым условием реализации было наличие гальванической развязки (далее – ГРЗ) канала 4–20 HART для обеспечения безопасности связываемых устройств.

На рис. 1 представлен фрагмент структурной схемы устройства, описывающий взаимодействие между устройством и уровнемером. Схема устройства состоит из трех основных частей:

1. Изолированный DC-DC преобразователь предназначен для обеспечения питанием контура 4–20 мА.

2. Схема развязки по постоянному току (СРПТ) необходима для преобразования и гальванической развязки тока контура с целью его дальнейшей оцифровки с помощью АЦП.

3. Схема преобразования HART, состоящая из трансформатора, выполняющего роль гальванической развязки частотно-модулированного сигнала HART, и преобразователя HART-UART.

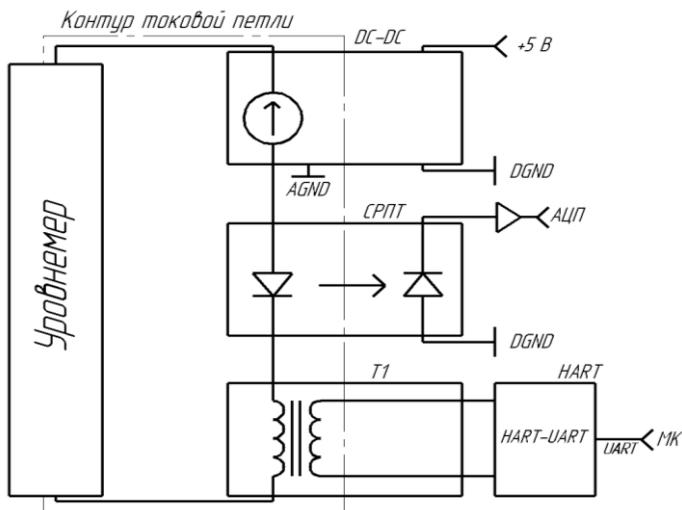


Рис. 1. Структурная схема взаимодействия устройство–уровнемер

Развязка токовой петли выполняется по схеме, представленной на рис. 2. Принцип работы основан на использовании оптрона HCNR200 [2], напряжение на выходе которого связано линейной зависимостью с током токовой петли. Ток 4 мА соответствует напряжению 0,8 В, ток 20 мА соответствует напряжению 4 В. Транзистор VT1 совместно с DA3 и обратной связью задаёт ток светодиода оптрона D1. DA2, включен по схеме инвертирующего усилителя с RC-фильтром нижних частот, для усиления выходного напряжения HCNR200.

На рис. 3 представлен фрагмент схемы для реализации интерфейса HART. Основным компонентом схемы является модем DS8500 [3], обозначенный на схеме как DD1 и предназначенный для двунаправленного преобразования сигнала UART-HART. Усилитель DA2 предназначен для согласования выходного сопротивления DD1 на нагрузку в виде трансформатора T1. Мультиплексоры DA4 и DA5 необходимы для предотвращения попадания сигнала на вход и выход в ре-

жихах приёма и передачи модема DS8500. Трансформатор T1, как было сказано ранее, обеспечивает гальваническую развязку с контуром токовой петли 4–20 мА.

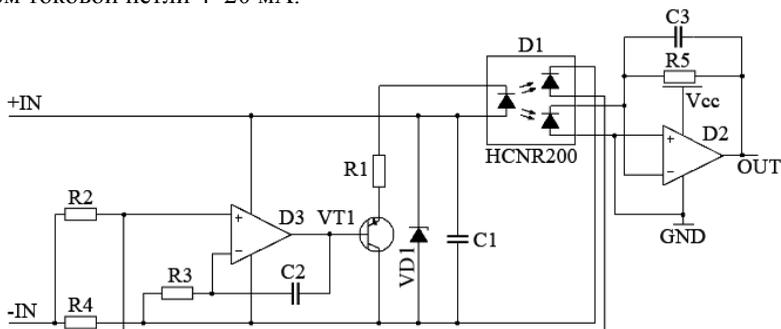


Рис. 2. Схема гальванической развязки токовой петли

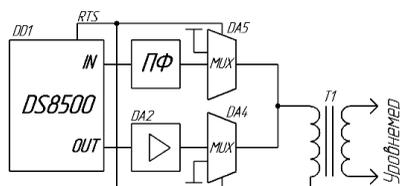


Рис. 3. Структурная схема узла HART

На рис. 4 представлена фотография процесса организации связи между электронным узлом уровнемера и макетом разработанного устройства. Таким образом, экспериментально подтверждено функционирование разработанной схемы и узлов устройства.

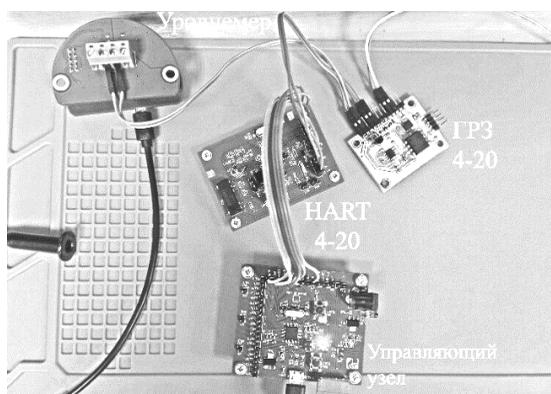


Рис. 4. Фотография процесса организации связи по интерфейсу 4-20 HART

ЛИТЕРАТУРА

1. Данилушкин И.А. Аппаратные средства и программное обеспечение систем промышленной автоматизации: учеб. пособие. – Самара: СамГТУ, 2007. – 203 с.
2. HCNR200 and HCNR201: High-Linearity Analog Optocouplers [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.promelec.ru/fs/sources/d5/8d/46/89/650f106ce4c65e65cf232f2e.pdf>, свободный (дата обращения: 05.04.24).
3. DS8500 DS-B&F-Rebranded [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.farnell.com/datasheets/2001823.pdf>, свободный (дата обращения: 06.03.2024).

УДК 621.6

СИСТЕМА АВТОМАТИЗАЦИИ НАБОРА И СБРОСА ЖИДКОСТИ

А.В. Артемов, М.Я. Афанасьев, студенты;

*А.В. Берестов, аспирант; Е.И. Тренкаль, доцент каф. КУДР, к.т.н.
г. Томск, ТУСУР, каф. КУДР, andrey11artemov@gmail.com*

Представлен результат работы по разработке автоматизированной системы контроля набором и сбросом жидкости. Данная система будет являться частью демонстрационного стенда, проектируемого в рамках разработки уровнемера. Разработка включала в себя создание устройства управления насосами и клапанами, создание структуры системы автоматизации, проектирование и реализацию системы соединения насосов и клапанов.

Ключевые слова: автоматизация, жидкость, ШИМ-сигнал, насос, клапан.

Одной из работ, выполняемых на кафедре КУДР, является разработка уровнемера – устройства, основанного на методе импульсной рефлектометрии, предназначенного для определения положений границ раздела многослойных сред [1]. Для демонстрации и отладки измерительного устройства выполняется проектирование демонстрационного стенда (ДС), представленного на рис. 1. На текущий момент электроника ДС состоит из узлов для управления и коммутации уровнемера по проводным и беспроводным интерфейсам связи.

Одной из текущих задач проектирования ДС является разработка блока автоматизации, обеспечивающего управление процессами заполнения и опустошения емкости с жидкостью. Управление может быть организовано с использованием имеющегося в стенде управляющего устройства (далее – УУ) на базе микроконтроллера STM32.

В данной статье представлены результаты по разработке вышеупомянутого блока. На рис. 2 представлена схема созданной системы

автоматизации. УУ передает сигналы управления, которые получает разработанное устройство управления насосами и клапанами (УУНК). Насосы перемещают жидкость через клапаны в емкость для дальнейшего измерения уровнемером.

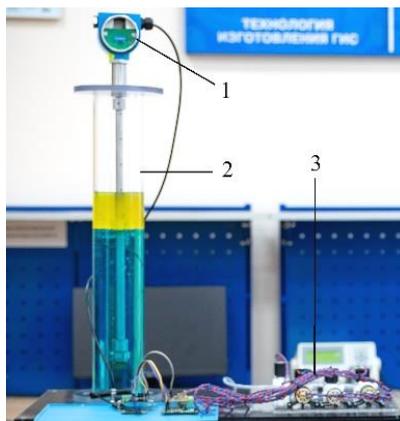


Рис. 1. Демонстрационный стенд: 1 – уровеньмер; 2 – емкость для жидкостей; 3 – система насосов и клапанов

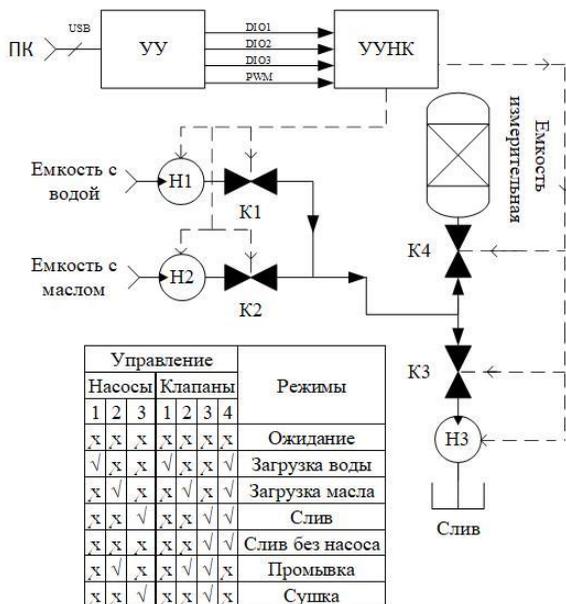


Рис. 2. Система автоматизации: Н1 – Н3 – насосы; К1–К4 – клапаны; √ – активированное состояние; □ – деактивированное состояние

Связь УУ с УУНК реализуется через цифровое управление (пин DIO) и ШИМ-сигнал (PWM), обеспечивая выполнение заданных алгоритмов работы, представленных в таблице. ШИМ-сигнал используется для регулировки скорости набора жидкостей. УУНК представляет собой печатный узел, выполненный с использованием принципов цифровой схемотехники для преобразования сигналов, получаемых от УУ (таблица) в сигналы управления клапанами, а также коммутации сигнала ШИМ для запуска выбранного насоса.

Истинности режимов работы системы

DIO 0	DIO 1	DIO 2	Режим работы
0	0	0	Ожидание
1	0	0	Загрузка воды
0	1	0	Загрузка масла
1	1	0	Слив
0	0	1	Слив без насоса
0	1	1	Промывка
1	1	1	Сушка

Выполнено макетирование разработанной системы автоматизации набора и сброса жидкости, подтверждена её работоспособность. Следующим этапом является интеграция системы в ДС и написание программного обеспечения для ручного контроля набором и сбросом жидкостей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Способ и устройства определения структуры и параметров многослойных сред на основе модифицированного TDR-метода [Электронный ресурс]. – Режим доступа: clk.ru/39FFzu, свободный (дата обращения: 06.03.2024).

УДК 621.37

UP/DOWN КОНВЕРТЕР ЧАСТОТ

*Д.С. Мартюшев, В.С. Стульников, О.И. Томских, студенты
Научный руководитель А.О. Семкин, доцент каф. СВЧuKP, к.ф.-м.н.
г. Томск, ТУСУР, каф. СВЧuKP, martyushev.d.s@yandex.ru*

Представлены результаты разработки UP/DOWN конвертера частот, выполнено измерение параметров устройства, представлены структурные схемы и схемы измерения.

Ключевые слова: преобразователь частот, конвертер частот, КПА, Upconverter, Downconverter.

Для задач тестирования, измерения, моделирования условий распространения радиосигналов в различных областях техники и технологии, включая телекоммуникации, космос, оборонную промышленность, используют контрольно-проверочную аппаратуру (КПА). В зависимости от задач в состав КПА часто включают преобразователи (конвертеры) частот. Конвертер частот – это устройство, осуществляющее перенос частотного спектра из одной области в другую. Существуют повышающие (Upconverter) и понижающие (Downconverter) конвертеры, названия которых соответствуют переносу спектра входного сигнала «вверх» («up») и «вниз» («down») по диапазону частот соответственно [1].

В зависимости от задачи и тестируемого устройства формируются требования к КПА, в том числе к преобразователю частоты. Бывает, что нет коммерчески доступных предложений с необходимыми параметрами. Пример разработки устройства, соответствующего требованиям технического задания заказчика, представлено в статье. Конвертер изготовлен компанией ООО НПК «ТЕСАРТ», модель TTConvUp/Dw-X/Ка.

Прибор состоит из понижающего и повышающего конвертера. На рис. 1 представлена структурная схема разработанного конвертера.



Рис. 1. Структурная схема прибора

На рис. 2 представлены упрощенные структурные схемы трактов конвертеров.

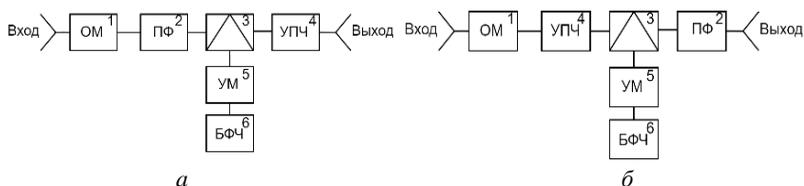


Рис. 2. Структурные схемы конвертеров частот – понижающий (а), повышающий (б): блок ОМ – ограничитель мощности; ПФ – блок переключаемых фильтров; 3 – смеситель; УПЧ – усилитель промежуточной частоты; УМ – усилитель мощности; БФЧ – блок формирования частоты

На рис. 3 представлена трехмерная модель конвертера, устройство выполнено для установки в телекоммуникационную стойку.

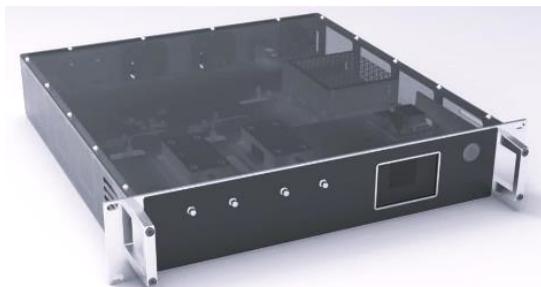


Рис. 3. Изображение устройства

Измерения электрических параметров произведено с помощью ВАЦ, измерялись коэффициент передачи и КСВН по входу и выходу устройства. С помощью анализатора сигнала измерен фазовый шум. Фазовый шум – это характеристика синтезатора частоты, поэтому измерения производились по выходу блока формирования частот. Схемы измерения представлены на рис. 4. Все измеренные характеристики представлены в таблице.



Рис. 4. Схемы измерения электрических параметров (а), фазовых шумов (б)

Помимо измеренных характеристик разработанного устройства в таблице указаны технические требования, а также для сравнения включены характеристики аналогичных приборов от других производителей.

В данной статье представлен разработанный UP/DOWN конвертер частот. Прибор соответствует требованиям заказчика и лучше аналогов по всем характеристикам, а также полностью подходит под требуемый частотный диапазон.

Сравнительная таблица параметров

Параметры	ТЗ	ТЕСАРТ (Down/ U_p)	Geosync (Down/ U_p) [2]	ETL (Down) [3]
Диапазон рабочих частот по входу Down конвертера, $f_{вх}$, ГГц	17,35–20,15	10,7–12,725 14–14,495 17,35–20,15 22,5–23,25 27,5–30 32,3–33	17,7–18,7 18,3–18,8 19–20 19,7–20,45	17,3–18,3 17,7–18,7 18,6–19,6 19,5–20,5
Диапазон рабочих частот по выходу U_p конвертера, $f_{вых}$, ГГц	27,55–29,95	10,7–12,725 14–14,495 17,35–20,15 22,5–23,25 27,5–30 32,3–33	27,5–28,6 28,75–29,75 29–30	
K_u , дБ	40	43	33	35
$P_{\max \text{ вх}}$, дБм	–10	32	10	30
$P_{\max \text{ вых}}$, дБм	15	18	13	15
ОИРЗ, дБм	20	30	25	27
Фазовый шум, дБн/Гц				
100 Гц	–64	–72	–65	–70
1 кГц	–73	–96	–94	–80
10 кГц	–83	–106	–102	–83
100 кГц	–93	–109	–107	–85
1 МГц	–103	–112	–	–
КСВН по входу	1,5	1,3	1,3	1,5
КСВН по выходу	1,5	1,3	1,3	1,3

ЛИТЕРАТУРА

1. Дингес С., Кочемасов В. СВЧ-преобразователи частот. – Ч. 1 // Компоненты и технологии. – 2018. – № 4. – С. 18–23.
2. GeoSyncMicrowave Outdoor Ka-band Block Converters [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.geosyncmicrowave.com/uploads/products/specs/45671e5f5c1db776ca2711488d7d1c1f.pdf> (дата обращения: 11.02.2024).
3. ETL Systems Falcon Series Frequency Converter Module [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.etlsystems.com/sites/default/files/products/downloads/K-Band%20Block%20Downconverter%2024424%20V0.3.pdf> (дата обращения: 11.02.2024).

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРИНТЕРОМ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ С ДВУХЭКСТРУДЕРНЫМ МОДУЛЕМ ДОЗИРОВАНИЯ

Н.С. Нефедов, А.С. Меркулова, магистранты ПИШ

*Научный руководитель С.А. Артищев, зав. лаб. «Аддитив», к.т.н.
г. Томск, ТУСУР, nefedovn2@mail.ru*

Создана программа, которая позволяет по командам G-code управлять координатографом принтера печатных плат. При помощи программы оператор может управлять положением дозаторов по осям X, Y и Z.

Ключевые слова: G-code, координатограф, принтер печатных плат, Ethernet, модуль дозирования.

В настоящее время макетирование печатных плат при помощи принтерной печати обретает высокую популярность благодаря скорости их изготовления. Создание проводящего рисунка происходит за счет того, что на диэлектрическую основу наносятся по заранее созданной топологии специальные токопроводящие пасты с последующим их спеканием [1]. Помимо однослойных и двухслойных печатных плат можно создавать и многослойные печатные платы при помощи чередования диэлектрических и токопроводящих паст, но тогда возникает проблема повторной калибровки всей системы. Для решения данной проблемы был разработан специальный двухэкструдерный модуль дозирования [2], способный подавать поочередно различные пасты при помощи смены дозаторов. При использовании данной конструкции процесс создания многослойных печатных плат становится быстрее и удобнее. За один цикл печати появляется возможность нанести сразу несколько видов паст. Повторная калибровка осуществляется проще, так как дозаторы относительно диэлектрической основы уже откалиброваны.

В работе [3] представлены результаты разработки макета принтера, в котором использована плата MKS Sbase v1.3. В работе с данным принтером используется двухэкструдерный модуль дозирования с применением компрессора (пневматический). Использование такого модуля приводило к определенным проблемам, связанным с печатью проводящих дорожек, в частности, к растеканию краев пасты. Поэтому было предложено решение перейти к использованию дозаторов на основе шаговых двигателей вместо компрессора, а это, в свою очередь, привело к необходимости увеличения шаговых двигателей в системе. Из-за ограниченного функционала данная плата не может

поддерживать разработанную систему дозирования. Решением представленной проблемы является разработка своей платы управления и нового программного обеспечения (ПО). Новое ПО будет объединять в себе как работу принтера, так и работу всей системы дозирования.

На данный момент производилась работа по созданию программы для управления трехкоординатным устройством перемещения (координатограф). Для реализации управления координатографом была взята отладочная плата XCore407i. Основными критериями выбора стали наличие интерфейса Ethernet и достаточное количество выводов для дальнейшего подсоединения к данной плате двигателей системы дозирования. В качестве программного обеспечения для микроконтроллера было выбрано программное обеспечение STM32CubeIDE.

Для испытания программы был создан стенд для отработки программы, схема электрическая структурная которого представлена на рис. 1.

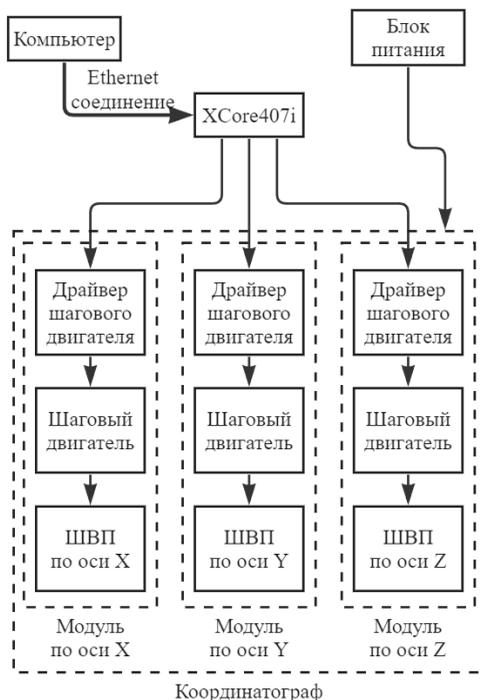


Рис. 1. Схема электрическая структурная стенда для отработки программы

Схема электрическая структурная включает в себя компьютер, связанный с отладочной платой по локальной сети. Модуль координа-

тографа представлен в виде модулей осей X, Y и Z. Питание отладочной платы происходит от компьютера, а координатографа – от блока питания.

Для отправки команд G-code и связи с платой запущен UDP-сервер [4]. Команды отправляются оператором с компьютера на отладочную плату по Ethernet соединению. В зависимости от команды происходит либо смещение по осям X, Y или Z, либо настройка шага, направления, ускорения и замедления.

В результате работы было разработано программное обеспечение на микроконтроллере STM32F407, которое дает возможность управлять координатографом посредством команд G-code. В дальнейшем планируется дополнительная работа над ПО и переход с MKS Sbase v1.3 на разрабатываемую плату управления на базе микроконтроллера STM32.

Работа выполнена за счет гранта Российского научного фонда № 23-29-00400.

ЛИТЕРАТУРА

1. Чепко А.Т. Способ изготовления порошка для проводящих чернил / А.Т. Чепко, С.А. Артищев // Электронные средства и системы управления: матер. докладов междунар. науч.-практ. конф. – В 2 ч. – Томск: В-Спектр, 2020. – Ч. 1. – С. 143–145.
2. Пат. 2 801 761 РФ МПК Н05К 13/00. Способ и устройство для изготовления печатной платы / Э.Р. Рагимов (РФ), С.А. Артищев (РФ), А.Е. Здрок (РФ), А.Г. Лоцилов (РФ). – № 2 022 130 784; опубл. 16.08.2023. Бюл. № 18. – 13 с.
3. Рагимов Э.Р. 3D-принтер для изготовления многослойных печатных плат / Э.Р. Рагимов, С.А. Артищев // Приборы и методы контроля: матер. докладов междунар. науч.-практ. конф. – Томск: ТУСУР, 2020. – С. 139–142.
4. Работа TCP/UDP-сервера [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://habr.com/ru/articles/711578/> (дата обращения: 25.02.2024).

УДК 004.35

ОСОБЕННОСТИ РАЗРАБОТКИ СЛОЖНОФУНКЦИОНАЛЬНОГО БЛОКА I2C ДЛЯ ПЛИС

*А. Ристом, студент; К.А. Сердюков, аспирант каф. КУДР
Научный руководитель А.К. Пащенко, аспирант каф. КУДР
г. Томск, ТУСУР, aliristom1991@gmail.com*

Рассматривается разработка СФ-блока I2C для опроса датчика температуры на сверхмалом космическом аппарате. В данной работе был создан протокол связи I2C с использованием языка Verilog и программы Vivado, а также загружен на отладочную плату Basys3.

Протокол содержит ведущего, который был реализован в FPGA, и ведомого, представленного датчиком MLX90614.

Ключевые слова: BASYS3, I2C, ПЛИС, VERILOG, XILINX.

В рамках разработки космической лаборатории на базе CubeSat было необходимо обеспечить сбор данных телеметрии с различных датчиков, многие из которых работают по интерфейсу I2C. Протокол позволяет соединять одно управляющее устройство с одним или несколькими ведомых, что обеспечивает возможность снятия показаний со множества датчиков одним ведущим и экономит ресурсы ПЛИС. Этот аспект крайне важен в космической аппаратуре для экономии массы и повышения надежности.

На рис. 1 изображена схема взаимодействия между одним ведущим и несколькими ведомыми устройствами.

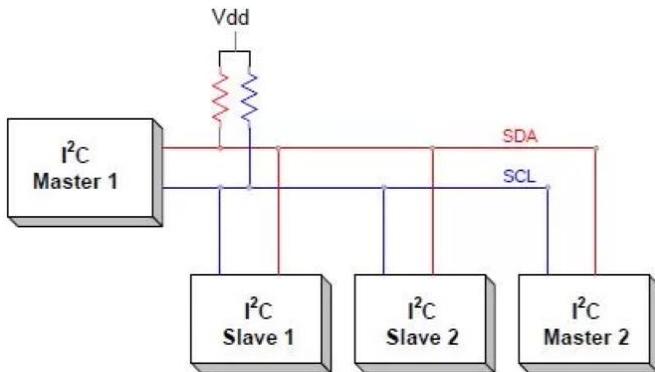


Рис. 1. Схема коммуникации между одним управляющим и несколькими ведомыми [9]

Рисунок 2 отображает алгоритм построения протокола I2C.

В данной работе в качестве ведомого устройства был использован ИК-датчик температуры MLX90614. Принцип работы датчика основан на анализе инфракрасного излучения с целью определения температуры тел, исключая необходимость контакта с объектом измерения. Тем самым обеспечивается высокая точность измерений. Датчик может быть сконфигурирован и настроен в соответствии с требованиями конкретного приложения, обеспечивает возможность доступа к памяти датчика для чтения и записи данных по необходимому адресу. Измерения температуры датчиком хранятся в памяти в виде 8-битного числа.

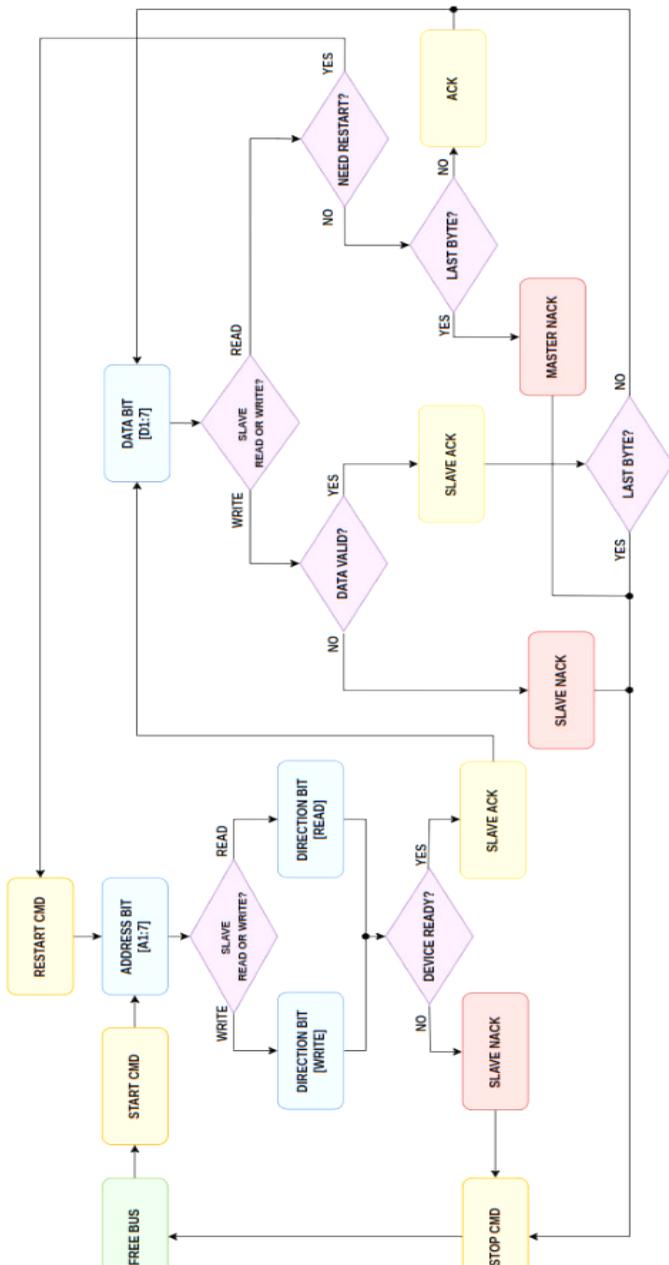


Рис. 2. Схема алгоритма взаимодействия по протоколу I2C [10]

Во время работы было проведено предварительное тестирование процесса коммуникации по протоколу I2C ведущего устройства с ведомым при помощи виртуального тестового стенда в ПО VIVADO. Создана симуляция для обработки сигнала подтверждения с датчика при получении им собственного адреса.

Был подготовлен макет с использованием отладочной платы BASYS3 и датчика температуры. Были получены осциллограммы результата обмен информацией, включая байт адреса и команды записи и чтения, биты старта и стопа и байты информации о температуре.

На рис. 3 показан макет проверки протокола I2C на базе отладочной платы BASYS3 и датчика MLX90614.

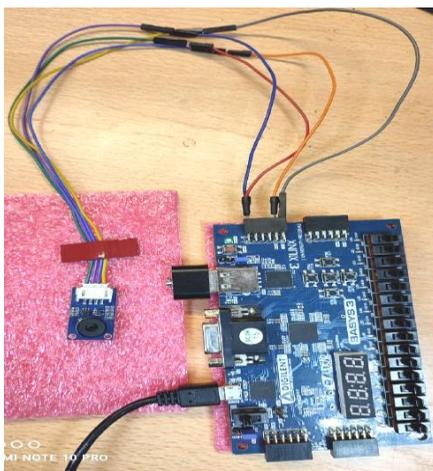


Рис. 3. Сообщения между датчиком и BASYS3

Для отладки был разработан сложнофункциональный блок, реализующий протокол связи UART на BASYS3 с использованием языка Verilog в ПО VIVADO. Это было необходимо для просмотра на ПК данных, полученных от датчика. Используемый датчик MLX90614 представляет два байта информации, где первый байт представляет собой температуру окружающей среды, а второй байт – температуру датчика. Полученные данные могут быть выведены на экране ПК с помощью программы TERMINAL.

В рамках проведенной работы был разработан сложнофункциональный блок, реализующий протокол I2C на ПЛИС. Было спроектировано управляющее устройство для работы с различными типами I2C датчиков, которые могут быть использованы на сверхмалом космическом аппарате для измерения различных физических величин.

ЛИТЕРАТУРА

1. Harris D.M. Digital Design and Computer Architecture / D.M. Harris, S.L. Harris // USA: Morgan Kaufmann, 2007. – P. 139–141.
2. Verilog HDL Resources [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.veriloghdl.com/> (дата обращения: 19.11.2023).
3. Open-Source Verilog HDL-Simulator [Электронный ресурс]. – URL: <http://iverilog.icarus.com/> (дата обращения: 10.12.2023).
4. Sutherland SystemVerilog for Design: A Guide to Using SystemVerilog for Hardware Design and Modeling / S. Sutherland, S. Davidmann, P. Flake // USA: Springer, 2006. – P. 304–307.
5. Digilent.Basys3 [Электронный ресурс]. – URL: <https://reference.digilentinc.com/reference/programmable-logic/basys-3/start> (дата обращения: 01.10.2023).
6. Melexis MLX90614 [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.melexis.com/en/product/mlx90614/digital-plug-play-infrared-thermometer-to-can> (дата обращения: 01.10.2023).
7. Verilog Tutorial [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.asic-world.com/verilog/veritut.html> (дата обращения: 15.10.2023).
8. Обзор протокола [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.robot-electronics.co.uk/i2c-tutorial> (дата обращения: 05.11.2023).
9. Интерфейс передачи данных – I2C [Электронный ресурс]. – URL: <https://3d-diy.ru/wiki/arduino-moduli/interfeys-peredachi-dannykh-i2c/> (дата обращения: 15.11.2023).
10. I2C Master Controller на Verilog [Электронный ресурс]. – URL: <https://habr.com/ru/companies/timeweb/articles/753076/> (дата обращения: 01.12.2023).

УДК 629.78

КОНЦЕПЦИЯ ПОСТРОЕНИЯ СТЕНДА ДЛЯ ТЕСТИРОВАНИЯ СЕТИ SPACEWIRE С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЦИФРОВЫХ МОДЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ ПРОТОКОЛА MODBUS

С.Ю. Василенко, студент каф. КУДР

*Научный руководитель А.А. Бомбизов, начальник СКБ «Смена», к.т.н.
Проект ГПО КУДР-2003. Разработка средств автоматизации сбора
и передачи данных*

г. Томск, ТУСУР, vasilenko.s.230-4@e.tusur.ru

Рассмотрена проверенная методика построения тестового стенда для анализа и тестирования сетей SpaceWire на основе цифровых моделей конечных устройств с реализуемой генерацией данных через протокол ModBus.

Ключевые слова: программное обеспечение, SpaceWire, цифровая модель, тестовые стенды.

Нынешние аэрокосмические системы в России требуют передовых решений в области передачи данных. Одним из таких возможных решений является технология SpaceWire (SpW) [1]. Эффективность этих систем показала себя в практике построения сети космических аппаратов. Однако их тестирование часто обременено высокими затратами и сложностями [2].

В этом контексте статья А.С. Максютин, описывающая использование программного и аппаратного моделирования для тестирования сетей SpW, становится актуальной. В ней предлагается методика создания тестовых стендов, в которых имитируется работа реального сетевого оборудования SpW без необходимости его физического присутствия [3].

Реализация собственной структуры тестирования. На основе данной концепции была разработана структурная схема тестового стенда проведения испытаний цифровых двойников – имитаторов конечного устройства (ИКУ) для имитации работы реальных устройств.

Структурная схема представляет собой комплексное решение для тестирования сетевой системы SpW и имеет некоторые отличительные особенности в сравнении с концепцией А.С. Максютин. В нее включены такие элементы:

1. *Опросник* служит центральным приложением управления, иницилирующим запросы и задающим параметры для коммутатора SpW.

2. *Базы данных.*

- *База опросов* представляет собой хранилище информации о проведенных опросах. Эта информация включает в себя конфигурации сети SpW, в рамках которых были осуществлены данные опросы, а также полученные в результате характеристики сети, такие как скорость передачи данных, задержки, количество потерянных пакетов и пр.

- *База данных конфигураций ИКУ* содержит конфигурации для ИКУ, которые включают различные настройки его параметров для имитации работы реальных устройств в сети SpW.

3. *Комплекс ИКУ* представляет собой отдельное от опросника приложение с несколькими ИКУ, каждый из которых оснащен генератором данных через протокол ModBus [4] и RMAP-таблицей [5]. ИКУ подключены к сети SpW через интерфейсные мосты Ethernet-SpaceWire и взаимодействуют с сетью, моделируя работу реальных устройств.

4. *Персональный компьютер* координирует работу программных обеспечений, включая СУБД и опросник, обеспечивая интеграцию,

управление тестовым процессом и сбор получаемой информации с тестового стенда.

Характер взаимодействий элементов в наглядном виде представлен на структурной схеме (рис. 1).

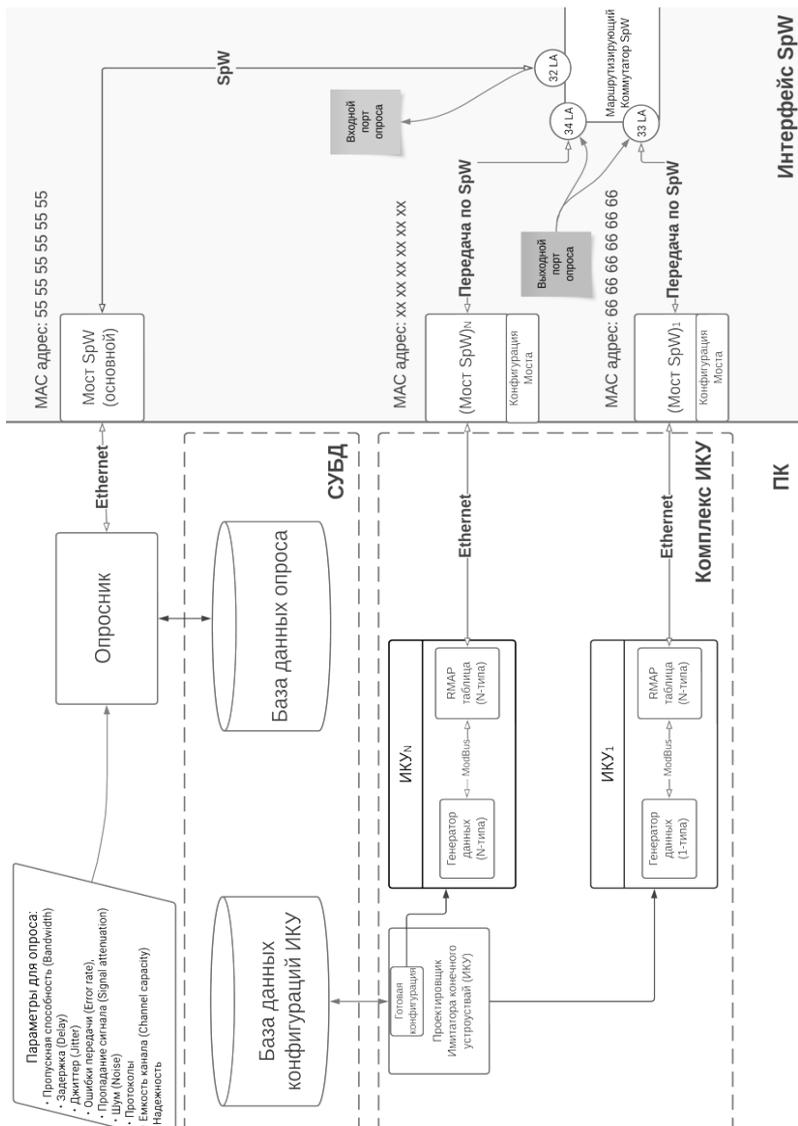


Рис. 1. Структурная схема стенда для тестирования сети SpW

Уникальность данной методики достигается в построении характера генерации данных ИКУ с помощью взаимодействия протоколов ModBus и протокола транспортного уровня RMAP, описываемого в стандарте SpW [6].

Протокол Modbus также может применяться в качестве интерфейса для подключения реальных устройств через ИКУ, что делает его удобным для тестирования сетей SpW.

Результаты. Данный подход превосходит традиционные методы тестирования сети благодаря своей гибкости и масштабируемости, позволяя моделировать и тестировать сеть SpW без реальных оконечных устройств.

Разработанная методика была проверена на практике с использованием всех указанных компонентов за исключением баз данных.

В частности, при отправке команд из опросника по заранее определенному маршруту с применением маршрутизации SpW команда корректно доставлялась до соответствующего ИКУ, подтверждая корректность взаимодействия между элементами тестового стенда и позволяя планировать последующие работы над ним.

В будущем для данной технологии тестирования предполагается добавить отдельные утилиты для анализа параметров сети, которые будут встраиваться в опросник.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шейнин Ю.Е. Технология SpaceWire для параллельных систем и бортовых распределительных комплексов / Ю.Е. Шейнин, Т.В. Солохина, Я.Я. Петричкович // Электроника: Наука, Технология, Бизнес (Москва). – 2006. – № 5. – С. 64–75.

2. Горбунов С.Ф. Сетевые интерфейсы космических аппаратов: перспективы развития и проблемы внедрения / С.Ф. Горбунов, В.Ю. Гришин, П.М. Еремеев // Наноиндустрия: спец. выпуск. – 2019. – С. 128–130.

3. Максютин А.С. Концепция построения стенда для тестирования бортовой аппаратуры SpaceWire с возможностью программного и аппаратного моделирования реконфигурируемой топологии бортовой сети космического аппарата / А.С. Максютин, А.В. Мурыгин // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. – Сер.: Машиностроение. – 2023. – № 2 (145). – С. 4–14. DOI: <https://doi.org/10.18698/0236-3941-2023-2-4-14>.

4. MODBUS Messaging on TCP/IP Implementation Guide V1.0b [Электронный ресурс]. – URL: https://modbus.org/docs/Modbus_Messaging_Implementation_Guide_V1_0b.pdf (дата обращения: 20.04.2022).

5. Remote memory access protocol (normative) [Электронный ресурс]. – URL: http://spacewire.esa.int/content/Standard/documents/SpaceWireRMAP_ProtocolDraftF4thDec2006.pdf (дата обращения: 20.04.2022).

6. ECSS-E-ST-50-12C Rev.1. Space engineering. SpaceWire – Links, nodes, routers and networks // ECSS Secretariat. ESA-ESTEC Requirements & Standards. Division Noordwijk, The Netherlands.

ПОДСЕКЦИЯ 2.3

ФИЗИЧЕСКАЯ И ПЛАЗМЕННАЯ ЭЛЕКТРОНИКА

Председатель – Троян П.Е., зав. каф. ФЭ, д.т.н., проф.;
зам. председателя – Смирнов С.В., проф. каф. ФЭ, д.т.н.

УДК 537.533

ИОННО-ПЛАЗМЕННАЯ ОБРАБОТКА ВНУТРЕННЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ТРУБОК ИЗ НЕРЖАВЕЮЩЕЙ СТАЛИ НЕСАМОСТОЯТЕЛЬНЫМ ТЛЕЮЩИМ РАЗРЯДОМ В ФОРВАКУУМНОЙ ОБЛАСТИ ДАВЛЕНИЙ

И.Ю. Бакеев, к.т.н., н.с. каф. физики;

С.П. Миклин, студент каф. ЭП

г. Томск, ТУСУР, bakееv@y@mail.ru

Рассмотрено изменение состава поверхности образцов из нержавеющей стали в результате ионно-плазменной обработки внутренней поверхности трубки плазмой несамостоятельного тлеющего разряда в зависимости от напряжения разряда. Инициирование и поддержание несамостоятельного тлеющего разряда в трубке производилось электронным пучком в форвакуумной области давлений.

Ключевые слова: ионно-плазменная обработка, азотирование, внутренняя поверхность трубок, электронный пучок, форвакуум.

В настоящее время обращено внимание на расширение возможностей модификации внутренних поверхностей деталей, содержащих узкие полые изделия, к примеру узких протяженных металлических трубок, технологиями ионно-плазменной обработки [1, 2]. Это возможно обеспечением условий, способствующих генерации плазмы непосредственно внутри полости трубки.

В работе [3] представлена технологии генерации плазмы внутри металлических трубок несамостоятельным тлеющим разрядом с полым катодом. В данном случае инициирование и поддержание несамостоятельного тлеющего разряда производится инжектируемым в трубку ускоренным электронным пучком. Это позволяет создавать однородную по длине трубки плазму в трубках с диаметром до 6 мм. Цель настоящей работы заключалась в исследовании характера изменения поверхности образцов, обработанных плазмой несамостоятельного тлеющего разряда в трубке из нержавеющей стали.

Методика эксперимента. Схема проведения эксперимента по ионно-плазменной модификации внутренней поверхности трубки представлена на рис. 1. Для зажигания несамостоятельного тлеющего разряда в трубке использовался электронный пучок 1, источником которого являлся форвакуумный плазменный эмиттер 2. В качестве объекта обработки выступала трубка 3 из нержавеющей стали (внутренний диаметр 15 мм), которая имела глухое дно для принятия тепловой мощности электронного пучка и нагрева трубки. В боковой стенке трубки располагались плоские предварительно полированные образцы 4. Подача напряжения на трубку осуществлялась источником питания 5. Подаваемое им напряжение в эксперименте составляло $U_i = 250\text{--}700$ В и при давлении 5 Па (азот) приводило к зажиганию разряда в трубке, генерирующего плазму 6, осуществляющую обработку внутренней поверхности в течение трех часов. Температура образцов измерялась термопарой 7 и поддерживалась равной 450°C током электронного пучка.

Исследование состава поверхности производилось методом энергодисперсионной спектроскопии.

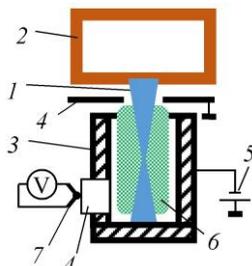


Рис. 1. Схема ионно-плазменной обработки внутренней поверхности трубки:
 1 – электронный пучок; 2 – форвакуумный плазменный источник;
 3 – металлическая трубка; 4 – образец; 5 – источник питания трубки;
 6 – плазма несамостоятельного тлеющего разряда в трубке; 7 – термопара

Результаты. На рис. 2 представлены результаты исследования состава поверхности образцов в зависимости от напряжения несамостоятельного тлеющего разряда в трубке. Результаты сводятся к тому, что, с одной стороны, повышение напряжения разряда в трубке приводит к уменьшению содержания кислорода и повышению концентрации азота по мере увеличения напряжения разряда U_i с 250 до 400 В, что однозначно свидетельствует о повышении способности к травлению и очищению поверхности от оксидной пленки поступающих из плазмы разряда ионов на поверхность образцов в результате

повышения их энергии. Очистление поверхности от оксидных образований стимулирует поступление атомарного азота вглубь поверхности образцов. С другой стороны, после напряжения разряда U_t 400 В концентрация кислорода растет, содержание азота падает. Данный факт говорит о наличии некоего оптимального условия, приходящегося на напряжения разряда в трубке в районе $U_t = 400$ В, обеспечивающего наиболее эффективную очистку поверхности и насыщение ее азотом. Значение этого оптимального напряжения с плазменными процессами или процессами, происходящими при взаимодействии ускоренных ионов с поверхностью, требует дальнейших исследований.

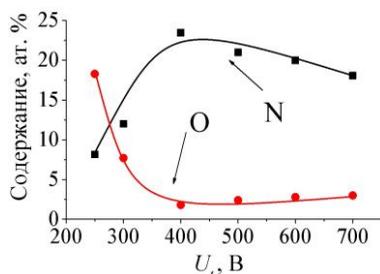


Рис. 2. Зависимости содержания кислорода (O) и азота (N) в поверхности образцов от напряжения разряда в трубке U_t

Заключение. В работе представлены исследования элементного состава внутренней поверхности трубки из нержавеющей стали, обработанной плазмой несамостоятельного тлеющего разряда, стимулируемого электронным пучком в форвакуумной области давлений. Продемонстрировано наличие оптимального значения напряжения разряда в трубке на уровне 400 В, при котором обеспечивается минимальное содержание кислорода и максимальное содержание азота в обработанной поверхности.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФ № 21-79-10217.

ЛИТЕРАТУРА

1. Geometric effect of ion nitriding on the nitride growth behavior in hollow tube / S.C. Kwon, M.J. Park, W.S. Baek, G.H. Lee // *Journal of Materials Engineering and Performance*. – 1992. – Vol. 1, No. 3. – P. 353–358.
2. Generation of plasma in non-self-sustained glow discharge with hollow cathode for nitriding inner surfaces of elongated and complex shaped cavities / D.Y. Ignatov, I.V. Lopatin, V.V. Denisov, N.N. Koval, Y.H. Ahmadeev // *IEEE Transactions on Plasma Science*. – 2020. – Vol. 48. – No. 6. – P. 2050–2059.
3. Hollow Cathode Glow Discharge Initiation in a Fore-Vacuum Plasma-Cathode Electron Source / I.Y. Bakeev, A.S. Klomov, E.M. Oks, A.A. Zenin // *IEEE Transactions on Plasma Science*. – 2022. – Vol. 50, No. 12. – P. 4860–4864.

РАСПРОСТРАНЕНИЕ ЭЛЕКТРОННОГО ПУЧКА В РАЗНЫХ ГАЗАХ В ДИАПАЗОНЕ СРЕДНЕГО ВАКУУМА

Л.Ж. Нгон, А. Кики, аспиранты каф. физики;

Ф.А. Суховольский, студент

Научный руководитель В.А. Бурдовичин, проф. каф. физики, д.т.н.

г. Томск, ТУСУР, burdov@fet.tusur.ru

Представлены результаты измерения диаметра электронного пучка, формируемого плазменным электронным источником. Измерения проведены при распространении пучка в трех газах: аргоне, азоте, кислороде. Показано, что основная причина возрастания поперечного сечения пучка заключается в рассеянии электронов на газовых молекулах. Установлена корреляция между табличными сечениями рассеяния и диаметром пучка. Рассеяние снижается по мере возрастания энергии электронов и понижения сечения рассеяния.

Ключевые слова: форвакуумный электронный источник, электронный пучок, рассеяние на газах, измерение диаметра.

При использовании электронного пучка для испарения различных материалов важное значение имеет как диаметр пучка, так и плотность тока на мишени. Диаметр важен с точки зрения бестигельного испарения, а плотность тока наряду с энергией электрона, определяемой ускоряющим напряжением электронного источника, задает как скорость разогрева, так и предельную температуру [1].

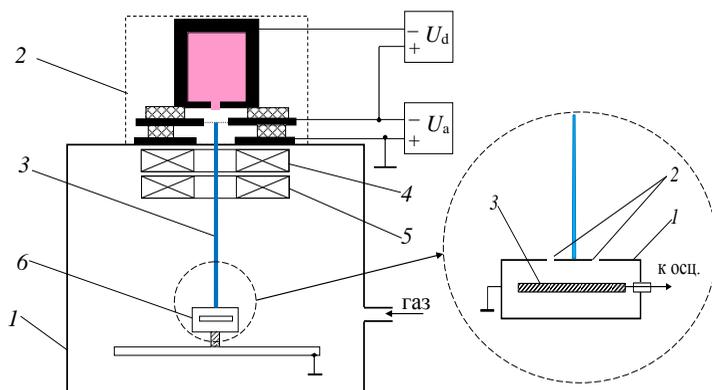


Рис. 1. Схема экспериментальной установки

В настоящей работе эксперимент проводился на установке, схематично изображенной на рис. 1. На верхнем фланце вакуумной каме-

ры 1 располагался форвакуумный электронный источник 2, в котором эмитирующей средой являлась плазма разряда с полым катодом. Электрическое питание разрядного и ускоряющего промежутков осуществлялось выпрямителями U_d и U_a соответственно. Эмиссия электронов происходила под действием ускоряющего напряжения через одиночное отверстие в эмиссионном электроде, изготовленном из молибденовой пластины толщиной 1 мм. Диаметр отверстия – 0,7 мм. Напряжение U_a на ускоряющем промежутке варьировалось в пределах 5–10 кВ. Ток электронного пучка 3 составлял 7–10 мА. Фокусировка и изменение направления распространения пучка осуществлялись с помощью фокусирующей 4 и отклоняющей 5 систем. Для измерения диаметра пучка применялось устройство, схематически изображенное на вкладке рис. 1. Устройство располагалось на расстоянии 20 см от фокусирующей системы и представляло собой заземленный металлический контейнер, в крышке которого изготовлены две параллельные щели 2 шириной 0,1 мм каждая. Расстояние между щелями 12 мм. Внутри контейнера располагался коллектор 3, электрический вывод с которого присоединялся к осциллографу. Отклоняющая система обеспечивала колебание пучка с частотой 50 Гц, в результате чего на экране осциллографа появлялись два импульса. Диаметр d пучка определялся по формуле

$$d = L \frac{\tau}{T}, \quad (1)$$

где L – расстояние между щелями, T – интервал между импульсами, τ – ширина импульса на полувысоте.

Результаты измерений, представленные на рис. 2, показывают, что диаметр пучка уменьшается с повышением энергии электронов. Кроме того, диаметр возрастает с увеличением молярной массы газа, в котором распространяется электронный пучок.

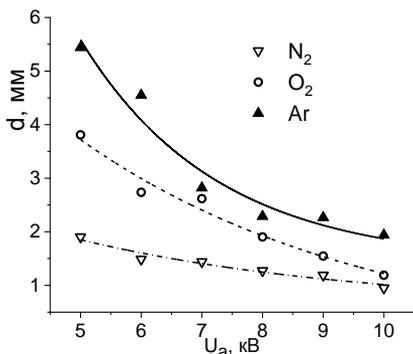


Рис. 2. Зависимости диаметра электронного пучка от ускоряющего напряжения для разных газов. Давление равно 2 Па

Обнаруженные закономерности находят свое объяснение в рамках представлений о рассеянии электронов на газовых молекулах.

На рис. 3 приведены длины свободного пробега при давлении 2 Па, оцененные на основании величин транспортного сечения рассеяния [2]. Несмотря на заметно большие по сравнению с экспериментом значения, качественный характер зависимостей совпадает, что свидетельствует о правильности предположений относительно причин закономерностей, проявившихся в эксперименте.

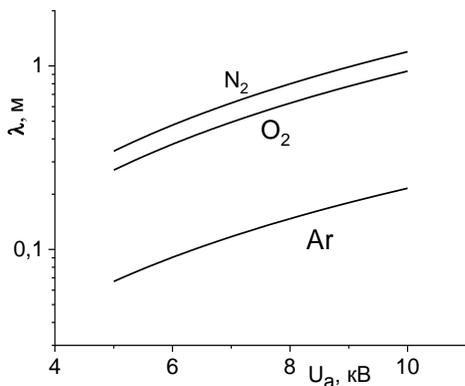


Рис. 3. Значения длин свободного пробега электронов в разных газах при давлении 2 Па на основании сечений из [2]

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 24-29-00392.

ЛИТЕРАТУРА

1. Технология тонких пленок: справочник. – Ч. 1 / под ред. Л. Майссела и Р. Глэнга. – М.: Сов. радио, 1977. – 662 с.
2. Table of Transport Cross Section Values. NIST [Электронный ресурс]. – <https://srdata.nist.gov/srd64/Transport/TableTransport/8>

УДК 66.011

МОДЕЛИРОВАНИЕ ХИМИЧЕСКОГО ТРАВЛЕНИЯ МЕЗЫ СВЧ МИС

*Д.А. Шестерикова, А.Е. Шестериков, студенты каф. ФЭ
Научный руководитель П.Е. Троян, проф., д.т.н., зав. каф. ФЭ
г. Томск, ТУСУР, darya.mokhina@mail.ru*

Представлены результаты моделирования химического травления мезы для GaAs СВЧ МИС на основе гетерогенных химических реакций по теории Ленгмюра. В результате исследования была полу-

чена зависимость скорости травления от температуры раствора во время реакции.

Ключевые слова: GaAs, химическое травление, моделирование, СВЧ МИС, меза.

В современном мире наиболее быстро развивающимся сегментом мировой экономики является полупроводниковая промышленность [1]. На данный момент увеличивается спрос на полупроводниковый материал A^3B^5 в связи с развитием телекоммуникационного сектора и мобильной связи. Галлия арсенид является наиболее распространенным и недорогим материалом в области СВЧ-приборов гражданского и оборонно-промышленного назначения с рабочим диапазоном частот $f_{\text{раб}} = 3\text{--}20$ ГГц [2].

При производстве монолитных интегральных схем (МИС) важным аспектом является обеспечение качественной изоляции для исключения паразитных связей между дискретными элементами СВЧ-цепи. Существуют три основных метода формирования межэлементной изоляции СВЧ МИС: меза-изоляция, ионная имплантация и комбинированная технология.

Наиболее распространенным методом формирования изоляции между элементами МИС является меза-изоляция, получаемая химическим травлением. Преимуществом данного метода является дешевизна и простота реализации процесса. Также химическое травление показывает лучшую температурную стабильность сопротивления изоляции по сравнению с ионной имплантацией [3].

Главной проблемой осуществления технологии меза-изоляции химическим травлением является подбор технологического режима для контролируемой скорости и равномерности процесса травления.

Методика моделирования. Моделирование химического травления проводилось в программном комплексе Synopsys TCAD. В качестве основы была взята структура GaAs (100 мкм). На данной структуре сформирована фоторезистивная маска толщиной 2 мкм со вскрытыми окнами для формирования мезы с шириной $W = 140$ мкм. На рис. 1 представлен вид структуры для моделирования.

Моделирование химического травления на основе химических реакций основано на стационарном решении поверхностных реакций Ленгмюровского типа [4]. Для успешного использования данной модели необходимо создать систему поверхностных реакций, для которой может быть найдено стационарное решение для всех возможных потоков реагентов.

Травление арсенида галлия состоит из двух этапов: стадии окисления и стадии травления окисла. В качестве окислителя обычно ис-

пользуется перекись водорода (H_2O_2), а в качестве травящего реагента можно применить серную кислоту (H_2SO_4) [5]. Система реакций травления GaAs в этом случае будет описываться следующим образом [6]:

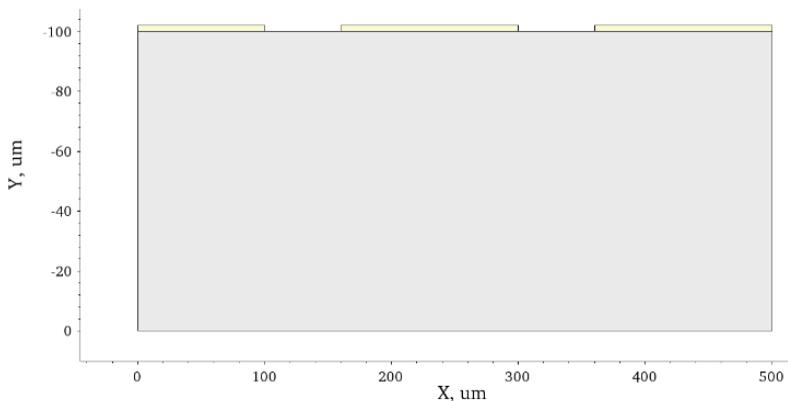
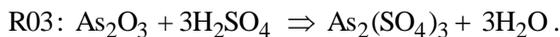
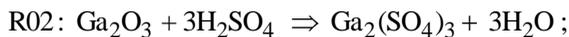
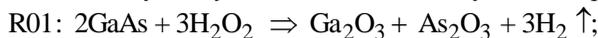


Рис. 1. Вид структуры для моделирования

Результаты и их анализ. В рамках моделирования потоки реагентов H_2O_2 и H_2SO_4 находились в соотношении 1:1 и численно равны $F = 0,020 \text{ м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$. Объектом исследования являлась зависимость скорости травления от температуры раствора. На рис. 2 представлена зависимость скорости травления от температуры раствора. Видно, что зависимость скорости травления от температуры раствора имеет экспоненциальный характер, что согласуется с теоретическими данными на основе уравнения Аррениуса.

При комнатной температуре $T = 300 \text{ К}$ скорость травления мезы СВЧ МИС составляет $V_{\text{тр}} = 30 \text{ нм/мин}$, поэтому время травления при толщине гетероструктуры $h = 150 \text{ нм}$ будет составлять

$$t_{\text{тр}} = h/V_{\text{тр}} = 150/30 = 5 \text{ мин.}$$

Также можно заключить, что для обеспечения стабильности процесса травления необходимо очень точно контролировать температуру процесса во время реакции, так как при увеличении температуры всего на $5 \text{ }^\circ\text{C}$ скорость травления увеличится до 37 нм/мин , что при фиксированном времени травления увеличит глубину травления до 185 нм (отклонение в 23% от требуемой глубины травления).

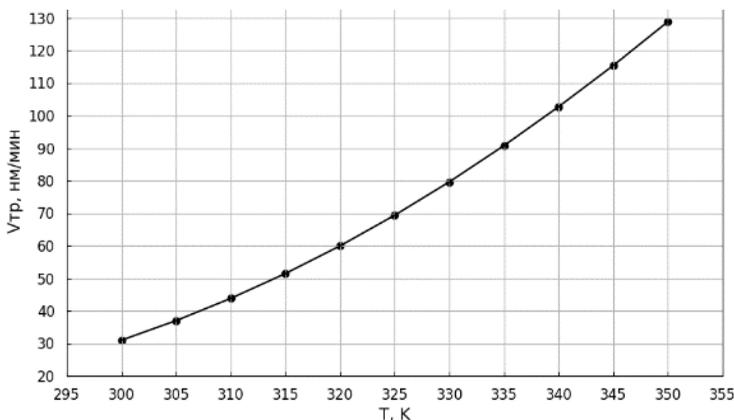


Рис. 2. Зависимость скорости травления от температуры раствора

ЛИТЕРАТУРА

1. Wild A. Microelectronics in the 21st Century: Technology, Economics, Policies // 2022 International Semiconductor Conference (CAS). – IEEE, 2022. – P. 3–12.
2. Параскевов А. Микроэлектроника и схемотехника. – Litres, 2023.
3. Lin Y.S. Effects of surface passivation and temperature on AlGaAs/InGaAs high-electron mobility transistor / Y.S. Lin, B.Y. Chen // Microelectronic Engineering. – 2019. – Vol. 214. – P. 100–103.
4. Thomas J.M. Principles and Practice of Heterogeneous Catalysis / J.M. Thomas, W.J. Thomas. – Weinheim, Germany: VCH Verlagsgesellschaft, 1997.
5. Barycka I. Chemical etching of (100) GaAs in a sulphuric acid-hydrogen peroxide-water system / I. Barycka, I. Zubeł // Journal of materials science. – 1987. – Vol. 22. – P. 1299–1304.
6. Петрова Т.С. Влияние конструктивных и технологических особенностей на статические параметры МИС на GaAs на основе ПТШ с углубленным затвором // Доклады ТУСУР. – 2009. – № 1 (19). – С. 53–57.

УДК 621.382.323

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ δ-ЛЕГИРОВАНИЯ БАРЬЕРНОГО СЛОЯ НА СТАТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ GaAs НЕМТ

*А.Е. Шестериков, Д.А. Шестерикова, студенты каф. ФЭ
Научный руководитель П.Е. Троян, проф., д.т.н., зав. каф. ФЭ
г. Томск, ТУСУР, shesterikov.a.e@mail.ru*

Представлены результаты моделирования влияния концентрации δ-легирования барьерного слоя на статические характеристики GaAs НЕМТ. По результатам исследования с ростом концентрации

δ -легирования значительно увеличивается максимальный ток стока. Также пропорционально увеличивается максимальное значение крутизны транзистора при смещении ее положения относительно напряжения на затворе в сторону более отрицательных значений.

Ключевые слова: GaAs, НЕМТ, δ -легирование, статические характеристики, крутизна.

Высокие показатели мировой экономики в области телекоммуникаций во многом связаны с ускоренным развитием СВЧ-микроэлектроники. На данный момент в отечественной СВЧ-микроэлектронике широкое применение нашел GaAs, так как данный материал обладает высокой подвижностью носителей в сочетании с низкой стоимостью и приемлемыми СВЧ-характеристиками в диапазоне частот до 30 ГГц [1].

Конструкция гетероструктуры оказывает значительное влияние на результирующие СВЧ-характеристики НЕМТ и МИС на их основе. Одним из важных параметров гетероструктуры является концентрация δ -легирования барьерного слоя AlGaAs. На этапе разработки технологии очень важно правильно подобрать значение данного параметра для обеспечения требуемых усилительных характеристик транзистора [2]. Целью данной научной работы является моделирование влияния концентрации δ -легирования барьерного слоя на статические характеристики GaAs НЕМТ.

Методика моделирования. Моделирование влияния концентрации дельта-легирования N_{delta} атомами Si барьерного слоя AlGaAs НЕМТ производилось в программном комплексе Synopsys TCAD. Параметры гетероструктуры транзистора представлены в таблице [3].

В качестве модели переноса электронов использовалась гидродинамическая модель (Hydrodynamic transport). Подвижность носителей оценивалась в приближении сильного поля (High field mobility saturation). Также ко всем материалам структуры применена модель Шокли–Рида–Холла (SRH), Оже и радиационной рекомбинации [4].

Параметры гетероструктуры транзистора

Слой	Материал	Толщина	N
Cap layer	n ⁺ GaAs	–	$5 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$
Stop layer	AlAs	20 Å	i
Barrier layer	AlGaAs	–	i
Delta doping	Si	–	$N_{\text{delta}}, \text{ см}^{-2}$
Spacer	AlGaAs	20 Å	i
Channel	In _{0,22} Ga _{0,78} As	100 нм	i
Buffer	GaAs	2000 Å	i
Substrate	GaAs (100)	650 мкм	i

В рамках моделирования исследовалось влияние концентрации дельта-легирования барьерного слоя на статические характеристики СВЧ-транзистора. Основные статические характеристики НЕМТ могут быть рассчитаны из зависимости тока стока от напряжения на затворе (передаточная характеристика).

Результаты и их анализ. На рис. 1 представлена зависимость тока стока на единицу ширины затвора от напряжения на затворе, полученная из расчетной модели, при вариации концентрации дельта-легирования.

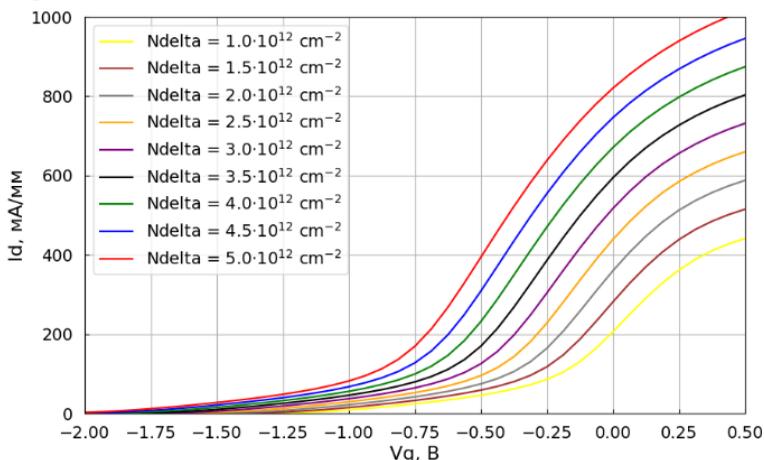


Рис. 1. Зависимость тока стока на единицу ширины затвора от напряжения на затворе при вариации концентрации дельта-легирования

Из зависимости на рис. 1 видно, что с увеличением концентрации дельта-легирования значительно увеличивается максимальный ток стока. Это связано с ростом концентрации носителей в квантовой яме между широкозонным и узкозонным полупроводником.

На рис. 2 представлена зависимость крутизны транзистора на единицу ширины затвора от напряжения на затворе при вариации концентрации дельта-легирования.

Из зависимости на рис. 2 видно, что с ростом концентрации δ -легирования барьерного слоя гетероструктуры пропорционально увеличивается максимальное значение крутизны S_{max} транзистора. Также смещается положение S_{max} относительно напряжения на затворе в сторону более отрицательных значений. Это можно объяснить тем, что с ростом концентрации носителей в двумерном электронном газе (2DEG) канала транзистора требуется большее напряжение на затворе для закрытия транзистора.

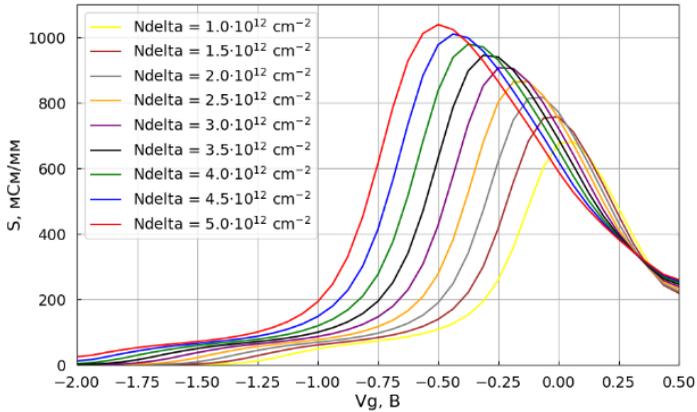


Рис. 2. Зависимость крутизны транзистора на единицу ширины затвора от напряжения на затворе при вариации концентрации дельта-легирования

ЛИТЕРАТУРА

1. Параскевов А. Микроэлектроника и схемотехника. – Litres, 2023.
2. Daoudi M. et al. Si-delta doping and spacer thickness effects on the electronic properties in Si-delta-doped AlGaAs/GaAs HEMT structures // Superlattices and Microstructures. – 2012. – Xqn 51, No. 4. – P. 497–505.
3. Shesterikov A.E. Investigation of the Influence of Heterostructure on the Parameters of Microwave Transistors / A.E. Shesterikov, D.A. Shesterikova, E.V. Erofeev // 2023 IEEE XVI International Scientific and Technical Conference Actual Problems of Electronic Instrument Engineering (APEIE), Novosibirsk, Russian Federation, 2023. – P. 80–83. DOI: 10.1109/APEIE59731.2023.10347827.
4. Khanna Vinod Kumar. Physical understanding and technological control of carrier lifetimes in semiconductor materials and devices: A critique of conceptual development, state of the art and applications // Progress in quantum electronics. – 2005. – Vol. 29.2. – P. 59–163.

ПОДСЕКЦИЯ 2.4

ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭЛЕКТРОНИКА

Председатель – Семенов В.Д., проф. каф. ПрЭ, к.т.н.;
зам. председателя – Оскирко В.О., н.с. лаборатории прикладной
электроники ИСЭ СО РАН, технический директор
ООО «Прикладная электроника», к.т.н.;
Михальченко С.Г., зав. каф. ПрЭ, д.т.н.

УДК 621.317.39.084.2

УСТРОЙСТВО КОНТРОЛЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ДЛЯ АВТОНОМНЫХ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ СО СНИЖЕННЫМИ МАССОГАБАРИТНЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ ДЛЯ АЭРОКОСМИЧЕСКОГО ПРИБОРОСТРОЕНИЯ

*А.А. Арыстанбеков, Э.В. Ефремова,
Д.А. Товмасын, студенты каф. ПрЭ*
Научный руководитель В.И. Апасов, к.т.н., доцент каф. ПрЭ
г. Томск, ТУСУР, sabbat_132@mail.ru

Рассмотрены вопросы создания составной части системы электропитания – устройства контроля температуры со сниженными массогабаритными характеристиками по сравнению с аналогами. Данное устройство разработано на основе термопары, а также широкого использования планарных магнитных элементов.

Ключевые слова: космическое приборостроение, датчик температуры, космический аппарат, термопара, планарный трансформатор.

Космический аппарат (КА) состоит из нескольких ключевых составляющих. Прежде всего, это оборудование, предназначенное для выполнения конкретных задач и напрямую влияющее на успешное выполнение поставленных перед КА целей. А также вспомогательные системы КА, такие как системы жизнеобеспечения, регулирования температуры, ориентации и стабилизации, электропитания, маневрирования, управления полетом и др.

Для обеспечения энергией всех бортовых систем КА необходима энергия. Ее производит система электропитания (СЭП). СЭП представляет собой сложную многофункциональную систему. Она являет-

ся одной из наиболее значимых систем КА, поскольку выход ее из строя гарантированно приводит к потере работоспособности всего КА в целом. СЭП включает: 1) источники энергии (например, солнечные панели с фотоэлементами); 2) преобразователи – конвертеры различных видов энергии (механической, тепловой или солнечной) в электрическую; 3) устройства регулирования температуры.

Также одними из ключевых элементов КА являются телеметрические коммуникационные системы. Телеметрия передает информацию о различных параметрах, таких как температура, давление, скорость, угловая скорость и потребляемая мощность. Эти данные собираются датчиками на борту КА и передаются на Землю по радиосвязи. Системы телеметрии играют важную роль в мониторинге и управлении КА в режиме реального времени, позволяя операторам принимать необходимые меры для обеспечения безопасности и эффективности полета.

В настоящее время отрасль космического приборостроения использует стандарт CubeSat для разработки аппаратуры в форматах 1U, 3U, 6U и т.д. [4]. Это было сделано с целью упростить и стандартизировать конструкцию и размеры небольших космических аппаратов, таких как CubeSat. Применение общих размеров и интерфейсов способствует упрощению процесса разработки, интеграции и запуска CubeSat.

Разрабатываемое устройство контроля температуры может являться составной частью как СЭП, так и телеметрической системы. На рис. 1 изображена структурная схема данного устройства, одной из особенностей которого является использование гальванической развязки.

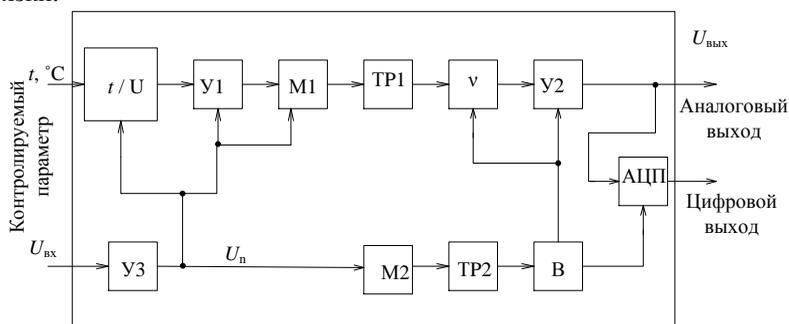


Рис. 1. Структурная схема устройства контроля температуры

В блоке t/U , отвечающем за контроль температуры, установлена термopа, поскольку при низкой цене относительно других аналогов

она предоставляет более точные температурные измерения с минимальной погрешностью. Ее надежность также полностью удовлетворяет требованиям работы в космическом пространстве (наличие внешнего ионизирующего воздействия, широкого изменения температурных факторов и др.). Альтернативным измерительным элементом может служить терморезистор, однако для его работы нужна индивидуальная калибровка в определенном температурном диапазоне. Также можно было использовать оптические датчики температуры, но из-за больших габаритов они не подходят для использования в составе КА.

Поскольку в качестве t/U используется термопара, то при повышении температуры измеряемого объекта возникает соответствующее напряжение (термоЭДС). Далее это напряжение поступает на усилитель У1 и модулятор М1, после чего передается в выходную часть посредством трансформатора ТР1 и демодулятора ν , выделяющего измеряемый сигнал. Далее он поступает на усилитель У2 и на аналоговый выход устройства, а с помощью АЦП на цифровой выход. Напряжение нагрузки U_n поступает на модулятор М2, трансформатор ТР2 и выпрямитель В. Таким образом, разрабатываемое устройство позволяет производить измерение температурных параметров СЭП и передавать их в бортовой комплекс управления КА.

В дальнейшем планируется провести разработку электрической схемы устройства контроля температуры для автономных систем электропитания со сниженными массогабаритными характеристиками для аэрокосмического приборостроения, а также построить его имитационную модель и экспериментальный макет.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гушин В.Н. Основы устройства и конструирования космических аппаратов: учеб. пособие для вузов / В.Н. Гушин, Б.М. Панкратов, А.Д. Родионов. – М.: Машиностроение, 1992. – 256 с.
2. Гушин В.Н. Основы устройства космических аппаратов: учеб. для вузов. – М.: Машиностроение, 2003. – 272 с.
3. Сердюк В.К. Проектирование средств выведения космических аппаратов: учеб. пособие для вузов / под ред. А.А. Медведева. – М.: Машиностроение, 2009. – 504 с.
4. Теория и расчет энергосиловых установок космических летательных аппаратов / Л.А. Квасников, Л.А. Латышев, Н.Н. Пономарев-Степной, Д.Д. Севрук, В.Б. Тихонов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Изд-во МАИ, 2001. – 480 с.
5. Левантовский В.И. Механика космического полета в элементарном изложении. – 3-е изд., доп. и перераб. – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1980. – 512 с.

**УСТРОЙСТВО КОНТРОЛЯ И ПРЕОБРАЗОВАНИЯ
ПАРАМЕТРОВ АВТОНОМНЫХ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ
СО СНИЖЕННЫМИ МАССОГАБАРИТНЫМИ
ХАРАКТЕРИСТИКАМИ ДЛЯ АЭРОКОСМИЧЕСКОГО
ПРИБОРОСТРОЕНИЯ**

Д.А. Товмасян, А.А. Арыстанбеков, студенты;

В.И. Апасов, к.т.н., доцент каф. ПрЭ

*Научный руководитель С.Г. Михальченко, зав. каф, ПрЭ, д.т.н., доцент
Проект ГПО ПрЭ-2402. Устройство контроля и преобразования
параметров автономных систем электропитания со сниженными
массогабаритными характеристиками для аэрокосмического
приборостроения*

г. Томск, ТУСУР, каф. ПрЭ

Рассматривается вопрос работы и разработки устройств контроля напряжения с гальванически разделенными измерительными и выходными частями для системы электроснабжения автономного космического аппарата с учетом современных тенденций проектирования магнитных элементов. Проведен анализ основных составляющих космического аппарата, а также представлены конструктивные особенности аэрокосмического приборостроения.

Ключевые слова: космический аппарат, система электроснабжения, устройство контроля напряжения, планарный трансформатор, гальваническая развязка.

В современном аэрокосмическом приборостроении надежность, эффективность и минимизация массы аппаратуры, входящей в состав автономных космических аппаратов (КА), являются ключевыми при их построении. Устройства контроля напряжения автономных систем электропитания со сниженными массогабаритными характеристиками имеют важное значение для обеспечения стабильности и оптимизации работы электропитания в условиях космического пространства.

Любой КА включает в себя несколько основных элементов:

– Полезная нагрузка: оборудование, выполняющее целевые функции, для которых создан и запущен аппарат.

– Служебные системы: оборудование, обеспечивающее длительное функционирование КА в условиях космоса. В том числе к этим системам относится система электропитания (СЭП).

Большинство СЭП включает: солнечные и аккумуляторные батареи, регуляторы напряжения, кабельное оборудование, системы управления СЭП и телеметрические устройства [1].

В мировом аэрокосмическом приборостроении широко используются особые стандарты форматов конструкционного построения

составных частей КА. Наиболее распространенный из них – это CubeSats стандарт, включающий в себя форматы 1U, 3U и 6U, которые определяют размеры и конфигурации устройств для космических приложений [2].

В ходе реализации научно-исследовательской работы был проработан вопрос проектирования и работы устройства контроля напряжения. Данное устройство преобразует входное напряжение для его дальнейшего измерения и контроля посредством телеметрической системы передачи информации. Разработана структурная схема устройства контроля напряжения СЭП, представленная на рис. 1. Отличительной особенностью разработки является наличие полностью гальванически разделенных измерительных и выходных частей, а также дополнительного цифрового выхода.

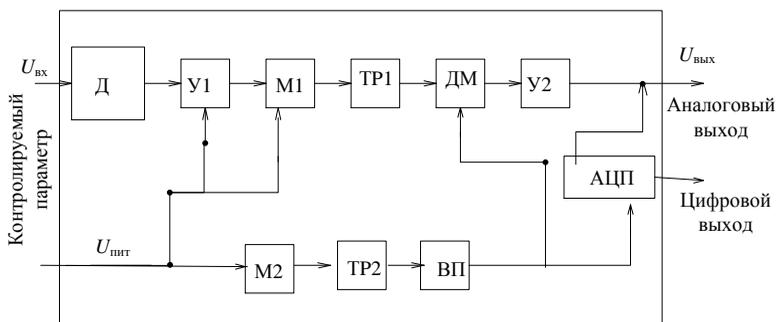


Рис 1. Структурная схема устройства контроля напряжения

На рис. 1 показано: $U_{вх}$ – входное (контролируемое) напряжение; $U_{вых}$ – выходное напряжение; $U_{пит}$ – внешнее напряжение питания устройства контроля; Д – датчик напряжения, выполненный по схеме делителя, который используется для измерения или контроля уровня напряжения в цепи; М1 – модулятор, используется для создания переменного напряжения с наложенным измеряемым сигналом для его дальнейшей передачи посредством трансформатора ТР1; ДМ – служит для выделения измеряемого сигнала из переменного напряжения; У1 – это усилитель, необходимый для преобразования напряжения с Д в требуемое для М1; У2 – служит для нормирования сигнала для выходной части; АЦП – преобразователь аналогового сигнала в цифровой.

Питание устройства осуществляется от входного источника с напряжением $U_{пит}$, после чего осуществляется его преобразование в гальванически развязанное посредством модулятора (М2), трансформатора (ТР2), а также выпрямителя (ВП).

В качестве ТР1 и ТР2 предполагается использование планарных трансформаторов.

Существенным различием от других трансформаторов является то, что их обмотки и магнитопроводы выполнены в виде плоских или планарных структур. В современном космическом приборостроении данный подход является все более актуальным, поскольку имеет ряд преимуществ: небольшой размер, меньшие потери, более высокую устойчивость к электромагнитным помехам, меньшую индукцию между обмотками, а также низкий процент отклонения параметров между однотипными изделиями [3].

Предложенная структурная схема построения устройства контроля напряжения позволит снизить массогабаритные характеристики СЭП КА за счет снижения массогабаритных характеристик ее составных частей, а также повысить помехозащищенность передаваемой информации на вход телеметрической системы КА за счет того, что в дополнении к аналоговому выходу в разрабатываемом устройстве присутствует цифровой выход.

Заключение. Дальнейшая реализация проекта будет посвящена созданию рабочего макета устройства и проведению серии экспериментов, а также разработке методики расчета подобных устройств с целью существенного упрощения процесса их разработки и отладки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Спутникостроение: введение [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://orbicraft.ru/storage/app/media/metodics/sputnikostroenie/lection_1.pdf?ysclid=1th5xijryt62809432, свободный (дата обращения: 15.02.2024).

2. Малые космические аппараты стандарта CUBESAT [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/malyekosmicheskie-apparatystandartacubesatovremennyesredstvavyvedeniya/viewer>, свободный (дата обращения: 20.02.2024).

3. Планарные трансформаторы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://dzen.ru/a/YhcHEALhd3iypv_F, свободный (дата обращения: 25.02.2024).

УДК 621.314

БЛОК ИМИТАЦИИ ЗАРЯДА И РАЗРЯДА ЛИТИЙ-ИОННОЙ АККУМУЛЯТОРНОЙ БАТАРЕИ

Е.А. Карих, аспирант каф. ПрЭ

Научный руководитель Ю.А. Кремзуков, зав. 18 отд.

НИИ АЭМ ТУСУР, к.т.н.

г. Томск, ТУСУР, karih99@list.ru

Представлена и описана структурная схема блока имитации заряда и разряда в составе имитатора аккумуляторной батареи, который

предназначен для проведения наземных испытаний электросистем космического аппарата.

Ключевые слова: система электропитания, имитатор, космический аппарат, аккумуляторная батарея.

Блок имитации заряда и разряда (БИЗР) является составной частью имитатора аккумуляторной батареи (ИАБ), который имитирует режимы работы аккумуляторной батареи [1]. ИАБ работает совместно с имитаторами солнечных батарей, которые выступают в роли источника питания при работе канала заряд, и нагрузочными устройствами, на которые осуществляется имитация разряда аккумуляторной батареи при работе канала разряд. Такая система используется при проведении тестирования электросистем космического аппарата и позволяет имитировать в реальном времени разные режимы ее работы.

Система электропитания (СЭП) космического аппарата – важнейшая бортовая система, от которой зависят срок службы, масса и его габаритные размеры. СЭП участвует в исполнении основных функций космического аппарата [2], поэтому при проведении наземных испытаний ей уделяется особое внимание.

Применение литий-ионной аккумуляторной батареи увеличивает время подготовки и продолжительность наземных испытаний СЭП космического аппарата из-за частых разрядов и зарядов. Частый разряд и заряд аккумуляторной батареи приводит к ее деградации. Используя ИАБ вместо реальной аккумуляторной батареи, получаем возможность снять более достоверные результаты измерения за минимальное количество времени, так как имитатор работает на разных уровнях заряда и частая имитация заряда и разряда не приводит к его деградации. ИАБ обладает защитными средствами в случае возникновения нештатных ситуаций.

Электронным блоком, имитирующим заряд и разряд аккумуляторной батареи, является БИЗР. Структурная схема блока имитации заряда и разряда представлена на рис. 1. Блок содержит следующие функциональные узлы:

- Коммутатор, с помощью которого осуществляется подключение к питающей сети и обеспечивается связь с внешними устройствами. Он включает в себя разъем для подключения к выходным шинам имитатора аккумуляторной батареи.

- Входной выпрямитель формирует напряжение для источника питания собственных нужд и канала разряд.

- Источник питания собственных нужд формирует низковольтное напряжение для различных микросхем в БИЗР.

– Канал заряд. В режиме работы заряд БИЗР выступает в роли электронной нагрузки, рассеивая полученную энергию в тепло с помощью блока резисторов.

– Канал разряд. При имитации режима разряд БИЗР выступает в роли источника вторичного электропитания.

– Устройство управления формирует сигналы управления при работе каналов разряд и заряд.

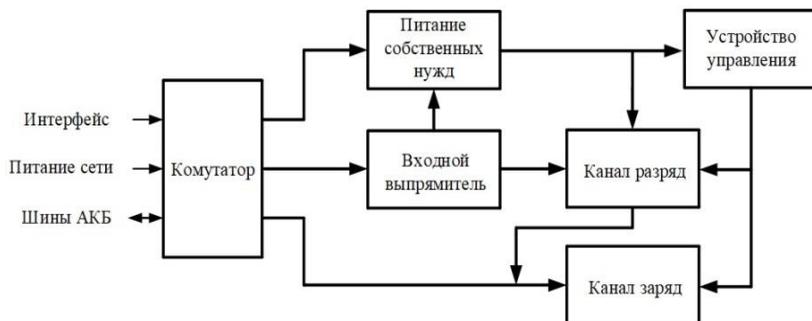


Рис. 1. Структурная схема БИЗР

БИЗР является законченным устройством, в зависимости от их количества обеспечивается полнота мощностных характеристик. БИЗР в составе ИАБ имитирует всевозможные рабочие состояния автоматики СЭП в режимах работы заряд и разряд аккумуляторной батареи при минимальных затратах времени [3].

ЛИТЕРАТУРА

1. Юдинцев А.Г. Автоматизированный имитатор аккумуляторной батареи с «горячим» резервированием силовых модулей / А.Г. Юдинцев, А.А. Царев // Решетневские чтения. – 2015. – Т. 1. – С. 389–391.
2. Довгялло А.И. Бортовая энергетика / А.И. Довгялло, В.Н. Белозерцев, С.О. Некрасова. – Самара: Изд-во Самар. ун-та, 2019. – 144 с.
3. Автоматизированные системы контроля энергопреобразующей аппаратуры системы электропитания космических аппаратов / Ю.А. Кремзуков, В.М. Рулевский, Ю.А. Шиняков, М.Н. Цветков // Доклады ТУСУР. – 2010. – Т. 22, № 2(2) . – С. 274–280.

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ DC-ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ НЕЙРОННОЙ СЕТИ И ОБУЧЕНИЯ С ПОДКРЕПЛЕНИЕМ

А.В. Литвинов, аспирант каф. ПрЭ

*Научный руководитель С.Г. Михальченко, зав. каф. ПрЭ, д.т.н.
г. Томск, ТУСУР, exet@mail.ru*

Предлагается новая архитектура адаптивного управления с применением современного подхода для обучения агентных систем, а именно Q-network для управления с обратной связью выходным постоянным напряжением в простейшем преобразователе постоянного напряжения понижающего типа. Предлагаемая комбинация нейронной сети и применение обучения с подкреплением позволяют управлять DC-преобразователем, что позволит в дальнейшем эффективно компенсировать широкий диапазон возмущений, влияющих на систему преобразователя, в режиме онлайн. Полученные результаты показывают, что предложенная система выполняет возложенные на неё функции и способна к обучению в соответствии с заданными критериями системы поощрений для тренировки.

Ключевые слова: управление понижающим преобразователем, нейронные сети, Q-network, обучение с подкреплением, RL, модель преобразователя, Python.

DC-преобразователи играют ключевую роль в преобразовании энергии, обеспечивая низкие потери переключения и обеспечивая необходимый уровень выходного напряжения постоянного тока для различных промышленных и бытовых устройств. Однако для эффективного управления выходным напряжением требуется эффективная система управления с обратной связью. В этом контексте тренировка нейронной сети на основе алгоритмов обучения с подкреплением представляет собой перспективный подход для достижения заданного значения регулирования выходного напряжения.

Мы предлагаем исследование по построению нейронных сетей для управления DC-преобразователями с использованием алгоритмов обучения с подкреплением [1–5]. Этот подход может учитывать сразу совокупность таких критериев, как эффективность и точность управления работы преобразователя, что, в свою очередь, будет способствовать более эффективному использованию возобновляемых источников энергии.

Обучение с подкреплением. В машинном обучении RL (Reinforcement Learning) достаточно сильно отличается от других направлений. Отличие состоит в том, что классический ML-алгоритм

обучается уже на готовых данных, в то время как RL сам создает себе эти данные. Идея RL состоит в том, что помимо самого алгоритма, который называют агентом, существует среда (environment), в которую этот агент и помещается. На каждом этапе агент должен совершать какое-то действие (action), а среда отвечает на это наградой (reward) и своим состоянием (state), на основе которого агент и совершает действие.

Реализация DC-преобразователя. За основу мы выбрали готовое решение от компании Open-AI, библиотека gym, с помощью которой можно писать свои среды для симуляции процессов. В библиотеке имеется большое количество разных примеров, их можно рассмотреть, но все они имеют основной шаблон:

```
class Env(gym.Env):
    def __init__(self):
        pass
    def step(self, action):
    def reset(self):
    def render(self, mode='human'):
```

где `def step(self, action)` – функции подается выбранное агентом действие. Возвращает состояние после действия, награду и информацию об окончании эпизода; `def reset(self)` – сбрасывает среду к стартовому состоянию; `def render(self, mode='human')` – отображает на экране все изменения, которые произошли в среде, рисует картинку.

Для простоты расчетов и построения модели возьмем простейшую схему DC-преобразователя, с идеальными элементами и минимальным набором элементов цепи (рис. 1).

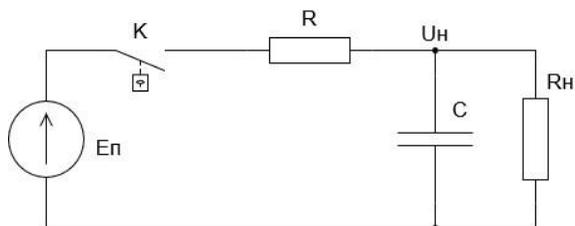


Рис. 1. Схема электрическая простейшего DC-преобразователя созданной электронной модели для обучения нейронной сети

В нашем случае для каждого нового шага (step) будет происходить симуляция работы преобразователя в зависимости от текущего состояния ключа. В коде это выглядит так:

$$U_{\text{out}} = U_{\text{out}} + \left(SW_{\text{state}} \times \frac{E_p - U_{\text{out}}}{R} - \frac{U_{\text{out}}}{R_n} \right) \times \frac{Dt}{C},$$

где U_{out} – текущее напряжение на выходе DC-преобразователя; SW_{state} – текущее состояние ключа (может быть равно 0 (выключен) или 1 (включен)); E_p – напряжение источника питания; R , R_n , C – номинальные значения; Dt – дельта времени для проведения расчетов, $Dt = 1$ мкс.

В результате обучения модели получен результат в виде набора коэффициентов нейронных связей, которые могут принимать решение, опираясь на такие данные, как U_n , $U_{\text{уст}}$ и SW_{state} (текущее состояние ключа), и выдавать своё решение action (действие) в виде 0 (бездействие) 1 (выключить ключ) и 2 (включить ключ). На основе чего мы можем посмотреть, как будет вести себя преобразователь в симуляции работы схемы и нейронной сети (рис. 2).

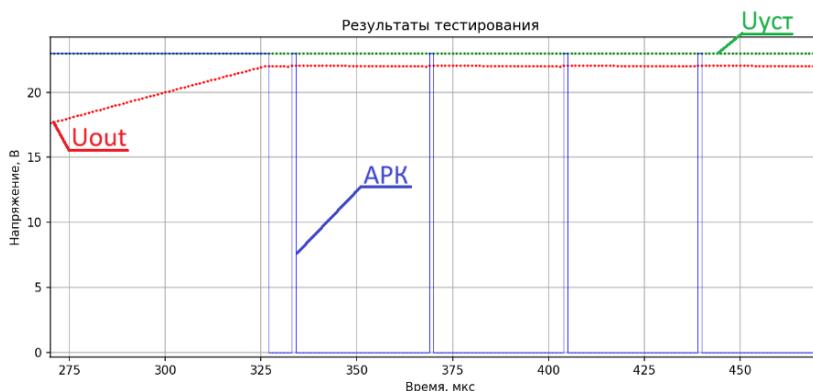


Рис. 2. Результаты моделирования работы модели DC-преобразователя с обученной нейронной сетью

В результате работы получены данные моделирования, подтверждающие работоспособность предложенного решения: нейронная сеть способна включить и выключить силовой ключ и обучаться в процессе симуляции работы представленной модели DC-преобразователя. При этом стоит отметить, что модель преобразователя можно сделать более сложной и детализированной, так чтобы её процессы очень точно отображали все особенности работы реального DC-преобразователя, а нейронная сеть научилась учитывать их и реагировала на любые новые воздействия и отклонения корректно. Здесь же отметим, что в данной статье мы не затронули тему процесса обучения нейронной сети, хотя он играет ключевую роль в достижении

наилучших результатов обучения и итогового поведения нейросети. Поэтому тому, как правильно обучить нейросеть для управления DC-преобразователем, мы рассмотрим в отдельной статье.

ЛИТЕРАТУРА

1. Платонов Н. Применение Q-Network для обучения с подкреплением новой модели змейки [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://habr.com/ru/articles/465477> (дата обращения: 15.11.2023).
2. Mnih V. Playing Atari with Deep Reinforcement Learning / V. Mnih, K. Kavukcuoglu, D. Silver [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.cs.toronto.edu/~vmnih/docs/dqn.pdf> (дата обращения: 18.11.2023).
3. Hussain S.K. Artificial Neural Network-Based Voltage Control of DC/DC Converter for DC Microgrid Applications / S.K. Hussain, L. Lantao [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://arxiv.org/pdf/2111.03207.pdf> (дата обращения: 18.11.2023).
4. Liping F. Neural Network based Sliding Mode Control for DC-DC Converters [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.researchgate.net/publication/269349270_Neural_Network_based_Sliding_Mode_Control_for_DC-DC_Converters (дата обращения: 14.12.2023).
5. Mohsen B.N. Mollae Adaptive neuro-fuzzy inference systems controller design on Buckconverter / B.N. Mohsen, M.G. Seyyed, H. Mollae [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.researchgate.net/publication/374615734_Adaptive_neuro-fuzzy_inference_systems_controller_design_on_Buck_converter (дата обращения: 14.12.2023).
6. Adaptive neural network control of DC–DC power converter / D.G. Sasank, K.N. Tousif, R. Reddi, A. Chakravarty [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.researchgate.net/publication/370993986_Adaptive_neural_network_control_of_DC-DC_power_converter (дата обращения: 14.12.2023).

УДК 621.316.91

ИССЛЕДОВАНИЕ ШУНТИРУЮЩЕГО СТАБИЛИЗАТОРА НАПРЯЖЕНИЯ

*А.А. Воропаева, студентка; И.О. Суховерков, ассистент каф. ПрЭ
Научный руководитель С.Г. Михальченко, зав. каф. ПрЭ, проф., д.т.н.
г. Томск, ТУСУР, nastyavshar@mail.ru*

Описано исследование шунта в виде стабилитрона, ограничивающего напряжение, в цепях обеспечения искробезопасности.

Ключевые слова: искробезопасность, шунтирующий стабилизатор напряжения, стабилитрон, предохранитель, напряжение на источнике питания, напряжение на нагрузке.

Шунтирующий стабилизатор напряжения использует стабилитроны как параллельные ограничители напряжения. Это устройство

нашло широкое применение в электрооборудованиях для работ в потенциально взрывоопасной среде [1] и строго регулируется ГОСТ 31610.11–2014. Стандарт определяет методы обеспечения искробезопасности и способы их достижения [2].

Целью работы являлось исследование шунтирующего стабилизатора напряжения по требованиям искробезопасной цепи «ia».

В среде моделирования LTspice собрана цепь обеспечения максимального уровня напряжения (рис. 1), ее ключевые элементы предохранитель r_FU и параллельно подключенные два стабилитрона VD4 и VD5. Дублирование выполнено по требованиям ГОСТа. В оценке искробезопасности рассматривается работа только одного из дублирующих элементов. В нашем случае, речь о стабилитроне VD4.

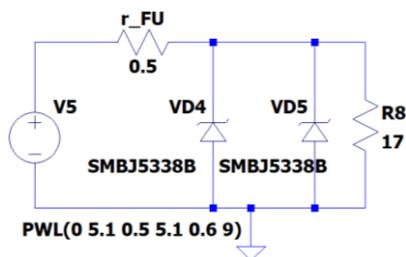


Рис. 1. Схема шунтирующего стабилизатора напряжения в LTspice: V5 – источник изменяемого входного напряжения; r_FU – предохранитель LF030; VD4, VD5 – стабилитрон SMBJ5338B; R8 – нагрузка

В случае возникновения аварийной ситуации входное напряжение повышается, стабилитрон открывается и пропускает через себя ток. При превышении тока в цепи номинала предохранителя этот элемент сгорает и цепь обесточивается.

Паспортные данные стабилитрона SMBJ5338B [3]: максимальный ток стабилизации ($I_{ст\ max} = 930\ \text{mA}$), напряжение стабилизации ($U_{ст} = 5,1\ \text{V}$), рассеиваемая мощность ($P_{рас} = 5\ \text{Вт}$). Необходимые требования ГОСТ 31610.11–2014:

1. Для ограничения ожидаемого тока до значения, соответствующего номинальной прерывающей способности предохранителя, может использоваться токоограничительное устройство, которое должно быть неповреждаемым, а его номинальный ток должен быть $1,5 \times 1,7 \times I_{ном}$. Исходя из этого, получено выражение $1,5 \times 1,7 \times I_{ном} \leq I_{ст\ max}$.

2. Для защиты элементов от перегрузок могут использоваться предохранители, при этом следует исходить из того, что значение длительно протекающего через предохранитель тока составляет $1,7 \times I_{ном}$.

3. Для цепей уровней «ia» и «ib» в нормальных и аварийных режимах работы любые элементы, от которых зависит вид взрывозащиты, должны быть нагружены не более чем на $2/3$ от номинальных паспортных значений.

Теперь можно приступить к расчету параметров схемы. Формула нахождения номинального тока предохранителя имеет вид

$$I_{\text{НОМ}} = \frac{I_{\text{ст max}}}{1,5 \cdot 1,7}. \quad (1)$$

Чтобы оценить неповреждаемость стабилизатора SMBJ5338B, его рассеиваемая мощность должна быть в $2/3$ больше по требованию ГОСТ 31610.11–2014. Следовательно, $P_{\text{рас}} \leq \left(5 \cdot \frac{2}{3}\right) \text{ Вт} \Rightarrow P_{\text{рас}} \leq 3,3 \text{ Вт}$.

Формула для расчета максимально допустимой мощности стабилизатора имеет вид

$$P_{\text{max}} = I_{\text{дл}} \cdot U_{\text{ст}}. \quad (2)$$

По вышеуказанным формулам получены следующие значения:

- 1) номинальный ток предохранителя $I_{\text{НОМ}} = 364,7 \text{ мА} \approx 300 \text{ мА}$;
- 2) ток, длительно проходящий через предохранитель, $I_{\text{дл}} = 510 \text{ мА}$, при котором, согласно ГОСТ 31610.11–2014, цепь будет разорвана;
- 3) максимально допустимая мощность SMBJ5338B $P_{\text{max}} = 2,601 \text{ Вт}$.

Поскольку максимально допустимая мощность SMBJ5338B не превышает рассеиваемую мощность, умноженную на $2/3$ ($2,601 \leq 3,3 \text{ Вт}$), то этот стабилизатор считается неповреждаемым, т.е. элементом, не подверженным определенным повреждениям.

Сопrotивление нагрузки 17 Ом получено отношением напряжения стабилизации к номинальному току предохранителя, внутреннее сопротивление предохранителя $0,5 \text{ Ом}$ взято из паспортных данных устройства марки LF030 [4].

На рис. 2 показаны временные диаграммы разработанной модели.

При аварийной ситуации в диапазоне времени $0,5\text{--}0,6 \text{ с}$ напряжение на источнике питания увеличится с $5,1$ до 9 В , при этом напряжение на нагрузке изменится с $4,9$ до $5,9 \text{ В}$. Используя искробезопасную цепь, стабилизатор SMBJ5338B поддерживает напряжение на нагрузке на уровне $5,5 \text{ В}$, что составляет 10% от исходного значения. Без ограничения тока в таком режиме это привело бы к выходу из строя стабилизатора, поэтому рассеиваемая мощность стабилизатора ограничена предохранителем марки LF030. Пунктирной линией на диаграммах указано условное время срабатывания предохранителя $518,5 \text{ мс}$, так

как ГОСТ 31610.11–2014 определяет этот порог в ток, длительно проходящий через предохранитель, равный 510 мА. При этом 510 мА – уровень сгорания предохранителя по требованиям ГОСТа. В реальности же цепь путем сгорания предохранителя будет разорвана, еще не доходя до этого тока. Но в анализе искробезопасности учитывается именно это значение.

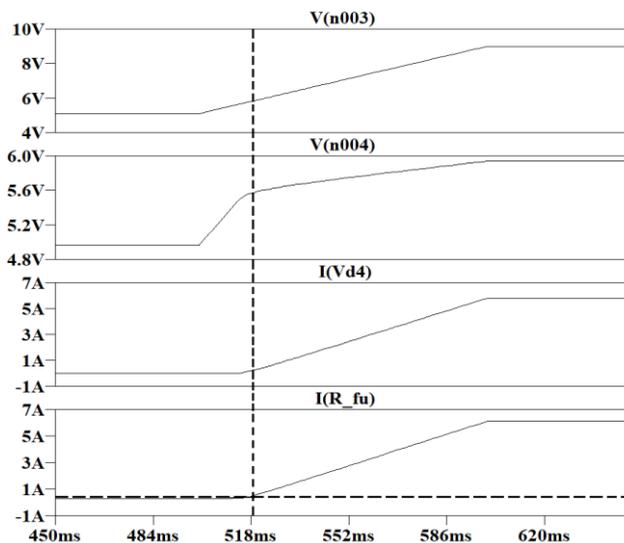


Рис. 2. Временные диаграммы шунтирующего стабилизатора напряжения:

V(n003) – напряжение на источнике питания V5;

V(n004) – напряжение на нагрузке; I(Vd4) – ток через стабилитрон SMBJ5338B; I(R_fu) – ток через предохранитель

Таким образом, в случае использования цепи искрозащиты сгорание предохранителя произойдет на уровне тока 510 мА в момент времени 518,5 мс, при этом напряжение на нагрузке будет равно 5,5 В.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пат. 215 102 РФ, МПК Н 02 Н 7/18, Н 02 J 7/34. Взрывобезопасный шахтный источник питания / М.Г. Сапожников, А.Г. Бабенко, С.Э. Лапин. – № 2 022 116 626; заявл. 21.06.2022; опубл. 29.11.2022. Бюл. № 34. – 10 с.

2. ГОСТ 31610.11–2014. Взрывоопасные среды. Ч. 11: Оборудование с видом взрывозащиты «искробезопасная электрическая цепь «i». – М.: Стандартинформ, 2016. – 128 с.

3. SMBJ5338B thru SMBJ5388B. Datasheet [Электронный ресурс]: сайт chipdip. – URL: <https://static.chipdip.ru/lib/039/DOC013039404.pdf> (дата обращения: 29.01.2024).

4. 2016L Series. Datasheet [Электронный ресурс]: сайт chipdip. – URL: <https://static.chipdip.ru/lib/252/DOC011252164.pdf> (дата обращения: 01.02.2024).

УДК 621.3

УСТРОЙСТВО ГАЛЬВАНИЧЕСКОГО РАЗДЕЛЕНИЯ АНАЛОГОВОГО СИГНАЛА ДЛЯ ЦЕПЕЙ КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ

М.А. Поздеева, студентка; В.И. Анасов, доцент каф. ПрЭ;

Н.А. Савочкин, ассистент

*Научный руководитель С.Г. Михальченко, проф. каф. ПрЭ, д.т.н.
г. Томск, ТУСУР, каф. ПрЭ, pozdeevam331@gmail.com*

Целью данной работы является проектирование и разработка гальванически развязанного измерителя напряжения со входным напряжением 100 В и выходным 5 В.

Ключевые слова: гальваническая развязка, оптопара.

Рассматриваемое устройство гальванического разделения аналогового сигнала служит для построения устройств контроля параметров различных систем электроснабжения автономных объектов. Подобное устройство применяется с целью обеспечения безопасного функционирования энергопреобразующей аппаратуры, поскольку позволяет исключить гальваническую связь между силовыми цепями, а также каналами управления, снижает подверженность к влиянию коммутационных помех на работу аппаратуры, а также обеспечивает существенную защиту персонала при работе.

При построении устройств контроля большого распространения получили трансформаторная и оптоэлектронная развязки.

В качестве основы при построении трансформаторной гальванической развязки применяется развязывающий трансформатор. Для передачи информационного сигнала зачастую используют миниатюрные импульсные и высокочастотные трансформаторы промышленного изготовления, которые имеют сниженные паразитные параметры. Основным недостатком трансформаторной гальванической развязки для передачи информационного сигнала – это принципиальная невозможность непосредственной передачи сигналов постоянного тока и медленно изменяющихся сигналов через трансформатор. Поэтому для обеспечения возможности работы трансформатора в таких схемах необходимо использование модулирующего сигнала (например, широтно-импульсной или частотно-импульсной модуляций). При этом полезный сигнал накладывается на переменное напряжение, смодулированное по заданному закону, передается через трансформатор, после чего происходит выделение информационного сигнала посредством демодулятора [1].

Оптоэлектронные развязки подразумевают использование оптопар, которые передают сигналы посредством оптического излучения. Ток, протекающий через фотодиод, вызывает исходящее излучение, которое открывает транзистор. Оптические развязки, в отличие от трансформаторной, применяются при передаче медленно изменяющихся сигналов, а также сигналов постоянного тока, что невозможно при использовании трансформаторов. Еще одним достоинством можно назвать компактность оптопар.

Существенная нелинейность канала при передаче информационных сигналов на низкой частоте вызывает изменение коэффициента передачи. Для того чтобы этого избежать, для передачи низкочастотных аналоговых сигналов применяется схема с применением двух оптопар, представленная на рис. 1. Данная схема выбрана в качестве основы для построения устройства разделения аналогового сигнала.

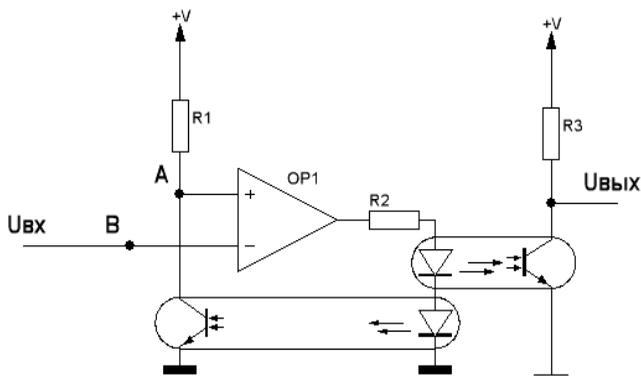


Рис. 1. Схема с применением двух оптопар

На входе устройства расположен делитель напряжения для того, чтобы при подаче сигнала амплитудой 100 В, получить потенциал амплитудой 5 В и далее передать его на вход операционных усилителей. Далее находится сумматор на операционном усилителе, который увеличивает входной сигнал на 1 В для получения сигнала во всем рабочем диапазоне устройства.

На рис. 2 представлена имитационная модель разрабатываемого устройства в среде LTspice. Поскольку оптопары не могут работать с сигналами, значение которых близко к нулю, то нужно смещать входной сигнал. В качестве такого устройства смещения входного сигнала используется схема неинвертирующего сумматора ($U1$, см. рис. 2). Для получения несмещенного сигнала на выходе устройства исполь-

зуется вычитатель, который компенсирует смещение входного сигнала на 1 В (U5, см. рис. 2). Учтено, что для получения единичного коэффициента усиления нужно использовать резисторы одинакового номинала [4].

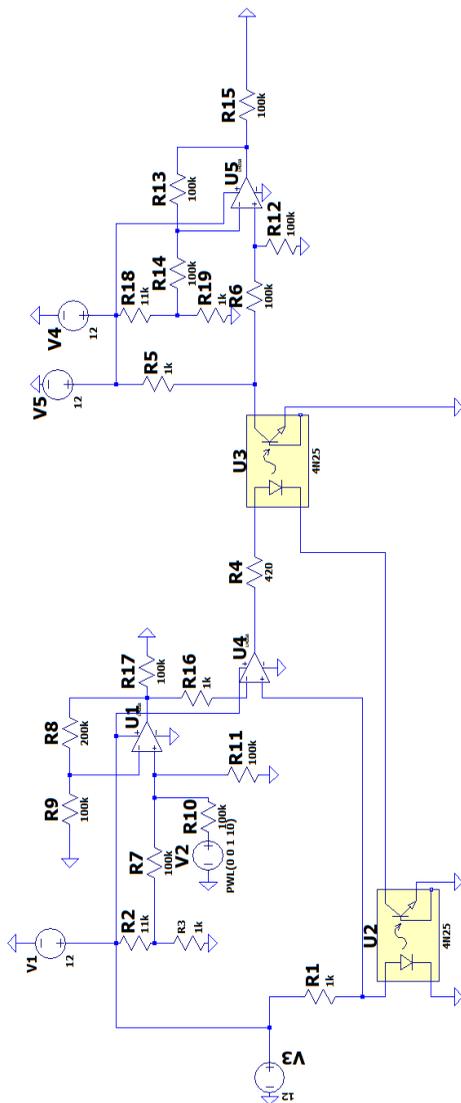


Рис. 2. Имитационная модель устройства гальванического разделения сигналов

На рис. 3 представлены осциллограммы эксперимента изменения выходного сигнала устройства при изменении входного сигнала от 1 до 10 В.

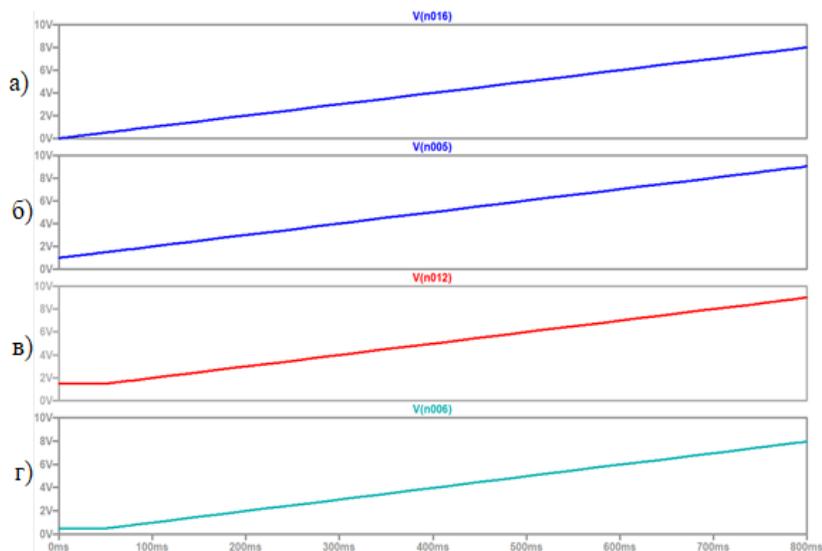


Рис. 3. Осциллограммы напряжений: *a* – на входе устройства; *б* – смещенный сигнал, выходящий из ОУ в режиме сумматора сигналов; *в* – коллекторный выход оптопары; *г* – выход устройства

В результате работы было спроектировано устройство, обеспечивающее гальваническую развязку, на основе оптоэлектронных компонентов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гальваническая развязка аналогового сигнала [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://easyelectronics.ru/galvanicheskaya-razvyazka-analogovogo-signal.html> (дата обращения: 05.03.2024).

2. Оптопара: описание, подключение, схема, характеристики [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://3d-diy.ru/wiki/components/optopara/> (дата обращения: 05.03.2024).

3. Гальваническая развязка [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Гальваническая_развязка (дата обращения: 05.03.2024).

4. Операционные усилители: 10 схем на (почти) все случаи жизни [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://habr.com/ru/articles/508530/> (дата обращения: 05.03.2024).

ПОДСЕКЦИЯ 2.5

ОПТИЧЕСКИЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, НАНОФОТОНИКА И ОПТОЭЛЕКТРОНИКА

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

УДК 621.383

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФАЗОВОЙ РЕШЕТКИ ВВОДА ИЗЛУЧЕНИЯ В ТОНКОПЛЕНОЧНУЮ СТРУКТУРУ $\text{SiO}_2/\text{Si}_3\text{N}_4/\text{SiO}_2/\text{Si}$

В.А. Алтухов, магистрант каф. СВЧМКР;

А.С. Перин, к.т.н., зав. лаб. ФИС

г. Томск, ТУСУР, valeriyaltukhov7@gmail.com

Представлены результаты исследования методов повышения эффективности фазовой решетки для ввода излучения в тонкопленочную структуру $\text{SiO}_2/\text{Si}_3\text{N}_4/\text{SiO}_2/\text{Si}$ с толщиной слоя Si_3N_4 0,5 мкм. Для ввода излучения в тонкопленочную структуру при помощи фазовой решетки были исследованы следующие методы повышения эффективности: использование фазовых решеток с поликремниевыми накладками; использование фазовых решеток с двойным травлением; использование наклонных фазовых решеток. В результате использования топологии с наклонной фазовой решеткой была получена модель ввода излучения в тонкопленочную структуру с эффективностью, равной 71,5%.

Ключевые слова: фазовая решетка ввода, Si_3N_4 , ФИС, волновод, поликремниевые накладки, решетка с двойным травлением, наклонная решётка.

Элементы связи на основе фазовых решеток являются одними из ключевых компонентов фотонных интегральных схем (ФИС). Решеточные элементы связи гораздо более гибки с точки зрения применения, так как могут иметь произвольное расположение на кристалле, просты в изготовлении и возможности тестирования на стадии производства. Однако такие элементы имеют низкую эффективность связи, часто не превышающую 40–45% [1]. Зависимость эффективности ввода излучения через решетчатый элемент связи от геометрических па-

раметров решетки рассматривалась в работе [2]. В данной работе исследуются методы повышения эффективности ввода излучения за счет использования решеток с поликремниевыми накладками; использования решеток с двойным травлением и использования наклонных решеток. Таким образом, целью данной работы является исследование методов повышения эффективности фазовой дифракционной решетки ввода излучения в тонкопленочную структуру $\text{SiO}_2/\text{Si}_3\text{N}_4/\text{SiO}_2/\text{Si}$.

На основе известных выражений [2, 3], описывающих принцип работы решетчатого элемента связи, были рассчитаны параметры модели ввода оптического излучения в тонкопленочную структуру $\text{SiO}_2/\text{Si}_3\text{N}_4/\text{SiO}_2/\text{Si}$ при помощи фазовой прямоугольной решетки (табл. 1). Толщина буферного слоя h_1 была выбрана таким образом, чтобы ограничить влияние подложки с высоким показателем преломления, расстояние h_{Air} от одномодового оптического волокна (SMF) до защитного слоя было выбрано с учетом реальной возможности подвода SMF под углом 5° , используя современные трансляторы.

Т а б л и ц а 1

Общие геометрические параметры модели

Параметры	Условные обозначения	Значения параметров
Длина волны оптического излучения	λ	1,55 мкм
Толщина волноводного слоя	h	0,5 мкм
Толщина буферного слоя	h_1	2 мкм
Толщина защитного слоя	h_2	2 мкм
Толщина подложки	h_{Si}	3,5 мкм
Угол ввода оптического излучения (наклон SMF)	θ	5°
Расстояние от SMF до защитного слоя	h_{Air}	5 мкм

На рис. 1 изображена модель ввода оптического излучения при помощи различных топологий фазовой решетки в тонкопленочную структуру $\text{SiO}_2/\text{Si}_3\text{N}_4/\text{SiO}_2/\text{Si}$ для трех способов увеличения эффективности. Решеточный элемент представляет из себя тонкопленочную структуру $\text{SiO}_2/\text{Si}_3\text{N}_4/\text{SiO}_2/\text{Si}$ со следующими показателями преломления сред: $n_{\text{Si}_3\text{N}_4} = 2$, $n_{\text{SiO}_2} = 1,44$ и $n_{\text{Si}} = 3,5$. Входное излучение наблюдается на входе оптического волокна (параметры соответствуют рек. G.652), наклоненного под углом 5° , выходное оптическое излучение наблюдается на торце тонкопленочного волновода [2].

В научной литературе выделяют три способа повышения эффективности фазовой решетки для ввода излучения в тонкопленочную структуру, такие как использование поликремниевых накладок (1-й способ); использование решеток с двойным травлением (2-й способ);

использование наклонных решеток (3-й способ) [4–7]. Все методы направлены на уменьшение потерь от рассеивания излучения за счет изменения эффективного показателя преломления или за счет сложной структуры фазовой решетки [3–7].

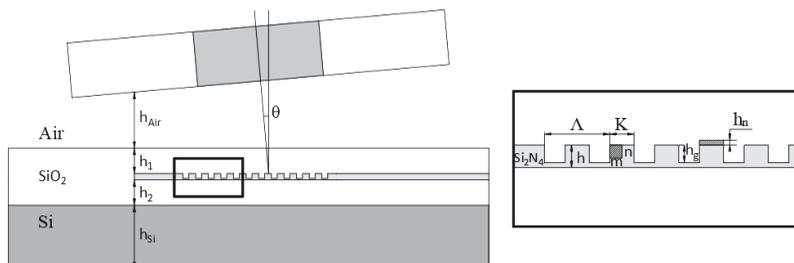


Рис. 1. Графическое изображение для модели фазовой симметричной прямоугольной решетки с отображением условных обозначений параметров

Данные методы описаны в большом количестве исследований, где предлагаются способы повышения эффективности фазовых решеток, но представленные модели не учитывают потери на обратном отражении от поверхности решетки и рассеивание в буферный слой. В нашем исследовании использовался САПР (COMSOL Multiphysics) с функцией расчета и учета потерь при отражении и рассеивании.

Таблица 2

Параметры моделей фазовой решетки при моделировании разных способов повышения эффективности ввода

Параметры	Усл. обозначения	1	2	3
Глубина травления решетки, мкм	h_g	0,41	0,38	0,38
Коэффициент заполнения, мкм	L_0	0,54	0,55	0,54
Толщина поликремниевой накладки, мкм	h_n	0,1	–	–
Габариты второго травления, мкм	$m \times n$	–	0,16 × 0,1	–
Наклон решетки, °	α	–	–	48
Эффективность ввода, %	K	65	63,5	71,5

На рис. 2 изображено распределение напряженности электрического поля при вводе оптического излучения с помощью прямоугольной решетки с применением поликремниевых накладок (рис. 2, а), с помощью наклонной решетки (рис. 2, б) и с применением решетки двойного травления (рис. 2, в).

Как видим, все три способа повышают эффективность фазовой решетки на более чем 20% по сравнению со стандартной прямоугольной решеткой.

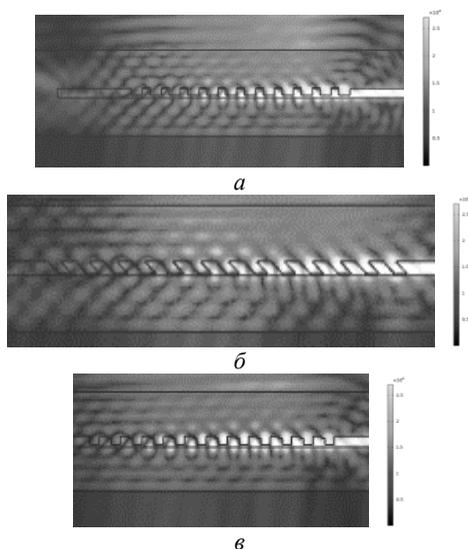


Рис. 2. Распределения напряженности электрического поля (В/м) структуры фазовой решетки с применением: *a* – поликремниевых накладок; *б* – наклонной решетки; *в* – с двойным травлением

Таким образом, в ходе работы было проведено исследование способов повышения эффективности фазовой решетки для ввода излучения в тонкоплёночную волноводную структуру $\text{SiO}_2/\text{Si}_3\text{N}_4/\text{SiO}_2/\text{Si}$ [2]. Наибольшее влияние на эффективность фазовой решетки для ввода излучения в тонкоплёночную структуру $\text{SiO}_2/\text{Si}_3\text{N}_4/\text{SiO}_2/\text{Si}$ оказывает метод с использованием наклонных решеток (эффективность ввода 71,5%), далее способ с кремниевыми накладками (65%) и двойного травления (63,5%).

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема № FEWM-2022-0004 «Исследование и разработка способов изготовления интегральных оптических волноводов и элементов на их основе»).

ЛИТЕРАТУРА

1. Efficiency enhanced grating coupler for perfectly vertical fiber-to-chip coupling / Z. Zhang, X. Shan, B. Huang, Z. Zhang, C. Cheng, B. Bai, T. Gao, X. Xu, L. Zhang, H. Chen // Materials. – 2020. – Vol. 13, No. 12. – P. 2681.
2. Моделирование решеточного элемента связи на основе структуры $\text{SiO}_2/\text{Si}_3\text{N}_4/\text{SiO}_2/\text{Si}$ для ввода оптического излучения в гребенчатый волновод из тонкой пленки Si_3N_4 / В.А. Алтухов, И.В. Кузнецов, Д.В. Кузнецов,

А.С. Перин // Электронные средства и системы управления: матер. докл. XIX Междунар. науч.-практ. конф. (15–17 ноября 2023 г.): в 2 ч. – Ч. 1. – Томск: ТУСУР, В-Спектр (ИП В.М. Бочкарева), 2023. – С. 159–162.

3. Интегральная оптика: учеб. / Р.В. Бударагин, В.К. Майстренко, А.В. Назаров, С.Б. Раевский; под ред. С.Б. Раевского. – 2-е изд., перераб. – Н. Новгород: Нижегород. гос. техн. ун-т, 2013. – 106 с.

4. Roelkens G. High efficiency Silicon-on-Insulator grating coupler based on a poly-Silicon overlay / G. Roelkens, D. Van Thourhout, R. Baets // Optics Express. – 2006. – Vol. 14, No. 24. – P. 11622–11630.

5. Chen X. et al. Dual-etch apodised grating couplers for efficient fibre-chip coupling near 1310 nm wavelength // Optics Express. – 2017. – Vol. 25, № 15. – P. 17864–17871.

6. Schrauwen J. et al. Focused-ion-beam fabrication of slanted grating couplers in silicon-on-insulator waveguides // IEEE Photonics Technology Letters. – 2007. – Vol. 19, No. 11. – P. 816–818.

7. Wang B. Embedded slanted grating for vertical coupling between fibers and silicon-on-insulator planar waveguides / B. Wang, J. Jiang, G.P. Nordin // IEEE Photonics Technology Letters. – 2005. – Vol. 17, No. 9. – P. 1884–1886.

УДК 535.317.22

МОДЕЛИРОВАНИЕ МИКРОЛИНЗОВАННОГО ОПТИЧЕСКОГО ВОЛОКНА

В.Е. Бодренин, аспирант каф. СВЧиКР;

И.В. Кузнецов, студент ПИИ;

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

г. Томск, ТУСУР, vebodrenin@inbox.ru

Представлены результаты математического моделирования распространения оптического излучения через оптическое волокно с микролинзой на торце. В результате моделирования, расчётная величина фокусного расстояния составила 7 мкм, величина диаметра поля моды составила 2,4 мкм. Полученные в результате моделирования величины фокусного расстояния и диаметра поля моды были сопоставлены с экспериментально полученными данными.

Ключевые слова: оптическое волокно, волоконная микролинза, электродуговое оплавление, математическая модель, фокусное расстояние, диаметр поля моды.

В стандартных одномодовых оптических волокнах (ОВ) диаметр распространяющейся моды оптического излучения составляет около 10 мкм при длине волны излучения $\lambda=1,55$ мкм. Диаметр поля моды (ДПМ) фотонных интегральных схем (ФИС) составляет 1–5 мкм [1]. Вследствие этого при стыковке оптического волокна и ФИС световое пятно на торце ФИС выходит за пределы интегрального волновода,

что приводит к потерям оптической мощности и паразитной засветке соседних волноводов. Для согласования ДПМ между ОВ и ФИС может быть использовано микролинзованное ОВ [2]. С помощью микролинзы возможно сфокусировать оптическое излучение на некотором расстоянии от торца ОВ, что позволяет вводить излучение в ФИС без торцевого контакта [3, 4].

Одним из способов формирования микролинзы на торце ОВ является метод электродугового оплавления [5]. В литературе имеются работы с описанием экспериментальных результатов по получению таких микролинз, однако отсутствует описание модели ОВ с микролинзой на торце, позволяющей описать влияние геометрических параметров линзы на поведение и характеристики распространяющегося в микролинзе светового пучка с точки зрения формы микролинзы при ее реальном изготовлении. Математическая модель может быть полезна для определения необходимых геометрических параметров (длина конуса, радиус кривизны) микролинзы для получения требуемых характеристик (ДПМ и фокусного расстояния). При наличии математической модели появится возможность вносить корректировки в процесс изготовления микролинз для получения образцов с лучшими характеристиками. Таким образом, целью данной работы является моделирование микролинзованного ОВ. Для достижения указанной цели будет проведено измерение ДПМ и фокусного расстояния экспериментального образца микролинзованного ОВ, его геометрических размеров, и на основании полученных данных будет разработана модель.

На рис. 1 представлено изображение экспериментального образца ОВ с микролинзой на торце, сформированной с помощью аппарата Fujikura FSM-100P, со следующими характеристиками: ДПМ $2 \pm 0,5$ мкм, фокусное расстояние 10,8 мкм.

Были измерены геометрические размеры экспериментального образца ОВ с микролинзой на торце: длина конуса (L) 263 мкм, радиус кривизны линзы (w_0) 13 мкм, ширина конуса (w_1) в самом узком месте составила 17,8 мкм, ширина сердцевины ОВ в самом узком месте составила 2 мкм. Геометрия модели микролинзованного ОВ представлена на рис. 2, *a*, на рис. 2, *б* приведен результат моделирования распространения света через микролинзованное ОВ (распределение напряженности электрического поля оптического излучения в В/м).

Проводился расчёт распространения света через микролинзованное ОВ. Задача решалась путем численного решения волнового уравнения методом конечных элементов. Показатели преломления оболочки и сердцевины были приняты равными 1,44 и 1,46 соответственно [7, 8]. Длина волны оптического излучения, распространяющегося

в ОБ, была принята равной 1,55 мкм. На рис. 3 приведена зависимость ширины пучка по уровню $1/e$ на выходе линзы от расстояния от торца линзы.

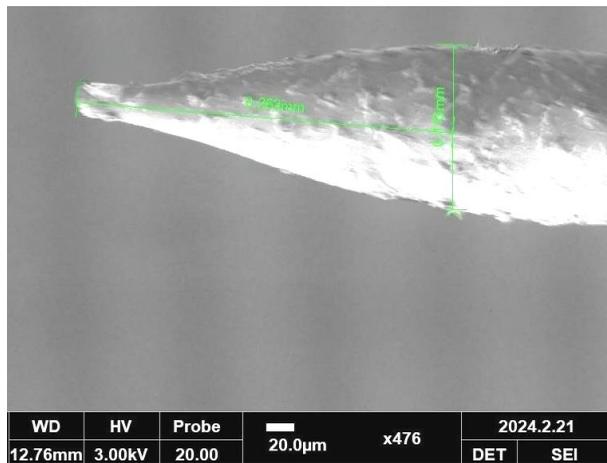


Рис. 1. Микрофотография экспериментального образца ОБ с микролинзой на торце

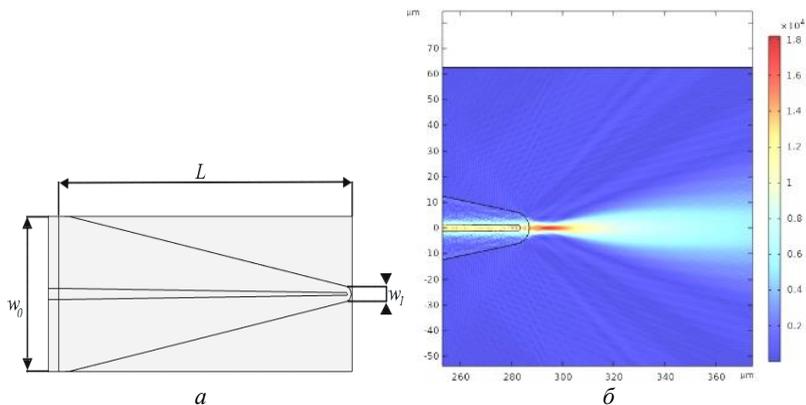


Рис. 2. Геометрия и расчёт модели линзованного ОБ

Как видно в рис. 3, ширина пучка увеличивается до 3 мкм от торца линзы, затем пучок начинает сужаться и достигает минимальной ширины (фокусируется) на расстоянии 7 мкм от торца линзы. Аналогичная картина наблюдается на рис. 2, б. Таким образом, рассчитанное с помощью численных методов фокусное расстояние составляет 7 мкм, поскольку на удалении 7 мкм ширина пучка мини-

мальна, а ДПМ в фокусе составляет 2,4 мкм. Отклонение результатов моделирования от экспериментальных данных может быть вызвано ошибкой при выборе показателей преломления и неточностями при воспроизведении геометрии.

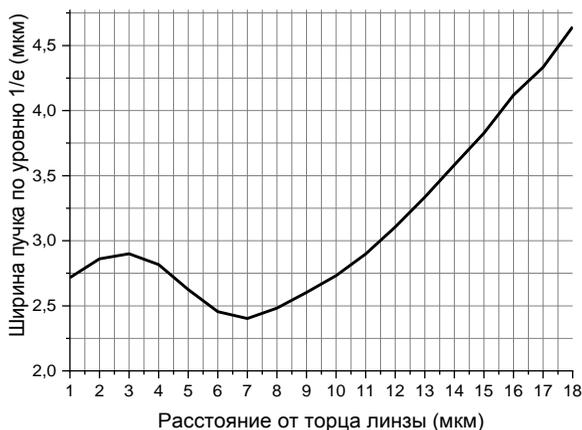


Рис. 3. Зависимость ширины пучка по уровню 1/e на выходе линзы от расстояния от торца линзы

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства наук и высшего образования Российской Федерации (тема № FEWM-2022-0004 «Исследование и разработка способов изготовления интегральных оптических волноводов и элементов на их основе»).

ЛИТЕРАТУРА

1. Kasaya K. et al. A simple laterally tapered waveguide for low-loss coupling to single-mode fibers // *IEEE photonics technology letters*. – 1993. – Vol. 5, No. 3. – P. 345–347.
2. Edwards C.A. Ideal microlenses for laser to fiber coupling / C.A. Edwards, H.M. Presby, C. Dragone // *J. Lightwave Technol.* – 1993. – Vol. 11. – P. 252–257.
3. Qi Y. Integrated lithium niobate photonics / Y. Qi, Y. Li // *Nanophotonics*. – 2020. – Vol. 9, No. 6. – P. 1287–1320.
4. Mu X. et al. Edge couplers in silicon photonic integrated circuits: A review // *Applied Sciences*. – 2020. – Vol. 10, No. 4. – P. 1538–1567.
5. Карнаушкин П.В., Пономарев Р.С. Волоконный световод с конусной линзой // *Вестник Перм. ун-та. – Сер.: Физика*. – 2017. – № 1 (35). – С. 54–63.
6. ITU-T G.652 (11/2016). Международный союз электросвязи и телекоммуникаций. Характеристики одномодового оптического волокна и кабеля // *МСЭ-Т*, 2020.
7. Malitson I.H. Interspecimen comparison of the refractive index of fused silica // *Josa*. – 1965. – Vol. 55, No. 10. – P. 1205–1209.

8. Huang Y.Y. Relationship between composition, density and refractive index for germania silica glasses / Y.Y. Huang, A. Sarkar, P.C. Schultz // Journal of Non-Crystalline Solids. – 1978. – Vol. 27, No. 1. –P. 29–37.

УДК 535.212

ДАТЧИК НАПРЯЖЕННОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ НА ОСНОВЕ ЯЧЕЙКИ ПОККЕЛЬСА С ДЕЛИТЕЛЕМ ПОЛЯРИЗАЦИИ

*И.В. Кузнецов, студент ПИШ; А.С. Перин, зав. лаб. ФИС
г. Томск, ТУСУР, igor.v.kuznetsov@tusur.ru*

Рассматривается схема реализации датчика напряженности электрического поля на основе ячейки Поккельса с делителем поляризации. Наличие делителя поляризации в оптической схеме даст возможность избавиться от необходимости установки волоконного поляризатора на выходе датчика, что позволит миниатюризировать устройство. В работе представлены аналитические выражения для описания зависимости оптической мощности на выходах такого датчика от напряженности электрического поля.

Ключевые слова: ниобат лития, электрооптическая модуляция, делитель поляризации.

Задача измерения напряженности электрического поля является актуальной для науки и промышленности. Особенно остро эта задача стоит в радиоэлектронной промышленности, поскольку, согласно современным требованиям, вся радиоэлектронная продукция должна проходить сертификацию на электромагнитную совместимость [1–3].

Наиболее распространенным в коммерческом секторе классом приборов для измерения напряженности электрического поля являются приборы на основе электронных преобразователей с дипольными антеннами [4, 5].

Альтернативой электронным датчикам электрического поля являются сенсоры, использующие оптическое излучение в качестве несущей. Детектирование напряженности электрического поля в таких устройствах осуществляется за счёт модуляции оптического излучения посредством электрооптических эффектов [6, 7]. Наиболее известной и перспективной платформой для реализации электрооптических датчиков напряженности электрического поля является кристалл ниобата лития (LiNbO_3) ввиду своей широкой коммерческой доступности и физических свойств: высокого электрооптического коэффициента ($r_{33} = 30,8$ пм/В), прозрачности в широком оптическом спектре (от 0,4 до 5 мкм) и малого поглощения [8].

Одной из схем для реализации электрооптического датчика напряженности электрического поля является конфигурация на основе ячейки Поக்கельса (ЯП). В данной работе будет рассмотрена конфигурация сенсора напряженности электрического поля в виде фотонной схемы с интегрированным делителем поляризации (ДП).

Таким образом, целью работы является математическое моделирование датчика напряженности электрического поля в конфигурации ЯП с интегрированным ДП в виде фотонной интегральной схемы.

Классическая схема измерителя напряженности электрического поля на основе ЯП представлена на рис. 1 [9].

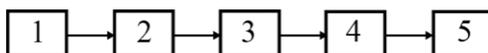


Рис. 1. Структурная схема преобразователя с детектированием по поляризации: 1 – лазер, 2 – поляризатор, 3 – ЯП, 4 – анализатор, 5 – измеритель оптической мощности

Лазер 1 испускает когерентное излучение; поляризатор 2 служит для контроля состояния поляризации на входе в ячейку Поக்கельса 3, которая представляет из себя электрооптический кристалл или волновод на основе электрооптического кристалла; анализатор 4 контролирует состояние поляризации на выходе из ячейки Поக்கельса: оптическая мощность, которую он пропустит, зависит от разницы между углом, на который настроен анализатор, и углом поворота вектора \mathbf{E} световой волны на выходе из ячейки Поக்கельса по закону Малюса; измеритель оптической мощности необходим для определения поворота вектора \mathbf{E} относительно оси анализатора по закону Малюса.

Угол поворота плоскости поляризации линейно поляризованного излучения при распространении через ячейку Поக்கельса можно найти как

$$\delta\varphi = \frac{\omega L \Delta n}{c} = \varphi_1 - \varphi_2, \quad (1)$$

где ω – частота распространяющейся волны, L – длина кристалла в направлении распространения света, Δn – изменение показателя преломления, c – скорость света в вакууме, $\varphi_{1,2}$ – фазы обыкновенной и необыкновенной волн на выходе из кристалла.

Предположим, что лазерное излучение имеет необыкновенную поляризацию, а кристалл ниобата лития ориентирован так, что электрическое поле приложено вдоль кристаллографической оси Z .

Изменение необыкновенного показателя преломления в зависимости от приложенного напряжения или величины внешнего электрического поля для необыкновенно поляризованной волны в кристалле ниобата лития можно определить как [10, 11]

$$\Delta n_e = -\frac{1}{2} n_e^3 r_{33} \frac{U}{d} = -\frac{1}{2} n_e^3 r_{33} E, \quad (2)$$

где $n_e = 2,211$ – необыкновенный показатель преломления ниобата лития, $r_{33} = 30,8$ пм/В – ЭО коэффициент, U – величина приложенного к кристаллу напряжения, d – ширина волновода, E – величина воздействующего на кристалл электрического поля.

Подставим (2) в (1)

$$\delta\varphi(E) = \frac{\omega L \left(-\frac{1}{2} n_e^3 r_{33} \frac{U}{d} \right)}{c} = \frac{\omega L \left(-\frac{1}{2} n_e^3 r_{33} E \right)}{c}. \quad (3)$$

Учтем, что $\omega = \frac{2\pi c}{\lambda}$, где λ – длина волны лазерного излучения:

$$\delta\varphi(E) = \frac{2\pi c}{\lambda} \frac{L \left(-\frac{1}{2} n_e^3 r_{33} E \right)}{c} = -\frac{\pi L n_e^3 r_{33} E}{\lambda}. \quad (4)$$

Ранее нами были описан оптический делитель поляризации (ДП) на основе тонких плёнок ниобата лития, позволяющий выполнять разделение ортогональных состояний поляризации (ТЕ/ТМ) [12]. Если на выход ЯП установить ДП, то мощности на выходах ДП будут описываться выражениями:

$$P_X = kP_0 \cdot \cos(\delta\varphi), \quad (5)$$

$$P_{\parallel} = kP_0 \cdot \sin(\delta\varphi), \quad (6)$$

где P_X – мощность на выходном порте ДП, который соответствует поляризации ортогональной поляризации излучения источника, а P_{\parallel} – мощность на выходном порте ДП, который соответствует поляризации излучения источника; k – оптический коэффициент передачи ДП.

Разделим (5) на (6), чтобы получить отношение мощностей между выходными портами:

$$P_R = \frac{kP_0 \cdot \cos(\delta\varphi)}{kP_0 \cdot \sin(\delta\varphi)} = \operatorname{ctg}\left(-\frac{\pi L n_e^3 r_{33} E}{\lambda}\right). \quad (7)$$

Выразим из (7) величину E :

$$E = -\frac{\lambda \cdot \operatorname{actg}(P_R)}{\pi L n_e^3 r_{33}}. \quad (8)$$

Таким образом, была представлена математическая модель датчика напряженности электрического поля на основе ЯП с ДП. Выражение (8) демонстрирует, что для измерения напряженности, воздействующей на ячейку Поккельса, достаточно знать отношение мощно-

стей между выходными портами ДП, что освобождает от необходимости измерять потери, вносимые оптической схемой.

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема № FEWM-2022-0004 «Исследование и разработка способов изготовления интегральных оптических волноводов и элементов на их основе»).

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ ИЕС 61000-4-3-2016. Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации. Электромагнитная совместимость (ЭМС). – Ч. 4-3: Методы испытаний и измерений. Испытание на устойчивость к излучаемому радиочастотному электромагнитному полю (введен в действие 01.06.2017). – М.: Стандартинформ, 2020.

2. ГОСТ 30805.22-2013. Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации. Совместимость технических средств электромагнитная. Оборудование информационных технологий. Радиопомехи индустриальные (введен в действие 01.01.2014). – М.: Стандартинформ, 2015.

3. ГОСТ 30804.4.3-2013. Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации. Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость к радиочастотному электромагнитному полю. Требования и методы испытаний (введен в действие 01.01.2014). – М.: Стандартинформ, 2015.

4. Bassen H. Electric field probes-A review / H. Bassen, G. Smith // *IEEE Transactions on Antennas and propagation*. – 1983. – Vol. 31, No. 5. – P. 710–718.

5. Yan Y. et al. Electrostatic sensors-Their principles and applications // *Measurement*. – 2021. – Vol. 169. – P. 108506.

6. Peng J. et al. Recent progress on electromagnetic field measurement based on optical sensors // *Sensors*. – 2019. – Vol. 19, No. 13. – P. 2860.

7. Jung H. Ti: LiNbO₃ integrated optic electric-field sensors based on electro-optic effect // *Fiber and Integrated Optics*. – 2016. – Vol. 35, No. 4. – P. 161–180.

8. Boyd G.D. et al. LiNbO₃: an efficient phase matchable nonlinear optical material // *Applied physics letters*. – 1964. – Vol. 5, No. 11. – P. 234–236.

9. Zhang J. A Ti: LiNbO₃ optical waveguide sensor for measurement of intensive electric field / J. Zhang, Q. Chen // *Optics & Laser Technology*. – 2024. – Vol. 169. – P. 110091.

10. Борн М. Основы оптики / М. Борн, Э. Вольф. – М.: Наука, 1989. – 720 с.

11. Ярив А. Оптические волны в кристаллах / А. Ярив, П. Юх. – М.: Наука, 1987. – 616 С.

12. Кузнецов И.В. Моделирование делителя поляризации на основе тонких плёнок ниобата лития / И.В. Кузнецов, А.С. Перин // *Сб. избр. статей научной сессии ТУСУР*. – Томск: ТУСУР, В-Спектр (ИП В.М. Бочкарева), 2023. – № 1. – С. 317–320.

**ВСТРЕЧНОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ЦИРКУЛЯРНО
ПОЛЯРИЗОВАННЫХ СВЕТОВЫХ ВОЛН
В КРИСТАЛЛЕ СИЛИКАТА ВИСМУТА СРЕЗА (111)**

П.В. Мостепан, студентка; Р.А. Симонян, аспирант;

С.С. Шмаков, доцент каф. ЭП, к.т.н.;

Н.И. Буримов, проф. каф. ЭП, д.ф.-м.н.;

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

*Проект ГПО ЭП-1801. Адаптивная голографическая интерферометрия
г. Томск, ТУСУР, каф. ЭП, polinamostepan5@gmail.com*

Рассмотрены процессы взаимодействия световых волн с циркулярными поляризациями на отражательных голограммах в кубическом фоторефрактивном кристалле силиката висмута среза (111).

Ключевые слова: отражательные фоторефрактивные голограммы, обратный флексоэлектрический эффект, кубические кристаллы, кристаллы класса силленитов.

Демодуляция фазы сигнального пучка в модуляцию его интенсивности при взаимодействии со стационарным опорным пучком на отражательных голограммах [1, 2] в кристаллах класса силленитов [3] используется в лазерных интерферометрах, адаптивных к медленным изменениям условий окружающей среды [2, 4] за счет высокой скорости фоторефрактивного отклика силленитов, позволяет достигать высокой чувствительности при измерении малых амплитуд механических колебаний [2, 4].

В связи с чем исследование физических свойств фоторефрактивных кристаллов класса силленитов, используемых в таких адаптивных интерферометрических системах в качестве сред регистрации отражательных голограмм, является актуальной задачей.

При взаимодействии линейно поляризованных световых волн (сигнальной и опорной) на отражательных голограммах в кристаллах класса силленитов, ввиду оптической активности и поглощения кристалла, наибольшая эффективность взаимодействия световых волн достигается подбором оптимальной толщины кристалла вследствие зависимости коэффициентов связи световых волн от координат [5]. При встречном же взаимодействии циркулярно поляризованных световых волн коэффициент двухпучковой связи не зависит от координат и не изменяется при прохождении кристалла [6].

В настоящем сообщении говорится о встречном взаимодействии световых волн с циркулярными поляризациями разных знаков вращения для ориентаций волнового вектора отражательной фоторефрактивной решетки вдоль кристаллографических направлениях $[111]$ и $[\bar{1}\bar{1}\bar{1}]$ в гиротропном кристалле $\text{V}_{12}\text{SiO}_{20}$.

Эксперименты по встречному взаимодействию сигнальной волны с правой (левой) циркулярной поляризацией и модулированной по фазе со стационарной опорной волной, имеющей левую (правую) циркулярную поляризацию на отражательных голограммах в кристалле $\text{Vi}_{12}\text{SiO}_{20}$ среза (111) проводились на установке адаптивного голографического интерферометра [4].

На рис. 1 представлены гармоники сигнала фазовой демодуляции адаптивного голографического интерферометра при выборе ориентации распространения волны вдоль оси [111], на рис. 2 показаны аналогичные зависимости при повороте кристалла на 180° .

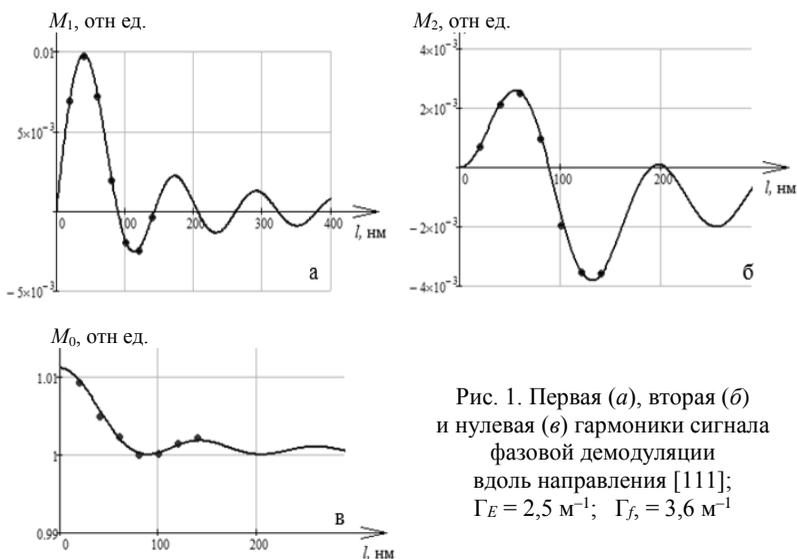


Рис. 1. Первая (а), вторая (б) и нулевая (в) гармоники сигнала фазовой демодуляции вдоль направления [111]; $\Gamma_E = 2,5 \text{ м}^{-1}$; $\Gamma_f = 3,6 \text{ м}^{-1}$

При аппроксимации экспериментальных точек теоретическими кривыми использовались коэффициент $\Gamma_\alpha = 0,236 \text{ м}^{-1}$, независящий от направления ориентации вектора решетки и характеризующий вклад амплитудной составляющей голограммы в фоторефрактивный отклик; Γ_E , определяет участие электрооптического эффекта и равный $2,5 \text{ м}^{-1}$ (см. рис. 1) и -19 м^{-1} (см. рис. 2); Γ_f , описывающий присутствие обратного флексоэлектрического эффекта и фотоупругости в фоторефрактивный отклик равный $3,6 \text{ м}^{-1}$ при распространении вдоль [111] и $-3,6 \text{ м}^{-1}$ при смене положения исследуемого кристалла на 180° .

Аналогичные результаты были получены и при правой круговой поляризации опорного пучка и левой круговой поляризации сигнального пучка.

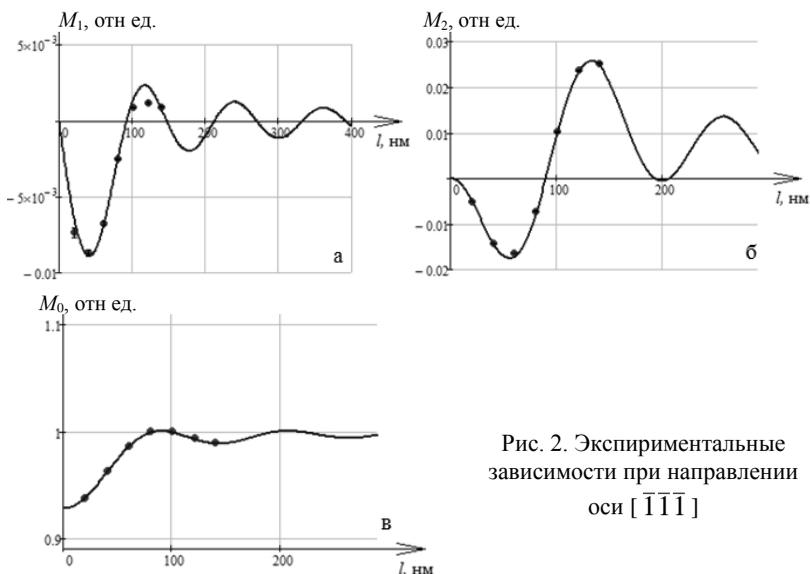


Рис. 2. Экспериментальные зависимости при направлении оси $[\bar{1}\bar{1}\bar{1}]$

По результатам проведенных исследований получено, что коэффициенты Γ_f для различных направлений ориентации вектора решетки относительно кристаллографических направлений $[111]$ и $[\bar{1}\bar{1}\bar{1}]$ равны по модулю, но противоположны по знаку, а коэффициенты Γ_E , имея разницу в знаке, также отличались по модулю в 7,5 раза во всех проведенных экспериментах.

Работа выполнена в рамках госзадания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации на 2023–2025 годы (задание FEWM-2023-0012/3).

ЛИТЕРАТУРА

1. Two-wave mixing on reflection dynamic gratings in sillenite crystals under phase modulation of signal beam / S.M. Shandarov, A.A. Kolegov, N.I. Burimov et al. // *Physics of Wave Phenomena*. – 2009. – Vol. 17, No. 1. – P. 39–44.
2. Адаптивная интерферометрия, использующая динамические отражательные голограммы в кубических фоторефрактивных кристаллах / А.А. Колегов, С.М. Шандаров, С.С. Шмаков и др. // *Квантовая электроника*. – 2011. – Т. 41, № 9. – С. 847–852.
3. Петров М.П. Фоторефрактивные кристаллы в когерентной оптике / М.П. Петров, С.И. Степанов, А.В. Хоменко. – СПб.: Наука, 1992. – 320 с.
4. Исследование амплитудных характеристик голографического интерферометра / С.С. Шмаков, А.С. Котин, С.М. Шандаров, Н.И. Буримов // *Южно-сибирский научный вестник*. – 2012. – № 1. – С. 198–200.

5. Влияние оптической активности и поглощения на встречное двухволновое взаимодействие в кристалле $\text{Bi}_{12}\text{TiO}_{20}$ / В.Н. Навныко, М.А. Аманова, А.В. Макаревич, В.В. Юдицкий // ПФМТ. – 2019. – Т. 38, № 1. – С. 21–25.

6. Взаимодействие и дифракция световых волн с циркулярной поляризацией на динамических голограммах в кубических гиротропных кристаллах / С.М. Шандаров, Н.И. Буримов, А.О. Злобин и др. // В сб. науч. тр.: Невская фотоника – 2023: Всерос. науч. конф. с междунар. участием. – СПб.: ИТМО, 2023. – С. 64.

УДК 621.375.132.9

ФОТОПРИЕМНИКИ НА ОСНОВЕ ОПЕРАЦИОННЫХ УСИЛИТЕЛЕЙ

В.В. Мурашкин, студент; Р.А. Симонян, аспирант;

С.С. Шмаков, доцент каф. ЭП, к.т.н.

*Проект ГПО ЭП-1801. Адаптивная голографическая интерферометрия
г. Томск, ТУСУР, каф. ЭП, s.s.shmakov@mail.ru*

Рассмотрены вопросы построения усилителей фотодиодов на основе трансимпедансного операционного усилителя (ТИОУ) для использования в оптических схемах, в том числе в схемах динамической голографии.

Ключевые слова: фотодиод, фотоприемник, операционный усилитель, трансимпедансный усилитель.

Фотоприемники на основе фотодиодов, являясь связующим звеном между измеряемой физической величиной и обрабатывающей электроникой, несомненно, одни из важных элементов некоторых оптических схем, в которых регистрация интенсивности оптического излучения необходима для наблюдения физических процессов.

Основной задачей фотоприемника является точное преобразование тока фотодиода в линейно зависящий от фототока сигнал фотоприемника. Линейная зависимость выходного сигнала фотоприемника от мощности светового потока может быть получена при непосредственном измерении тока фотодиода, для чего такой измеритель должен обладать нулевым входным импедансом, чтобы обеспечить нулевое падение напряжения на фотодиоде [1]. Нулевой импеданс может обеспечить операционный усилитель (ОУ), охваченный обратной связью. Благодаря большому усилению ОУ обратная связь будет устанавливать нулевую разность потенциалов между его входами [1]. Это создается схемой преобразователя ток–напряжение на основе операционного усилителя [1] или, как его принято называть в литературе [2–4], трансимпедансный усилитель (ТИОУ). Входное сопротивление

такого усилителя определяется как отношение сопротивления цепи обратной связи (ОС) к коэффициенту усиления с разомкнутой цепи ОС [1, 2]. На рис. 1 представлена схема ТИОУ, используемая для наблюдения перекачки мощности световых пучков при их попутном взаимодействии на динамической голограмме в фоторефрактивном кристалле [5].

Выходное напряжение такой схемы определяется произведением тока фотодиода на сопротивление цепи ОС [1, 2], т.е. коэффициент преобразования ТИОУ устанавливается резистором цепи обратной связи, сопротивление которого подбирается, насколько позволяют ограничения (входной ток ОУ, мощность падающего излучения и т.п.). Например, в [3] авторами при разработке измерителя малых токов предложено для реализации нескольких пределов измерения использовать несколько резисторов в цепи ОС.

Нами предложено использовать два подстроечных многооборотных резистора $R2$ и $R3$ с подстройкой в 25 полных оборотов каждый и с сопротивлениями 500 кОм и 1 МОм соответственно, что позволяет обеспечить широкий диапазон измеряемых токов фотодиода.

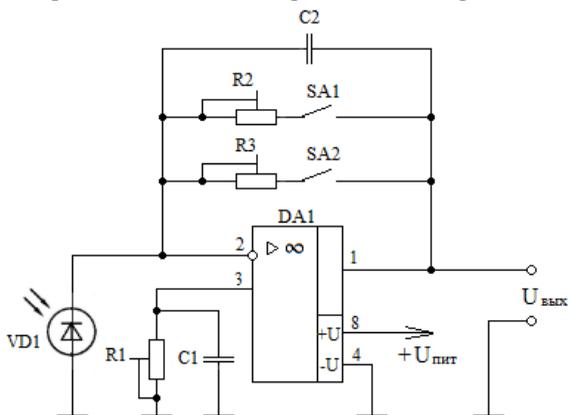


Рис. 1. Электрическая схема фотоприемника

Не стоит забывать, что при большом сопротивлении резистора в цепи ОС он начинает вносить температурный дрейф напряжения вследствие наличия температурного коэффициента входного тока ОУ [1, 2]. Для компенсации дрейфа выходного напряжения на неинвертирующий вход ОУ подключают резистор с таким же сопротивлением, как и в цепи ОС [1, 2]. В связи с чем в предложенной схеме (см. рис. 1) также устанавливается подстроечный многооборотный резистор $R1$ с подстройкой в 25 оборотов и сопротивлением 1 МОм, что

позволяет устранить разброс сопротивлений между $R1$ и резисторами цепи ОС. Для устранения большей части шума резистора $R1$ параллельно ему добавляется емкостная развязка.

Емкость $C2$ в цепи ОС устанавливается для компенсации влияния паразитной емкости фотодиода, которая может создавать полюс в цепи обратной связи. Расчет емкости $C2$ проводился по методикам и рекомендациям, подробно изложенным в работах [4, 6], учитывая примененный в схеме $p-i-n$ -фотодиод марки BPW-34S. В предлагаемой схеме использовался ОУ общего назначения LM358N, имеющий входной ток 2 нА, либо КМОП ОУ LMC662 с архитектурой rail-to-rail и входным током 2 фА. Несмотря на наличие у обоих, используемых ОУ частотной компенсации и использование фотоприемника на постоянном токе, от компенсирующей емкости $C2$ решено было не отказываться.

Особенностью предлагаемого фотоприемника на основе ТИОУ, отличающего его от аналогичных приемников, представленных, например, в работах [2–4, 6], является использование двух подстроечных многооборотных резисторов в цепи ОС, позволяющих применять фотоприемник в широком диапазоне измеряемых фототоков, а использование подстроечного резистора $R1$ позволяет проводить точную корректировку температурного дрейфа выходного напряжения.

Работа выполнена в рамках госзадания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации на 2023–2025 годы (задание FEWM-2023-0012/3).

ЛИТЕРАТУРА

1. Хоровиц П. Искусство схемотехники / П. Хоровиц, У. Хилл; пер. с англ. Б.Н. Бронина и др. – 7-е изд. – М.: Бином, 2015. – 704 с.
2. Хоббс Филипп С.Д. Усилители для фотодиодов на операционных усилителях / пер. с англ. Д. Иоффе // Компоненты и технологии. – 2009. – № 2. – С. 46–50.
3. Измеритель малых токов для исследования токов абсорбции в диэлектриках / К.Ю. Соломенцев, В.И. Лачин, А.А. Ховпачев, Я.К. Соломенцев // Электрон. науч. журнал «Вестник молодежной науки России». – 2019. – № 3.
4. Вестреман Д. Применение трансимпедансных усилителей // Электронные компоненты. – 2008. – № 3. – С. 53–55.
5. Фоторефрактивные эффекты в электрооптических кристаллах / С.М. Шандаров, В.М. Шандаров, А.Е. Мандель, Н.И. Буримов. – Томск: ТУСУР, 2007. – 242 с.
6. Трифонов А.В. Расчет корректирующей емкости трансимпедансного усилителя // Вестник Концерна ВКО «Алмаз – Антей». – 2018. – № 1. – С. 6–9.

ЦИФРОВЫЕ ФОТОПРИЕМНИКИ НА БАЗЕ ПЛАТФОРМЫ ARDUINO

*В.В. Мурашкин, Р.А. Симонян, аспиранты каф. ЭП;
С.С. Шмаков, доцент каф. ЭП, к.т.н.*

*Проект ГПО ЭП-1801. Адаптивная голографическая интерферометрия
г. Томск, ТУСУР, s.s.shmakov@mail.ru*

Рассмотрены схемы многоканального и щелевого фотоприемников на базе аппаратно-программной платформы Arduino, построенные с использованием трансимпедансных усилителей (ТИОУ).

Ключевые слова: фотоприемник, операционный усилитель, цифровой фотоприемник, микроконтроллер, аналогово-цифровой преобразователь, Arduino.

Проведение экспериментальных исследований в электронике и физике в целом требует построения лабораторных установок, проведения измерений и довольно часто автоматизированного управления ходом эксперимента. Современные измерительная техника и база электронных компонентов предоставляет широкие возможности для проведения эксперимента, позволяя создавать целые измерительные комплексы, обеспечивающие сбор данных и управление экспериментом. Однако использование этой техники для создания специализированного комплекса требует значительных финансовых и временных затрат, а также высокой инженерной квалификации разработчиков. По этой причине определенное место занимает платформа Arduino, позволяющая быстро и эффективно решить вопросы постановки эксперимента. Аппаратно-программная платформа Arduino, являясь открытой и простой в использовании, предоставляет широкие возможности по сбору данных и автоматизированному управлению экспериментом [1, 2].

Так, например, в настоящем сообщении представлен щелевой фотоприемник для измерения интенсивности излучения по сечению лазерного пучка. Понятно, что задача измерения распределения интенсивности по сечению пучка может быть решена анализатором профиля лазерного пучка, однако подобное оборудование дорого и не всегда может быть под рукой у экспериментатора. Авторам решить подобную задачу быстро и дешево позволило использование платформы Arduino.

В качестве чувствительных элементов предлагаемых многоканального и щелевого фотоприемников являются фотодиоды, подключенные к ТИОУ, выходное напряжение которых подается на аналого-

вые выходы платы Arduino Nano для последующей передачи значений измеренных напряжений после их преобразования АЦП на ЭВМ посредством USB.

Количество аналоговых входов платы Arduino Nano восемь, что позволяет подключить восемь фотоприемников на основе ТИОУ. Последовательный опрос аналоговых каналов платы, предварительно выбранных в управляющей программе на ЭВМ, позволяет организовать измерение световых пучков в нескольких точках оптической схемы, используемой в качестве, например, лабораторной измерительной установки.

Для измерения распределения интенсивности по сечению светового пучка предложена схема щелевого фотоприемника, светочувствительная часть которого также представляет собой фотодиод, установленный на подвижные каретки, приводимые в движение шаговыми двигателями по осям X и Y , и подключенный к ТИОУ. Управляющая программа на ЭВМ для щелевого фотоприемника, принимая значения напряжения от ТИОУ с платы Arduino, выстраивает график распределения интенсивности по сечению светового пучка по осям X и Y , а также, используя компонент `gl.osx`, являющийся частью пакета MatchCad, позволяет строить график поверхности. Так, на рис. 1 представлен результат работы управляющей программы для щелевого фотоприемника при измерении распределения интенсивности сигнального светового пучка, отраженного от динамической голограммы, сформированной в фоторефрактивном кристалле титаната висмута среза (100) [3].

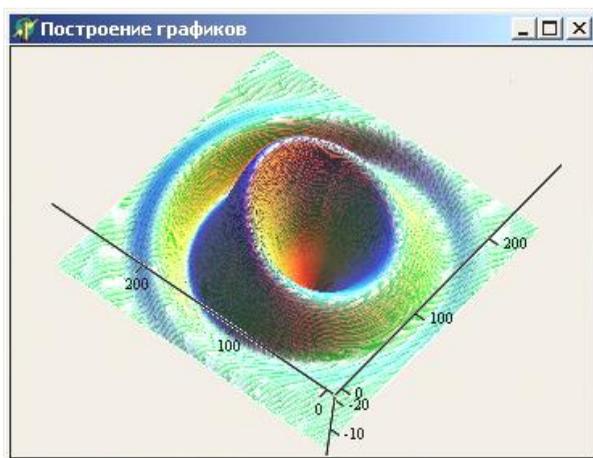


Рис. 1. Окно управляющей программы щелевого фотоприемника

Работа выполнена в рамках госзадания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации на 2023–2025 годы (задание FEWM-2023-0012/3).

ЛИТЕРАТУРА

1. Пономаренко В.И. Использование платформы Arduino в измерениях и физическом эксперименте / В.И. Пономаренко, А.С. Караваев // Изв. вузов «ПНД». – 2014. – Т. 22, № 4. – С. 77–90.
2. Краткий обзор и перспективы применения микропроцессорной платформы Arduino / Е.Я. Омельченко, В.О. Танич, А.С. Маклаков, Е.А. Карякина // Электротехнические системы и комплексы. – 2013. – № 21. – С. 28–33.
3. Встречное взаимодействие световых пучков с гауссовым профилем распределения интенсивности в кристалле титаната висмута среза (100) / М.А. Костеников, Н.О. Абылгазиев, Р.А. Симонян и др. // Матер. междунар. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых «Научная сессия ТУСУР–2023»: в 3 ч. – Томск: ТУСУР, В-Спектр (ИП В.М. Бочкарева), 2023. – Ч. 1. – С. 228–230.

ПОДСЕКЦИЯ 2.6

ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ СОВМЕСТИМОСТЬ

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

УДК 621.396.677.83

АНАЛИТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКРАНИРОВАНИЯ МНОГОСЕКЦИОННЫХ ЭКРАНОВ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ С ПОМОЩЬЮ ЭКВИВАЛЕНТНЫХ СХЕМ

А.В. Гнутов, магистрант;

А.А. Иванов, к.т.н., с.н.с. НИЛ «БЭМС РЭС»

г. Томск, ТУСУР, andrey.gnutow@ya.ru

Представлены результаты аналитической оценки эффективности экранирования многосекционных корпусов печатных плат на основе метода эквивалентной схемы корпуса. Показано, что результаты, рассчитанные аналитически и методом конечных разностей во временной области, согласуются. Для корпуса из двух секций отклонение составило в среднем 4,6 дБ, а для корпуса с тремя секциями – 5,6 дБ.

Ключевые слова: эффективность экранирования, корпус, печатная плата, многосекционный экран, аналитический метод, эквивалентная схема.

Для защиты печатных плат и электронных компонентов от воздействия электромагнитных помех применяются экранирующие корпуса [1]. Причем эти корпуса часто изготавливаются в виде нескольких связанных друг с другом секций, изолирующих компоненты одновременно от внешнего и взаимного воздействия. Как правило, для оценки эффективности экранирования (ЭЭ) многосекционных корпусов применяются численные методы [2]. Однако их использование обычно связано со значительными вычислительными затратами.

Для оценки ЭЭ корпуса с апертурой в [3] предложен экономичный аналитический метод, основанный на использовании эквивалентной электрической схемы. В этой схеме воздействующая на корпус плоская электромагнитная волна заменяется источником с напряжением V_0 и импедансом $Z_0 = 377$ Ом, апертура – импедансом Z_{ap} , а сам

корпус – короткозамкнутым отрезком волновода. ЭЭ вычисляется из напряжения в схеме после её преобразований в соответствии с теорией цепей. Метод [3] обладает приемлемой точностью и низкой вычислительной сложностью, однако ранее он не применялся для оценки ЭЭ многосекционных корпусов. Цель данной работы – оценить возможность применения [3] к аналитической оценке ЭЭ таких структур.

В первую очередь, проанализирована ЭЭ корпуса, состоящего из двух каскадно-соединенных секций (рис. 1, а). Секция 1 имела размеры $10 \times 4 \times 10$, а секция 2 – $10 \times 4 \times 5$ мм³. В лицевой стенке корпуса и в стенке между секциями располагались одинаковые апертуры 3×3 мм². ЭЭ оценивалась в точке наблюдения P , расположенной в центре секции 1. Для аналитической оценки ЭЭ была составлена эквивалентная схема, показанная на рис. 1, б. В отличие от [3] в схему добавлены дополнительный импеданс Z_{ap2} и второй короткозамкнутый отрезок волновода.

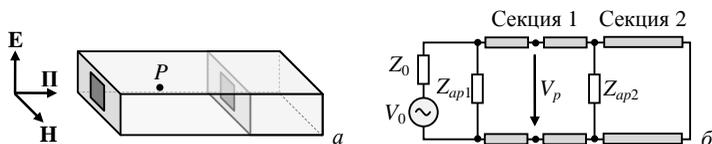


Рис. 1. Корпус из двух секций (а) и его эквивалентная схема (б)

Результаты аналитической оценки ЭЭ для двухсекционного корпуса в диапазоне частот 0–40 ГГц приведены на рис. 2. Для сравнения также приведена частотная зависимость ЭЭ этого корпуса, полученная численным методом конечных разностей во временной области (МКРВО). Из рис. 2 видно, что результаты, полученные аналитическим методом и МКРВО, хорошо согласуются. Среднее значение отклонения составило всего 4,6 дБ. Причем наибольшие различия наблюдаются на частотах до 5 ГГц.

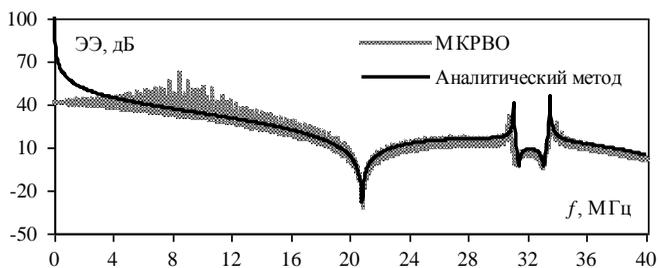


Рис. 2. Частотные зависимости ЭЭ двухсекционного корпуса, вычисленные аналитическим методом и по МКРВО

Далее оценивалась ЭЭ корпуса из трех секций, показанного на рис. 3, *а*. Как и ранее, все апертуры были 3×3 мм². При этом секция 1 имела размеры $20 \times 4 \times 20$ мм³, а секции 2 и 3 были одинаковыми (по $10 \times 4 \times 10$ мм³). Точка наблюдения *P* располагалась в центре секции 1. Эквивалентная схема этого корпуса для аналитической оценки ЭЭ показана на рис. 3, *б*. Для учета секций 2 и 3 к ней добавлены два короткозамкнутых волновода и два импеданса Z_{ap2} и Z_{ap3} . Частотные зависимости ЭЭ, вычисленные аналитическим методом и по МКРВО, приведены на рис. 4

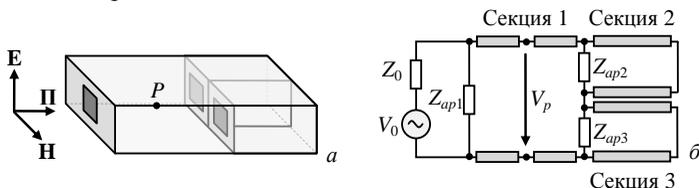


Рис. 3. Трехсекционный корпус (*а*) и его эквивалентная схема (*б*)

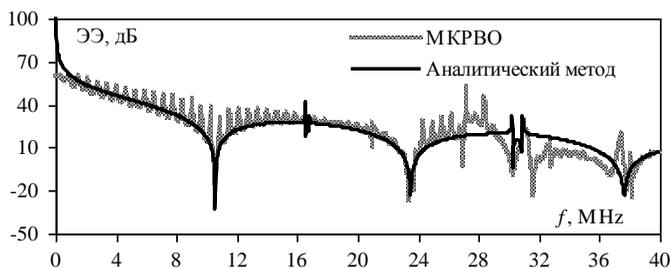


Рис. 4. Частотные зависимости ЭЭ трехсекционного корпуса, вычисленные аналитическим методом и по МКРВО

Из рис. 4 видно, что результаты аналитических расчетов и электродинамического моделирования хорошо совпадают. Наибольшие расхождения в ЭЭ наблюдаются до 2 ГГц и в диапазоне от 30 до 37 ГГц. Однако среднее отклонение составляет всего 5,6 дБ. Таким образом, полученные результаты доказывают, что аналитический метод на основе эквивалентных схем можно использовать для оценки ЭЭ многосекционных экранов с приемлемой точностью.

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

ЛИТЕРАТУРА

1. Electromagnetic shielding: theory and applications / S. Celozzi, R. Araneo, P. Burghignoli, G. Lovat. – 2nd ed. – Hoboken, NJ, USA: Wiley-IEEE Press, 2022.

2. Montrose M.I. Printed circuit board design techniques for EMC compliance: a handbook for designers. – 2nd ed. – Hoboken, NJ, USA: Wiley-IEEE Press, 2000.

3. Shielding effectiveness of a rectangular enclosure with a rectangular aperture / M.P. Robinson, J.D. Turner, D.W.P. Thomas et al. // Electronics Letters. – 1996. – No. 17 (32). – P. 1559–1560.

УДК 621.372.211

АНАЛИЗ ПОГОННОЙ ЁМКОСТИ И МАССЫ ПРОВОДНЫХ ОТВОДОВ ТИПА БС 35-1298 И МС 26-15

И.С. Марков, магистрант; А.А. Дроздова, аспирант

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

Рассмотрены проводные отводы силовой шины электропитания, использующиеся в космических аппаратах. Рассчитаны погонные ёмкости и масса проводных отводов, состоящие из проводов типа БС 32-1298 и МС 26-15. Выявлено, что использование провода типа МС 26-15 приводит к увеличению погонной ёмкости в 4 раза, а использование провода типа БС 35-1298 позволит уменьшить массу проводных отводов на 10%.

Ключевые слова: силовая шина электропитания, космический аппарат, проводные отводы, погонная ёмкость, масса проводов.

Проводные отводы присутствуют во многих системах силовой электроники, включая электрические распределительные сети [1, 2]. При этом для обеспечения целостности системы и минимизации габаритов зачастую провода группируют в жгуты, что приводит к увеличению емкостных и индуктивных электромагнитных связей между проводами. Вследствие этого может повыситься уровень кондуктивных и излучаемых электромагнитных помех (ЭМП), что приведет к возникновению необратимых и катастрофических отказов [3]. При создании летной бортовой техники необходимо решение множества задач, связанных с её массой и надежностью при нахождении в космическом пространстве. Провода типа БС 32-1298 и МС 26-15 предназначены для фиксированного монтажа бортовой электрической сети авиационной и космической техники. В результате целесообразно оценить погонные параметры и массу провода для монтажа силовых цепей. Цель работы – оценить погонную ёмкость, а также массу проводов типа БС 32-1298 и МС 26-15.

Конструкция провода БС 32-1298 [4] (рис. 1, *a*) состоит из токопроводящей жилы из скученных медных лужёных проволок I , изоля-

ции с диэлектрической проницаемостью ($\epsilon_r = 2,1$) в виде двух сплошных слоёв из фторопласта 2. Провод типа МС 26-15 [5] (рис. 1, б) состоит из токопроводящей жилы 1 из медной посеребрённой проволоки марки БМС или МСр и изоляции 2 из электроизоляционного полиимидного лака марки АД-9103 с $\epsilon_r = 3,1$. Для защиты от электростатического разряда провода в жгуте покрывают лентой из арамидных нитей с обмоткой из медной посеребрённой проволоки (ЛМAMс).



Рис. 1. Структура проводов БС 35-1298 (а) и МС 26-15 (б)

Созданы геометрические модели проводных жгутов (рис. 2), состоящих из проводов типа БС 35-1298 и МС 26-15, предназначенные для их применения в качестве проводных отводов силовой шины электропитания (СШЭП) космического аппарата (КА). Данные проводные отводы необходимы для соединения СШЭП с устройствами, входящими в состав системы электропитания КА. Площадь поперечного сечения (S) каждого полюса СШЭП выбрана 50 мм^2 из расчета протекания максимального тока 200 А . Согласно технической документации (ТД) [3, 4], провод БС 35-1298 имеет максимальную $S = 5 \text{ мм}^2$, а МС 26-15 – $0,5 \text{ мм}^2$. При этом погонные ёмкость и индуктивность для провода БС 35-1298 составляют $390,5 \text{ пФ/м}$ и $59,7 \text{ нГн/м}$, а для МС 26-15 – $465,1 \text{ пФ/м}$ и $73,4 \text{ нГн/м}$. В результате каждый проводной отвод СШЭП выполняется из 10 проводов типа БС 35-1298 или 100 проводов типа МС 26-15, что в сумме составляет 50 мм^2 для каждого полюса.

Вблизи СШЭП поперечное сечение (рис. 2, а) представляет собой набор из 10 проводов типа БС 35-1298 (100 проводов типа МС 26-15) длиной $20\text{--}30 \text{ мм}$, расположенных друг над другом на расстоянии $w_1 = k_1 = 4 \text{ мм}$ с единым экраном в виде экранирующей ленты (ЛМAMс). Провода расположены таким образом, что сверху имеют положительную полярность провода 1, а снизу отрицательную 2, вокруг которых экранирующая лента 3. Подобное расположение проводов необходимо для того, чтобы соединить провода каждого полюса с жесткой конструкцией СШЭП. Далее проводные отводы вдоль длины собираются в жгут (рис. 2, б) длиной 350 мм и возле соединителей разветвляются по полюсам соответствующей полярности: положительной и отрицательной (рис. 3, в) длиной 100 мм .

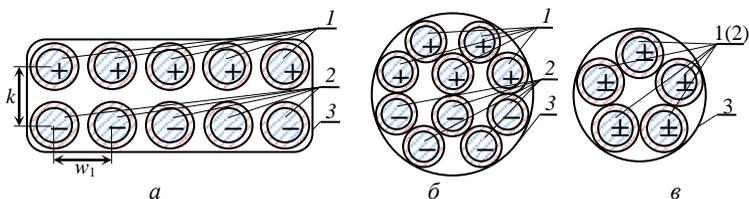


Рис. 2. Геометрические модели проводных отводов СШЭП, состоящих из проводов типа БС 35-1298

На основе созданных геометрических моделей в программе TALGAT [6] вычислены матрицы коэффициентов электростатической индукции для проводов проводных отводов типа БС 35-1298 и МС 26-15, а погонные ёмкости (C) для данных моделей вычислены как

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

где C_{ii} и C_{ij} – собственные и взаимные коэффициенты матрицы электростатической индукции соответственно; N – число проводов в жгуте. В таблицу сведены результаты расчета погонных C , а также массы (m) проводных отводов, состоящих из проводов типа БС 35-1298 и МС 26-15. Масса рассчитывалась относительно данных, представленных в ТД. Масса провода типа БС 35-1298 с $S = 5 \text{ мм}^2$ составляет 47 кг/км, а для МС 26-15 с $S = 0,5 \text{ мм}^2 - 5,17 \text{ кг/км}$.

Значения погонной C и m для проводных отводов

N	БС 35-1298		N	МС 26-15	
	C , пФ/м	m , г		C , пФ/м	m , г
10 (рис. 2, а)	683,3	14	100	2 563,6	15,51
10 (рис. 2, б)	601,4	164,5	100	2 428,7	180,95
5 (рис. 2, в)	512,5	23	50	1 567,4	25,85

Из таблицы видно, что использование провода МС 26-15 приводит к увеличению погонной C в 3,75 раза для проводного отвода, расположенного близи основания СШЭП, в 3 раза – вблизи соединителей и в 4 раза – вдоль длины. Также преимуществом провода МС 26-15 является более высокая гибкость проводного отвода. Тогда как использование провода типа БС 35-1298 позволит уменьшить массу проводных отводов примерно на 10%, что является экономически более выгодным.

В результате выполнен анализ погонной ёмкости и массы проводных отводов СШЭП, состоящих из проводов типа БС 35-1298 и МС 26-15. Анализ показал, что использование проводов типа МС 26-

15 позволит увеличить погонную ёмкость максимум в 4 раза, но при этом приведет к увеличению массы проводных отводов на 10%, что экономически невыгодно для КА.

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

ЛИТЕРАТУРА

1. Resonance issues and damping techniques for grid-connected inverters with long transmission cable / S. Zhang, S. Jiang, X. Lu, B. Ge, F.Z. Peng // IEEE Trans. Power Electron. – 2014. – Vol. 29, No. 1. – P. 110–120.

2. A survey on demand response in smart grids: Mathematical models and approaches / R. Deng, Z. Yang, M. Chow, J. Chen // IEEE Trans. Ind. Informat. – 2015. – Vol. 11, No. 3. – P. 570–582.

3. Clayton R.P. Introduction to Electromagnetic Compatibility. – John Wiley & Sons, 1992. – 983 p.

4. Провод БС 35-1298 – описание, характеристики, расшифровка – Кабель.РФ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://cable.ru/cable/group-bs_35_129_description.php, свободный (дата обращения: 23.01.2024).

5. Провод МС 26-15 – описание, характеристики, расшифровка – Кабель.РФ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://cable.ru/cable/group-ms_26_15_description.php, свободный (дата обращения: 23.01.2024).

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

УДК 621.376.3

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ФОРМЫ СИЛОВОЙ ШИНЫ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ НА НЕЁ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО РАЗРЯДА

И.С. Марков, магистрант; А.А. Дроздова, аспирант

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

Выполнен анализ влияния геометрической формы силовой шины электропитания (СШЭП) при воздействии электростатического разряда (ЭСР). В качестве основания СШЭП выбраны поперечные сечения на основе несимметричной, симметричной и коаксиальной линий передач. Показано, что ослабление амплитуды ЭСР для всех форм поперечных сечений не превышает 1,96 раза.

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

Силовая шина электропитания является одной из конструкций силовых цепей космического аппарата (КА), определяющей его

надёжность. В основном СШЭП не резервируется, но с её помощью осуществляется электропитание всех потребителей электроэнергии КА. Анализ статистики отказов КА [1] свидетельствует о том, что частыми внештатными ситуациями в ходе их эксплуатации являются отказы систем электропитания. При этом свыше 54% отказов вызваны воздействием электростатического разряда (ЭСР) [2]. В этой связи на этапе проектирования необходимо предотвращать её возможные дефекты. При этом важно исследовать конструктивные особенности взаимосвязи геометрии СШЭП с её электрофизическими параметрами. В [3] представлены результаты разработки моделей различных форм поперечного сечения СШЭП и их квазистатический анализ, а также приведены зависимости значений погонных параметров СШЭП от геометрической формы ее конструкции. При этом исследование влияния геометрической формы СШЭП при воздействии на неё ЭСР остается актуальным.

Цель работы – выполнить анализ влияния геометрической формы СШЭП при воздействии на неё ЭСР.

Известным конструкторским решением для основания СШЭП является слоистая структура в виде несимметричной (рис. 1, *а*) или симметричной (см. рис. 1, *б, в*) линий передач (ЛП), которые состоят из проводящих пластин 1, разделенных диэлектриком 2 с относительной диэлектрической проницаемостью (ϵ_r) [4]. Геометрическими параметрами основания СШЭП являются ширина (w), толщина (t) и длина электропроводящих пластин, а также толщина (h) диэлектрика. СШЭП с коаксиальной формой поперечного сечения основания (см. рис. 1, *з*), отличается от остальных отсутствием результирующего магнитного поля вокруг СШЭП, а также низкими значениями элементов матрицы индуктивности [5]. Геометрическими параметрами коаксиальной СШЭП являются диаметр (D) проводников, а также h диэлектрика. В результате для анализа влияния геометрической формы СШЭП при воздействии ЭСР выбраны поперечные сечения, созданные в программе TALGAT [6] (см. рис. 1). При этом для каждого полюса выбрана площадь поперечного сечения (S) 50 мм², а в качестве изолятора использовался диэлектрик толщиной $h = 2$ мм с $\epsilon_r = 1$. Потери в проводниках и диэлектриках на данном этапе не учитывались.

Выполнено моделирование воздействия ЭСР на СШЭП с разным поперечным сечением основания. На рис. 2, *а* представлена схема воздействия ЭСР на СШЭП, состоящая из проводников прямых (узлы V1, V2) и обратных (узлы V3, V4) токов. Начало и конец каждого проводника нагружены на сопротивления $R1 - R4 = 50$ Ом стандартного измерительного тракта. При этом слой земли располагался на

расстоянии 1 м для минимального его влияния. Форма напряжения ЭСР (см. рис. 2, б) выбрана по IV степени жёсткости согласно ГОСТ Р 51317.4.2–2010 [7].

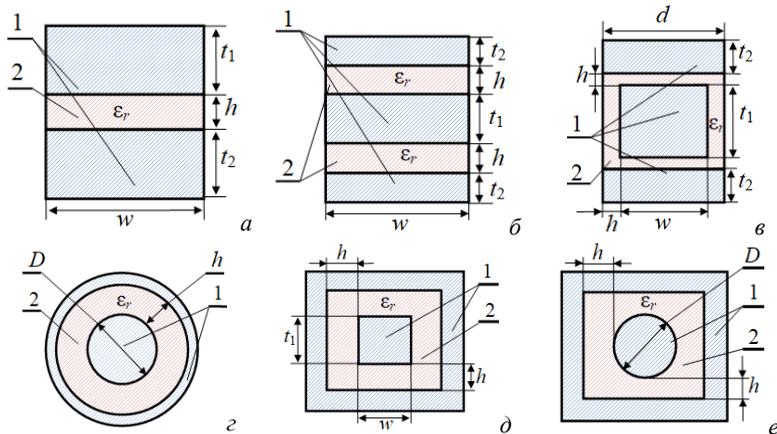


Рис. 1. Поперечные сечения СШЭП на основе ЛП: несимметричной (а), симметричной без изолятора по краям (б) и с ним (в), коаксиальной (з), прямоугольной (д) и круглой с прямоугольным обратным проводником (е)

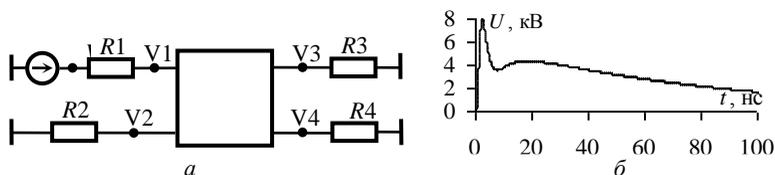


Рис. 2. Схема воздействия ЭСР на СШЭП – а; форма напряжения в узле V5 – б

Формы напряжения в начале (V1) и конце (V3) положительного проводника СШЭП с поперечным сечением в виде несимметричной ЛП (см. рис. 1, а) представлены на рис. 3, а. Из рис. 3, а видно, что амплитуда в начале линии не превышает 4,8 кВ, а в конце линии – 2,2 кВ. Ослабление (α) амплитуды ЭСР составило 1,91 раза. Стоит отметить, что формы напряжения в начале и конце линии для всех форм поперечных сечений СШЭП совпадали, отличались только значения максимальной амплитуды. В таблице сведены значения α амплитуды ЭСР для всех форм поперечных сечений, из которой видно, что значение α для всех форм поперечных сечений практически одинаковое. Максимальное значение α наблюдается для СШЭП с основанием в виде симметричной ЛП без диэлектрика по краям (см. рис. 1, б).

Ослабление амплитуды ЭСР

Рис. 1	<i>a</i>	<i>б</i>	<i>в</i>	<i>г</i>	<i>д</i>	<i>е</i>
α , разы	1,91	1,96	1,88	1,87	1,89	1,82

Далее выполнено моделирование воздействия ЭСР на СШЭП в виде несимметричной ЛП (см. рис. 1, *a*) при изменении отношения w/t , но с сохранением $S = 50 \text{ мм}^2$ (см. рис. 3, *б*).

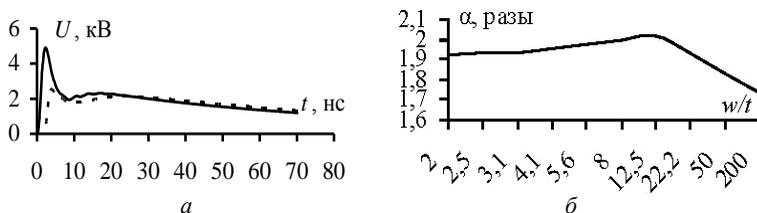


Рис. 3. Формы напряжения в узлах V1 (—) и V3(- -) (*a*)
и зависимость значения α от w/t (*б*)

Из рис. 3, *б* видно, что увеличение отношения w/t до 12,5 ($w = 25 \text{ мм}$, $t = 2 \text{ мм}$) приводит к увеличению ослабления до 2 раз. Дальнейшее увеличение w/t до 200 ($w = 100 \text{ мм}$, $t = 0,5 \text{ мм}$) приводит к резкому уменьшению значения α до 1,7 раза. Такое поведение можно объяснить тем, что после значения $w/t = 12,5$ происходит резкое увеличение ёмкости и уменьшение индуктивности в 3,5 раза [3]. Таким образом, при проектировании СШЭП необходимо учитывать данные особенности конструкции СШЭП.

В результате выполнен анализ влияния геометрической формы СШЭП при воздействии ЭСР. Показано, что ослабление амплитуды ЭСР для всех форм поперечных сечений не превышает 1,96 раза. Проанализировано влияние отношения ширины проводника к её толщине. Показано, что увеличение отношения до $w/t = 12,5$ приводит к увеличению значения ослабления до 2 раз, а при $w/t = 200$ значение ослабления уменьшается до 1,7 раза.

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

ЛИТЕРАТУРА

- Соколов А.Б. Моделирование изменений радиационной электропроводности полимеров внешней поверхности космических аппаратов при воздействии факторов космического пространства / В.С. Саенко, А.Б. Соколов // Технологии электромагнитной совместимости. – 2008. – № 2(25). – С. 9–11.

2. Fenell J.F. Spacecraft charging: observations and relationship to satellite anomalies // Spacecraft charging technology, proceedings of the seventh international conference held. – 2001. – P. 279–285.

3. Ternov S. Influence of the cross-section form of the power bus bar on its parameters / S. Ternov, A.V. Demakov, M.E. Komnatnov // Moscow Workshop on Electronic and Networking Technologies (MWENT). – Moscow, Russia, 14–16 March 2018. – P. 1–4.

4. Caponet M.C. Low stray inductance bus bar design and construction for good EMC performance in power electronic circuits / M.C. Caponet, F. Profumo, R.W. De Doncker // IEEE Transactions on Power Electronics. – 2002. – Vol. 17, Iss. 2. – P. 916–921.

5. Ehrich M. Electrical properties and magnetic fields of a coaxial bus bar / M. Ehrich, L.O. Fichte, M. Luer // Proc. Asia-Pacific Conf. on Environmental Electromagnetics. – 2000. – P. 11–16.

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

7. 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 621.396.6

**МОДАЛЬНЫЙ ФИЛЬТР НА ОСНОВЕ
МИКРОПОЛОСКОВОЙ ЛИНИИ С ДВУМЯ БОКОВЫМИ
ЗАЗЕМЛЕННЫМИ ПРОВОДНИКАМИ НА КОНЦАХ ПОД
ГРАНИЦЕЙ ВОЗДУХ–ПОДЛОЖКА**

И.Е. Сагиева, к.т.н., доцент каф. ТУ, с.н.с. НИЛ «ФИЭМС»;

И. Хелифати, студент каф. ЭМИС;

А.В. Путилин, магистрант каф. ТУ

г. Томск, ТУСУР, indira_sagieva@mail.ru

Впервые представлено исследование микрополосковой линии с двумя боковыми заземленными проводниками на концах под границей воздух–подложка в качестве модального фильтра. Выполнено моделирование в системе квазистатического анализа TALGAT. Выявлено, что исследуемая линия разложила воздействующий сверхкороткий импульс на два импульса, при этом их амплитуда уменьшилась в 2 раза.

Ключевые слова: радиоэлектронное устройство, микрополосковая линия, модальный фильтр.

На сегодняшний день многие радиоэлектронные устройства (РЭУ) (около 90%) используют микрополосковую линию (МПЛ) как основную линию, реализующуюся на печатных платах [1]. В этой свя-

зи она постоянно модифицируется проектировщиками РЭУ [2]. Однако на её работоспособность могут повлиять различные факторы, например, кондуктивные эмиссии в виде сверхкоротких импульсов (СКИ). Поэтому дополнительно создаются различные методы и устройства защиты от таких помех.

Одним из таких устройств является модальный фильтр (МФ), позволяющий разложить воздействующий СКИ на несколько импульсов с малыми амплитудами. Между тем обычная МПЛ с двумя боковыми заземленными проводниками (б.з.п.) может обладать свойствами МФ [3]. Однако возможности такой линии при расположении б.з.п. на концах под границей воздух–подложка в качестве МФ ранее не выявлено [4]. В этой связи для возможности создания новых конструкций МФ на основе МПЛ важно выполнить такое исследование.

Цель работы – исследовать МПЛ с двумя б.з.п. на концах под границей воздух–подложка в качестве МФ.

В системе TALGAT [5] выполнено моделирование МПЛ с двумя б.з.п. на концах под границей воздух–подложка. На рис. 1, а представлено её поперечное сечение с геометрическими параметрами: $h = 0,5$ мм; $d = 0,1$ мкм; $w = 1,3$ мм; $w = 0,34$ мм; $t = 35$ мкм; $s = 0,84$ мм; $\epsilon_r = 4,5$. Эквивалентная схема моделирования представлена на рис. 1, б: $l = 1$ м, $R_1 = R_2 = 50$ Ом. Источник воздействующего СКИ с амплитудой ЭДС $E = 2$ В, с общей длительностью 120 пс ($t_d = t_r = t_f = 40$ пс) представлен на рис. 1, в. Моделирование выполнено без учета потерь.

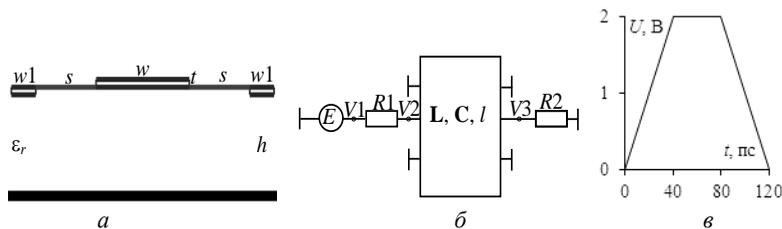


Рис. 1. Поперечное сечение (а), эквивалентная схема МФ (б) и форма ЭДС источника (в)

Геометрические параметры поперечного сечения в совокупности определяют матрицы \mathbf{L} и \mathbf{C} , а собственные значения произведения этих матриц из-под квадратного корня определяют погонные задержки мод как $\tau_1 = 5,86$ нс/м, $\tau_2 = 6,03$ нс/м, $\tau_3 = 6,38$ нс/м.

$$\mathbf{L} = \begin{bmatrix} 450,89 & 36,61 & 9,77 \\ 36,61 & 247,70 & 36,61 \\ 9,77 & 36,61 & 450,89 \end{bmatrix} \text{нГн/м}, \quad \mathbf{C} = \begin{bmatrix} 82,02 & -5,31 & -0,35 \\ -5,31 & 154,77 & -5,83 \\ -0,35 & -5,83 & 82,02 \end{bmatrix} \text{пФ/м}.$$

На рис. 2 представлен вычисленный временной отклик с формой напряжения на узлах ($V1-V3$). Видно, что напряжение на входе $V2(t)$ с амплитудой равной $0,88$ В, в силу симметрии двух б.з.п. (амплитуда импульса моды 2 равна 0) разложилось на два импульса на выходе $V3(t)$ с выравненными амплитудами, равными $0,49$ В с интервалом между ними, равным $0,52$ нс ($(l \cdot \tau_3) - (l \cdot \tau_1)$). Это означает возможность ослабления воздействующего СКИ и применения такой линии в качестве МФ.

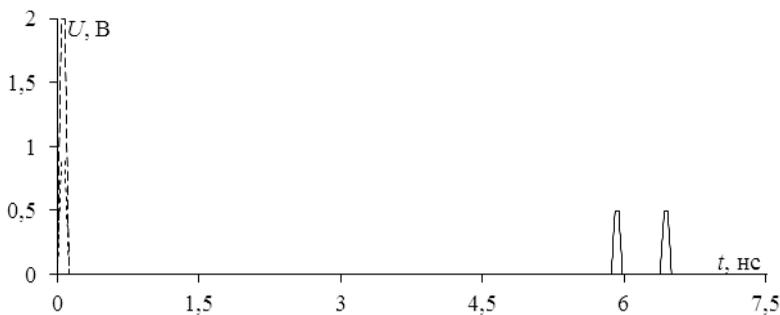


Рис. 2. Форма напряжения: ЭДС $V1$ (---), на входе $V2$ (- · -), на выходе $V3$ (—)

Таким образом, выполнено моделирование МПЛ с двумя б.з.п. на концах под границей воздух–подложка в системе квазистатического моделирования TALGAT, показана возможность ослабления воздействующего СКИ и применения его как МФ.

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

ЛИТЕРАТУРА

1. Verma A.K. Microstrip Line // Introduction to Modern Planar Transmission Lines. – June 2021. – P. 261–299.
2. Maloratsky L.G. Using modified microstrip lines to improve circuit performance // High Frequency Electronics. – 2011. – Vol. 10, No. 5. – P. 38–52.
3. Sagiyeva I.Y. Modal filter based on a microstrip line with two side conductors grounded at both ends / I.Y. Sagiyeva, Y.S. Zhechev, Z.M. Kenzhegulova, R.S. Survtsev, T.R. Gazizov // IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility. – 2023. – Vol. 65, Iss. 5. – P. 1371–1378.
4. Sagiyeva I.Ye. Modeling of microstrip line characteristics with side grounded conductors near air-substrate boundary / I.Ye. Sagiyeva, T.R. Gazizov // Journal of physics: conference series [Electronic resources]. – 2018. – Vol. 1118, No. 2. – P. 1–6.
5. Разработка программного обеспечения для моделирования радиоэлектронных средств с учетом электромагнитной совместимости в ТУСУР / С.П. Куксенко, Т.Р. Газизов, А.А. Квасников, А.В. Демаков, А.А. Иванов, Д.В. Клюкин, А. Алхадж Хасан, А.Е. Максимов, А.В. Осинцев // Наноиндустрия. – 2023. – Т. 16, № S9-1 (119). – С. 170–178.

ПРОГРАММНЫЙ МОДУЛЬ ДЛЯ ГЕНЕРАЦИИ ГЕКСАЭДРАЛЬНОЙ РАСЧЕТНОЙ СЕТКИ НА ОСНОВЕ ИСКУССТВЕННОЙ НЕЙРОНОЙ СЕТИ

С.В. Смирнов, магистрант;

А.А. Иванов, к.т.н., с.н.с. НИЛ «БЭМС РЭС»

г. Томск, ТУСУР, seroga64-30@yandex.ru

Статья посвящена разработке программного модуля для генерации гексаэдральной расчетной сетки с использованием модели искусственной нейронной сети (ИНС). Описаны инструменты и выборка данных, использованные при обучении. Приведена структура обученной модели ИНС. Представлены сведения об инструментах разработки и возможностях модуля. Выполнено тестирование модуля на примере построения сеток для двух печатных антенн.

Ключевые слова: гексаэдральная сетка, искусственная нейронная сеть, программный модуль, печатные антенны, генерация расчетной сетки.

Как известно, генерация расчетной сетки является одним из наиболее затратных этапов, выполняемых при подготовке к электродинамическому моделированию. Для снижения этих затрат при формировании сеток часто применяются методы аппаратного или программного ускорения. Однако использование искусственных нейронных сетей (ИНС) может существенно сократить вычислительные затраты на формирование сетки и избавить от необходимости в ускорении расчетов.

Данная работа посвящена созданию программного модуля для генерации гексаэдральной расчетной сетки для метода конечных разностей во временной области с использованием модели ИНС.

Обучение нейросетевой модели. Перед началом разработки программного модуля выполнено обучение нейросетевой модели для генерации расчетной сетки. При обучении использовались язык программирования Python, а также библиотеки Keras [1] и TensorFlow [2]. Для формирования обучающей и тестовой выборок, используя генераторы сеток с открытым исходным кодом [3, 4], сформированы наборы данных из 12 000 пакетов.

Для обучения выбрана модель ИНС с полной связью. Модель состояла из 7 скрытых слоев с числом нейронов от 250 до 100. На входном слое вводились координаты моделируемого объекта, а также параметры сетки: шаг дискретизации (число ячеек, отведенное на одну длину волны) и максимально допустимое различие между размерами соседних ячеек сетки. На выходном слое задавались координаты ли-

ний сетки, полученные открытыми генераторами, вдоль осей x , y и z . Число эпох обучения составило 10 000. При таких параметрах среднеквадратическая ошибка модели составила не более 3.

Разработка программного модуля. На основе обученной нейросетевой модели разработан программный модуль для генерации расчетной сетки. Разработка выполнялась на языке Python в среде PyCharm. Для создания графического интерфейса пользователя использовалась среда QtDesigner. Работа с массивами данных (координатами моделируемых объектов и линиями сеток) осуществлялась с помощью библиотеки NumPy. Для визуализации объектов и расчетной сетки на графической сцене применялась библиотека PyVistaQt. Графический интерфейс пользователя программы показан на рис. 1.

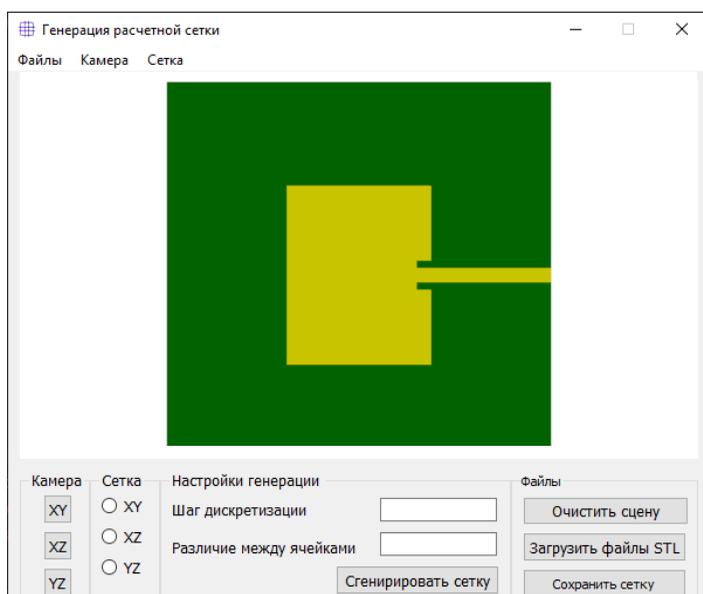


Рис. 1. Графический интерфейс пользователя программы

Программный модуль позволяет загружать файлы в формате *.stl*, отображая модели на графической сцене. Пользователь может изменять ориентацию камеры и очищать сцену. После загрузки доступна настройка нейросетевой модели для генерации сетки. При использовании вводятся шаг дискретизации и максимальное различие между ячейками. Нажатие на кнопку «Сгенерировать сетку» формирует расчетную сетку и выводит её проекции на плоскости xy , xz и yz . Сетку можно сохранить в файле *.txt* для использования в других программах.

Тестирование. Выполнено функциональное тестирование разработанного программного модуля. Для этого сформированы сетки для двух печатных антенн с прямоугольным и круглым излучающими элементами. В обоих случаях сетка формировалась при грубой (с шагом 5 мм) и частой (с шагом 2 мм) сегментации, а максимально допустимое различие соседних ячеек задавалось равным 1,5 для прямоугольной антенны и 4 – для круглой. Результаты работы программы приведены на рис. 2.

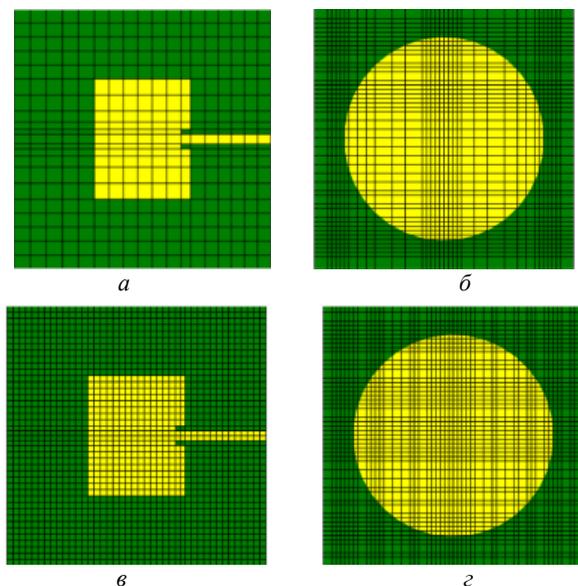


Рис. 2. Результат генерации расчетной сетки для прямоугольной (слева) и круглой (справа) антенн: грубая (*а*, *б*) и частая (*в*, *г*) сегментации

Из результатов видно, что сетки формируются корректно (см. рис. 2). Изменение шага дискретизации и максимально допустимого различия между ячейками приводит к изменению сетки. Таким образом, программа выполняет предусмотренные функции в полном объеме.

Заключение. Разработана модель на основе полносвязной ИНС для генерации расчетной сетки при моделировании методом конечных разностей во временной области. На основе этой модели разработан программный модуль и проведено его тестирование на примере двух печатных антенн. Показано, что модель ИНС и программный модуль позволяют получить корректную расчетную сетку.

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

ЛИТЕРАТУРА

1. Документация по библиотеке Keras [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ru-keras.com/home> (дата обращения: 16.12.2023).
2. Документация по библиотеке TensorFlow [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.tensorflow.org/> (дата обращения: 16.12.2023).
3. AEG Mesher: An Open Source Structured Mesh Generator for FDTD Simulations [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://github.com/flintoftid/aegmesher>, свободный (дата обращения: 16.12.2023).
4. OpenEMS: OpenEMS is a free and open electromagnetic field solver using the FDTD method [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.openems.de/>, свободный (дата обращения: 16.12.2023).

УДК 621.315

АНАЛИЗ МАТРИЦЫ РАССЕЯНИЯ И ПОГОННЫХ ПАРАМЕТРОВ МИКРОПОЛОСКОВОЙ ЛИНИИ ПЕРЕДАЧИ, ПРОХОДЯЩЕЙ ЧЕРЕЗ ЭКРАН ПЕЧАТНОЙ ПЛАТЫ

А.О. Зайков, магистрант

*Научный руководитель А.А. Иванов, к.т.н., с.н.с. НИЛ «БЭМС РЭС»
г. Томск, ТУСУР, artem.o.zaikov@tusur.ru*

Представлены результаты анализа матрицы рассеяния для микрополосковой линии (МПЛ), проходящей через апертуру в типовом экране печатной платы. Также с помощью квазистатического моделирования оценено влияние экрана на погонные параметры (R , L , C , G) МПЛ. Полученные результаты показывают, что при перекрытии МПЛ экраном её коэффициент отражения может сильно увеличиться (на 35 дБ на частоте 10 ГГц).

Ключевые слова: целостность сигнала, микрополосковая линия, печатная плата, экранирование, электромагнитный экран.

Обеспечение целостности сигналов является важным аспектом проектирования печатных плат (ПП) для современной высокоскоростной электронной техники [1, 2]. Вместе с тем не менее значима защита ПП и расположенных на ней компонентов от воздействия электромагнитных помех. Поэтому на ПП часто устанавливаются электромагнитные экраны, обычно выполненные в виде замкнутых металлических оболочек [3–5]. При этом влияние экрана ПП на целостность проходящих по ней сигналов ранее не исследовалось. Цель данной работы – оценить влияние экрана ПП на погонные параметры микрополосковой линии передачи (МПЛ), а также на матрицу рассеяния.

Исследуемая структура. Для исследования выбрана 50-омная МПЛ общей длиной l , половина которой находится внутри

прямоугольного экрана толщиной $\tau = 1,5$ мм, шириной a , высотой b и глубиной c . Подложка МПЛ имеет следующие параметры: высоту h , ширину d , относительную диэлектрическую проницаемость $\epsilon_r = 4,4$ и тангенс угла диэлектрических потерь $\text{tg } \delta = 0,035$. Проводник МПЛ характеризуется толщиной $t = 35$ мкм и шириной w . Апертура экрана характеризуется шириной x и высотой y . Все размеры исследуемой структуры указаны на рис. 1.

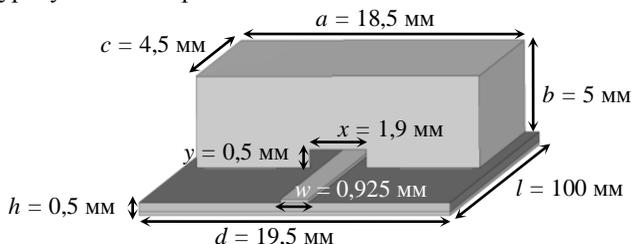


Рис. 1. Исследуемая структура ПП в виде МПЛ, наполовину перекрытой экраном

Анализ погонных параметров МПЛ. Используя квазистатическое моделирование в системе TALGAT [6], определены погонные параметры МПЛ в трех её регулярных частях: снаружи (случай 1) и внутри (случай 2) экрана, а также в области апертуры (случай 3). Вычисления выполнялись на частоте $f = 10$ ГГц. Результаты представлены в таблице, где также приведены изображения всех поперечных сечений каждой регулярной части МПЛ.

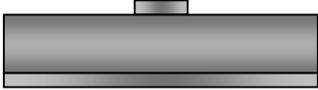
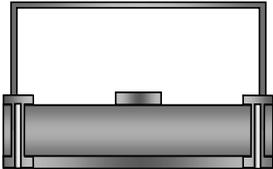
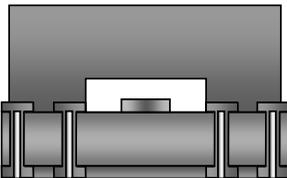
Из таблицы видно, что в случае 3 погонные параметры L и C сильно изменяются. В результате этого исходное значение Z для МПЛ уменьшается почти на 10 Ом.

Анализ матрицы рассеяния. Используя рассчитанные значения R , L , C , G , выполнено моделирование коэффициентов передачи $|S_{21}|$ и отражения $|S_{11}|$ для МПЛ с экраном и без него в диапазоне частот 0–40 ГГц. Для этого оба анализируемых варианта МПЛ заменялись эквивалентными схемами, которые показаны на рис. 2. Схема для МПЛ, наполовину помещенная в экран, состояла из трех каскадно-соединенных двухполюсников, а схема без экрана – из одного элемента, характеризующегося R_1 , L_1 , C_1 , G_1 . Результаты моделирования $|S_{21}|$ и $|S_{11}|$ для МПЛ с экраном и без него представлены на рис. 3.

Из рис. 3, а видно, что в отсутствие экрана $|S_{11}|$ экспоненциально убывает с ростом частоты. Уже на 10 ГГц значение $|S_{11}|$ составляет минус 40 дБ, а при 40 ГГц оно достигает -57 дБ. Однако если МПЛ перекрыта экраном, то $|S_{11}|$ сильно увеличивается. Так, значение $|S_{11}|$ на частоте 10 ГГц составляет $-18,6$ дБ, а максимальное различие меж-

ду двумя частотными зависимостями достигает 35 дБ. При добавлении экрана к МПЛ $|S_{21}|$ закономерно изменяется (см. рис. 3, б) обратно пропорционально $|S_{11}|$. Полученные результаты показывают, что корпус может оказать существенное влияние на погонные параметры и матрицу рассеяния МПЛ, а значит, и на целостность передаваемого по ней сигнала.

**Поперечные сечения регулярных частей МПЛ
и соответствующие им погонные параметры**

Случай 1 (Снаружи)		
	$R_1, \text{ Ом/м}$	29,87
	$L_1, \text{ нГн/м}$	300,50
	$C_1, \text{ пФ/м}$	120,22
	$G_1, \text{ См/м}$	0,2181
	$Z_1, \text{ Ом}$	49,99
Случай 2 (Внутри экрана)		
	$R_2, \text{ Ом/м}$	16,06
	$L_2, \text{ нГн/м}$	297,04
	$C_2, \text{ пФ/м}$	119,99
	$G_2, \text{ См/м}$	0,2308
	$Z_2, \text{ Ом}$	49,76
Случай 3 (В области апертуры)		
	$R_3, \text{ Ом/м}$	15,38
	$L_3, \text{ нГн/м}$	216,50
	$C_3, \text{ пФ/м}$	133,99
	$G_3, \text{ См/м}$	0,2341
	$Z_3, \text{ Ом}$	40,19

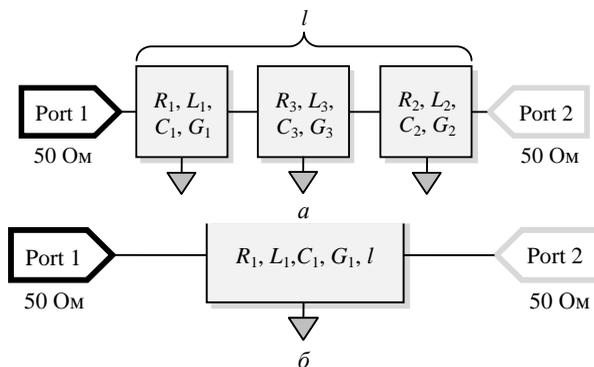


Рис. 2. Эквивалентные схемы МПЛ, наполовину помещенной в экран (а), и без экрана (б), используемые для узлового анализа

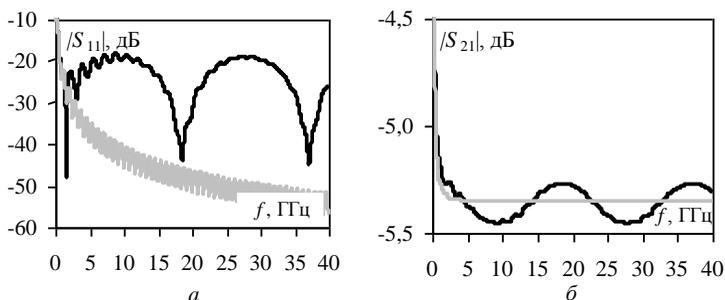


Рис. 3. Частотные зависимости $|S_{11}|$ (а) и $|S_{21}|$ (б) для МПЛ, наполовину помещенной в экран (—), и без экрана (---)

Заключение. Выполнен расчет погонных параметров МПЛ снаружи и внутри экрана, а также в его апертуре. Оценено влияние экрана на матрицу рассеяния МПЛ. Показано, что МПЛ, наполовину помещенная в экран, имеет заметно большее значение коэффициента отражения, чем МПЛ без экрана. Это говорит о том, что при прохождении МПЛ через апертуру экрана в ней могут возникать отражения, способные вызвать нарушения целостности сигналов.

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

ЛИТЕРАТУРА

1. Bogtain E. Signal and power integrity Simplified. – 2nd ed. – Upper Saddle River, NJ, USA: Prentice Hall PTR. – 2009.
2. Electromagnetic shielding: theory and applications / S. Celozzi, R. Araneo, P. Burghignoli, G Lovat. – Hoboken, NJ, USA: Willey-IEEE Press, 2022. – 560 p.
3. Montrose M.I. Printed circuit board design techniques for EMC compliance: a handbook for designers 2nd ed // Hoboken, NJ, USA: Willey-IEEE Press. – 2000.
4. Morrison R. Grounding and shielding: circuits and interference. – 6th ed. – Hoboken, NJ, USA: Willey-IEEE Press. – 2016.
5. Analysis of shielding effectiveness of enclosures with apertures and inner windows with TLM / J. Hao., P. Qi, J. Fan, Y. Guo // Prog. Electromagn. Res. M. – 2013. – Vol. 32. – P. 73–82.
6. Gazizov T.R. Solving the complexity problem in the electronics production process by reducing the sensitivity of transmission line characteristics to their parameter variations / T.R. Gazizov, I.Ye. Sagiyeva, S.P. Kuksenko // Complexity. – 2019.

ПОДСЕКЦИЯ 2.7

СВЕТОДИОДЫ И СВЕТОТЕХНИЧЕСКИЕ УСТРОЙСТВА

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

УДК 628.166.085

ИНФОРМАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ УЛЬТРАФИОЛЕТОВОГО ОБЛУЧАТЕЛЯ ДЛЯ ДЕЗИНФЕКЦИИ ВОДЫ

Л.Ш. Юлдашова, Е.В. Шнайдер, магистранты

*Научный руководитель В.С. Солдаткин, доцент каф. РЭТЭМ, к.т.н.
г. Томск, ТУСУР, каф. РЭТЭМ, lola.yuldashova2000@gmail.com*

Представлена информационная модель устройства для дезинфекции воды. Рассмотрены современные методы и средства дезинфекции воды с помощью ультрафиолетовых диодов. В результате разработаны две информационных модели.

Ключевые слова: ультрафиолетовые (уф) источники излучения, обеззараживание воды, информационное моделирование, черный ящик, модель графа.

Метод моделирования, являющийся основным инструментом исследования в любой области знаний, и научно обоснованный способ оценки параметров сложных систем, применяющийся для принятия решений в разных сферах инженерной практики, представляют собой основу изучения существующих и будущих систем с помощью математических моделей. Эти модели (аналитические и имитационные) реализуются на современном вычислительном оборудовании, которое в данном контексте выступает в роли инструмента учёного, проводящего эксперименты с моделями систем.

С целью определения всех достоинств и недостатков рассматриваемого объекта были созданы две информационные модели: модель типа «чёрный ящик» и модель на основе теории графов. Несмотря на внешнюю простоту модели «чёрный ящик», не содержащей информации о внутреннем устройстве изучаемого объекта, она нередко оказывается полезной для исследования. Графовая модель, будучи математической основой широкого спектра объектов и процессов, находит

своё применение в физике, химии, теории связи, компьютерном проектировании, электронике и экологии. Для выявления всех положительных качеств и недостатков данного изобретения было решено создать две информационные модели.

Чтобы решить проблемы, найденные при создании информационных моделей, разработано устройство, которое оснащено датчиками для контроля состояния светодиодов. Таким образом, устройство обеспечивает стабильную работу ультрафиолетовых светодиодов на протяжении всего срока службы. В качестве объекта моделирования была выбрана система, состоящая из матрицы ультрафиолетовых светодиодов и модуля управления для этой матрицы. Основываясь на ранее представленном принципе работы данной системы, можно выделить следующие управляющие входные параметры:

- сигнал управления от микроконтроллера,
- характеристики ультрафиолетовых излучающих элементов,
- напряжение питания.

В свою очередь, выходные параметры системы включают в себя обеззараженную воду и цвет (спектр) излучаемого света. Среди возможных возмущающих воздействий можно отметить следующие:

- загрязнение датчиков,
- температура окружающей среды.

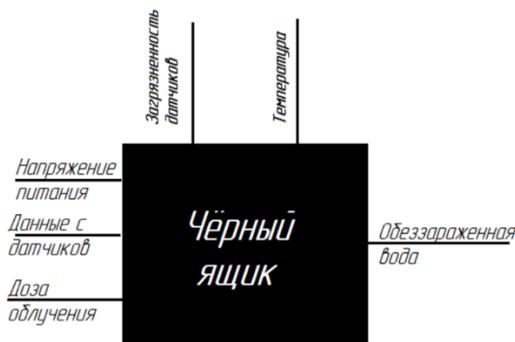


Рис. 1. Информационная модель «черный ящик»

Напряжение питания является ключевым параметром для этой системы, так как ультрафиолетовые диоды, датчики и микроконтроллеры чувствительны к резким изменениям напряжения и тока. Кроме того, многие ультрафиолетовые диодные модули требуют больших токов, что создает необходимость в мощном и стабильном источнике питания.

Информационная модель «граф» состоит из микроконтроллера, который отправляет команды панели для включения ультрафиолетовых диодов. Длина волны, заложенная в памяти микроконтроллера, необходимая для дезинфекции воды, сравнивается с данными, поступающими с датчиков, установленных в корпусе предполагаемого устройства, и передается обратно на датчики.

Однако, характеристики светодиодов могут меняться в зависимости от условий окружающей среды, поэтому данные, полученные с датчика, могут отличаться от эталонных значений. Микроконтроллер нужен для корректировки дозы излучения, это нужно для компенсации различий между требуемым значением и реальным.

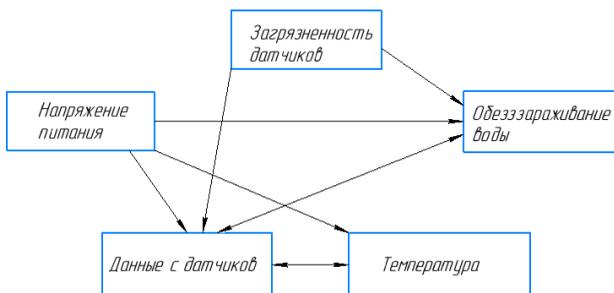


Рис. 2. Информационная модель «граф»

После корректировки значения с датчика снова посылаются на микроконтроллер, который продолжает сравнивать их с эталонными значениями. Этот процесс продолжается до тех пор, пока разница между дозой излучения и длиной волны светодиода не станет меньше заданной погрешности.

Вывод. В результате были созданы две модели: «черный ящик» и «граф». «Черный ящик» помог определить характеристики системы и ее управляющие параметры, а модель «графа» наглядно показала взаимодействие компонентов системы и их зависимость от внешних факторов. Анализ модели также выявил наличие обратной связи, которая стабилизирует работу системы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Тарасенко Ф.П. Прикладной системный анализ: учеб. пособие для студентов вузов. – М.: КноРусс, 2010. – 218 с
2. Современное состояние проблемы моделирования [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://edu.tltsu.ru/er/book_view.php?book_id=2790&page_id=31324 (дата обращения: 02.12.2019).

ОБЗОР ТОКОПРОВОДЯЩИХ ЖИДКОСТЕЙ ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В СИСТЕМЕ АЭРОЗОЛЬНОГО НАНЕСЕНИЯ

Д.А. Жаворонков, студент

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

г. Томск, ТУСУР, zhavoronkov20012001@bk.ru

Токопроводящие жидкости могут использоваться в системе аэрозольного нанесения для производства светодиодных устройств. Эти жидкости обладают способностью проводить электрический ток и могут быть нанесены на поверхности светодиодов, чтобы обеспечить электрическую связь или проводящие контакты.

Ключевые слова: аэрозоль, токопроводящий материал, аддитивные технологии, печатные платы, нанесение аэрозоля, светодиоды.

Есть несколько обзорных примеров токопроводящих жидкостей, которые могут быть применены в системе аэрозольного нанесения [1, 2].

Индиево-оловянный оксид (ИТО) в виде жидкости. Проводящий материал, который широко используется в электронных устройствах, включая светодиоды, для создания прозрачных и электропроводных пленок. ИТО-жидкости представляют собой дисперсии ИТО-наночастиц в органических или водных растворителях. ИТО-жидкости обеспечивают высокую прозрачность в видимом спектре, что позволяет свету проходить через них без значительного искажения цвета или яркости. Это особенно важно для применений, где требуется прозрачность, таких как светодиодные дисплеи.

Одним из важных свойств жидкостей для аэрозольного нанесения является вязкость. У оксида индия-олова управляемая вязкость, т.е. можно регулировать вязкость с помощью изменения температуры или добавления растворителей и специальных добавок. На рис. 1 представлены колба с индием-оловянным оксидом в виде жидкости от китайского производителя «HUZHENG», а также основные характеристики материала [3].

	Общие	
	Традиционные названия	смешанный оксид индия-олова; ИТО
Хим. формула	$(\text{In}_2\text{O}_3)_{0,9} - (\text{SnO}_2)_{0,1}$	
Физические свойства		
Состояние	бесцветное твердое вещество, в массе - желтоватое	
Молярная масса	264,94 г/моль	
Плотность	7,12 г/см ³ (25 °C) [1]	

Рис. 1. Основные характеристики оксида индия-олова

Углеродные нанотрубки (CNT) в виде жидкости [4]. CNT-жидкости представляют собой дисперсии углеродных нанотрубок в органических или водных растворителях. Данный материал обладает высокой электрической проводимостью и имеет высокую прозрачность, особенно в инфракрасном спектре. Это позволяет CNT-жидкостям быть использованными для создания прозрачных электродов в световых устройствах, не внося искажения в оптические свойства материалов.

Применение углеродных нанотрубок в виде жидкости в системе аэрозольного нанесения:

1) CNT-жидкости могут использоваться для создания загружаемых электродов в электролюминесцентных устройствах. Они обладают высокой электрической проводимостью и хорошо подходят для распределения заряда на электродах;

2) светоизлучающие диоды (LED): CNT-жидкости можно использовать для создания токопроводящих слоев и электродов в светодиодах. Они обеспечивают эффективное транспортирование электрического тока в светодиоде, что способствует улучшению производительности и эффективности светоизлучения;

3) пленки электродов: CNT-жидкости могут быть нанесены в форме тонких пленок на поверхности различных световых устройств, таких как панели подсветки, OLED-дисплеи и солнечные батареи. Это позволяет создавать проводящие контакты и эффективно распределять электрический ток.

Существуют и минусы углеродных нанотрубок в виде жидкости. Токопроводящие жидкости с использованием углеродных нанотрубок имеют определенную вязкость, которая может затруднить их использование в некоторых процессах нанесения, также рассматриваемый материал имеет предельную температуру, при которой может разрушиться структура углеродных трубок, с последующей потерей проводящих свойств, что, в свою очередь, может ограничить использование в высокотемпературных режимах.

Также существуют серебряно-полимерные и медно-полимерные жидкости. Это проводящие материалы, состоящие из наночастиц серебра или меди, окруженных органическим полимером. Эти жидкости имеют ряд уникальных свойств, которые делают их привлекательными для применения в системе аэрозольного напыления.

Серебряно-полимерные жидкости характеризуются гибкостью и механической прочностью органического полимера. Это свойство делает их подходящими для гибких и изогнутых поверхностей, где традиционные проводящие материалы могут быть сложными или невозможными в применении.

Численные характеристики:

- размер наночастиц: обычно от нескольких до нескольких десятков нанометров;
- удельное сопротивление: обычно в пределах от 10^{-6} до 10^{-8} Ом×см, что обеспечивает хорошую проводимость;
- плотность: плотность материала может расти при добавлении серебра, обычно в пределах 0,9–2 г/см³ в зависимости от конкретной составляющей.

Указанные численные значения могут варьироваться в зависимости от конкретного состава и производителя материала.

В результате аналитического обзора на токопроводящие жидкости были выбраны наиболее подходящие жидкости, такие как оксид индия-олова и медно-, серебряно-полимеры, которые можно использовать на ранних этапах практических экспериментов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Жаворонков Д.А. Автоматическое нанесение проводящих материалов с помощью системы аэрозольного нанесения // XXVIII Междунар. науч.-технич. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых «Научная сессия ТУСУР–2023», 17–19 мая 2023 г.: сборник избранных статей: в 3 ч. – Ч. 2. – Томск: ТУСУР, В-Спектр (ИП В.М. Бочкарева), 2023. – С. 96–99.

2. Жаворонков Д.А. Аэрозольное нанесение токопроводящих материалов, как технология изготовления печатных плат для светового оборудования / Д.А. Жаворонков, А.А. Типсина // XIV Междунар. молодежный форум «Образование. Наука. Производство». – Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова, 2022. – Ч. 12. – 193 с.

3. Токопроводящий материал на основе оксида индия-олова производителя «HUZHENG»: официальный сайт HUZHENG [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://en.chhzy.com/product/gere2/487.html>, свободный (дата обращения: 28.02.2024).

4. Liquid crystallinity of carbon nanotubes [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://pubs.rsc.org/en/content/articlepdf/2018/ra/c8ra00879e>, свободный (дата обращения: 28.02.2024).

Секция 6

ЭКОЛОГИЯ И МОНИТОРИНГ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ. БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

*Председатель – Карташев А.Г., проф. каф. РЭТЭМ, д.б.н.;
зам. председателя – Денисова Т.В., доцент каф. РЭТЭМ, к.б.н.*

УДК 581.5

КОМПЛЕКС НАБЛЮДЕНИЙ ЗА ПОЖАРАМИ ЛЕСНЫХ МАССИВОВ СИБИРИ

У.И. Иванова, О.М. Ярославцева, студентки каф. 602

*Научный руководитель И.А. Егоров, доцент каф. 602, к.т.н.
г. Москва, МАИ, uylzolla8@gmail.com, white.ailey@yandex.ru*

Приводится описание нового комплекса наблюдений за лесными массивами Сибири. Разработка включает в себя беспилотный летательный аппарат и станцию, которая выполняет роль вышки. Также проводятся исследования по возможности применения нового композитного материала в качестве теплозащиты дрона. Данный комплекс предназначен для отслеживания пожароопасной обстановки в лесах. В случае обнаружения возгорания отправляет сигнал в Министерство по чрезвычайным ситуациям.

Ключевые слова: комплекс наблюдений, беспилотный летательный аппарат, высотные станции, пожары, мониторинг.

Постановка задачи: рассматривается проблема пожаров в России, способы их своевременного обнаружения при помощи новых технических устройств и систем.

Цель работы: разработать такой комплекс наблюдений за лесами Сибири, способный, в случае обнаружения возгорания, отправлять полученные данные в Министерство по чрезвычайным ситуациям, а также оценить эффективность применения такого комплекса.

Многие знают, что пожары в лесах – это серьёзная и опасная проблема, которая имеет различные причины возникновения и негативные последствия, сказывающиеся на экологии. Особенно много случаев зарегистрировано в Сибири, что не может не оказывать влияния на окружающую среду, включая воздух, воду и экосистемы.

Идея использовать беспилотные летательные аппараты в целях обнаружения и предотвращения пожаров не нова. Однако одной из проблем для более эффективного внедрения и применения новых технологий является ограниченность заряда и времени полета дронов. Создаваемый комплекс наблюдений за лесными пожарами подразумевает применение станций с ветрогенератором, солнечными панелями, люком и подогревом, где беспилотник сможет зарядиться и отправить данные с видеокамеры человеку – технику, наблюдающему и отслеживающему все дистанционно. Время полета дрона – это примерное время, необходимое для преодоления расстояния от одной станции к другой. Беспилотный летательный аппарат, выполняющий роль приемника, ориентируясь на инфракрасные датчики, точно садится на панель башни, выполняющей роль передатчика, для подзарядки. Чтобы составлять карту местности и выбирать самостоятельно себе маршрут, на дроне устанавливаются стереокамеры, скоростные лидары и GPS, а для мониторинга температуры – тепловизоры. По тепловизору беспилотный летательный аппарат определяет критическое повышение температуры и фиксирует это как пожар, а также ссылается на датчики дыма. При наличии сигнала происходит отправка сигнала на ближайшее Министерство по чрезвычайным ситуациям. Предполагается дальнейшая доработка комплекса с использованием искусственного интеллекта для определения и фиксации новых видов и подвидов животных во время охраны территории леса или парка. На данный момент дрон имеет преимущества работы в сложных погодных условиях, лесах Сибири.

Еще одним достоинством данного комплекса является применение нового композитного материала в качестве теплозащиты корпуса. Был проведен анализ существующих способов тепловой защиты, и, основываясь на оценке преимуществ и недостатков, для работы был выбран пассивный метод, который включает в основном применение плиток либо специальных покрытий, наносимых на конструкцию. В качестве теплозащитного материала предлагается использовать керамико-графеновый материал, который объединяет преимущества различных компонентов, а именно высокую термическую стойкость керамики и уникальные свойства графена, что хорошо сказывается на эффективной защите от критических температур. Чтобы оценить воз-

возможность и перспективность применения, необходимо провести расчеты. Для удобства и точности исследования была написана программа на языке программирования C++. Сравнивались пять наиболее часто применяемых теплозащитных материалов по максимальной рабочей температуре, теплопроводности, теплоемкости, плотности. В качестве источников для получения основных характеристик для расчетов были взяты экспериментальные результаты испытаний космических аппаратов «Спейс Шатл» и «Буран». Для одной и той же толщины теплозащитной плитки рассчитывалась температура на внешней и внутренней поверхности. Согласно проведенным исследованиям, керамико-графеновый материал показал хорошие результаты по сравнению с существующими и применяемыми образцами.

Результаты: таким образом, в работе рассмотрена проблема пожаров, которые становятся с каждым годом все опаснее и опаснее, изучены способы защиты лесных массивов, произведены расчеты на прочность станции, расчеты по возможности применения нового композитного материала для тепловой защиты и оценка перспективности его использования, разработана система наблюдений и обнаружения возгораний. Новый комплекс включает в себя технологии, которые не использовались ранее.

Анализ результатов: новый комплекс наблюдений «СОВА» является актуальным, ведь он представляет перспективное решение для своевременного обнаружения и предотвращения лесных пожаров. К преимуществам такой разработки относятся: возможность автономной работы дрона с самостоятельным приземлением; использование контактной магнитной зарядки; использование теплозащиты; применение зарядной станции с использованием альтернативных источников энергии; применение антиналедной системы; минимальные затраты человеческих сил. Благодаря подобранной теплозащите и модульному строению беспилотный летательный аппарат пригоден и для работы в морозы, и для быстрой починки аппарата в «полевых» условиях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Барбасов В.К. Мультироторные беспилотные летательные аппараты, представленные на российском рынке: обзор / В.К. Барбасов, А.В. Гречищев // Инженерные изыскания. – 2014. – № 8. – С. 27– 31.
2. Многороторные беспилотные летательные аппараты и возможности их использования для дистанционного зондирования Земли / В.К. Барбасов, Н.М. Гаврюшин, Д.О. Дрыга, М.С. Ватаев, А.Е. Алтынов // Инженерные изыскания. – 2012. – № 10. – С. 38–42.

ВЛИЯНИЕ НЕФТИ НА УСТОЙЧИВОСТЬ ТИХОХОДОК

А.А. Карулин, аспирант

*Научный руководитель А.Г. Карташев, проф. каф. РЭТЭМ, д.б.н.
г. Томск, ТУСУР, каф. РЭТЭМ, karulin.tusur@gmail.com*

Приведены результаты исследований влияния нефти на тихоходок.

Ключевые слова: нефть, нефтезагрязнение, тихоходки, устойчивость.

Тихоходки – широко распространенные микроскопические беспозвоночные, известные своей способностью выживать в самых неблагоприятных условиях – при экстремальных температурах, высоком уровне ионизирующего излучения, давления [1, 2]. Тихоходки (Tardigrada) являются важной компонентой экосистем и служат пищей для многих организмов [3]. Широкое распространение тихоходок создает предпосылки для их использования в качестве биоиндикаторов. В то же время вопрос о влиянии нефтезагрязнений на сообщество тихоходок остается недостаточно изученным.

Целью работы являлось изучение влияния нефти в различных концентрациях на устойчивость бриобионтных тихоходок.

В осенний период 2023 г. в районе Университетского озера г. Томска были собраны 9 проб мха *Pleurozium schreberi*. В лабораторных условиях пробы были распределены по 9 кюветам: в 3 из них была добавлена сырая нефть до достижения концентрации 20 г/кг, в следующих трех кюветах концентрация нефти составляла 100 г/кг. Оставшиеся пробы не загрязнялись и являлись контрольными. Объем каждой пробы мха составлял 25 мл, а масса – 110 г без учета тары. В дальнейшем осуществлялось наблюдение за численностью особей в каждой кювете. После промывания мохового субстрата водой в объеме 25 мл проводился подсчет особей методом микроскопирования.

Большинство обнаруженных тихоходок отнесено к виду *Hypsibius dujardini*. Результаты количественной оценки тихоходок в пересчете на 25 мл представлены на рис. 1.

Для наглядности данные по каждой группе проб приведены к среднему значению и по полученным данным построены гистограммы, демонстрирующие динамику численности тихоходок.

Из анализа данных, представленных на рисунке, следует, что в первые сутки численность тихоходок в контрольной группе достоверно превышает численность опытных групп. Через 7 суток действия нефти наблюдается достоверное снижение численности тихоходок в опытных группах. Через 14 суток нефтезагрязнений численность выравнивается в трех исследуемых группах. На 21-е сутки происходит

повышение численности тихоходок пропорционально концентрации нефти. Вероятно, тихоходки активно питаются размножившимися олиготрофными микроорганизмами – нефтебактериями.

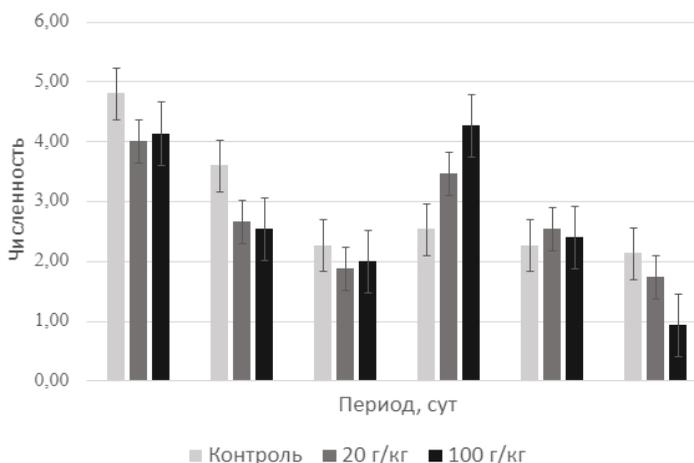


Рис. 1. Динамика численности тихоходок

К 28-м суткам действия нефти происходило снижение численности тихоходок, что связано со снижением численности нефтебактерий, во всех группах количество беспозвоночных стало примерно одинаковым. На 35-е сутки эксперимента проявляется токсическое действие нефти пропорционально концентрации и соответствующее снижение численности тихоходок.

ЛИТЕРАТУРА

1. High-temperature tolerance in anhydrobiotic tardigrades is limited by glass transition / S. Hengherr, M.R. Worland, A. Reuner, F. Brummer, R.O. Schill // *Physiol. Biochem. Zool.* – 2009.
2. Tolerance to Gamma Radiation in the Marine Heterotardigrade, *Echiniscoides sigismundi* / K.I. Jönsson, T.L. Hygum, K.N. Andersen, L.K.B. Clausen, N. Møbjerg // *PLoS ONE.* – 2016. – Vol. 11(12). – P. e0168884.
3. Коровушкин А.А. Оптимизация использования аэрации активного ила в очистных сооружениях / А.А. Коровушкин, Ю.А. Поминчук // *АВУ.* – 2011. – № 2. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/optimizatsiya-ispolzovaniya-aeratsii-aktivnogo-ila-v-ochistnyh-sooruzheniyah> (дата обращения: 18.11.2023).

ОЦЕНКА АЭРОПОННОГО СПОСОБА ВЕДЕНИЯ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА

Е.А. Золотухина, студентка

*Научный руководитель А.П. Шкарупо, ст. преп. каф. РЭТЭМ
г. Томск, ТУСУР, каф. РЭТЭМ, katenka027@mail.ru*

Приведена оценка аэропоники как перспективы развития сельского хозяйства. Описаны процесс выращивания растений в аэропонной установке, варианты культур, а также преимущества и недостатки данного способа.

Ключевые слова: аэропоника, аэропонная система, сельское хозяйство, экологичное производство.

На сегодняшний день сельское хозяйство является одной из основных сфер экономики, обеспечивая население продовольствием, а промышленность – сырьем. С развитием науки и техники появляются все более новые методы, позволяющие повысить урожайность, улучшить качество продукции и сократить издержки производства. Одной из таких технологий является аэропоника, которая уже нашла свое применение во многих странах мира.

Аэропоника – это система выращивания растений без использования субстрата, включающая автоматизацию и механизацию водного и воздушного питания корневой системы растения с учетом условий окружающей среды. Принцип ее работы заключается в аэрозольном распылении богатого минеральными веществами питательного раствора на основе воды в полузакрытых или закрытых средах. Само растение закрепляется при помощи платформы в воздухе, зеленая наземная часть которого остается над ней, а корни свисают снизу. Подача раствора осуществляется через форсунки периодически с небольшими перерывами или постоянно (в зависимости от культуры) с целью не дать корням растения высохнуть.

Методом аэропоники можно выращивать различные виды растений, включая овощи (огурцы, помидоры, перцы), фрукты (яблоки, виноград, персики), ягоды (клубника, малина, черника) и травы (зеленый лук, базилик, мята). Выбор культуры зависит от вкусовых предпочтений, опыта и доступности необходимого оборудования.

Преимущества данного метода состоят в следующем:

- *Здоровье корней.* В случае болезни растение не заражает остальные и всю почву в целом. Удаляется быстро, исключая наличие вредителей.

- *Урожайность.* Обилие кислорода в корневой зоне ускоряет рост растений, а также обеспечивает быстрое и полное усвоение корнями питательных веществ.

- *Экономия ресурсов.* Питательный раствор распыляется на корни растений и затем используется повторно. Это не только снижает затраты на воду, но и уменьшает загрязнение окружающей среды.

- *Экологичность.* Необходимости в применении гербицидов или пестицидов нет, что позволяет получить экологически чистый продукт без вредных добавок.

- *Автоматизация.* Большинство процессов, таких как подача воды и питательных веществ, контроль температуры и влажности, можно автоматизировать, повысив эффективность производства.

Недостатками аэропонной системы можно считать:

- *Постоянный контроль.* Уровни pH, ЕС, температуры и влажности необходимо отслеживать для обеспечения оптимальной среды для роста и развития растений.

- *Зависимость от работы оборудования.* Поломку любого элемента аэропонной системы необходимо исправить в ближайшее время, иначе без полива растения погибнут.

- *Регулярная очистка.* Корневая камера не должна быть загрязнена, иначе болезни могут поразить корни растения. Важно время от времени ее дезинфицировать. Для этих целей часто используют перекись водорода.

- *Высокая стоимость оборудования.* Это может стать препятствием для широкого распространения аэропоники, так как многие фермеры не готовы инвестировать большие суммы денег в оборудование без уверенности в эффективности его использования.

Одним из наиболее популярных примеров современного применения аэропоники являются вертикальные фермы. Они позволяют выращивать большое количество урожая на минимальном размере территории. Вертикальные фермы могут быть размещены в любом месте, что делает их идеальным вариантом как для маленьких хозяйств, так и для промышленных предприятий.

Приведенные факты свидетельствуют о том, что аэропоника действительно является перспективным способом ведения сельского хозяйства. Переход к аэропонному методу в будущем позволит получать более высокие и стабильные урожаи с меньшими затратами и усилиями.

ЛИТЕРАТУРА

1. 15 лучших растений для выращивания [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://clck.ru/38gDai>, свободный (дата обращения: 01.03.2024).

2. Аэропоника. Метод прогрессивного растениеводства [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://clck.ru/38ZTaK>, свободный (дата обращения: 08.02.2024).

3. Аэропонные установки [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://clck.ru/38ZTTu>, свободный (дата обращения: 04.03.2024).

4. Мартиросян Ю.Ц. Аэропонные технологии: перспективы производства оздоровленного семенного картофеля // Картофельная система. – 2014.

5. Мураш И.Г. Аэропоника в теплицах // Московский рабочий. – 1964.

УДК 631.8

ВЛИЯНИЕ ФОСФОРНОГО УДОБРЕНИЯ НА РОСТ И РАЗВИТИЕ РАСТЕНИЙ (НА ПРИМЕРЕ ФАСОЛИ СПАРЖЕВОЙ)

С.В. Акулова, студентка

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

*Проект ГПО РЭТЭМ-2002. Создание резистентных агросистем
малого объема*

г. Томск, ТУСУР, akulova200411@gmail.com

Исследуется влияние различных доз фосфорного удобрения на рост и развитие растений фасоли спаржевой в условиях малых агросистем.

Ключевые слова: фосфорное удобрение, фасоль спаржевая.

При достаточном питании фосфор ускоряет переход растений из вегетативной фазы в пору плодоношения. Фосфорное удобрение в правильной дозировке для растения положительно влияет на качество плодов – способствует увеличению в них сахара, жиров, белков [1].

Недостаточное содержание фосфора может приводить к замедленному росту, ухудшению развития корневой системы, снижению урожайности и качества продукции. Недостаток приводит к замедлению фотосинтеза, образованию малого количества хлорофилла и снижению активности ферментов. Корни становятся слабо развитыми, что приводит к плохому усвоению влаги и питательных веществ [3].

Избыток фосфорного удобрения также вреден для растений. Он может вызывать проблемы с балансом питательных веществ в почве и в мембранах клеток растений. Избыточное присутствие фосфора может привести к вымыванию других макро- и микроэлементов из почвы, что может вызвать дисбаланс по количеству и соотношению содержащихся в ней неорганических веществ [3]. Растение будет слишком быстро развиваться, из-за чего стебли и листья могут пойти в рост, плоды же в это время будут формироваться мелкими и в малом

количестве. Листья желтеют, на них появляются некротические пятна, кончики и края листьев «обожжены», впоследствии теряют фотосинтетическую функцию и опадают. Избыточное внесение фосфора приводит к блокировке усвоения других важных питательных веществ (азота, цинка и железа) [2, 4].

Цель работы – оценка оптимальной и избыточной дозы фосфорного удобрения при выращивании фасоли спаржевой в условиях искусственных агросистем.

Методика исследования заключалась в проведении эксперимента по выращиванию растений скороспелого сорта фасоли спаржевой с добавлением фосфорного удобрения (суперфосфата) в разном объеме и наблюдении за их ростом.

Растение фасоли спаржевой контрольной группы выращивалось без добавления фосфорного удобрения, относительно неё оценивалось влияние удобрения; растение группы с оптимальным объемом удобрения получало фосфорное удобрение в соответствии с рекомендациями для фасоли спаржевой (5 мл на 500 мл воды); растение группы с избыточным объемом удобрения получало избыточное количество фосфорного удобрения (10 мл суперфосфата на 500 мл воды) для оценки возможных отрицательных эффектов. Удобрение вносилось в почву к каждому растению послепосевным методом раз в неделю.

Время проведения эксперимента составило шесть недель.

Оценивая растения по внешним признакам, можно сказать, что в день окончания эксперимента дефицит фосфора наблюдался у растения фасоли спаржевой контрольной группы. Растение не вступило в генеративную фазу, что свидетельствует о необходимости применения определенной дозы удобрения для лучшего качества растения.

У растения группы с избыточным объемом удобрения наблюдалось пожелтение и выгорание краев листьев нижнего яруса, а значит, растение получило химический ожог, что подтверждает негативное влияние избыточного добавления фосфорного удобрения в почву на растение.

Выгорание краев листьев в меньшем объеме также наблюдалось у растения группы с оптимальным объемом удобрения, что может говорить о том, что рекомендованная дозировка в условиях малых агросистем могла быть немного превышена по сравнению с оптимальными дозировками открытых агросистем.

Самое раннее цветение наблюдалось у растения фасоли группы с избыточным объемом удобрения. Позднее цветение началось у растения группы с оптимальным объемом удобрения. На момент завершения эксперимента у растения контрольной группы цветение не началось.

Максимальная длина стебля в последний день эксперимента наблюдалась у растения группы с избыточным объёмом удобрения. Минимальная длина стебля наблюдалась у растения контрольной группы. Динамика роста растений представлена на рис. 1.

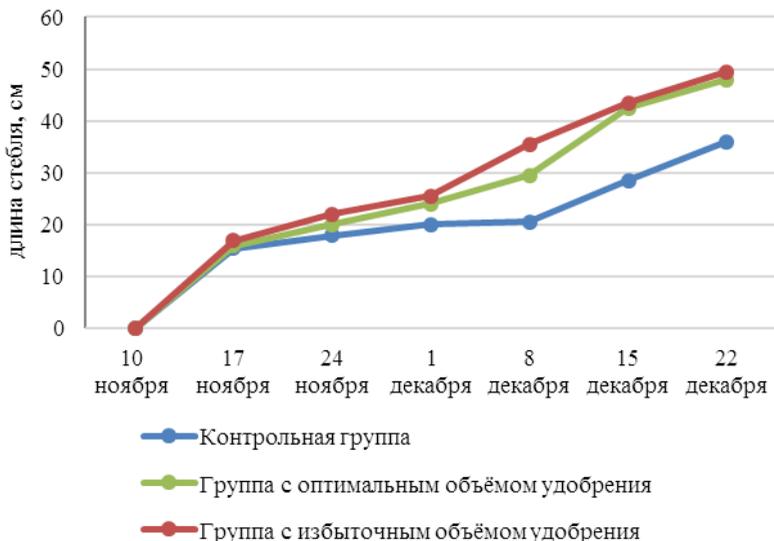


Рис. 1. Динамика роста растений фасоли спаржевой

Таким образом, можно сделать вывод, что не стоит удобрять растения избыточным объемом удобрения, а стоит придерживаться рекомендуемым дозировкам и не рисковать здоровьем растений. Следует отметить, что достигнуть максимального роста, большого и качественного урожая можно при правильном балансе нужных элементов (азот, фосфор и калий). Если растение не получает хотя бы одно из нужных веществ, то его процессы жизнедеятельности резко нарушаются. Избыток других веществ не заменяет недостающих.

ЛИТЕРАТУРА

1. Как определить и устранить нехватку или избыток NPK [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://dzagigrow.ru/blog/defitsit-i-izbytok-npk-kak-opredelit-i-ustranit/>, свободный (дата обращения: 12.12.2023).
2. Фосфор влияет на растения: причины и последствия [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://xn--72-6kca4agg0bf9h2b.xn--p1ai/fakty/fosfor-vliyaet-na-rasteniya-priciny-i-posledstviya?ysclid=loy5vqgtn6136740357>, свободный (дата обращения: 12.12.2023).

3. Стадии роста зеленой фасоли [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://lotusmagus.com/ru/стадии-роста-зеленой-фасоли/>, свободный (дата обращения: 21.11.2023).

4. К чему приводит переизбыток удобрений [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://green-lift.ru/pereizbytok-udobrenij/>, свободный (дата обращения: 12.12.2023).

УДК 502.51

ХАРАКТЕРИСТИКА БИОПРЕПАРАТА МД «СЕПТ» (ЖИДКИЙ)

А.В. Баранникова, студентка каф. РЭТЭМ;

А.Е. Целовальников, и.о. директора ООО «ЭКОЙЛ»

*Научный руководитель Н.Н. Терещенко, д.б.н., доцент каф. РЭТЭМ
г. Томск, ТУСУР, ООО «ЭКОЙЛ», barannicova1242@gmail.com,
natlia.n.tereshchenko@tusur.ru*

Представлена характеристика биопрепарата МД «Септ», производимого в рамках компании ООО «ЭКОЙЛ» в г. Томске.

Ключевые слова: биопрепарат, ООО «ЭКОЙЛ», характеристика.

Биопрепараты используются для более эффективной очистки сточных вод, почв от различных загрязнений. В состав биопрепаратов обычно входят микроорганизмы, к примеру, бактерии, грибы, являющиеся деструкторами, способными к ускоренной деградации загрязнений [5, 6]. Основным преимуществом использования биопрепаратов в очистке сточных вод является их экологическая безопасность: благодаря своему составу биопрепараты способны разлагаться, не принося вреда окружающей среде, при этом сами они не содержат вредных химических веществ. Стоит отметить и их эффективность в процессе разложения загрязняющих веществ – живые микроорганизмы в составе препаратов способны ускорять процесс очистки, что позволяет окружающей среде улучшить свое качество. Ещё одним преимуществом биопрепаратов является минимальная затратность на обработку сточных вод, так как они экономически выгодны в сравнении с другими методами очистки [1, 2].

Биопрепарат МД «Септ» (жидкий), производимый компанией ООО «ЭКОЙЛ», предназначен для наиболее эффективного разложения органических загрязнителей в составе сточных вод, а также для устранения неприятных запахов.

В состав данного биопрепарата входят штаммы бактерий:

- *Bacillus subtilis* (C1);
- *Bacillus safensis* (C3);

- *Bacillus licheniformis* (C7);
- *Bacillus thuringiensis* (C10);
- *Bacillus cereus* (C11);
- *Bacillus licheniformis* (S8);
- *Acinetobacter guillouiae* (B1).

Особенностью данных микроорганизмов является их способность быстро разрушать различные загрязнители, к примеру, нефтепродукты, сельскохозяйственные пестициды и пр. В ходе биологической деградации биопрепарат МД «Септ» разлагает загрязнитель на более простые органические и минеральные соединения, безопасные для окружающей среды [3]. Биопрепарат позволяет обеспечить качественную очистку сточных вод предприятий, приводя их уровень воздействия на природные водоемы к допустимым нормам. К тому же, биологический процесс деградации загрязнителей, который инициирует биопрепарат МД «Септ», полностью естествен, воспроизводит процесс самоочищения окружающей среды, не нанося ей вреда.

Применение биопрепарата МД «Септ» имеет ряд значимых технологических преимуществ в сравнении с другими методами очистки сточных вод. Во-первых, биопрепарат способен к эффективной работе при очень большом диапазоне температур и pH и поэтому может быть использован в самых различных климатических зонах. Во-вторых, благодаря своему составу он не оказывает влияние на биологическое разнообразие в экосистемах [4].

Качество процессов очистки сточных вод от загрязнителей с применением биопрепарата МД «Септ» подтверждается рядом сертификатов и экспертных заключений. Успешно прошедший испытания биопрепарат активно участвует на рынке, тем самым демонстрируя свою стабильность и эффективность.

Таким образом, биопрепарат МД «Септ» является качественным и эффективным инструментом в решении задач по очистке загрязнений сточных вод, почвенных загрязнений, предотвращая при этом ухудшение качества природной среды и её ресурсов. Биопрепарат данной марки представляет собой инновационное решение благодаря своей эффективности и экологически безопасному воздействию.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бирюков В.В. Основы промышленной биотехнологии. – М.: КолосС, 2004.
2. Домрачева Л.И. Использование организмов и биосистем в ремедиации территорий // Теоретическая и прикладная экология. – 2009. – № 4. – С. 4–16. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=13057771> (дата обращения: 05.03.2024).

3. Виноградова В.Г. Анализ эффективности очистки нефтесодержащих сточных вод ООО «Томскнефтепереработка». – 2016. – URL: <https://earchive.tpu.ru/handle/11683/27801> (дата обращения: 05.03.2024).

4. Иванов А.А. Биопрепарат для обезвреживания и очистки сточных вод / А.А. Иванов, Л.Е. Матросова, М.Я. Тремасов // Достижения науки и техники АПК. – 2012. – № 3. – С. 83–84.

5. Биотехнология: учеб. пособие для вузов: в 8 кн. / под ред. Н.С. Егорова, В.Д. Самуилова. – Кн. 5: Производство белковых веществ / В.А. Быков, М.Н. Манаков, В.И. Панфилов и др. – М.: Высш. шк., 1987. – 142 с.

6. Варфоломеев С.Д. Биокинетика: практический курс / С.Д. Варфоломеев, К.Г. Гуревич. – М.: ФАЙР-ПРЕСС, 1999. – 720 с.

УДК 631.963.3

ОРГАНИЧЕСКИЕ ДОБАВКИ В ЛУННЫЙ РЕГОЛИТ ДЛЯ ПОДДЕРЖАНИЯ КОСМИЧЕСКОГО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА

Н.В. Белов, А.Н. Грицина, студенты

*Научный руководитель Н.Н. Терещенко, д.б.н., проф. каф. РЭТЭМ
Проект ГПО РЭТЭМ-2002. Создание резистентных агросистем
малого объема*

*г. Томск, ТУСУР, каф. РЭТЭМ, Belov.Nikolay.V@yandex.ru,
natalia.n.tereshchenko@tusur.ru*

Потенциальная полезность в сельском хозяйстве космических грунтов, например лунного реголита, ограничивается исключительно их минеральной ценностью. Из-за отсутствия в реголите каких-либо живых организмов и гумуса у него совершенно нулевая плодородность. Тем не менее при добавлении недостающей органической части возделывание растительных культур становится возможным. Существует множество исследований на тему изучения свойств различных удобрений и субстратов, используемых в земном земледелии. Применение таковых при работе с реголитом позволит создать подходящие условия для выращивания растений.

Ключевые слова: лунный реголит, торф, вермикомпост, дождевые черви, биорегенеративные системы жизнеобеспечения, луна, габбро-диабаз.

Долгосрочные космические миссии с участием людей сталкиваются с проблемой ограниченности ресурсов для жизнеобеспечения экипажа. Биорегенеративные системы жизнеобеспечения, основанные на выращивании растений, могут частично решить эту проблему. Однако по-прежнему требуется завоз большого количества ресурсов с Земли [1]. Выращивание растений с использованием лунного грунта могло бы снизить логистические затраты [2].

Реголит обладает необходимым для роста растений минеральным составом. Тем не менее он оказывает стрессовое воздействие на растения. В отличие от земной почвы, лунный реголит не содержит органики и живых организмов, участвующих в круговороте питательных веществ [3].

Очевидным решением данной проблемы является компоновка системы «грунт–субстрат», где реголит выступает в качестве донора минеральных веществ. В органической части должны жить и осуществлять свою деятельность редуценты, которые будут воспроизводить её из отмерших растительных остатков и способствовать улучшению роста.

Изначальный органический субстрат можно формировать из торфа. Его характеристики позволяют создать подходящую для созревания среду, а также среду для таких редуцентов, как дождевые черви. Торф обладает высоким уровнем пористости, позволяющим сохранять большое количество влаги. Также он имеет высокую газопоглотительную способность, обеспечивающую лучшую аэрацию, чем любой другой субстрат. Торфу присуща низкая теплопроводность, благодаря которой в нём дольше сохраняется необходимая для роста растений температура. Не стоит забывать и о том, что торф содержит большое количество гуминовых кислот и лигнинов [4].

Когда черви полностью обживут торфяную среду, то можно уже говорить об образовании вермикомпоста. При формировании вермикомпоста идёт процесс минерализации органического вещества и предоставление питательных компонентов для роста растений в удобной для них форме. Резко снижается количество патогенов в субстрате, а также уменьшается токсичность тяжёлых металлов, что может быть актуально при работе с лунным реголитом, в котором содержание металлов выше, чем в земных аналогах [5, 6].

Был проведён лабораторный эксперимент по моделированию лунного грунта с органической добавкой. За основу были взяты порода габбро-диабаз и верховой торф вперемешку с пищевыми отходами в соотношении 1:1. Общая влажность торфа с отходами составляла 80%. Масса каждого контейнера с добавкой без крышки и без грунта составила 400 г, с грунтом – 800 г. В качестве редуцентов в контейнеры были выпущены калифорнийские черви (*E. Andrei*).

На рис. 1 показаны результаты статистической обработки данных о сухой массе выращенных в контейнерах растений базилика обыкновенного (*Ocimum basilicum L.*). На них видны различия использования органических добавок разной степени свежести.

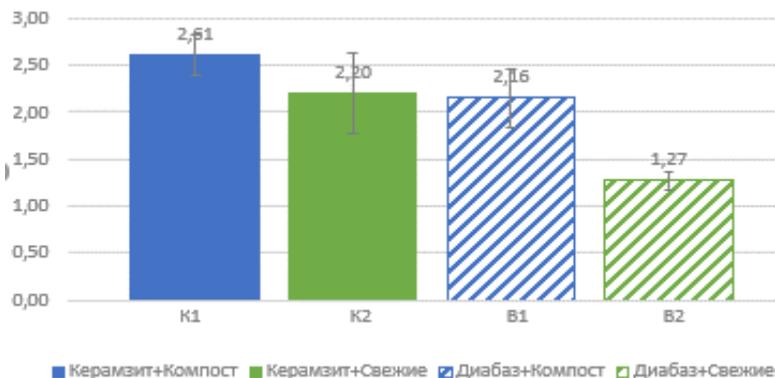


Рис. 1 Сухая масса

В контейнерах с компостом базилик нарастил большую массу, чем в контейнерах со свежими пищевыми отходами. Связано это может быть с тем, что полуразложившиеся остатки оказались более удобны для употребления червями, которые в свою очередь осуществляли процесс их минерализации и выработку гормонов роста, что сыграло роль в увеличении массы растений. Следовательно, стоит рассматривать те варианты компоновки агросистем, в которых будут соблюдаться наилучшие условия взаимодействия червей и растений при совместном существовании.

ЛИТЕРАТУРА

1. Introduced earthworms in agricultural and reclaimed land / G.H. Baker, G. Brown, K. Butt, J.P. Curry, J. Scullion // Their ecology and influences on soil properties, plant production and other soil biota, Biol. Invasions. – 2006. – Vol. 8 (6). – P. 1301–1316.
2. Earthworms increase plant production / J.W. Van Groenigen, I.M. Lubbers, H.M. Vos, G.G. Brown, G.B. De Deyn, K.J. Van Groenigen // A meta-analysis, Sci. Rep. – 2014. – Vol. 4 (1). – P. 1–7.
3. Gajalakshmi S. Potential of two epigeic and two anecic earthworm species in vermicomposting of water hyacinth / S. Gajalakshmi, E.V. Ramasamy, S.A. Abbasi // Bioresour. Technol. – 2001. – Vol. 76 (3). – P. 177–181.
4. Инишева Л.И. Агрономическая природа торфа // Химия растительного сырья. – 1998. – № 4. – С. 17–22.
5. Выгузова М.А. Разработка технологии производства биогумуса в установке непрерывного действия // Научный журнал КубГАУ. – 2012. – № 81 (07).
6. Макеев А.Б. Типоморфизм порообразующих минералов лунного реголита, станций Луна-16, -20, -24, сравнение море–континент–море / А.Б. Макеев, Н.И. Брянчанинова // Георесурсы. – 2021. – Т. 23, № 1. – С. 94–105.

**МИХАЙЛОВСКАЯ РОЩА В Г. ТОМСКЕ:
БИОРАЗНООБРАЗИЕ И ЗНАЧИМОСТЬ ОБЪЕКТА
ДЛЯ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ**

М.А. Бренчугина, студентка

*Научный руководитель Е.Г. Незнамова, доцент каф. РЭТЭМ, к.б.н.
г. Томск, ТУСУР, marybrenchugina@mail.ru*

Представлен список видов растительного и животного мира Михайловской рощи, описан ее статус и роль как объекта ботанического памятника природы в г. Томске.

Ключевые слова: биоразнообразие, флора, фауна, экологическая инфраструктура, городская ботаническая зона.

Михайловская роща представляет собой уникальный фрагмент природы, вписанный в городскую застройку южной таежной зоны. На территории парка произрастает 10 видов деревьев и 8 разнообразных видов кустарников, в числе которых особенно выделяются древние почетные обитатели, посаженные еще при Петре Великом: *Acer negundo* – клен ясенелистный, *Quercus mongolica* – дуб монгольский, *Ulmus laevis* – вяз обыкновенный, *Tilia sibirica* – липа сибирская, *Malus baccata* – яблоня ягодная [1], *Pinus sylvestris* – сосна лесная, *Picea obovata* – ель сибирская, *Betula pendula* – береза бородавчатая, *Populus tremula* – осина евросибирская, *Sorbus aucuparia* – рябина обыкновенная, *Prunus padus* – черемуха кистевая, *Viburnum opulus* – калина красная, *Lonicera xylosteum* – жимолость лесная, *Rosa majalis* – роза майская, *Frangula alnus* – крушина ольховидная, *Rubus idaeus* – малина обыкновенная, *Ribes nigrum* – смородина черная, *Ledum* – рододендрон войлочный [2].

В растительном покрове присутствует множество видов разнотравья, включая: *Convallaria majalis* – ландыш майский, *Pulmonaria obscura* – медуницу темную, *Viola odorata* – фиалку душистую, *Asarum europaeum* – копытень обыкновенный, *Oxalis acetosella* – кислицу обыкновенную, *Stellaria media* – звездчатку среднюю [2].

В Михайловской роще можно встретить различных представителей животного мира. Здесь обитает 7 видов млекопитающих: *Apodemus agrarius* – мышь полевая, *Mus musculus* – мышь домовая, *Apodemus uralensis* – мышь лесная, *Microtus agrestis* – полевка пашенная, *Sciurus vulgaris* – векша, *Eutamias sibiricus* – бурундук сибирский и *Canis familiaris* – собака [3].

В парке встречается 19 видов птиц: *Luscinia luscinia* – соловей восточный, *Acrocephalus schoenobaenus* – камышовка-барсучок, *Parus*

major – большак, *Poecile montanus* – синица ивовая, *Poecile cinctus* – синица сибирская, *Turdus merula* – дрозд черный, *Turdus pilaris* – рябинник, *Pyrrhula pyrrhula* – снегирь обыкновенный, *Pica pica* – сойка обыкновенная, *Urocissa whiteheadi* – сойка белокрылая, *Corvus cornix* – ворона серая, *Alauda arvensis* – жаворонок полевой, *Alauda gulgula* – жаворонок малый, *Garrulus glandarius* – сойка обыкновенная, *Montifringilla nivalis* – воробей снежный, *Passer montanus* – воробей полевой, *Passer domesticus* – воробей домовый, *Columba livia* – голубь сизый, *Columba palumbus* – вяхирь [4].

Разнообразие организмов в Михайловской роще делает данное место не только значимым природным объектом, но и уникальным пространством для отдыха и наблюдения за животным сообществом в условиях городской зоны.

Михайловская роща не просто парк, она признана объектом ботанического памятника природы регионального значения. Это место играет ключевую роль в развитии экологической инфраструктуры, обладая ценностями в области рекреации, научных исследований, охраны окружающей среды, эстетики и градостроительства. Находясь в самом центре г. Томска, Михайловская роща становится центром притяжения для организации экологических маршрутов и образовательно-рекреационных мероприятий [5].

В XIX–XX вв. в Михайловской роще располагались усадьбы томских купцов Михайлова и Королева. Владение купца В.В. Михайлова использовалось для производственных целей, в частности, для эксплуатации предприятия, специализировавшегося на обработке пчелиного воска. Кроме того, на данной территории были возведены летние домики Мариинского детского приюта, финансируемые самим купцом. В центре рощи установлен фонтан с кедром, грот и другие компоненты ландшафтного дизайна, придающие ей характерный облик [6]. Парк славится садово-парковым ансамблем, который сохранил свою привлекательность даже после Великой Отечественной войны, когда лес использовался для военных целей [7].

В последние годы в парке Михайловская роща были проведены работы по его улучшению: расширена парковка, созданы новые дорожки, оптимизирована система освещения, построена детская площадка с названием «Лесная сказка» и поле для мини-футбола. Также проводится посадка новых кустарников и деревьев, продолжается расширение тротуаров и усовершенствование общей инфраструктуры парка [5].

Таким образом, Михайловская роща в Томске является живым музеем природы и истории, где сосуществуют традиции прошлого и современные удобства и развлечения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Костяева Н. Как вывести Михайловскую рощу из числа депрессивных территорий. // Томские новости. – 2012 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://tomsk-novosti.ru/kak-vy-vesti-mihajlovskuyu-roshhu-iz-chisla-depres-sivny-h-territorij/> (дата обращения: 25.02.2024)
2. Мерзлякова И.Е. Современное состояние изученности и перспективы исследований флоры города Томска / И.Е. Мерзлякова, А.И. Пяк, А.Л. Эбель // Проблемы ботаники Южной Сибири и Монголии: сборник науч. статей по матер. Двенадцатой Междунар. науч.-практ. конф., Барнаул, 28–30 октября 2013 г. – Барнаул, 2013. – С. 148–151.
3. Москвитина Н.С., Сучкова Н.Г. Биоразнообразие Томского Приобья. Млекопитающие: учеб. пособие. – 2-е изд., испр. и доп. – Томск: ИД ТГУ, 2015. – 328 с.
4. Птицы Томской области / сост. Г.Р. Мударисова; под ред. А.М. Адама. – Томск: Печатная мануфактура, 2009.
5. Реутова Н.А. Принцип формирования рекреационных зон города Томска на примере Михайловской рощи (магистерская диссертация). – Томск: НИ ТГУ, 2021.
6. Куклина Т.Э. Роль ботанических садов в изучении и сохранении биоразнообразия растений / Т.Э. Куклина, И.Е. Мерзлякова // Проблемы ботаники Южной Сибири и Монголии: матер. XIV Междунар. науч.-практ. конф. Барнаул, 25–29 мая 2015 г. – Барнаул: Изд-во Алт. гос. ун-та, 2015. – С. 470–478.
7. Лазарева И.В. Актуальные проблемы освоения нарушенных территорий для градостроительства. – М.: Стройиздат, 1984.

УДК 679.7

АНАЛИЗ ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВА КАБЕЛЬНОЙ ПРОДУКЦИИ НА ПРИМЕРЕ АО «СИБКАБЕЛЬ»

К.В. Дудкина, студентка

*Научный руководитель А.П. Шкарупо, ст. преп. каф. РЭТЭМ
г. Томск, ТУСУР, каф. РЭТЭМ, dudkina.kristina-dudkina2017@yandex.ru*

Проанализированы отходы кабельной продукции, образующиеся на предприятии АО «Сибкабель»; рассмотрены способы переработки и утилизации кабеля.

Ключевые слова: отходы, лом, загрязнение, кабельная продукция, утилизация, переработка.

Главной сферой деятельности АО «Сибкабель» является производство различных видов кабельной продукции, включающей в себя шланговый кабель, силовой кабель, установочные и шланговые провода, а также телефонные и контрольные провода.

В результате осуществления деятельности АО «Сибкабель» на производственных площадках г. Томска образуется 91 наименование отходов.

Одним из основных производственных цехов является 3-й цех. В нем осуществляется ряд процессов, сопровождающихся образованием отходов: волочение проволоки, наложение полимерной изоляции и оболочки, скрутка проволоки.

В процессе волочения проволоки образуются следующие отходы металлов:

- несортированный лом и отходы меди;
- несортированный лом и отходы алюминия.

Процесс наложения полимерной изоляции и оболочки проводится на экструзионных линиях. Основными используемыми материалами являются: полиэтилен, пластикат, эластопласт, полипропилен, фторопласт. В результате плавления материалов и наложения полимерной изоляции и оболочки образуются следующие отходы материалов:

- образцы лома и отходов изделий из полиэтилена, не содержащие загрязнений;
- образцы лома и отходов изделий из полипропилена, не содержащие загрязнений;
- образцы отходов поливинилхлорида в виде изделий, не содержащие загрязнений.

В процессе наложения изоляции полипропилен и поливинилхлорид пропускаются через латунные сетки, которые нарезаются из полотна, определенным диаметром. В результате загрязнения латунных сеток и их замены образуются несортированные отходы латуни.

В результате использования и замены отработанной охлаждающей жидкости (эмульсии) в волочильных машинах образуется отход:

- эмульсионные смеси для полировки металлов.

При распаковке сырья и разогреве резиновых смесей образуются:

- отходы упаковки, сделанной из бумаги, которая содержит в себе загрязнения сыпучих компонентов резиновых составов;
- отходы тары, сделанной из полиэтилена, которая содержит в себе загрязнения сыпучих компонентов резиновых составов.

При проведении испытаний часть продукции, обладающая производственным браком, не подлежит дальнейшей реализации, как готовая кабельная продукция, и образует длинномерные отходы кабеля.

На данной территории предусмотрены централизованное хранение и обработка отходов, накопление отходов происходит на специально отведенных площадках в емкостях и контейнерах [1].

Примеры вторичного использования отходов кабельной продукции:

Алюминиевый лом широко используется в различных отраслях промышленности. Металлургические предприятия используют его для производства разнообразных изделий, таких как оконные и дверные профили, крепежные элементы, а также пищевая фольга.

Дробина, получаемая из резиновой оплетки, находит применение в строительстве и дорожной отрасли. Ее добавляют в асфальтовые смеси для улучшения характеристик и повышения долговечности дорожного покрытия. Также она применяется при производстве тротуарной плитки и матов для безопасного покрытия спортивных площадок, обеспечивая повышенную амортизацию и безопасность во время занятий спортом.

Вторичная переработка материалов позволяет получить полимеры, такие как полиэтилен, полипропилен и поливинилхлорид. Из этих полимеров производят различные изделия, включая термопластик, полиэтиленовые трубы и упаковку для промышленных товаров [2].

В результате проделанной работы были выявлены основные отходы кабельной продукции, образующиеся на АО «Сибкабель», также рассмотрены способы вторичного использования этих отходов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бельдеева Л.Н. Экологически безопасное обращение с отходами: учеб. пособие / Л.Н. Бельдеева, Ю.С. Лазуткина, Л.Ф. Комарова. – Барнаул: Азбука, 2006. – 172 с.

2. Кабельные системы. Переработка кабеля [Электронный курс]. – Режим доступа: <https://kabel-s.ru/blog/pererabotka-kabelya>, свободный (дата обращения: 09.03.2024).

УДК 631.963.3

КОЛОНИЗАЦИЯ ЛУННОГО РЕГОЛИТА ДОЖДЕВЫМИ ЧЕРВЯМИ ДЛЯ ПОДДЕРЖКИ КОСМИЧЕСКОГО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА

А.Н. Грицина, Н.В. Белов, студенты

*Научный руководитель Н.Н. Терещенко, д.б.н., проф. каф. РЭТЭМ
Проект ГПО РЭТЭМ-2002. Создание резистентных агросистем
малого объема*

*г. Томск, ТУСУР, каф. РЭТЭМ, Grizina02@yandex.ru,
natalia.n.tereshchenko@tusur.ru*

Благотворное воздействие дождевых червей на почву может быть многообещающим для улучшения плодородия лунной почвы, что

позволит использовать местные субстраты для космического земледелия. Исследовано влияние имитатора лунного реголита (LHS-1) в различных концентрациях в смесях коровьего навоза на выживаемость и приспособляемость *Eisenia fetida*. Это исследование показывает, что *E. fetida* потенциально может колонизировать лунный реголит, представляя в будущем ценный биологический инструмент для поддержки роста сельскохозяйственных культур на Луне.

Ключевые слова: лунный реголит, дождевые черви, биорегенеративные системы жизнеобеспечения, габбро-диабаз.

Долгосрочные космические миссии с участием людей сталкиваются с проблемой ограниченности ресурсов для жизнеобеспечения экипажа. Биорегенеративные системы жизнеобеспечения (BLSS), основанные на выращивании растений, могут частично решить эту проблему. Однако по-прежнему требуется завоз большого количества ресурсов с Земли [1]. Выращивание растений непосредственно на лунном грунте могло бы снизить логистические затраты [2].

Исследования показали, что некоторые растения могут извлекать питательные вещества из имитаторов лунного реголита. Тем не менее реголит оказывает стрессовое воздействие на растения. В отличие от земной почвы, лунный реголит не содержит органики и живых организмов, участвующих в круговороте питательных веществ [3].

На Земле дождевые черви играют важную роль в системе почва–растение, улучшая плодородие почвы и продуктивность растений. Интеграция дождевых червей в BLSS могла бы повысить эффективность космического земледелия. Однако лунный реголит может быть неблагоприятной средой для дождевых червей [4].

В данном исследовании изучалась реакция дождевого червя *Eisenia fetida* на имитатор лунного реголита LHS-1. Червей помещали в субстраты с различной концентрацией LHS-1 в смеси с коровьим навозом. Наблюдали за выживаемостью, размножением, рытьем ходов и потреблением субстрата в течение 14 и 60 дней. Для тестов на смертность, размножение, образование туннелей и проглатывание было проведено 15 повторов для каждой обработки субстратом [5]. На рис. 1 изображена взрослая особь *E. fetida* (см. рис. 1, а), несколько коконов, произведенных созревшими *E. fetida* (см. рис. 1, б), несколько имитаторов LHS-1 (*Lunar Highlands Simulant*) (см. рис. 1, в).

Результаты показали повышенную, но не критическую смертность червей в субстрате, состоящем полностью из LHS-1. Присутствие навоза значительно улучшило выживаемость. Количество произведенных коконов существенно не различалось между обработками, за исключением концентрации 100% LHS-1. Потребление субстрата также оставалось одинаковым.

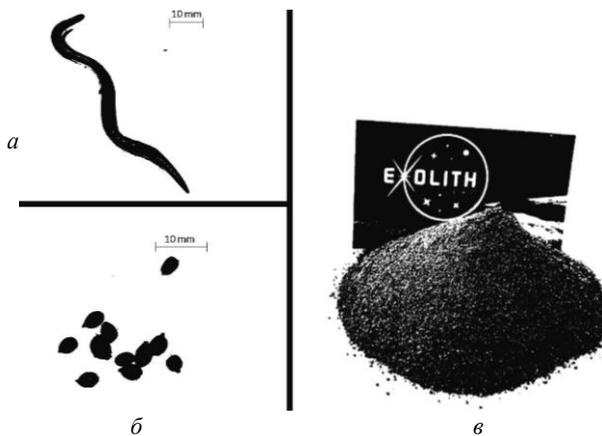


Рис. 1. Особь *Eisenia fetida* – а; коконы, продуцируемые *E. fetida* – б; несколько симуляторов LHS-1 Lunar Highlands – в

Таким образом, *E. fetida* способна выживать в лунном реголите и потенциально участвовать в его терраформировании. Дальнейшие исследования в условиях микрогравитации и космического излучения необходимы для проверки жизнеспособности дождевых червей в реальных условиях Луны. Тем не менее полученные результаты демонстрируют перспективность интеграции дождевых червей в BLSS для обеспечения космических миссий.

На основе этого исследования с лунным реголитом LHS-1 был проведен аналогичный эксперимент, где в качестве основы для грунта использовалась крошка габбро-диабазы, обнаруживаемая в составе лунного грунта, размером 2–5 мм. Диабаз содержит кремнезем в количестве от 45 до 52% и имеет темно-серую или черную окраску. Органическая часть почвы состоит из торфа, смешанного с растительными отходами в соотношении 1:1. Масса почвы в каждом сосуде составляет 800 г.

В общей сложности были сформированы две разные органические добавки: торф с переработанными пищевыми отходами и торф со свежими. Общая влажность торфа с отходами составляла 80%. Масса всех контейнеров с добавками без крышки составила 400 г. В контейнеры с органической частью были выпущены калифорнийские черви, которые до этого месяц выращивались в ведре с верховым раскисленным торфом с влажностью 80% и с банановыми шкурками в качестве питания.

На представленном рис. 2 можно наблюдать, что количество червей превышает 12 штук, что свидетельствует о благоприятной среде

почвы. Это может быть связано с оптимальным балансом питательных веществ и структурой почвы, которые обеспечивают нормальные условия для жизни этих организмов.



Рис. 2. Количество червей

В контрасте с этим наименьшее количество червей наблюдается в контрольной группе 1. Это может указывать на то, что условия в этой группе не были настолько благоприятными для червей, возможно, из-за типа почвы.

Контрольная группа 1 с керамзитом и переработанными отходами показала менее благоприятные условия для червей. Результаты указывают на возможную нехватку питательных веществ и солей, что приводит к ограничению роста и развития организмов. С другой стороны, вариант 1 с диабазом и переработанными отходами показал высокую численность червей, что свидетельствует о благоприятных условиях обитания.

ЛИТЕРАТУРА

1. Introduced earthworms in agricultural and reclaimed land / G.H. Baker, G. Brown, K. Butt, J.P. Curry, J. Scullion // Their ecology and influences on soil properties, plant production and other soil biota, Biol. Invasions. – 2006. – Vol. 8 (6). – P. 1301–1316.
2. Gajalakshmi S. Potential of two epigeic and two anecic earthworm species in vermicomposting of water hyacinth / S. Gajalakshmi, E.V. Ramasamy, S.A. Abasi // Bioresour. Technol. – 2001. – Vol. 76 (3). – P. 177–181.
3. Earthworms increase plant production / J.W. Van Groenigen, I.M. Lubbers, H.M. Vos, G.G. Brown, G.B. De Deyn, K.J. Van Groenigen // A meta-analysis, Sci. Rep. – 2014. – Vol. 4 (1). – P. 1–7.
4. Pattnaik S. Heavy metals remediation from urban wastes using three species of earthworm (*Eudrilus eugeniae*, *Eisenia fetida* and *Perionyx excavatus*) /

S. Pattnaik, M.V. Reddy // J. Environ. Chem. Ecotoxicol. – 2011. – Vol. 3 (14). – P. 345–356.

5. R Development Core Team, R: A Language and Environment for Statistical Computing // R Foundation for Statistical Computing. – Vienna, Austria, 2019.

УДК 628.546.543

РАЗВЕДЕНИЕ ВОДНОГО РАСТЕНИЯ ЭЙХОРНИЯ В ЛАБОРАТОРНЫХ УСЛОВИЯХ

М.О. Котович, А.В. Мусальян, студенты

Научный руководитель Н.Н. Терещенко, д.б.н., проф.

*Проект ГПО 2204. Разработка технологии биоремедиации
техногенно-нарушенных земель*

г. Томск, ТУСУР, lika.musalyan@mail.ru

Предлагается общий обзор методики разведения водного растения эйхорния (водяной гиацинт) в лабораторных условиях. С помощью анализа источников была подобрана методика для успешного выращивания данного растения в искусственной среде.

Ключевые слова: фиторемедиация, очистка сточных вод, растения-фиторемедианты, водяной гиацинт, эйхорния, гидропоника.

Задача исследования – выявить необходимую совокупность факторов для сохранения и дальнейшей репродукции водяного гиацинта в зимний период.

Эйхорния – представитель высшей водной растительности. Ботаническое название – *Eichornia crassipes* (Water hyacinth). Семейство – Pontederiaceae. Травянистое плавающее растение. Типичный гидрофит.

Визуально растение делится на две части: надводная и подводная. Надводная часть состоит из длинных тонких листьев насыщенно зеленого цвета, под ними располагаются черешки шарообразной формы, внутри они пузыревидно вздуты, что помогает растению удерживаться на плаву. Подводная часть представлена множеством мохнатых корней, длина которых составляет около тридцати сантиметров.

Водяной гиацинт растет в пресных водоемах, таких как реки, озера и болота, в основном в регионах с высокой температурой и влажностью. Несмотря на то, что растение широко распространено в тропическом и субтропическом климате, в России популярность этого вида низкая, что связано с неспособностью эйхорнии переносить температуры ниже 2 °С в естественных условиях [1].

Интерес к данному виду был проявлен в связи с перспективой его использования в области фиторемедиации техногенно-загрязненных

вод; растение обладает способностью очищать воду, фильтруя ее и удаляя из нее различные загрязнители. При очистке стоков это растение окисляет и расщепляет промышленные и органические нечистоты на простые элементы с большой скоростью и усваивает их как питание. Роль окислителя при этом исполняет кислород, который в избытке вырабатывает эйхорния в процессе фотосинтеза [2].

В ходе эксперимента была разработана методика, позволяющая не только поддерживать лабораторную культуру растений в холодный период года, но и приумножить их количество путем вегетативного размножения.

Наиболее важными условиями содержания эйхорнии в лабораторных условиях было соблюдение достаточного уровня и режима освещенности и температуры.

Для размещения растений были использованы аквариумы, ведра и бутылки. Вода в аквариуме была отстоянной и набрана из Мавлюкевского озера.

Температура в воде поддерживалась на уровне двадцати пяти градусов по Цельсию. Двенадцатичасовое освещение обеспечивалось специальными лампами, которые имитировали естественный свет, размещенными на расстоянии полуметра от растений.

За четыре месяца, в течение которых проводились исследования, за эйхорнией осуществлялся регулярный уход. В емкости с растениями добавлялась отстоянная вода. Ежедневно проводились подкормки органическими удобрениями.

В течение первых двух месяцев растения росли медленно, находясь в режиме адаптации к новым условиям. Затем их рост ускорился и стало появляться новое поколение, которое было выращено полностью в искусственных условиях. Численность популяции эйхорнии была увеличена в три раза [3].

Таким образом, применяя подобную методику разведения растений в промышленных масштабах, использование эйхорнии в качестве фиторемедианта загрязненных вод можно успешно реализовать в нашей стране. Важность развития данного направления обусловлена небольшими экономическими затратами и способностью водяного геацинта очищать воду от широкого спектра загрязнителей: нефтепродукты, технические масла, животноводческие стоки, фенолы, сульфаты, фосфаты, хлориды, нитраты, ПАВы, минеральные соли.

ЛИТЕРАТУРА

1. Меркулова Т.Н. Применение плавающего водного растения эйхорнии для эффективности доочистки сточных вод // Известия вузов. – 2004. – № 4. – С. 99–100.

2. Коростелева А.В. Способ очистки сточных вод от фенолов // Известия ПГУ им. В.Г. Белинского. – 2011. – № 25. – С. 585–589.

3. Сулимов Н.Ю. Оценка эффективности применения технологии очистки сточных вод при помощи ботанических средств на очистных сооружениях // Экономика строительства. – 2023. – № 6. – С. 118–120.

УДК 628.8

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ИНСЕКТИЦИДНОГО АНТИБАКТЕРИАЛЬНОГО ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО ПРИБОРА ДЛЯ ДЕЗИНФЕКЦИИ ВОЗДУХА

Т.С. Михальченко, магистрант;

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

г. Томск, ТУСУР, каф. РЭТЭМ, mts@tusur.ru

Известно, что летающие насекомые могут наносить вред как пищевым продуктам, так и людям. Существует проблема, связанная с ограничением применения инсектицидных устройств на основе липких лент. Решением данной проблемы является инсектицидная лампа для приманивания и уничтожения летающих насекомых.

Ключевые слова: инсектицид, летающие насекомые, пищевая промышленность.

Изложенная проблема, связанная с летающими насекомыми и дезинфекцией воздуха в общественных местах, действительно имеет важное значение для общественного здоровья и безопасности. Разработка и внедрение инновационных технических устройств, объединяющих функции инсектицидного действия и дезинфекции воздуха, могут значительно улучшить санитарные условия в пищевой промышленности и других общественных местах. Инсектицидные антибактериальные полупроводниковые приборы для дезинфекции воздуха являются перспективным решением улучшения гигиены общественного питания. Применение таких устройств в ресторанах, пекарнях и супермаркетах поможет минимизировать наличие летающих насекомых и обеспечить чистоту воздуха.

Кроме того, учитывая количество точек продаж продукции в районе, такие инновационные приборы могут обеспечить эффективную дезинфекцию воздуха, что позитивно скажется на общественном здоровье и уровне безопасности пищевых продуктов.

Поэтому развитие и внедрение подобных устройств в пищевой промышленности и общественных местах станет важным шагом в улучшении гигиенических условий и защите здоровья людей.

В пищевой промышленности используются требования на основе принципов ХАССП, НАССР [1], требования для человека приведены в источнике [2]. Существует проблема, связанная с ограничением применения инсектицидных устройств на основе липких лент. Для решения данной проблемы используется инсектицидная лампа для приманивания и уничтожения летающих насекомых [3, 4]. Данный способ основан на приманивании летающих насекомых оптическим излучением и уничтожении их сеткой, расположенной перед источником излучения, на которую подаётся высоковольтное электрическое напряжение. Согласно источнику [5], запрещается применение высоковольтных электрических приборов с открытыми электрическими частями в свободном доступе в открытых помещениях. Второй проблемой в обеспечении общественного питания как в детских лагерях, так и в общественных местах открытого типа является дезинфекция воздуха. Для решения данных проблем предлагается усовершенствованное техническое устройство, в котором содержатся и элементы инсектицидного действия, и элементы для дезинфекции воздуха.

Оценочный рынок сбыта инсектицидного антибактериального полупроводникового прибора для дезинфекции воздуха приведен в [6]. В г. Томске в 2024 г. в пекарнях и супермаркетах производится и продаётся продукция в следующих объемах: 25 ресторанов с летней террасой, 74 пекарни, 137 супермаркетов, 115 супермаркетов «Ярче», «Мария-Ра», 78 супермаркетов «Магнит», 59 супермаркетов «Пятёрочка», 51 универсам «Абрикос», 9 гипермаркетов «Лента», 191 точка продажи фруктов (по данным 2ГИС Томск) и т.д., которые должны храниться согласно требованиям, приведенным в [7].

Целью работы является проектирование инсектицидного антибактериального полупроводникового прибора для дезинфекции воздуха.

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

Заключение. Проведён аналитический обзор и патентный поиск, предложено новое техническое решение для создания инсектицидного антибактериального полупроводникового прибора для дезинфекции воздуха. Это может стать значительным вкладом в развитие области борьбы с насекомыми и обеспечение чистоты воздуха.

Инновационные технические устройства, сочетающие в себе функции инсектицида и антибактериальной дезинфекции воздуха, будут иметь большой потенциал применения в различных сферах, включая пищевую промышленность, общественные места, медицинские учреждения и многие другие.

Проработка и внедрение нового технического решения позволит повысить уровень гигиены и безопасности воздуха в помещениях, что, в свою очередь, скажется на общем здоровье и благополучии людей.

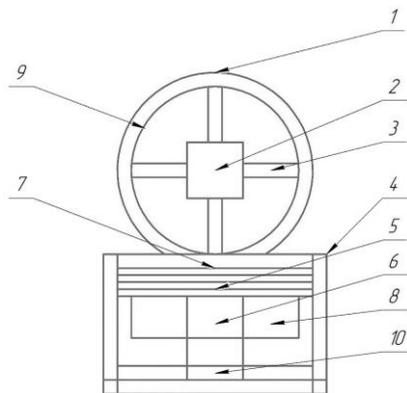


Рис. 1. Функциональная схема устройства инсектицидного антибактериально-полупроводникового прибора для дезинфекции воздуха:

1 – корпус в форме круга, 2 – полупроводниковый модуль для световой приманки насекомых, 3 – опоры полупроводникового модуля для световой приманки насекомых, 4 – прямоугольная конструкция, 5 – крыльчатка, 6 – электромотор, 7 – сетка, 8 – съёмный бак для насекомых, 9 – ультрафиолетовые диоды с длиной волны в диапазоне 275 нм, 10 – источник питания.

ЛИТЕРАТУРА

- ГОСТ Р 51705.1–2001. Системы качества. Управление качеством пищевых продуктов на основе принципов ХАССП. Общие требования.
- СанПиН 2.4.4.3155-13. Санитарно-эпидемиологические требования к устройству, содержанию и организации работы стационарных организаций отдыха и оздоровления детей.
- Патент № 2671096 С2 Российская Федерация, МПК А01М 29/10. Осветительная система для борьбы с насекомыми: № 2016134891; заявл. 15.01.2015; опубл. 29.10.2018 / А.М. Баррозо, Д.В.Э. Схоббен, В.П. Ван Хоф и др.; заявитель ФИЛИПС ЛАЙТИНГ ХОЛДИНГ Б.В.
- Техническое решение и анализ современных инсектицидных полупроводниковых устройств / Т.С. Михальченко, А.О. Лазарева, Л.Ш. Юлдашова, Е.В. Шнайдер // Электронные средства и системы управления: матер. докладов междунар. науч.-практ. конф. – 2022. – № 1-1. – С. 247–248.
- Приказ Минтруда России от 15.12.2020 № 903н (ред. от 29.04.2022). Об утверждении Правил по охране труда при эксплуатации электроустановок (зарегистрировано в Минюсте России 30.12.2020 № 61957).
- Официальный сайт «2ГИС» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://2gis.ru/tomsk/search/Рестораны%20с%20летней%20террасой%20в%20Томске> (дата обращения: 07.03.2024).
- ГОСТ Р 50421-92. Фрукты и овощи. Принципы и технологические приемы хранения в регулируемых газовых средах.

ИНВЕНТАРИЗАЦИЯ ВЫБРОСОВ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ ПРЕДПРИЯТИЯ АО «СИБКАБЕЛЬ»

К.В. Полищук, студентка

*Научный руководитель А.П. Шкаруно, ст. преп. каф. РЭТЭМ
г. Томск, ТУСУР, каф. РЭТЭМ, christina.poliscuc@mail.ru*

Представлен список загрязняющих веществ, выбрасываемых предприятием кабельной промышленности АО «Сибкабель».

Ключевые слова: АО «Сибкабель», выбросы, загрязняющие вещества, кабельное производство, атмосферный воздух, инвентаризация.

АО «Сибкабель» – предприятие, которое занимает нишу машиностроительной отрасли, ведущий производитель кабельной продукции в России. По своей сути, компания «Сибкабель» является специализированной компанией по производству различных видов кабелей, включая силовые, установочные, шланговые, а также телефонные и контрольные провода [1].

В соответствии с критериями, утвержденными постановлением Правительства РФ № 2398 от 31.12.2020 г., продукцию предприятия АО «Сибкабель», специализирующегося на кабельном и эмальобмоточном производстве, можно отнести к веществам II категории негативного экологического воздействия [2, 3].

Результаты проведенной инвентаризации показали, что в природную среду от промышленной территории, где осуществляется производство кабелей, количество источников опасных веществ составило 115 ед., из них 72 ед. – организованные источники, 43 ед. – неорганизованные. На площадке эмальобмоточного производства количество источников равно 81 ед., из них – 59 ед. – организованные и 22 ед. – неорганизованные источники.

Общий годовой объем загрязняющих веществ на предприятии кабельного производства составляет 142,371505 т/год, из них 3,509916 т/год – твердые, 138,861589 т/год – газообразные и жидкие вещества. Общий годовой объем загрязняющих веществ на предприятии эмальобмоточного производства составляет 23,65387651 т/год, из них 3,34888118 т/год – твердые, 20,30499471 т/год – газообразные и жидкие вещества [2, 3].

Предприятие располагается на территории рядом с селитебной зоной. Размеры санитарно-защитной зоны для предприятий II класса опасности обязательно должны быть равны 100 м. Однако на обоих

промышленных территориях АО «Сибкабель» размеры СЗЗ не выдержаны.

По последним данным отчета об инвентаризации на 06.09.2022 г. было выявлено поступление в атмосферный воздух 79 загрязняющих веществ. Класс опасности этих веществ 1–4, в соответствии с установленными стандартами, также присутствуют вещества, для которых класс опасности пока не был определен.

Эффектом суммарного вредного воздействия обладают 22 вещества. Составленные этими элементами смеси загрязняющих веществ эффективно накапливают вредное воздействие. Такой вид комбинированного действия называется аддитивностью или аддитивным эффектом, то есть суммацией негативного воздействия. Аддитивный эффект обычно возникает, когда вещества обладают схожим механизмом действия [4].

Таким образом, в ходе проведения инвентаризации к концу 2022 года было обнаружено 79 загрязняющих веществ, которые поступают в атмосферу от предприятия АО «Сибкабель», из них 22 вещества обладают эффектом комбинированного действия.

ЛИТЕРАТУРА

1. История завода: официальный сайт АО «Сибкабель» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://sibkabel.ru/about/history/>, свободный (дата обращения: 09.03.2024).
2. Проект нормативов допустимых выбросов загрязняющих веществ в атмосферу для предприятия Акционерное общество «Сибкабель» // Кабельное производство, г. Томск, ул. Пушкина, 46. ОНВ №69-0170-002233-П, II категория. 2023 г.
3. Проект нормативов допустимых выбросов загрязняющих веществ в атмосферу для предприятия АО «Сибкабель» // Эмальобмоточное производство, г. Томск, пр. Фрунзе, 240. ОНВ №69-0170-001132-П, II категория. 2023 г.
4. Эффекты при совместном поступлении нескольких веществ в организм. StudFiles [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://studfile.net/preview/4614266/page:10/>, свободный (дата обращения: 09.03.2024).

СОДЕРЖАНИЕ

СЕКЦИЯ 1 РАДИОТЕХНИКА И СВЯЗЬ

Подсекция 1.1

РАДИОТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И РАСПРОСТРАНЕНИЕ РАДИОВОЛН

Председатель – Денисов В.П., проф. каф. РТС, д.т.н.;
зам. председателя – Аникин А.С., доцент каф. РТС, к.т.н.

<i>Д.Д. Зайков, Г.А. Калашиников</i> Способ оценки уровня сигнала при распространении вдоль леса.....	31
<i>Е.М. Семина, Ю.И. Чони</i> Фокусировка поля спутниковой антенной решетки на наземный радиомаяк.....	34
<i>Е.Д. Морозов, М.Е. Ильясов, А.В. Зяблицев</i> Радиовысотомерная система для обеспечения посадки первой ступени ракеты-носителя	37
<i>В.П. Постол, Д.А. Палилей</i> Исследование зависимости PER от отношения сигнал/шум в стандарте 802.11ac (Wi-Fi 5)	39

Подсекция 1.2

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ЭКСПЛУАТАЦИЯ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ

Председатель – Озёркин Д.В., декан РКФ, к.т.н.;
зам. председателя – Пономарев Д.Е., преп. каф. КИПР

<i>И.В. Бобков</i> Анализ зависимости характеристики сигнал/шум МШУ на кристалле и в SMD-корпусе.....	43
<i>С.Р. Хемий</i> Интенсификация теплоотвода от электрорадиоизделий в силовых преобразователях в космической бортовой радиоаппаратуре	46
<i>В.В. Крившенко</i> Применение микрополоскового позиционно-чувствительного детектора на основе сенсоров из HR GaAs:Cr для регистрации изменений в материалах, используемых при создании космических аппаратов	48
<i>А.А. Мазеина</i> Методы повышения эксплуатационной надежности чип-элементов на печатных платах.....	51

Р.Б. Михо	
Метод обеспечения целостности высокоскоростных цифровых сигналов на печатной плате при прохождении их через сквозные переходные отверстия	54
М.А. Коржов	
Методика создания 3D-моделей для компьютерного симулятора работы инженера службы эксплуатации радиотехнического оборудования и связи.....	56
В.С. Стульников, Д.С. Мартюшев, С.А. Подлиннов	
Влияние величины зазора между центральным проводником СВЧ-перехода и микрополосковой линией на печатной плате на КСВ.....	59

Подсекция 1.3

РАДИОТЕХНИКА

*Председатель – Семенов Э.В., проф. каф. РСС, д.т.н.;
зам. председателя – Артищев С.А., доцент каф КУДР, к.т.н.*

Г.А. Таразанов, Д.В. Ленкова, Н.Н. Раульев	
Реализация системы связи с 8-PSK-модуляцией в GNU Radio.....	63
А.А. Охотина	
Разработка и исследование 3D-модели копланарной линии	66
Н.Н. Раульев, Г.А. Таразанов, Д.В. Ленкова	
Реализация модели системы приемной части сигнала на базе QPSK-модуляции в GNU Radio	69

Подсекция 1.4

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ВИДЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

*Председатель – Курячий М.И., доцент каф. ТУ, к.т.н.;
зам. председателя – Каменский А.В., доцент каф. ТУ, к.т.н.*

Д.М. Батенко	
Разработка алгоритмов для автоматического отслеживания движений объектов по входному видеопотоку.....	73
Д.А. Гребенищикова, А.С. Катасонов	
Программная реализация пространственных методов обработки изображений	77
А.А. Мороз	
Использование сямской нейронной сети для сравнения наборов изображений фигуры человека.....	81

<i>Р.С. Успанов, Д.В. Морозов</i>	
Роботизированная колёсная платформа для перемещения измерительного транспаранта	84
<i>А.В. Мирошников, Р.С. Титова, М.А. Салмин</i>	
Использование компьютерного зрения для игры с роботом в шашки	87

Подсекция 1.5

СИСТЕМЫ БЕСПРОВОДНОЙ СВЯЗИ И ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ

*Председатель – Рогожников Е.В., зав. каф. ТОР, к.т.н.
зам. председателя – Дмитриев Э.М., ассистент каф. ТОР*

<i>Н.А. Иванников</i>	
Сравнение базовых станций стандарта GSM с использованием программного обеспечения YateBTS, OpenBTS, OsmocomBTS	90
<i>А.А. Моисеенко, М.А. Аксенов, Д.В. Рыбалов</i>	
Параметры кодирования и модуляции, применяемые в современных системах связи	92
<i>И.В. Гридин</i>	
Разработка приемопередающего модуля с использованием технологии LoRa для применения на БПЛА	94

Подсекция 1.6

РОБОТОТЕХНИКА

Председатель – Коцубинский В.П., доцент каф. КСУП, к.т.н.

<i>М.А. Салмин, В.Д. Москвин, Р.С. Титова</i>	
Автоматизация и умное управление: технические решения в повседневной жизни	98
<i>Д.В. Евтеев</i>	
Архитектура системы картографирования помещения на основе 2D-лидара	101
<i>И.В. Долгополов, Н.А. Грибов</i>	
Экзоскелеты промышленного назначения, содержащие человека в качестве звена системы	103
<i>Д.А. Анисимов, Е.С. Шандаров</i>	
Анализ и испытание алгоритмов SLAM в рамках лиги Rescue Simulation соревнований РОБОКАП	105
<i>М.Ю. Подольхов, Д.Б. Кравцов, А.А. Изюмов</i>	
Робототехника: конвейерный сканер для печенья	110

Подсекция 1.7

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ

*Председатель – Шурыгин Ю.А., директор департамента управления
и стратегического развития ТУСУРа, зав. каф. КСУП, д.т.н., проф.;*
зам. председателя – Черкашин М.В., доцент каф. КСУП, к.т.н.

В.Г. Арзюков, С.А. Невежин, К.К. Шаттык,

А.В. Тимофеев, К.Д. Симонов

Контейнер с сервоприводом 114

Г.П. Лубов, И.А. Еришов, В.Д. Боровкова, В.Е. Борнашов

Разработка модуля парсинга файлов
с описанием принципиальных схем 117

В.А. Гладков

Интерактивный метод расчета реактивных согласующих цепей
для СВЧ-устройств 120

И.А. Еришов, Г.П. Лубов, И.А. Данилов, К.А. Ларионов

Модификация пользовательского интерфейса в программе HexFormer... 125

П.А. Макеев

Экспериментальные исследования методики автоматизированного
размещения элементов на гибко-жесткой печатной плате электронного
средства с учетом тепловой и электромагнитной совместимости
на основе двухуровневого генетического алгоритма 128

Е.В. Кабанова, Н.А. Набережнев, В.С. Швоев, А.Е. Горяинов

Модуль проведения численных экспериментов структурно-
параметрического синтеза СВЧ-устройств в программе LNA Designer ... 130

В.И. Степанов, А.С. Сальников

Исследование генетического алгоритма для решения задачи
автоматизированного синтеза двойного балансного смесителя 134

Секция 2

ЭЛЕКТРОНИКА И ПРИБОРОСТРОЕНИЕ

Подсекция 2.1

ПРОЕКТИРОВАНИЕ БИМЕДИЦИНСКИХ ЭЛЕКТРОННЫХ И НАНОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ

Председатель – Еханин С.Г., проф. каф. КУДР, д.ф.-м.н.;
зам. председателя – Романовский М.Н., доцент каф. КУДР, к.т.н.

С.С. Сафонов, А.В. Кинах, И.А. Павлова

Исследование вольт-амперных и вольт-фарадных характеристик СИД
с множественными квантовыми ямами на основе InGaN/GaN 138

<i>Е.С. Ульянова</i>	
Способ оценки биоимпеданса мышцы с помощью зондирующего сигнала с большой базой.....	141
<i>Д.А. Гульков, А.А. Швадленко</i>	
Исследование изменения фоновой радиоактивности кристалла КСl.....	144
<i>А.В. Александров</i>	
Реализация источника питания для автономного устройства автоматизации управления и мониторинга	147

Подсекция 2.2

РАЗРАБОТКА КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ АППАРАТУРЫ

Председатель – Лоцилов А.Г., проректор по НРиИ, зав. каф. КУДР, к.т.н.; зам. председателя – Бомбизов А.А., начальник СКБ «Смена», к.т.н.

<i>М.Я. Афанасьев, Е.И. Тренкаль</i>	
Устройство проводной связи на базе токовой петли 4–20 мА с реализацией протокола HART	151
<i>А.В. Артемов, М.Я. Афанасьев, А.В. Берестов, Е.И. Тренкаль</i>	
Система автоматизации набора и сброса жидкости	154
<i>Д.С. Мартюшев, В.С. Стульников, О.И. Томских</i>	
UP/DOWN конвертер частот.....	156
<i>Н.С. Нефедов, А.С. Меркулова</i>	
Разработка программы управления принтером печатных плат с двухэкструдерным модулем дозирования	160
<i>А. Ристом, К.А. Сердюков</i>	
Особенности разработки сложнфункционального блока I2C для ПЛИС	162
<i>С.Ю. Василенко</i>	
Концепция построения стенда для тестирования сети SpaceWire с использованием цифровых моделей на основе протокола ModBus	166

Подсекция 2.3

ФИЗИЧЕСКАЯ И ПЛАЗМЕННАЯ ЭЛЕКТРОНИКА

Председатель – Троян П.Е., зав. каф. ФЭ, д.т.н., проф.; зам. председателя – Смирнов С.В., проф. каф. ФЭ, д.т.н.

<i>И.Ю. Бакеев, С.П. Миклин</i>	
Ионно-плазменная обработка внутренней поверхности трубок из нержавеющей стали несамостоятельным тлеющим разрядом в форвакуумной области давлений	170
<i>Л.Ж. Нгон, А. Кики, Ф.А. Суховольский</i>	
Распространение электронного пучка в разных газах в диапазоне среднего вакуума	173
<i>Д.А. Шестерикова, А.Е. Шестериков</i>	
Моделирование химического травления мезы СВЧ МИС	175

<i>А.Е. Шестериков, Д.А. Шестерикова</i> Моделирование влияния концентрации δ -легирования барьерного слоя на статические характеристики GaAs НЕМТ	178
---	-----

Подсекция 2.4

ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭЛЕКТРОНИКА

Председатель – Семенов В.Д., проф. каф. ПрЭ, к.т.н.;
зам. председателя – Оскирко В.О., н.с. лаборатории прикладной
электроники ИСЭ СО РАН, технический директор ООО «Прикладная
электроника», к.т.н.; Михальченко С.Г., зав. каф. ПрЭ, д.т.н.

<i>А.А. Арыстанбеков, Э.В. Ефремова, Д.А. Товмасын</i> Устройство контроля температуры для автономных систем электропитания со сниженными массогабаритными характеристиками для аэрокосмического приборостроения	182
<i>Д.А. Товмасын, А.А. Арыстанбеков, В.И. Апасов</i> Устройство контроля и преобразования параметров автономных систем электропитания со сниженными массогабаритными характеристиками для аэрокосмического приборостроения	185
<i>Е.А. Карих</i> Блок имитации заряда и разряда литий-ионной аккумуляторной батареи	187
<i>А.В. Литвинов</i> Разработка модели DC-преобразователя с применением нейронной сети и обучения с подкреплением.....	190
<i>А.А. Воропаева, И.О. Суховерков</i> Исследование шунтирующего стабилизатора напряжения	193
<i>М.А. Поздеева, В.И. Апасов, Н.А. Савочкин</i> Устройство гальванического разделения аналогового сигнала для цепей контроля и управления	197

Подсекция 2.5

ОПТИЧЕСКИЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, НАНОФОТОНИКА И ОПТОЭЛЕКТРОНИКА

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

<i>В.А. Алтухов, А.С. Перин</i> Исследование методов повышения эффективности фазовой решетки ввода излучения в тонкопленочную структуру SiO ₂ /Si ₃ N ₄ /SiO ₂ /Si	201
<i>В.Е. Бодренин, И.В. Кузнецов, А.С. Перин</i> Моделирование микролинзованного оптического волокна.....	205
<i>И.В. Кузнецов, А.С. Перин</i> Датчик напряженности электрического поля на основе ячейки Погкельса с делителем поляризации	209

**П.В. Мостепан, Р.А. Симонян, С.С. Шмаков,
Н.И. Буримов, С.М. Шандаров**

Встречное взаимодействие циркулярно поляризованных световых волн в кристалле силиката висмута среза (111).....213

В.В. Мурашкин, Р.А. Симонян, С.С. Шмаков

Фотоприемники на основе операционных усилителей216

В.В. Мурашкин, Р.А. Симонян, С.С. Шмаков

Цифровые фотоприемники на базе платформы Arduino219

Подсекция 2.6

ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ СОВМЕСТИМОСТЬ

Председатель – Заболоцкий А.М., зав. каф. СВЧиКР, д.т.н.;

зам. председателя – Белоусов А.О., доцент каф. ТУ, к.т.н.

А.В. Гнутов, А.А. Иванов

Аналитическая оценка эффективности экранирования многосекционных экранов печатных плат с помощью эквивалентных схем222

И.С. Марков, А.А. Дроздова

Анализ погонной ёмкости и массы проводных отводов типа БС 35-1298 и МС 26-15.....225

И.С. Марков, А.А. Дроздова

Анализ влияния геометрической формы Силовой шины электропитания при воздействии на неё электростатического разряда....228

И.Е. Сагиева, И. Хелифати, А.В. Путилин

Модальный фильтр на основе микрополосковой линии с двумя боковыми заземленными проводниками на концах под границей воздух–подложка.....232

С.В. Смирнов, А.А. Иванов

Программный модуль для генерации гексаэдральной расчетной сетки на основе искусственной нейронной сети.....235

А.О. Зайков

Анализ матрицы рассеяния и погонных параметров микрополосковой линии передачи, проходящей через экран печатной платы.....238

Подсекция 2.7

СВЕТОДИОДЫ И СВЕТОТЕХНИЧЕСКИЕ УСТРОЙСТВА

Председатель – Туев В.И., зав. каф. РЭТЭМ, д.т.н., проф.;

зам. председателя – Солдаткин В.С., доцент каф. РЭТЭМ, к.т.н.

Л.Ш. Юлдашова, Е.В. Шнайдер

Информационное моделирование ультрафиолетового облучателя для дезинфекции воды.....242

Д.А. Жаворонков

Обзор токопроводящих жидкостей для применения в системе аэрозольного нанесения245

Секция 6
ЭКОЛОГИЯ И МОНИТОРИНГ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ.
БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Председатель – Карташев А.Г., проф. каф. РЭТЭМ, д.б.н.;
зам. председателя – Денисова Т.В., доцент каф. РЭТЭМ, к.б.н.

У.И. Иванова, О.М. Ярославцева	
Комплекс наблюдений за пожарами лесных массивов Сибири	248
А.А. Карулин	
Влияние нефти на устойчивость тихоходок.....	251
Е.А. Золотухина	
Оценка аэропонного способа ведения сельского хозяйства	253
С.В. Акулова	
Влияние фосфорного удобрения на рост и развитие растений (на примере фасоли спаржевой)	255
А.В. Баранникова, А.Е. Целовальников	
Характеристика биопрепарата МД «Септ» (жидкий).....	258
Н.В. Белов, А.Н. Грицина	
Органические добавки в лунный реголит для поддержания космического сельского хозяйства	260
М.А. Бренчугина	
Михайловская роща в г. Томске: биоразнообразие и значимость объекта для городской среды	263
К.В. Дудкина	
Анализ отходов производства кабельной продукции на примере АО «Сибкабель»	265
А.Н. Грицина, Н.В. Белов	
Колонизация лунного реголита дождевыми червями для поддержки космического сельского хозяйства	267
М.О. Котович, А.В. Мусальян	
Разведение водного растения эйхорния в лабораторных условиях	271
Т.С. Михальченко, В.С. Солдаткин	
Проектирование инсектицидного антибактериального полупроводникового прибора для дезинфекции воздуха	272
К.В. Полищук	
Инвентаризация выбросов загрязняющих веществ предприятия АО «Сибкабель».....	276

Научное издание

НАУЧНАЯ СЕССИЯ ТУСУР–2024

Материалы международной научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Научная сессия ТУСУР–2024»

15–17 мая 2024 г., г. Томск

В трех частях

Часть 1

Корректор – **В.Г. Лихачева**
Верстка **В.М. Бочкаревой**

Сдано на верстку 22.05.2024. Подписано к печати 25.06.2024.
Формат 60×84¹/₁₆. Печать трафаретная. Печ. л. 17,9
Тираж 100 экз. Заказ 4.

Издано ТУСУР (заказчик)
г. Томск, пр. Ленина, 40, к. 205, т. 70-15-24
Тираж отпечатан в типографии ТУСУРа
(для нужд всех структурных подразделений университета и авторов)

Ред.-изд. подготовка оригинал-макета в эл. виде
В-Спектр (ИП Бочкарева В.М., исполнитель)
ИНН 701701817754
634055, г. Томск, пр. Академический, 13-24,
тел. 8-905-089-92-40, эл. почта: bvm-1@list.ru