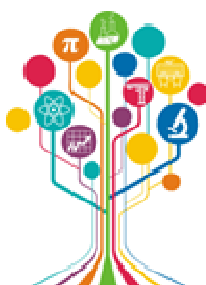


МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ



ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ НАУК

Том 7. IT-технологии и электроника

Сборник научных трудов

XVIII Международной конференции студентов, аспирантов
и молодых ученых

27–30 апреля 2021 г.

PROSPECTS OF FUNDAMENTAL SCIENCES DEVELOPMENT

Volume 7. IT-technologies and Electronics

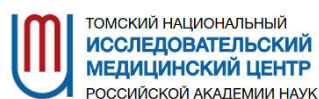
Abstracts

XVIII International Conference of students, graduate students
and young scientists

April 27–30, 2021



Национальный
исследовательский
Томский
государственный
университет



Томск 2021

УДК 501:004(063)
ББК 72:32.81л0
П27

Перспективы развития фундаментальных наук : сборник трудов XVIII Международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых (Томск, 27–30 апреля 2021 г.). В 7 томах. Том 7. IT-технологии и электроника / под ред. И.А. Курзиной, Г.А. Вороновой. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2021. – 133 с.

ISBN 978-5-4387-1017-2 (т. 7)
ISBN 978-5-4387-1010-3

Сборник содержит труды участников XVIII Международной конференции студентов, аспирантов и молодых учёных «Перспективы развития фундаментальных наук», представленные на секции «IT-технологии и электроника».

Предназначен для студентов, аспирантов, молодых ученых и преподавателей, специализирующихся в области интеллектуальных систем управления, автоматизированных систем обработки информации и управления, информационной безопасности, наноэлектроники, получения и исследования наноматериалов, оптоэлектроники и нанофотоники, плазменной эмиссионной электроники, интеллектуальной силовой электроники, СВЧ электроники, систем радиолокации, телевидения, радиосвязи, радиометрии и распространения волн радиочастотного и акустического диапазонов, а также импульсных и радиочастотных измерений.

УДК 501:004(063)
ББК 72:32.81л0

Редакционная коллегия

И.А. Курзина, доктор физико-математических наук, доцент;
Г.А. Воронова, кандидат химических наук, доцент;
С.А. Поробова.

ISBN 978-5-4387-1017-2 (т. 7)
ISBN 978-5-4387-1010-3

© ФГАОУ ВО НИ ТПУ, 2021



Группа Компаний ЭФКО – одна из крупнейших компаний пищевой промышленности России, вертикально-интегрированный производитель жиров специального назначения, используемых в кондитерской, хлебопекарной и других отраслях пищевой промышленности, и крупнейший переработчик отечественных маслосемян. «ЭФКО» – ведущий экспортер подсолнечного масла; продукция компании поставляется в 50 стран мира. «ЭФКО» – производитель продуктов питания – майонезов, растительных масел, кетчупов и соусов, йогуртов и молока в России, под такими широко известными брендами, как «Слобода», Altero и Violio.

Главная опора в развитии компании – это инновации. Нам интересны следующие технологические направления:

- Биотехнологии масел и жиров
- Переработка масличных
- Растительное мясо
- Сахарозаменители (редкие сахара, сладкие белки)
- Ферментация шрота
- Эффективное молочное животноводство



Инновации – философия бизнеса ГК «ЭФКО»

Основная инновационная активность развивается в следующих ключевых компаниях Группы:



Ключевой центр исследований и разработок (R&D) ГК «ЭФКО»; он оснащен высокотехнологичным оборудованием, позволяющим проводить полный цикл исследований: от лабораторных до промышленных. На территории создана инфраструктура для обучения, комфортного проживания и досуга (научно-образовательный центр, рестораны, горнолыжный комплекс, детский сад и школа для детей сотрудников)



Центр поиска новых идей и точка входа для стартапов и внешних партнеров в контур открытых инноваций ГК «ЭФКО»



Венчурный фонд, осуществляющий инвестиции в высокотехнологические стартапы пищевой отрасли по всему миру. «Топливо для роста» – это именно то, что мы даем компаниям: инвестиции, опыт и сеть контактов

Самая главная причина побед ГК «ЭФКО» – это люди, работающие в компании. Реализация любого, даже самого перспективного проекта, была бы невозможна без увлеченных специалистов, поэтому их поиск – наша первоочередная задача. Мы активно ищем увлеченных специалистов для реализации масштабных проектов, способных изменить пищевую индустрию! Сделаем еду вкуснее, полезнее и доступнее вместе!



www.efko.ru



[efko_innovations](https://www.instagram.com/efko_innovations)



[fuel4growth](https://www.facebook.com/fuel4growth)

Какие возможности и перспективы роста ГК «ЭФКО» предлагает молодым специалистам?

1. Производственная и научная практика в разных подразделениях компании, включая инновационный центр «Бирюч»
2. Трудоустройство и для профессионалов, и для начинающих специалистов
3. Включение в группу специалистов, работающих над перспективными инновационными проектами с международной кооперацией



Что мы предлагаем молодым талантам:

1. Программа гарантированного карьерного роста для сотрудников, которые готовы учиться, развиваться и расширять свой кругозор
2. Стартовая заработная плата от 60 тыс. руб. с перспективой роста
3. Бесплатное жилье в корпоративном многоквартирном доме (для сотрудников ИЦ «Бирюч»)
4. Бесплатное лечение в собственном лечебно-диагностическом центре

Кого мы ищем?

Мы ищем людей, кто по своим личностным характеристикам готов воспринимать жизнь как увлекательное приключение, и кто готов вместе с нами менять пищевую индустрию.

Мы активно ищем специалистов, которые могут разрабатывать и создавать новые продукты (биотехнологов, генных инженеров, биохимиков, микробиологов, биоинформатиков), а также тех, кто будет помогать выстраивать новые направления бизнеса (аналитиков, менеджеров проектов, инженеров, дизайнеров, бизнес-администраторов и многих других)



Если Вы хотите присоединиться к нашей дружной команде, то пишите нам на startup@efko.ru с темой «работа мечты»



www.efko.ru



[efko_innovations](https://www.instagram.com/efko_innovations)



[fuel4growth](https://www.facebook.com/fuel4growth)

Торговая марка «Органика» – это современные технологии, надежность и качество, проверенное временем.

АО «Органика» является производителем лекарственных средств с 1962 года. Сегодня – это современный комплекс полного производственного цикла от субстанций до готовых лекарственных препаратов 20 фармакотерапевтических групп, половина из которых входит в Перечень жизненно-необходимых и важнейших лекарственных средств Министерства здравоохранения РФ.

АО «Органика» производит следующие лекарственные средства:

- стерильные лекарственные препараты:
 - препараты, содержащие сильнодействующие вещества: растворы для инъекций;
 - препараты, не требующие специального выделения в отдельное производство: растворы для инъекций;
- нестерильные лекарственные препараты:
 - препараты, содержащие сильнодействующие вещества: таблетки непокрытые, таблетки покрытые оболочкой;
 - препараты, не требующие специального выделения в отдельное производство: капсулы, таблетки непокрытые, таблетки покрытые оболочкой;
- фармацевтические субстанции:
 - фармацевтические субстанции, получаемые методами химического синтеза;
 - фармацевтические субстанции, получаемые методами выделения из химического сырья.

Также, на стадии разработки находятся инновационные препараты в нескольких лекарственных формах.

АО «Органика» является активным участником системы импортозамещения, обеспечивая доступность фармацевтической помощи для граждан страны. За 10 лет работы производственный портфель предприятия пополнился 17 наименованиями лекарственных препаратов, у 2 наименований был расширен диапазон дозировок. За период 2017-2020 гг. было проведено 9 рандомизированных клинических исследований, показавших клиническую биоэквивалентность производимых заводом препаратов с референтными.

На предприятии идет непрерывное обновление производственных мощностей и введение в работу новых современных технологических линий. Ориентируясь на потребителя, АО «Органика» определяет основную цель своей деятельности в области качества: выпуск конкурентоспособной продукции, удовлетворяющей требованиям и ожиданиям наших потребителей, динамичное развитие предприятия.

Для реализации этих целей и задач нам необходимы новые кадры, новые мысли, новые люди.

СОДЕРЖАНИЕ

УГРОЗЫ БЕЗОПАСНОСТИ ИНФОРМАЦИИ, ВОЗНИКАЮЩИЕ В РАМКАХ ИНФОРМАЦИОННОГО ПОТОКА ОТ ОБЪЕКТА К ЧЕЛОВЕКУ В.С. Агеева, А.В. Набиева, Т.С. Косаченко	8
АЛГОРИТМ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ УЗЛОВ МОБИЛЬНОЙ СЕТИ В СРЕДЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ NS-3 Д.А. Баранов, А.О. Терехин, Д.С. Брагин	11
ГЕНЕРАЦИЯ ПОПУЛЯЦИИ ВЕСОВ ПРИЗНАКОВ НА ОСНОВЕ ВЗАИМНОЙ ИНФОРМАЦИИ ПРИ ПОСТРОЕНИИ НЕЧЕТКОГО КЛАССИФИКАТОРА М.Б. Бардамова	14
ОБЗОР МЕХАНИЗМОВ ЗАЩИТЫ И УЯЗВИМОСТЕЙ В МЕДИЦИНСКИХ ВЛЕ УСТРОЙСТВАХ Д.С. Беляков, Е.О. Калинин, Д.С. Брагин	17
О ВОЗМОЖНОСТИ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОГО СПЕКАНИЯ MN-ZN ФЕРРИТОВ В ФОРВАКУУМНОЙ ОБЛАСТИ ДАВЛЕНИЙ А.Х. Бшарат, А.А. Поддубнов, А.С. Климов	20
СИНТЕЗ КОРРЕКТИРУЮЩИХ ЗВЕНЬЕВ ДЛЯ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ АВТОНОМНОГО ОБЪЕКТА НА ОСНОВЕ ДВУХТРАНСФОРМАТОРНОГО ВОЛЬТОДОБАВОЧНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ И.Е. Гедзенко, В.А. Кабиров	23
ОЦЕНКА БЛАГОНАДЕЖНОСТИ СОТРУДНИКА В СИСТЕМЕ КАДРОВОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЯ С.В. Глухарева	26
РАСПОЗНАВАНИЕ СХОЖЕСТИ ИЗОБРАЖЕНИЙ В НОВОСТНОМ КОНТЕНТЕ К.Э. Горбунова, К.А. Качалов	29
ИССЛЕДОВАНИЕ ДИФРАКЦИИ СВЕТА НА МНОГОСЛОЙНЫХ НЕОДНОРОДНЫХ ГОЛОГРАФИЧЕСКИХ ФПМ ДИФРАКЦИОННЫХ СТРУКТУРАХ В УСЛОВИЯХ ФИП В.Г. Иванченко, В.О. Долгирев, Д.С. Растрьгин	32
ФОТОИНДУЦИРОВАННАЯ ПРОВОДИМОСТЬ В РДС С НАКЛОННЫМИ ДОМЕННЫМИ СТЕНКАМИ В НИОБАТЕ ЛИТИЯ ДЛЯ РАЗНЫХ ДЛИН ВОЛН А.В. Дубиков, Д.Е. Кузьмич, А.Е. Шараева	35
ВЛИЯНИЕ ТЕРМОЭЛЕКТРОННОЙ ЭМИССИИ НА ПАРАМЕТРЫ ПУЧКОВОЙ ПЛАЗМЫ, ГЕНЕРИРУЕМОЙ ПРИ ТРАНСПОРТИРОВКЕ МОЩНОГО ПУЧКА ЭЛЕКТРОНОВ В ДИАПАЗОНЕ ДАВЛЕНИЙ СРЕДНЕГО ВАКУУМА А.А. Зенин	38
ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕНЕРАЦИИ ИМПУЛЬСНОГО ЭЛЕКТРОННОГО ПУЧКА ФОРВАКУУМНЫМ ПЛАЗМЕННЫМ ИСТОЧНИКОМ НА ОСНОВЕ КОНТРАГИРОВАННОГО ДУГОВОГО РАЗРЯДА А.В. Казаков, Н.А. Панченко, А.В. Никоненко	41
АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ИЗМЕРЕНИЯ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЛИСТОВЫХ ДИЭЛЕКТРИКОВ В ОТКРЫТОМ РЕЗОНАТОРЕ Н.С. Кайро, Д.Д. Тетерина, К.В. Билинский	44
КОНТРОЛИРУЕМАЯ ВТОРИЧНАЯ ЭЛЕКТРОННАЯ ЭМИССИЯ ПРИ ОБЛУЧЕНИИ ДИЭЛЕКТРИКОВ К.И. Карпов, Д.Б. Золотухин	47
РАСПРЕДЕЛЁННЫЙ ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС АНАЛИЗА РЕЧИ И.В. Ковалев, В.И. Федосеев, А.С. Воронцов	50
МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ БЛАГОНАДЕЖНОСТИ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ПРЕДПРИНИМАТЕЛЕЙ Н.А. Козлова, А.С. Колтайс, А.О. Устинов	53
ФОТОВОЛЬТАИЧЕСКИЕ ПОЛЯ ФОТОРЕФРАКТИВНЫХ ГОЛОГРАММ НАД ПОВЕРХНОСТЬЮ МИКРОСТРУКТУРЫ $\text{LiNbO}_3:\text{Cu}$ X-СРЕЗА А.А. Колмаков, А.С. Темерева, Р.И. Анисимов	56
РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА ИЗМЕРЕНИЯ УРОВНЯ ЗАПОЛНЕНИЯ ЕМКОСТИ С ПРОМЫШЛЕННО-БЫТОВЫМИ ОТХОДАМИ А.Д. Криницкий	59

ИССЛЕДОВАНИЕ ИНИЦИИРОВАНИЯ КОНТРАГИРОВАННОГО ДУГОВОГО РАЗРЯДА В ИМПУЛЬСНОМ ФОРВАКУУМНОМ ПЛАЗМЕННОМ ИСТОЧНИКЕ ЭЛЕКТРОНОВ А.В. Казаков, А.С. Кузьмин, Н.А. Панченко	62
СОЗДАНИЕ НЕЙРОННОЙ СЕТИ ДЛЯ АНАЛИЗА ИЗОБРАЖЕНИЙ П.Ю. Лаптев, А.А. Гриценко, Н.Д. Шабанов	65
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС ИЗГОТОВЛЕНИЯ И ИССЛЕДОВАНИЕ ДИОДНЫХ ОПТОПАР А.Е. Лебединская	68
СПЕКТР ОПТИЧЕСКОГО ПРОПУСКАНИЯ КРИСТАЛЛОВ НИОБАТА ЛИТИЯ, ЛЕГИРОВАННЫХ МЕДЬЮ А.В. Михайленко, Т.А. Журин, К.П. Мельник	71
РАЗРАБОТКА ПРОГРАММЫ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКРАНИРОВАНИЯ КОРПУСА С АПЕРТУРОЙ НА ОСНОВЕ МОДУЛЯ КОЭФФИЦИЕНТА ОТРАЖЕНИЯ И.А. Онищенко	74
ИССЛЕДОВАНИЕ ПЛОТНОСТИ ПУЧКОВОЙ ПЛАЗМЫ ГЕНЕРИРУЕМОЙ, ИМПУЛЬСНЫМ ЭЛЕКТРОННЫМ ПУЧКОМ ФОРВАКУУМНОГО ПЛАЗМЕННОГО ИСТОЧНИКОМ НА ОСНОВЕ ДУГОВОГО РАЗРЯДА Н.А. Панченко, А.В. Казаков, А.В. Никоненко	77
МОДЕЛЬ АНАЛИЗА НАСТРОЕНИЙ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ САМООРГАНИЗУЮЩИХСЯ СОЦИАЛЬНЫХ СЕТЕВЫХ СТРУКТУР НА ОСНОВЕ ТЕОРИИ ГРАФОВ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ Ю.П. Перова	80
СОЗДАНИЕ МОДУЛЯ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ДЛЯ СИСТЕМЫ «ЭЛЕКТРОННОЕ ПОРТФОЛИО» Ф.Д. Пираков	83
МЕТОД ФОРМИРОВАНИЯ ТОПОЛОГИИ В РЕЗИСТИВНОЙ МАСКЕ СВЕРХ РАЗРЕШАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ПРОЕКЦИОННОЙ i-LINE ЛИТОГРАФИИ И.Ю. Проказина	86
ИССЛЕДОВАНИЕ ГАРМОНИЧЕСКОГО СОСТАВА ТОКОВ БЕСКОЛЛЕКТОРНОГО ДВИГАТЕЛЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА С ПОСТОЯННЫМИ МАГНИТАМИ Д.Е. Растрепин	89
ОПЫТ ВНЕДРЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ АВТОРАСПИСАНИЯ AVTOR В ТГПУ М.И. Рублева, Ф.Д. Пираков	92
ЦВЕТОВАЯ КОРРЕКЦИЯ RGB-ДАТЧИКА ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В ЦИФРОВОМ ЦВЕТОМЕТРИЧЕСКОМ АНАЛИЗЕ К.А. Садыхов	95
ИЗМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРОЛЮМИНЕСЦЕНТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК OLED-УСТРОЙСТВ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ТЕХНОЛОГИИ ДОПИРОВАНИЯ ЛЮМИНОФОРОВ Е.В. Сапожникова	98
ФОРМУЛИРОВАНИЕ ЦЕЛИ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ В.А. Саргин, А.А. Христолюбова	101
ВЫЯВЛЕНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ПРИЗНАКОВ ПАЦИЕНТОВ С БОЛЕЗНЬЮ ЛАЙМА И КЛЕЩЕВЫМ ЭНЦЕФАЛИТОМ Е.В. Сафронова, В.С. Сафронов	104
ГЕНЕРАЦИЯ ПРАВИЛ НЕЧЕТКОГО КЛАССИФИКАТОРА С ПОМОЩЬЮ АЛГОРИТМОВ ADP И K-MEANS М.О. Светлаков	107
LSMV АЛГОРИТМ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ИМИТАЦИОННЫХ ПОМЕХ А.А. Сенченко, А.Г. Андреев, А.Ю. Тараненко	110
СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ СКАНИРОВАНИЕМ ДЛЯ ОПТИЧЕСКОГО МИКРОСКОПА НА ОСНОВЕ АЛГОРИТМОВ МАШИННОГО ЗРЕНИЯ А.В. Степанов, А.П. Попов, А.В. Коваленко	113

АЛГОРИТМ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ УЗЛОВ МОБИЛЬНОЙ СЕТИ В СРЕДЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ NS-3 А.О. Терехин, Д.А. Баранов, Д.С. Брагин	116
УДАЛЕННАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ БАС Д.Р. Уразев	119
ИЗУЧЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАБОТЫ НЕЙРОННОЙ СЕТИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ИНТЕНСИВНОСТИ СОСЯЗАТЕЛЬНОЙ АТАКИ Я.А. Усольцев, Б.С. Лодонова, А.А. Коновалов	122
ОСОБЕННОСТИ ЗАЖИГАНИЯ ТЛЕЮЩЕГО РАЗРЯДА ЧЕРЕЗ МАЛОЕ ОТВЕРСТИЕ В ПОЛОМ КАТОДЕ БОЛЬШОГО ОБЪЕМА В.Т. Чан, А.А. Поддубнов, А.С. Климов	125
РЕКОНСТРУКЦИЯ 3D-МОДЕЛИ ФОРМЫ СТОПЫ ЧЕЛОВЕКА ПРИ ПОМОЩИ ВИДЕОКАМЕРЫ СМАРТФОНА Л.С. Шилов, С.Е. Шаньшин, А.В. Куртукова	128
ТОЧКИ ВОЗМОЖНОГО УЛУЧШЕНИЯ РОССИЙСКОЙ КАДАСТРОВОЙ СИСТЕМЫ ЗА СЧЕТ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ПРИМЕРЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЦИФРОВИЗАЦИИ В ДРУГИХ СТРАНАХ С БОЛЕЕ РАЗВИТОЙ КАДАСТРОВОЙ СИСТЕМОЙ К.В. Шишков	131

УДК 004.056.53

**УГРОЗЫ БЕЗОПАСНОСТИ ИНФОРМАЦИИ, ВОЗНИКАЮЩИЕ В РАМКАХ
ИНФОРМАЦИОННОГО ПОТОКА ОТ ОБЪЕКТА К ЧЕЛОВЕКУ**В.С. Агеева, А.В. Набиева, Т.С. Косаченко

Научный руководитель: доцент, к.т.н. А.А. Конев

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,

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

E-mail: lerunya.ageeva@mail.ru**THREATS TO THE SECURITY OF INFORMATION THAT ARISE WITHIN THE
FRAMEWORK OF INFORMATION FLOW FROM AN OBJECT TO A PERSON**V.S. Ageeva, A.V. Nabieva, T.S. Kosachenko

Scientific supervisor: Associate Professor, Ph.D. A.A. Konev

Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, Russia, Tomsk, Lenin str., 40, 634050

E-mail: lerunya.ageeva@mail.ru

Abstract. *This article focuses on the typical threats to the confidentiality, integrity, and availability of information. The threats presented in the article that arise during the transmission of information are correlated with a typical threat. As a result, the above classification can be used to describe any system.*

Введение. Появление новых технологий не только порождает новые способы атак, но и расширяет существующий перечень угроз, а, как известно, каждая угроза может быть осуществлена большим количеством различных атак. Появление новых технологий нелинейно снижает уровень защищенности существующих систем. В связи с этим на первый план выходит необходимость формирования полного перечня угроз информации, однако данная проблема не имеет простого решения. Для решения этой задачи создаются различные модели угроз, в основе которых лежат математические аппараты и информационные модели.

Цель исследования: сформировать список угроз, возникающих при передаче информации, и сопоставить их с типовой угрозой.

Материалы и методы исследования. В ходе исследования было проанализировано большое количество моделей, ниже представлены некоторые из них.

В [1] представлена узконаправленная модель, так как она используется конкретно для анализа информации о государственных и муниципальных торгах на реализацию (продажу). Данную модель очень сложно применить в других областях. В данной модели нет конкретного разграничения: направлены угрозы на информацию или на информационную систему в целом.

В статье [2] представлена типовая модель угроз безопасности персональных данных, которая применяется для информационных систем автоматизации учебного процесса. Данная модель является узконаправленной, так как в ней выявлены угрозы, направленные только на обработку персональных данных в рассмотренных информационных системах.

Можно сделать вывод о том, что существующие модели на сегодняшний день неполны, узконаправленны. Также они содержат в себе неполный спектр информации, касаемо существующих угроз.

В таблице 1 представлена классификация типовых угроз, основанная на модели информационных потоков, представленная в [3 – 4].

Таблица 1

Типовые угрозы, направленные на информацию

Свойство информации	Типовые угрозы
Конфиденциальность	<i>K1</i> – фальсификация получателя (получение конфиденциальных данных посторонним элементом); <i>K2</i> – фальсификация канала (замена санкционированного канала на несанкционированный); <i>K3</i> – управление получателем (получение конфиденциальных данных посторонним элементом из-за границ периметра санкционированного объекта); <i>K4</i> – управление каналом (замена конфиденциальных данных посторонним элементом из-за границ периметра санкционированного объекта).
Целостность	<i>C1</i> – фальсификация данных (отправление посторонних данных элементу); <i>C2</i> – изменение данных на самом носителе (наличие помех и ошибок в носителе); <i>C3</i> – деструктивное воздействие на источник (носитель) информации (постороннее негативное воздействие на источник данных); <i>C4</i> – изменение данных в процессе передачи по каналу (внедрение помех и ошибок в канале).
Доступность	<i>D1</i> – отказ канала (отсутствие доступа к данным); <i>D2</i> – перегрузка канала (частичный доступ к данным).

Результаты. В процессе исследования модели были получены угрозы для конфиденциальности, целостности и доступности информации, показанные в таблицах 2 – 4.

Проанализируем типовые угрозы для информационного потока, показанного на рисунке 1.

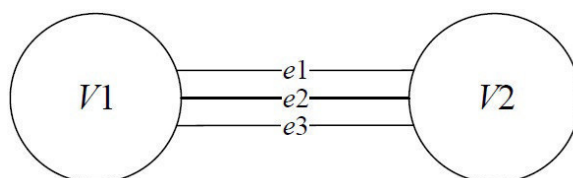


Рис. 1. Информационный поток «Объект – Человек»

Таблица 2

Примеры угроз конфиденциальности информации для приведенного информационного потока

Носитель информации	Канал передачи информации	Типовая угроза	Пример угрозы
V1 – V2 объект – человек	e1 (визуальный)	<i>K1</i>	Создание неучтенных копий документов, содержащих конфиденциальную информацию.
	e2 (акустический)	<i>K2</i>	Использование сотрудником аудио/видеоносителя вне расположения санкционированного рабочего места.
	e3 (электро-магнитная среда)	<i>K3</i>	Использование технического средства разведки для считывания конфиденциальной информации.
	e1 (визуальный)	<i>K4</i>	Подглядывание несанкционированным лицом через окна.

Таблица 3

Примеры угроз целостности информации для приведенного информационного потока

Канал передачи информации	Типовая угроза	Пример угрозы
e1 (визуальный)	C1	Наличие в воздухе слезоточивых веществ.
e2 (акустический)	C2	Фальсификация видео и аудио файлов.
e1 (визуальный)	C3	Несанкционированное повреждение документа.
e3 (электро-магнитная среда)	C4	Наличие поврежденных секторов на линии связи.

Таблица 4

Примеры угроз доступности информации для приведенного информационного потока

Канал передачи информации	Типовая угроза	Пример угрозы
e1 (визуальный)	D1	Отсутствие возможности работы с графическим интерфейсом вследствие поломки устройств ввода/вывода информации.
	D2	Некорректный вывод изображения на мониторе, вследствие неверно подобранного драйвера видеокарты.
e2 (акустический)	D1	Отсутствие акустической возможности работы с интерфейсом программы по причине выхода из строя микрофона, колонок.
	D2	Некорректная работа колонок и микрофона вследствие неверно подобранных драйверов данных устройств.
e3 (электро-магнитная среда)	D1	Выход из строя устройства ввода/вывода информации видеоплеера, музыкального проигрывателя, планшета.
	D2	Частичный выход из строя устройств ввода/вывода информации видеоплеера, музыкального проигрывателя, планшета, монитора, принтера.

Заключение. На основе модели информационных потоков были проанализированы угрозы для трех свойств информации (целостность, конфиденциальность и доступность), возникающие в момент ее передачи между четырьмя различными носителями по одному из четырех каналов. Для всех пар носителей и связывающих их каналов в общей сложности были разработаны 35 примеров угроз.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках базовой части государственного задания ТУСУРа на 2020–2022 гг. (проект № FEWM-2020-0037).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Выполнение работ в рамках реализации государственной программы Российской Федерации Информационное общество (2011-2020 годы). Модель угроз безопасности информации информационной системы «Информационная система для анализа информации о государственных и муниципальных торгах на реализацию (продажу)». Москва - 2015. – С. 107.
2. Газизов Т.Т., Мытник А.А., Бутаков А.Н. Типовая модель угроз безопасности персональных данных для информационных систем автоматизации учебного процесса // Доклады ТУСУР. – 2014. – № 2 (32). – С. 47–50.
3. Новохрестов А.К. и др. Модель угроз безопасности информации и ее носителей // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2017. – Т. 21., № 12. – С. 93–104.
4. Novokhrestov A., Konev A., Shelupanov A.A., Buymov A. Computer network threat modelling // IOP Journal of Physics: Conference Series. – 2020. – V. 1488. – Art. No. 012002.

УДК 621.396.41

**АЛГОРИТМ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ УЗЛОВ МОБИЛЬНОЙ СЕТИ В СРЕДЕ
МОДЕЛИРОВАНИЯ NS-3**

Д.А. Баранов, А.О. Терехин, Д.С. Брагин

Научный руководитель: доцент, к.т.н., А.А. Конев

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,

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

E-mail: baranov19972015@gmail.com

**ALGORITHM OF MOBILE NETWORK NODES DISTRIBUTION IN THE NS-3 SIMULATION
ENVIRONMENT**

D.A. Baranov, A.O. Terekhin, D.S. Bragin

Scientific Supervisor: Associate professor, Ph.D. A.A. Konev

Tomsk State University of System Control and Radioelectronics, Russia, Tomsk, Lenin str., 40, 634050

E-mail: baranov19972015@gmail.com

Abstract. *This article presents the result of the operation of an algorithm designed to distribute the main nodes of a mobile network to identify the conditions for the occurrence of losses during data transmission.*

Введение. Процесс всеобщей информатизации современного общества ведет к необходимости увеличения быстродействия и надежности сетей передачи данных, в частности мобильной связи. В связи с этим консорциум 3GPP разрабатывает новые стандарты мобильной связи [1, 2]. Также важной задачей остается обеспечение безопасности телекоммуникационных сетей и передаваемой в них информации [3].

Для исследования факторов, от которых зависит качество мобильной связи, активно используется имитационное моделирование [4]. Одним из распространенных симуляторов является NS-3, позволяющий производить детальную имитацию моделируемой сети. В области информационной безопасности мобильных сетей передачи данных актуальным является вопрос помехозащищенности [5]. Поэтому при моделировании возникает необходимость генерации помех и исследование их влияния. Типовой набор модулей, предназначенный для формирования сценариев моделирования, не позволяет в полном объеме рассматривать аспекты информационной безопасности телекоммуникационных систем, поэтому перед разработчиками стоит задача разработки и внедрения в симулятор дополнительных модулей.

Одним из показателей надежности канала сетей 4-го и 5-го поколения является параметр BLER. Значение данного параметра вычисляется как отношение числа блоков, содержащих ошибку, к суммарному числу блоков на приемной стороне. Другим параметром, связанным с BLER, является SINR, определяемый отношением уровня полезного сигнала в точке приема к уровню шума с учетом интерференции [6].

Для исследования событий, влияющих на надежность передачи данных, необходимо сформировать условия, приводящие к гарантированному возникновению потерь в канале. Одним из способов является ослабление уровня мощности сигнала в точке приема, а именно уменьшение значения параметра SINR, который напрямую зависит от расстояния между абонентом и базовой станцией.

Описание алгоритма. Одной из задач при моделировании сетей является распределение базовых станций и абонентов в пространстве. В качестве основы моделирования использовался проект NS-3 LENA, использующий детерминированное распределение узлов. Для приближения симуляции к реальным условиям необходимо распределять узлы случайным образом. Поэтому был разработан алгоритм, основу которого составляет размещение базовых станций в заданной прямоугольной области, а также равномерное расположение абонентов в кольце вокруг каждой базовой станции (Рис. 1).



Рис. 1. Структурная схема алгоритма распределения узлов

Первый шаг работы алгоритма заключается в вычислении прямоугольной области расстановки узлов. Позицию базовой станции определяет присвоенный ей индекс в программной среде.

Далее абоненты равномерно располагаются в области ограниченной двумя радиусами, задаваемыми в качестве базовых параметров. А получение случайного значения угла отклонения дополняет расположение в цилиндрической системе координат.

Последним этапом работы алгоритма является перевод координат из цилиндрической системы в Декартову систему координат, так как она является базовой для среды моделирования. Далее абоненты располагаются по полученным координатам (Рис. 2).

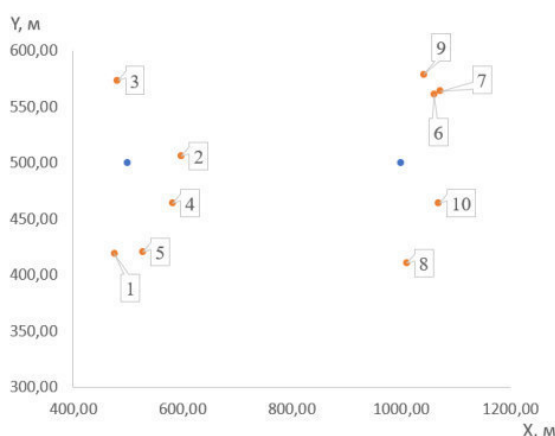


Рис. 2. Результат распределения узлов в пространстве

Результаты. После тестирования программной реализации алгоритма на предмет корректного распределения узлов в пространстве, данный модуль был внедрен в симулятор. В данном исследовании две базовые станции находились на расстоянии 500 метров друг от друга, а абоненты распределены в заданной области вокруг каждой из станций. Распределение абонентов осуществляет алгоритм, входными параметрами которого являются: координаты базовой станции и радиусы двух окружностей

($R_1 = 70$ м, $R_2 = 100$ м), ограничивающих кольцо с центром в точке нахождения базовой станции (Рис. 2). Результаты одного из экспериментов представлены в таблице 1.

Таблица 1

Результаты распределения узлов

Номер абонента	Номер базовой станции	Дистанция, м	SINR, дБ	BLER
1	1	84,470	46,193	0
2	1	98,644	45,68	0
3	1	76,085	48,015	0
4	1	84,144	45,825	0
5	2	85,825	46,584	0
6	2	96,435	45,68	0
7	2	89,432	47,761	0
8	2	77,957	48,015	0

По результатам, представленным в таблице 1, можно сделать вывод, что алгоритм корректно распределяет узлы в пространстве в соответствии с заданными границами. Нулевые значения параметра BLER демонстрируют полное отсутствие потерянных пакетов при передаче их по каналу связи. Это связано с достаточно высокими значениями SINR.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках базовой части государственного задания ТУСУРа на 2020–2022 гг. (проект № FEWM-2020-0037).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ghosh A., Maeder A., Baker M., Chandramouli D. 5G evolution: A view on 5G cellular technology beyond 3GPP release 15 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8826541>. (дата обращения: 02.12.20)
2. Технологии мобильной связи 5G: анализ и перспективы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.lastmile.su/files/article_pdf/3/article_3889_535.pdf. (дата обращения 02.12.20)
3. Новохрестов А.К., Конев А.А. Оценка качества защищенности компьютерных сетей // Динамика систем, механизмов и машин. – 2014. – № 4. – С. 85–87.
4. Феоктистов А.Г., Башарина О.Ю. Автоматизация имитационного моделирования сложных систем в распределенной вычислительной среде // Программные продукты и системы. – 2015. – № 3. – С. 75–80.
5. Шелупанов А.А., Евсютин О.О., Конев А.А., Костюченко Е.Ю., Кручинин Д.В., Никифоров Д.С. Актуальные направления развития методов и средств защиты информации // Доклады ТУСУРа. – 2017. – Т. 20., № 3. – С. 11–24.
6. 3GPP TR 38.913 V14.2.0, “Study on scenarios and requirements for next generation access technologies”, 2017 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://portal.3gpp.org/desktopmodules/Specifications/SpecificationDetails.aspx?specificationId=2996>. (дата обращения: 10.12.20)

УДК 004.021

**ГЕНЕРАЦИЯ ПОПУЛЯЦИИ ВЕСОВ ПРИЗНАКОВ НА ОСНОВЕ ВЗАИМНОЙ ИНФОРМАЦИИ
ПРИ ПОСТРОЕНИИ НЕЧЕТКОГО КЛАССИФИКАТОРА**М.Б. Бардамова

Научный руководитель: профессор, д.т.н. И.А. Ходашинский

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,

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

E-mail: 722bmb@gmail.com**GENERATION OF A POPULATION OF FEATURES WEIGHTS BASED ON MUTUAL
INFORMATION FOR CONSTRUCTING A FUZZY CLASSIFIER**M.B. Bardamova

Scientific Supervisor: Professor, Dr. I.A. Hodashinsky

Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, Russia, Tomsk, Lenin str., 40, 634050

E-mail: 722bmb@gmail.com

Abstract. *In this paper, two methods of population generation for an algorithm for tuning the weighting coefficients of features are described and investigated. Tuning weights is used as an alternative to a feature selection and provides control an importance of features when determining fuzzy inference. A combination of the gravitational search algorithm and the shuffle frog leaping algorithm is applied for the optimization.*

Введение. Отбор признаков является широко распространенным инструментом для преодоления проблемы переобучения алгоритмов классификации [1]. Отбор помогает уменьшить сложность модели путем избавления от избыточных и шумовых признаков. Но существует риск, что признаки, обладающие низкой информативностью для обучающих данных, окажутся важными при обработке новых данных, и их исключение приведет к потере полезной информации. Особенно это актуально для несбалансированных наборов данных, обладающих недостаточным для качественного обучения количеством экземпляров класса меньшинства. Для таких данных более подходящей альтернативой может служить введение весовых коэффициентов, отражающих степень важности признаков при расчете вывода модели. Малоинформативный с точки зрения обучения признак получит небольшой вес, однако не будет полностью удален из классификации, что уменьшает вероятность потери полезной информации.

Использование такого подхода ведет к необходимости разработки эффективных алгоритмов настройки весовых коэффициентов. Так как настройка весов является задачей оптимизации, для её решения можно воспользоваться метаэвристиками, способными функционировать в непрерывном пространстве поиска. Эффективность метаэвристик во многом зависит от первоначальной популяции, являющейся отправной точкой для оптимизации. Целью данной работы является исследование двух вариантов создания популяции для алгоритма настройки весов признаков: случайной генерации и генерации, основанной на взаимной информации между признаками и классами. В качестве решающего алгоритма использован нечеткий классификатор, а в роли алгоритма оптимизации – комбинация метаэвристик «гравитационный поиск» и «прыгающие лягушки».

Формирование нечеткого вывода при наличии весов признаков. В нечетком классификаторе вывод о принадлежности объекта классу строится на основе степени принадлежности этого объекта к правилам. В общем виде нечеткое правило можно представить следующим образом:

$$R_j: \text{ЕСЛИ } x_{p1} = A_{1j} \text{ И } x_{p2} = A_{2j} \text{ И } \dots \text{ И } x_{pn} = A_{nj}, \text{ ТО } y = c_j,$$

где x_{pi} – значение i -го признака входного экземпляра объекта x_p , $i \in [1; n]$, n – количество признаков, $p \in [1; inst]$, $inst$ – число экземпляров; A_{ij} – лингвистический терм, описывающий i -ый признак в j -ом правиле, $j \in [1; r]$, r – количество правил в базе классификатора; c_j – метка класса в правиле с индексом j , c_j принадлежит множеству меток $C = \{c_1, c_2, \dots, c_m\}$, m – число классов.

Степень принадлежности экземпляра объекта j -му правилу определяется по формуле:

$$\beta_j(x_p) = \prod_{i=1}^n (w_i \times \mu_{A_{ij}}(x_{pi})),$$

где w_i – вес i -го признака, $w_i \in \mathbf{w} = (w_1, w_2, \dots, w_n)$, $\mu_{A_{ij}}(x_{pi})$ – значение функции принадлежности, соответствующей лингвистическому терму A_{ij} в точке x_{pi} . Выходом для объекта x_p будет являться консеквент правила с максимальной степенью принадлежности.

Настройка весовых коэффициентов признаков. Применение гибридного алгоритма из метаэвристик «гравитационный поиск» и «прыгающие лягушки» для оптимизации параметров термов было описано в предыдущей работе [2]. Для использования такого алгоритма в задаче настройки весовых коэффициентов необходимо изменить генерацию популяции и подобрать подходящие параметры.

Популяция, состоящая из векторов весовых коэффициентов признаков, может быть сгенерирована случайным образом. При большом размере популяции такой подход может позволить широко охватить пространство поиска. Для создания случайной популяции на языке python достаточно воспользоваться функцией `random()`, которая генерирует псевдослучайные вещественные числа из промежутка $[0, 1]$.

Генерация популяции на основе взаимной информации может позволить найти оптимальную стартовую точку для дальнейшей настройки. Для расчета взаимной информации в python необходимо подключить библиотеку `sklearn` и использовать функцию `mutual_info_classif(train_x, train_y)`, где `train_x` – множество объектов классификации, `train_y` – множество соответствующих объектам меток классов. После получения значений взаимной информации для каждого признака, их необходимо нормировать для формирования вектора весов. Для генерации остальных векторов популяции на полученный вектор весов необходимо наложить случайное отклонение.

В данной работе область определения весовых коэффициентов во время генерации популяции ограничивается отрезком $[0, 1]$; во время оптимизации веса могут выходить за пределы верхней границы.

Эксперимент. Эксперимент был проведен на 26 несбалансированных наборах данных с двумя классами, хранящихся в репозитории KEEL (keel.es). В таблице 1 приведено краткое описание наборов данных: название, количество признаков F и коэффициент дисбаланса IR ; а также результаты построения классификаторов. Эксперимент проведен в соответствии со схемой пятикратной кросс-валидации. На каждой выборке осуществлялось построение классификатора алгоритмом экстремумов классов (ЭК), затем производилась оптимизация параметром термов гибридным алгоритмом (Термы), далее для настройки весов признаков использовался гибридный алгоритм с одним из исследуемых способов создания популяции (RandGen – случайная генерация, MutGen – генерация на основе взаимной информации). Результаты были усреднены по пяти выборкам и пятнадцати запускам. В качестве меры качества модели выбрана средняя геометрическая точность классификации.

Таблица 1

Средняя геометрическая точность на различных этапах построения нечеткого классификатора

Данные	<i>F</i>	<i>IR</i>	ЭК	Термы	RandGen	MutGen
glass1	9	1,8	39,4	62,3 ± 3,3	62,1 ± 3,1	63,0 ± 3,0
wisconsin	9	1,9	89,0	94,6 ± 0,8	94,9 ± 0,8	94,7 ± 0,7
pima	8	1,9	56,7	68,0 ± 1,8	68,9 ± 1,7	69,0 ± 1,7
glass0	9	2,1	68,8	69,8 ± 2,0	72,5 ± 2,1	71,5 ± 1,6
yeast1	8	2,5	46,6	65,0 ± 1,8	64,6 ± 1,9	65,7 ± 1,9
vehicle2	18	2,9	40,2	69,0 ± 2,8	71,1 ± 2,1	70,7 ± 2,3
vehicle1	18	2,9	39,5	64,0 ± 1,6	64,4 ± 1,5	64,9 ± 1,6
vehicle3	18	3,0	37,2	65,3 ± 0,9	65,3 ± 1,0	65,5 ± 0,8
glass0123vs456	9	3,2	86,2	87,7 ± 2,8	90,2 ± 1,9	88,0 ± 2,9
vehicle0	18	3,3	65,1	76,1 ± 2,9	77,9 ± 2,3	77,9 ± 2,8
segment0	19	6,0	87,6	86,1 ± 2,3	85,1 ± 4,0	89,3 ± 2,1
glass6	9	6,4	23,8	88,0 ± 1,9	89,1 ± 1,7	88,3 ± 2,4
yeast3	8	8,1	84,8	85,4 ± 1,9	84,6 ± 3,0	87,6 ± 1,5
page-blocks0	10	8,8	30,6	78,2 ± 1,6	78,0 ± 2,5	79,3 ± 1,2
yeast2vs4	8	9,1	75,6	84,8 ± 2,4	82,9 ± 2,1	84,7 ± 2,6
yeast05679vs4	8	9,4	61,3	74,6 ± 3,3	75,7 ± 2,5	75,3 ± 2,5
vowel0	13	10,0	86,5	79,7 ± 3,4	82,4 ± 2,9	81,4 ± 3,0
glass2	9	11,6	10,6	58,4 ± 6,7	59,4 ± 4,3	59,5 ± 5,3
glass4	9	15,5	23,1	79,1 ± 5,5	83,9 ± 3,7	79,8 ± 6,0
page-block13vs2	10	15,9	60,6	84,4 ± 3,7	87,8 ± 3,5	86,7 ± 3,8
yeast1458vs7	8	22,1	47,8	55,7 ± 3,1	52,6 ± 3,4	54,5 ± 4,4
yeast2vs8	8	23,1	64,1	73,3 ± 3,6	71,9 ± 4,2	74,0 ± 2,9
yeast4	8	28,1	62,7	79,5 ± 1,8	80,0 ± 1,1	80,0 ± 1,4
yeast1289vs7	8	30,6	55,2	61,7 ± 3,8	60,3 ± 5,2	61,9 ± 3,5
yeast5	8	32,7	90,2	92,7 ± 1,6	93,7 ± 1,5	93,4 ± 1,6
yeast6	8	41,4	73,4	84,3 ± 2,5	84,6 ± 1,8	84,3 ± 2,3
Среднее			57,9	75,7 ± 2,7	76,3 ± 2,5	76,6 ± 2,5

Закключение. Сравнение непараметрическим критерием Уилкоксона показало, что есть статистическое различие между результатами «Термы» и «MutGen» (асимптотическая значимость (A_3) < 0,000). Несмотря на то, что существенная разница в результатах настройки весов с различными способами создания популяции отсутствует (A_3 0,404), точность «RandGen» незначительно отличается от классификатора без весов (A_3 0,075). Таким образом, применение генерации на основе взаимной информации для используемого гибридного алгоритма выглядит чуть более предпочтительным.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №19-37-90064.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Yin L., Ge Y., Xiao K., Wang X., Quan X. Feature selection for high-dimensional imbalanced data // Neurocomputing. – 2013. – V. 105. – P. 3–11.
2. Bardamova M., Hodashinsky I. Optimization of fuzzy classifier parameters with a combination of gravitational search algorithm and shuffled frog leaping algorithm // Journal of physics: conference series. – 2020. – V. 1611. – P. 012068.

УДК 004.056.5

ОБЗОР МЕХАНИЗМОВ ЗАЩИТЫ И УЯЗВИМОСТЕЙ В МЕДИЦИНСКИХ BLE УСТРОЙСТВАХ

Д.С. Беляков, Е.О. Калинин, Д.С. Брагин

Научный руководитель: доцент, к.т.н. А.А. Конев

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,

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

E-mail: cauze4concern@yandex.ru

OVERVIEW OF SECURITY MECHANISMS AND VULNERABILITIES IN MEDICAL BLE DEVICES

D.S. Belykov, E.O. Kalinin, D.S. Bragin

Scientific Supervisor: Associate professor, Ph.D. A.A. Konev

Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, Russia, Tomsk, Lenin str., 40, 634050

E-mail: cauze4concern@yandex.ru

Abstract. *In the present study examines the security mechanisms and vulnerabilities of the Bluetooth Low Energy (BLE) protocol in the health-care environment.*

Введение. Успехи в полупроводниковой промышленности в последние четверть века позволили снизить стоимость изготовления конечных устройств, что подтолкнуло к бурному развитию такого направления как «Интернет вещей» (IoT, с англ. Internet of Things). Для реализации проекта «Интернет вещей» необходимо обеспечить связь между IoT-устройствами, питание которых, как правило, обеспечивается за счет аккумуляторной батареи. По этой причине технологии радиосвязи, используемые в IoT, должны обладать низким энергопотреблением. Одной из таких технологий является Bluetooth Low Energy (BLE). Существенным достоинством технологии BLE является доступность и низкое энергопотребление [1].

Одной из наиболее важных задач при разработке IoT-систем является обеспечение безопасного канала связи между приемо-передающими устройствами. В частности, необходимо обеспечить защиту передаваемых данных от модификации или несанкционированного доступа.

В данной статье рассматриваются основные уязвимости сетей BLE, а также методы борьбы с ними. Тема данной работы является актуальной, так как количество устройств, использующих технологию BLE, с каждым годом растет [2], а следовательно, растут и риски, связанные с обеспечением защиты передаваемых данных.

Стандарт Bluetooth Low Energy определяет два режима обеспечения безопасности [3], каждый из которых содержит в себе несколько уровней защищенности (таблица 1).

Далее рассмотрены наиболее распространенные уязвимости и атаки, которые могут быть использованы против BLE-устройств:

- Blue smacking: целью данной атаки заключается в том, чтобы перегрузить устройство избыточными пакетами и несколькими эхо-запросами, из-за которых устройство становится непригодным для использования [4];

- Blue Printing: представляет собой сбор общей информации о включенных BLE-устройствах (а именно, информация о производителе, информация о устройстве и версии ПО) [4];
- Mac spoofing attack: атака представляет собой подмену адреса устройства злоумышленником с целью перехвата передаваемых данных [5];
- Secure Simple Pairing Attack: атака позволяет заставить устройство использовать механизм защиты «режим безопасности 1 с уровнем 1» (таблица 1) для исполнения атаки типа «человек посередине» (MITM, с англ. Men In The Middle) [6].

Таблица 1

Режимы безопасности BLE

Режим безопасности	Уровень
Режим безопасности 1	Уровень 1: Отсутствие защиты (нет аутентификации и шифрования)
	Уровень 2: Непроверенное сопряжение с шифрованием
	Уровень 3: Проверенное сопряжение с шифрованием
	Уровень 4: Проверенное безопасное сопряжение со связыванием и шифрованием
Режим безопасности 2	Уровень 1: Непроверенное сопряжение с подписыванием данных
	Уровень 2: Проверенное сопряжение с подписыванием данных

Экспериментальная часть. Для демонстрации уязвимостей BLE-устройств был рассмотрен процесс обмена данными между фитнес-браслетом марки GSMIN WR41 с функцией измерения артериального давления и пульса и смартфоном под управлением операционной системы Android. Взаимодействие смартфона с браслетом происходило по протоколу BLE 4.0 посредством официального приложения Wearfit. В качестве атакующего устройства использовался nRF-Sniffer, предназначенный для мониторинга bluetooth-трафика. В качестве анализатора трафика использовалась программа Wireshark. В ходе обмена данными между браслетом и смартфоном nRF-Sniffer осуществлял перехват трафика, который впоследствии анализировался программой Wireshark (рис. 1).

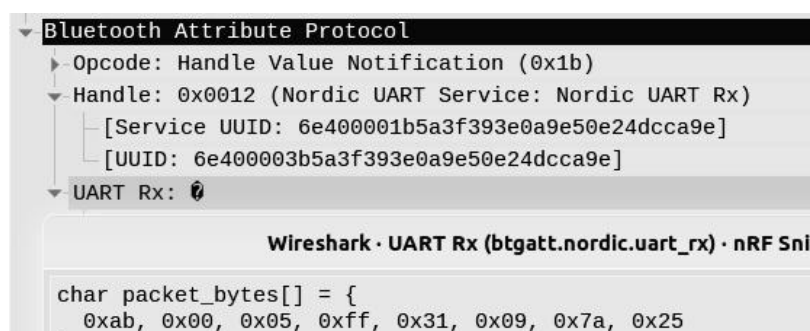


Рис. 1. Информация о пульсе в открытом виде

Результаты. После анализа трафика, передаваемого между браслетом и смартфоном, было выявлено, что обмен данных происходит в открытом виде, и никакие механизмы защиты информации не применяются, что соответствует «режиму безопасности 1 с уровнем 1» (таблица 1). Также было установлено, что в браслете при связывании не используются средства ввода/вывода, необходимые для защиты от атаки MITM. Это

позволяет злоумышленнику разорвать соединение между смартфоном владельца и браслетом, подключиться к браслету и получить несанкционированный доступ к хранимым данным.

Заключение. В ходе проведенного исследования было выявлено, что не все BLE-устройства, представленные на рынке, обеспечивают защиту передаваемых данных. Несмотря на то, что спецификация BLE регламентирует правила обеспечения защиты передаваемых данных, она не требует их соблюдения в явном виде. В связи с этим можно сделать вывод о том, что одного только поиска уязвимостей в защищенных протоколах связи недостаточно: необходимо повсеместное внедрение этих протоколов в готовые устройства на этапе разработки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Zhang Y., Weng J., Dey R., Jin Y., Lin Z., Fu X. On the (In)security of Bluetooth Low Energy One-Way Secure Connections Only Mode. 2019. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.researchgate.net/publication/335462608_On_the_Insecurity_of_Bluetooth_Low_Energy_One-Way_Secure_Connections_Only_Mode. (дата обращения: 01.02.2021).
2. Review of Bluetooth Low Energy (BLE) Solutions [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://predictabledesigns.com/review-of-bluetooth-low-energy-ble-solutions/>. (дата обращения 20.01.2021)
3. Bluetooth core specification version 5.1. 2019. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.bluetooth.com/bluetooth-resources/bluetooth-core-specification-v5-1-feature-overview/>. (дата обращения 20.01.2021)
4. Zubair M., Unal D., Al-Ali A., Shikfa A. Exploiting Bluetooth Vulnerabilities in e-Health IoT Devices. 2019. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.researchgate.net/publication/334524460_Exploiting_Bluetooth_Vulnerabilities_in_e-Health_IoT_Devices. (дата обращения 20.01.2021)
5. Lonzetta A.M., Cope P., Campbell J., Mohd B.J., Hayajneh T. Security Vulnerabilities in Bluetooth Technology as Used in IoT. Journal of Sensor and Actuator Networks. 2018. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.researchgate.net/publication/326511381_Security_Vulnerabilities_in_Bluetooth_Technology_as_Used_in_IoT. (дата обращения 20.01.2021)
6. Padgett J., Bahr J., Batra M., Holtmann M., Smithbey R., Chen L., Scarfone K. NIST Special Publication // Guide to Bluetooth Security. 2017. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.researchgate.net/publication/329973291_NIST_Special_Publication_800-121_Revision_2_Guide_to_Bluetooth_Security. (дата обращения 20.01.2021).

УДК 537.52

**О ВОЗМОЖНОСТИ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОГО СПЕКАНИЯ MN-ZN ФЕРРИТОВ
В ФОРВАКУУМНОЙ ОБЛАСТИ ДАВЛЕНИЙ**А.Х. Бшарат, А.А. Поддубнов, А.С. Климов

Научный руководитель: профессор, д.т.н. А.С. Климов

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,

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

E-mail: klimov@main.tusur.ru**ON THE POSSIBILITY OF ELECTRON-BEAM SINTERING OF MN-ZN FERRITES IN THE
FOREVACUUM PRESSURE REGION**A.Kh. Bsharat, A.A. Poddubnov, A.S. Klimov

Scientific Supervisor: Prof., Dr. A.S. Klimov

Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, Russia, Tomsk, Lenin str., 40, 634050

E-mail: klimov@main.tusur.ru

Abstract. *In the present study, we used an electron beam to sinter manganese-zinc ferrites. Ferrite was made from powder and pressed into samples in the form of disks. An electron beam with a power of 150 W irradiated the surface of the samples in a vacuum at a pressure of 10 Pa. In the study of the surface using a scanning electron microscope, both sintered and non-sintered regions were present in the sample volume after irradiation. Elemental analysis showed a significant difference in the zinc content on the irradiated and non-irradiated sides.*

Введение. Ферриты относятся к полупроводниковым материалам, имеющим большое технологическое значение. Высокое удельное сопротивление ферритов делает их пригодными для применения в микроэлектронике. В последнее время большое внимание уделяется разработке материалов с улучшенными микроволновыми свойствами для беспроводных коммуникационных технологий, таких как мобильные телефоны, интеллектуальные транспортные системы (ИТС), сверхскоростная беспроводная локальная сеть и спутниковая широкополосная связь. Диэлектрические свойства ферритов зависят от нескольких факторов, таких как способ получения, химический состав и структура или размер зерен [1]. Марганец-цинковые ферриты являются магнитомягкими материалами, которые применяются в качестве магнитопровода для изделий, работающих в слабых синусоидальных магнитных полях в диапазоне частот до 0,45 мГц. Такие ферриты предназначены для изготовления дросселей, катушек индуктивности и других для работ в элементах радиоэлектронной аппаратуры и аппаратуры связи. Поскольку на свойства ферритов влияют методы их синтеза, многие исследователи получают марганец цинковые ферриты золь-гель методом [2], керамическим методом [3], гидротермальной техникой [4], методом соосаждения [5], методом принудительного гидролиза [6] и другими. Разнообразие методов получения ферритов позволяет получать ферриты с несколькими различными свойствами. Одним из новых методов синтеза материалов по керамической технологии является электронно-лучевое спекание в форвакуумном диапазоне давлений. Использование узкофокусированного электронного пучка [7], распространяющегося при относительно высоких

давлениях позволяет спекать керамические и металлокерамические образцы [8]. О применении электронного пучка для спекания ферритов в форвакуумной области давлений ранее не сообщалось.

Цель настоящей работы - исследование возможности электронно-лучевого спекания Mn-Zn ферритов, предварительно спрессованных из крупнозернистых порошков такого же состава.

Материалы и методы исследования. В качестве исходного материала для спекания были использованы ферритовые кольца марки НМ2000. Кольца измельчались ручным методом и просеивались через несколько мелкоячеистых сеток. После измельчения полученный порошок состоял из зерен с размерами не более 20 мкм. Для исследования микроструктуры исходных порошков, структуры поверхности образцов после спекания, а также элементного состава использовался растровый электронный микроскоп Hitachi TM-1000 оснащенный системой энергодисперсионного анализа. Из порошка методом изостатического одноосного прессования изготавливались образцы в виде дисков диаметром 10 мм и толщиной 3 мм.

Электронно-лучевое спекание осуществлялось в остаточной атмосфере вакуумной камеры. Для спекания использовалась электронно-лучевая вакуумная установка, оснащенная форвакуумным плазменным электронным источником. Источник позволял создавать пучок электронов с энергией до 20 кэВ и током 100 мА, диаметр пучка составлял 0,5 мм. Спекемый образец размещался в вакуумной камере на держателе из тугоплавкого материала. Держатель устанавливался на расстоянии 30 см от электронного источника на его оси. Для равномерного прогрева использовалась развертка электронного пучка по квадрату с размерами сторон больше диаметра образца. Мощность электронного пучка повышалась в течение 20 минут для более равномерного прогрева всего объема феррита. Затем при достижении температуры поверхности феррита 1250 градусов нагрев прекращался и при этой температуре образец выдерживался в течение 10 минут. Температура поверхности контролировалась инфракрасным пирометром Raytek 1NM с диапазоном измерения 550-3000 °С.

Результаты работы и анализ. В результате электронно-лучевого воздействия был получен образец феррита с несколько неоднородной структурой. Поверхность, подвергаемая облучению, оказалась более плотной, в то время как обратная сторона содержала не спеченные частицы, которые легко отделялись от нее, рис. 1.

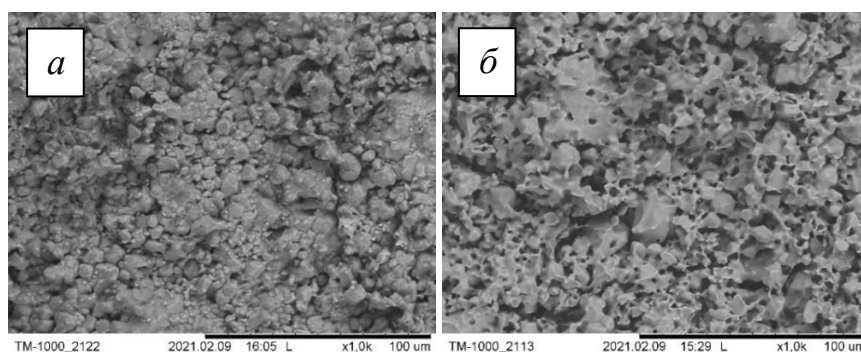


Рис. 1. Поверхность не облученной а и облученной б стороны образца

В таблице 1 представлен элементный состав исходного феррита марки НМ2000 и элементный состав облученной и необлученной сторон феррита.

Таблица 1

Элементный состав феррита марки HM2000

Element	Исходный norm. C[wt.%]	облученной norm. C[wt.%]	необлученной norm. C[wt.%]
Fe	59,97	79,55	62,79
Mg	17,52	16,57	17,58
Zn	13,33	-	12,26
O	9,13	3,88	7,37

Исследование элементного состава облученной и необлученной сторон образца показало существенное различие в содержании Fe, Zn, Mn и O. На стороне, подвергнутой облучению основными элементами, были железо, марганец и небольшое содержание кислорода. Цинк отсутствовал или был меньше ошибки определения. Не облученная сторона содержала все элементы исходного порошка.

Закключение. В результате проведенных исследований был получен спеченный образец марганец-цинкового феррита. Элементный состав феррита оказался зависящим от расположения под электронным пучком. Облученная сторона полностью потеряла цинк за счет высокой температуры спекания. На необлученной стороне наблюдается незначительно снижение содержания цинка и кислорода по сравнению с составом исходного порошка. Последнее обстоятельство указывает на возможность электронно-лучевого спекания ферритов, однако требуется тщательный подбор режимов спекания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Hashim M., Alimuddin, Kumar S., Koo B.H., Shirsath S.E., Mohammed E.M., Shah J., Kotnala R.K., Choi H.K., Chung H., Kumar Ravi, Structural, electrical and magnetic properties of Co-Cu ferrite nanoparticles // J. Alloys and Compds. – 2012. – V.518. – P. 11-18.
2. Максимов А.И., Мошников В.А., Таиров Ю.М., Шилова О.А. Основы золь-гель технологии нанокompозитов. 2-е издание. СПб.: ООО “Техномедиа”. Изд-во “Элмор”, 2008.
3. Petrescu L. G. et al. Magnetic Properties of Manganese-Zinc Soft Ferrite Ceramic for High Frequency Applications //Materials. – 2019. – V. 12., №. 19. – P. 3173.
4. Rozman M., Drofenik M. Hydrothermal synthesis of manganese zinc ferrites //Journal of the American Ceramic Society. – 1995. – V. 78., №. 9. – P. 2449-2455.
5. Szczygieł I., Winiarska K., Sobianowska-Turek A. The study of thermal, microstructural and magnetic properties of manganese–zinc ferrite prepared by co-precipitation method using different precipitants //Journal of Thermal Analysis and Calorimetry. – 2018. – V. 134., №. 1. – P. 51-57.
6. Ammar S. et al. Magnetic properties of zinc ferrite nanoparticles synthesized by hydrolysis in a polyol medium //Journal of Physics: Condensed Matter. – 2006. – V. 18., №. 39. – P. 9055.
7. Bakeev Yu.I., Klimov A.S., Oks E.M., Zenin A.A. Generation Of High-Power-Density Electron Beams By A Forevacuum-Pressure Plasma-Cathode Electron Source // Plasma Sources Science and Technology. – 2018. – V. 27., № 7. – P. 075002.
8. Казаков А.В., Климов А.С., Зенин А.А. Электронно-Лучевой Синтез Диоксидциркониевой Керамики. Доклады ТУСУРа. – 2012. – № 2-2 (26). – С. 186-189.

УДК 681.5.017

**СИНТЕЗ КОРРЕКТИРУЮЩИХ ЗВЕНЬЕВ ДЛЯ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ
АВТОНОМНОГО ОБЪЕКТА НА ОСНОВЕ ДВУХТРАНСФОРМАТОРНОГО
ВОЛЬТОДОБАВОЧНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ**

И.Е. Гедзенко, В.А. Кабиров

Научный руководитель: профессор, к.т.н. В.Д. Семенов

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,

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

E-mail: gedzenkoie@gmail.com

**SYNTHESIS OF COMPENSATOR FOR THE POWER SUPPLY SYSTEM OF AN
AUTONOMOUS OBJECT BASED ON A TWO-TRANSFORMER BOOSTER CONVERTER**

I.E. Gedzenko, V.A. Kabirov

Scientific Supervisor: Prof., Ph.D. V.D. Semenov

Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, Russia, Tomsk, Lenin str., 40, 634050

E-mail: gedzenkoie@gmail.com

Abstract. The article presents a method for the synthesis of a correcting device for a booster two-transformer converter using the Matlab software package.

Введение. В работе [1] нами был представлен двухтрансформаторный вольтдобавочный преобразователь (ДТВДТ) и обоснованы перспективы его применения в системе электропитания (СЭП) автономного объекта. Структурная схема СЭП автономного объекта на основе ДТВДТ с замкнутой обратной связью показана на рисунке 1. Данный тип обратной связи относится к двухконтурной системе автоматического регулирования (САР) с подчиненным способом управления. Способы синтеза и настройки корректирующих звеньев для линейных САР хорошо изучены и широко применяются [2], однако для нелинейных объектов с импульсным управлением, к которым относится рассматриваемая система, данные способы подробно нигде не представлены, поэтому эти вопросы являются актуальными.

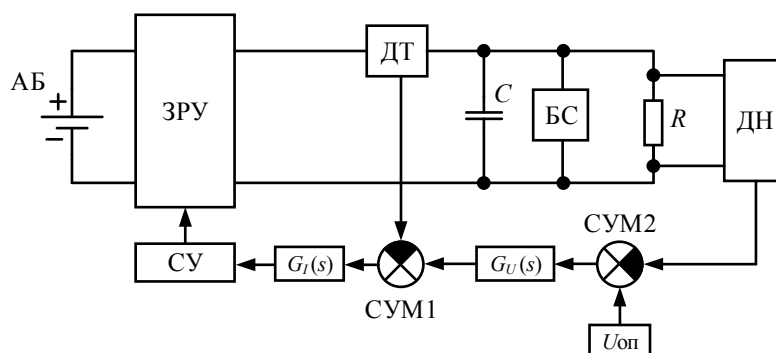


Рис. 1. Структурная схема электропитания автономного объекта

Мощным инструментом при решении поставленных задач является программа Matlab Simulink, которая по имитационной модели импульсного преобразователя позволяет в несколько этапов осуществить данный синтез. Первым этапом синтеза представленной САР является идентификация передаточной функции разомкнутого контура тока. В программе Matlab Simulink идентифицировать передаточную функцию можно по известным точкам ЛАЧХ и ЛФЧХ. Данные точки можно получить методом синусоидальной волны [3] с помощью инструмента Frequency response estimation [4]. Для этого необходимо предварительно разорвать цепи обратных связей по току и напряжению, постоянным сигналом на входе модулятора ШИМ установить заданный уровень выходного напряжения, далее указать точку входного воздействия, в нашем случае это вход модулятора ШИМ и выхода (датчик тока), после чего задать параметры синусоидального воздействия. По полученным точкам частотных характеристик функцией МАТЛАБ-tfest [5] идентифицируется передаточная функция. В качестве аргументов функции tfest передается ожидаемое количество полюсов и нулей передаточной функции, которое можно легко определить графическим способом, путем сравнения ЛАЧХ и ЛФЧХ идентифицированной передаточной функции с полученными точками. По идентифицированной передаточной функции с помощью инструмента ControlSystemDesigner [6] определяется требуемое последовательное КЗ $G_I(s)$, обеспечивающее достижение желаемой ЛАЧХ и ЛФЧХ разомкнутого токового контура. Далее контур тока с помощью сумматора СУМ1 замыкается обратной связью и аналогичным способом определяется передаточная функция разомкнутого контура по напряжению, в который, соответственно, входит замкнутый «внутренний» контур тока, и находится КЗ $G_U(s)$.

Экспериментальная часть. Для исследования представленной выше системы в программе Matlab Simulink была собрана имитационная модель со следующими параметрами: мощность нагрузки 1200 Вт, входное напряжение аккумуляторной батареи 60 В и выходное напряжение 100 В, с диапазоном изменения тока солнечной батареи от 0 до 16 А. На имитационной модели исследуется поведение выходного напряжения при скачкообразном изменении тока БС, что, например, соответствует выходу БС из зоны затмения в солнечную зону и наоборот. Корректирующее устройство для $G_I(s)$ и $G_U(s)$ состоит из пропорционального, форсирующего и интегрального звеньев.

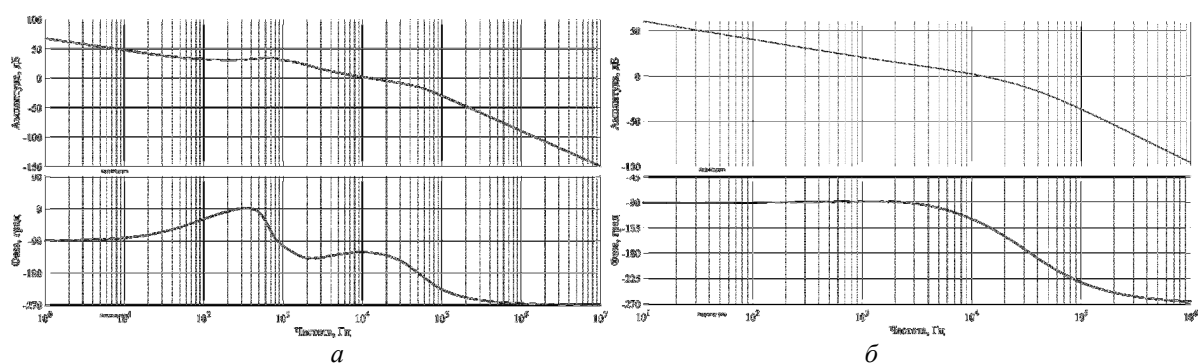


Рис. 2. Частотные характеристики разомкнутого скорректированного контура тока (а)
и напряжения (б)

Результаты моделирования. На рисунке 3 представлены осциллограммы наброса/сброса тока БС и напряжение на нагрузке. В момент наброса тока БС наблюдается выброс напряжения на нагрузке

величиной 0,8 В, а при сбросе – 1 В, при этом время переходного процесса в обоих случаях составляет примерно 10 мс, что является допустимым.

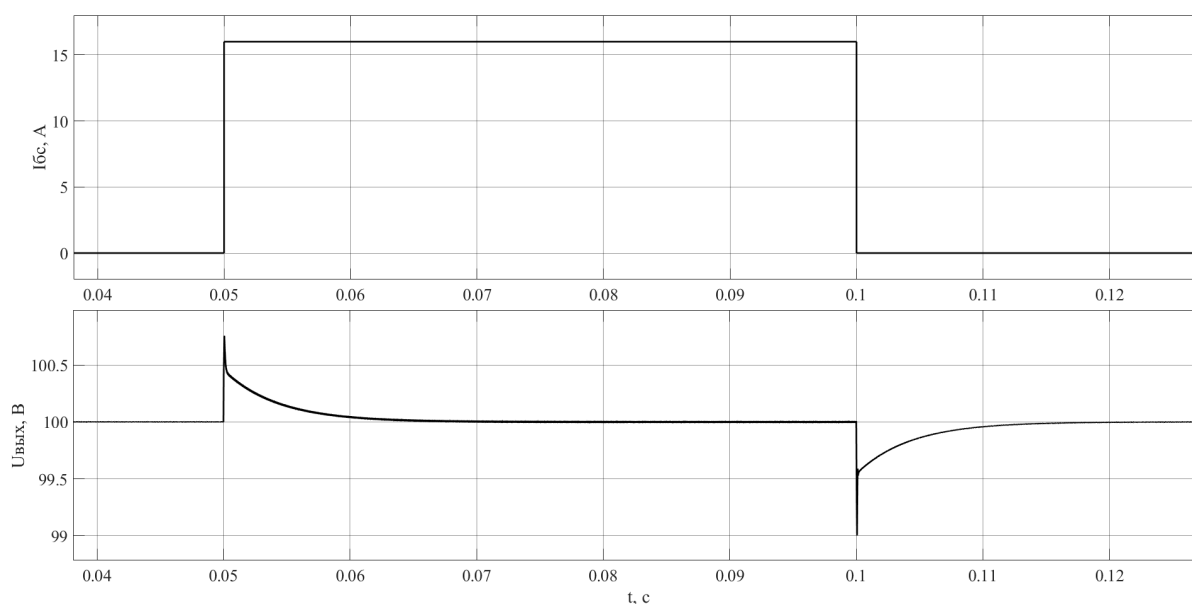


Рис. 3. Осциллограммы тока солнечной батареи, тока аккумуляторной батареи и выходного напряжения

Заключение. Продемонстрированный в статье способ синтеза корректирующих звеньев подходит для любых преобразователей с импульсным управлением.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гедзенко И.Е. Двухтрансформаторный вольтодобавочный преобразователь с реверсированием тока нагрузки / И.Е. Гедзенко, В.А. Кабиров, В.Д. Семенов // Сборник избранных статей научной сессии ТУСУР, Томск, 13–30 мая 2020 г.: в 2 частях. – Томск: В-Спектр, 2020. – Ч. 1. – С. 186–190.
2. Слежановский О.В. Системы подчиненного регулирования электроприводов переменного тока с вентильными преобразователями / О.В. Слежановский, Л.Х. Дацковский, И.С. Кузнецов [и др.]. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 256 с.
3. Семенов А.Д. Идентификация объектов управления: учеб. пособие / А.Д. Семенов, Д.В. Артамонов, А.В. Брюхачев. – Пенза: Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2003. – 211 с.
4. Frequency Response Estimation Basics [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.mathworks.com/help/slcontrol/ug/what-is-a-frequency-response-model.html> (Дата обращения: 26.02.2021).
5. Estimate transfer function [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.mathworks.com/help/ident/ref/tfest.html> (Дата обращения: 26.02.2021).
6. Getting Started with the Control System Designer [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.mathworks.com/help/control/ug/getting-started-with-the-control-system-designer.html> (дата обращения: 26.02.2021).

УДК 65.012.23

**ОЦЕНКА БЛАГОНАДЕЖНОСТИ СОТРУДНИКА В СИСТЕМЕ
КАДРОВОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЯ**С.В. Глухарева

Научный руководитель: профессор, д.т.н. А.А. Шелупанов

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,

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

E-mail: samantases@mail.ru, gsv@fb.tusur.ru**ASSESSMENT OF EMPLOYEE RELIABILITY IN THE HUMAN RESOURCES OF THE
ENTERPRISE**S.V. Glukhareva

Scientific Supervisor: Professor, Dr. A.A. Shelupanov

Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, Russia, Tomsk, Lenin str., 40, 634050

E-mail: samantases@mail.ru, gsv@fb.tusur.ru

Abstract. *The paper provides an assessment of the employee's reliability in the personnel security system of the enterprise. The analysis of existing solutions in various industries is carried out. The stages of assessment and levels of trustworthiness are shown.*

Введение. В настоящее время существует большое количество методов по оценке персонала, кроме них появляются и автоматизированные информационные системы, например программный продукт К-Фактор (HR1) израильской компании Nemesysco [1], но в то же время, проблема кадров остается очень острой [2]. Существуют такие проблемы, как: несоответствие квалификации сотрудников предъявляемым к ним требованиям, ошибки в планировании ресурсов персонала, недостаточная квалификация сотрудников, уход квалифицированных сотрудников, поверхностная проверка кандидатов при приеме на работу, несоответствие методики оценки персонала занимаемой должности. Существующие методики не позволяют дать полную оценку кандидата. Следовательно, необходима новая методика, которая должна отражать не только особенности и специфику компании, но и особенности функционала каждой конкретной должности в организации.

Экспериментальная часть. Разработанная в рамках рекомендательной системы кадровой безопасности предприятия методика основана на составление профиля компетенций для каждой конкретной должности [3]. Структура компетенций включает в себя следующие основные блоки: личные, профессиональные, корпоративные, безопасности, специальности, будущего, поведенческие, социально-психологические, успешности. Данная система представляет собой программный комплекс, состоящий из трех модулей: анкетирование, тестирование и кейсы. По итогам прохождения каждого модуля определяется уровень благонадежности.

В общем виде этапы оценки уровня благонадежности представлены следующей схемой, которая изображена на рисунке 1.

Градации оценки делятся на «высокий», «средний» и «низкий» уровень благонадежности. Коэффициент «высокого» уровня находится в диапазоне от 0,75 до 1, «средний» от 0,45 до 0,74, и «низкий» соответственно от 0 до 0,44 (рисунок 2).

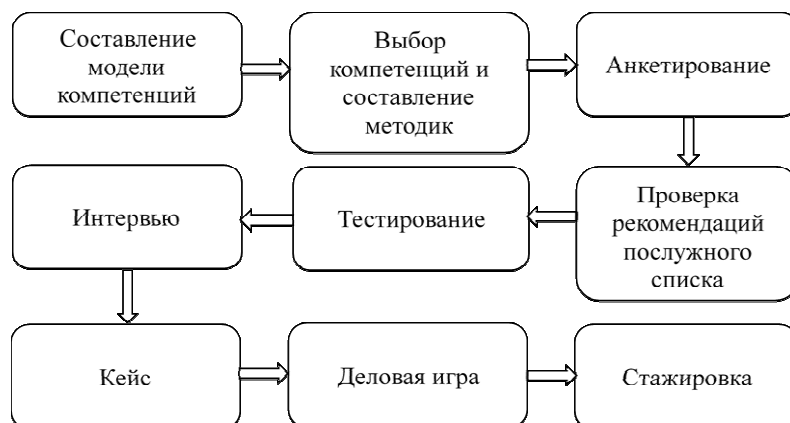


Рис. 1. Этапы оценки уровня благонадежности

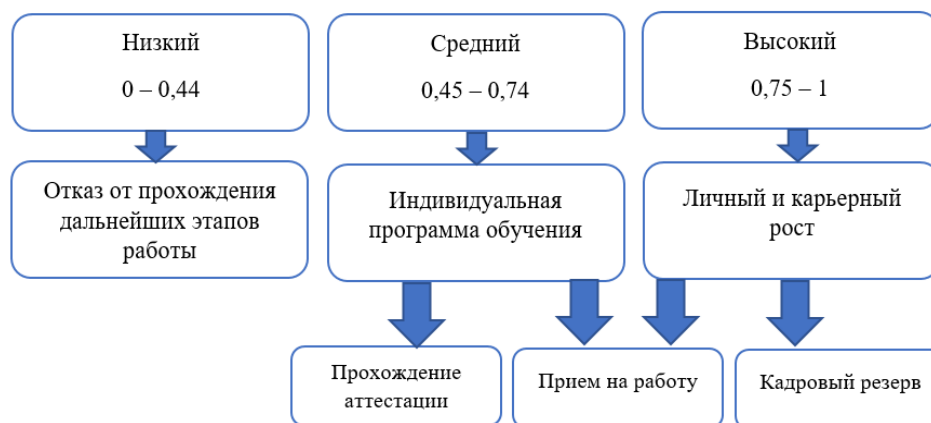


Рис. 2. Уровни благонадежности в рекомендательной системе кадровой безопасности предприятия

Для обеспечения кадровой безопасности сотрудникам необходим средний и высокий уровень благонадежности.

Результаты. Данная методика была апробирована на предприятиях коммерческого сектора. Для сравнения с существующими методиками на предприятиях была применена методика оценки уровня благонадежности сотрудников в системе кадровой безопасности предприятия. За три года в оценке приняли участие 585 сотрудников предприятий коммерческого сектора.

Вначале экспертным путем определяли значимость критериев. Значимость определяем от 0 до 1. Чем больше значение к 1, тем более значим критерий (таблица 1). Число экспертов определяется путем зависимости между наличием оцениваемых элементов по упрощенной формуле $m = \sqrt{n} = \sqrt{12} \approx 3,4 = 3$ человека.

Коэффициент конкордации Кендалла (W) равен 0,6 и говорит о наличии средней степени согласованности мнений экспертов. Оценка уровня благонадежности в рамках системы кадровой безопасности предприятия показала то, что большинство сотрудников предприятий имеют уровень благонадежности «средний» и «высокий».

Оценка в рамках системы кадровой безопасности по сравнению с существующими методиками оценки на предприятиях, является полной, в ней учитывается 9 типов компетенций, а не 2 типа.

Таблица 1

Значимость критериев

<i>t</i>	Критерий	Значимость на предприятиях	Значимость в рамках кадровой безопасности	Значимость от независимого эксперта
<i>tt1</i>	Образование	1	1	1
<i>tt2</i>	Стаж работы по специальности	1	1	1
<i>tt3</i>	Личные компетенции	0,8	1	1
<i>tt4</i>	Профессиональные компетенции	0,8	1	1
<i>tt5</i>	Специальные компетенции	0	1	0
<i>tt6</i>	Поведенческие компетенции	0,5	1	0
<i>tt7</i>	Социально-психологические	0	1	0,5
<i>tt8</i>	Корпоративные компетенции	0,3	1	0
<i>tt9</i>	Компетенции безопасности	0,1	1	0
<i>tt10</i>	Компетенции будущего	0	1	0
<i>tt11</i>	Компетенции успешности	1	1	1
<i>tt12</i>	Уровень благонадежности	0	1	0

Заключение. На основании результатов по двум методикам можно сделать вывод, что система кадровой безопасности предприятия включает в себя совокупность многофакторных показателей с высоким уровнем валидности и прогностической надёжности. Существующие методики на предприятиях недостаточно полные для оценки благонадежности сотрудников. Данная система позволит минимизировать риски, связанные с неквалифицированным персоналом, уменьшить временные ресурсы по сбору полной и достоверной информации о кандидате, а также оптимизировать процесс принятия решения о выборе подходящей кандидатуры, отвечающие требованиям кадровой безопасности предприятия. Данная методика была апробирована на предприятиях коммерческого сектора. В дальнейшем планируется провести апробацию на предприятиях, имеющих объекты критической информационной инфраструктуры.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кадровая система проверки и оценки персонала [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.akvilona.ru/brands/nemesysco/description/mod5742096088.html>. (дата обращения: 25.02.2021)
2. Шегельман И.Р., Рудаков М.Н. Кадровая безопасность [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.twirpx.com/file/671960/>. (дата обращения: 25.02.2021)
3. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2019616940, 30.05.2019. Система кадровой безопасности предприятия / Глухарева С.В., Шелупанов А.А., Мареева Е.В., Абросимова М.Е., Еременко А.С., Мальцев В.Е. – Заявка № 2019616011 от 24.05.2019.

УДК 004.932.2

РАСПОЗНАВАНИЕ СХОЖЕСТИ ИЗОБРАЖЕНИЙ В НОВОСТНОМ КОНТЕНТЕ

К.Э. Горбунова, К.А. Качалов

Научный руководитель: доцент каф. БИС, к.т.н. С.С. Харченко

Томский университет систем управления и радиоэлектроники,

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

E-mail: vyt_21624@mail.ru

IMAGE SIMILARITY RECOGNITION IN NEWSLETTER

K.E. Gorbunova, K.A. Kachalov

Scientific Supervisor: associate professor of ISS, Ph.D. S.S. Harchenko

Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, Russia, Tomsk, Lenin str., 40, 634050

E-mail: vyt_21624@mail.ru

Abstract. *The paper considers the process of studying, implementing and testing the algorithm for recognizing the similarity of images in news content.*

Введение. Много ли у нас времени? По статистике средняя продолжительность жизни человека составляет 78 лет. Из них: 28 лет мы тратим на сон, 10,5 лет на работу, 3,5 года на учёбу и целых 9 лет на просмотр ТВ и интернет. Очевидно – век человека слишком скоротечен. Начинаешь задумываться, а хочешь ли ты тратить драгоценное время впустую. Если обратить внимание на статистику ещё раз, можно заметить, что 9 лет человек тратит на ТВ и интернет. Как известно, глобальная сеть – очень коварное место, где существуют тысячи сообществ, каждый день публикующих огромное количество статей, которые не всегда носят авторский характер. Среднестатистический человек следит сразу за несколькими такими порталами. Дабы исключить плагиат существуют различные алгоритмы распознавания схожести текстовой информации и изображений. На последнем мы и заострим внимание.

Экспериментальная часть. Первый алгоритм (базируется на магистерской диссертации Zauner С. [1], но с учётом доработок [2]) заключается в том, чтобы записать в массив разницу между каждыми i -м и $(i + 1)$ -м пикселем. Таким образом этот массив и есть хеш для нашего изображения (при необходимости можно привести его в строковый вид). То есть, основываясь на этом, мы полагаем, что наше изображение – это не набор пикселей определенного цвета, а совокупность разностей между этими пикселями. Порядок действий алгоритма: 1. уменьшает изображение до размеров 8 на 8 пикселей; 2. создаёт массив для цветов; 3. проходится по каждому пикселю изображения, и из каждого его цветового канала вычитается соответствующее значения канала предыдущего пикселя (перед этим значения каналов пропорционально уменьшаются при верхнем лимите равным 9). Для того чтобы сравнить изображение, нужно найти разницу между двумя этими массивами. Максимальная разность может составлять: $63 \times 3 \times 9 = 1701$, где 63 это количество сравнений между 64 пикселями, 3 количество цветовых каналов: красный, зеленый, синий, 9 это максимальное преобразованное значение канала. Соответственно процентное соотношение значения «схожести» можно представить в виде формулы: $n = 100 \times (1 - \text{разница массивов}/1701)$). Второй алгоритм заключается в следующем (за основу взята

статья «Простое сравнение изображений с помощью PHP» [3]): 1. изображение уменьшается до размера 20 на 20 пикселей; 2. для этого квадрата вычисляется средний цвет; 3. создается массив разницы цвета для каждого пикселя со средним цветом; 4. после чего массив разности цветов приводится к строковому виду. Для того чтобы сравнить изображение, нужно найти разницу между двумя этими строками. Третий алгоритм основывается на следующем: хеши изображений позволяют понять, если два изображения выглядят практически одинаково. Это отличается от таких классических алгоритмов хеширования, как md5 или sha256, где даже малейшие изменения в изображении дают совершенно другое значение. Примером этому является контрольная сумма файла (за основу взята статья «Looks-Like-It» [4]). Сверяя “отпечатки” изображений необходимо, чтобы похожие изображения также давали нам похожие друг на друга хеши. Используется хеш восприятия (perception hashing) сокращено pHash [1]. В алгоритме выделяют следующие действия (наглядный пример продемонстрирован на рис. 1.): 1. сначала изображение сжимается до размера 32 на 32 пикселя. Это необходимо чтобы упростить преобразования и сложность вычислений; 2. цветовая палитра уменьшается до оттенков серого; 3. потом дискретное косинусное преобразование разделяет изображение в коллекцию частот и скаляров размером 32 на 32 [5]; 4. из коллекции величин размером 32 на 32 отбирают верхний левый квадрат 8 на 8, который представляет собой наименьшие частоты на изображении; 5. считается средний хеш от квадрата значений; 6. после каждое значение матрицы 8 на 8 упрощается до 0 или 1 в зависимости от того, больше оно или меньше рассчитанного среднего хеша; 7. после эти 64 бита конвертируются в 64 битную целочисленную переменную. Для сравнения двух изображений высчитывается разница между их хешами [6]. Чем меньше это значение по модулю, тем похожи они между собой.

Результаты. Для тестирования алгоритмов была сформирована совокупность, объемом в сто изображений, специальных групп изображений с небольшими отличиями друг от друга (пример группы изображений представлен на рис. 1 и рис. 2). На рис. 3 представлено отображение распределения количества пар изображений на основе процента схожести.

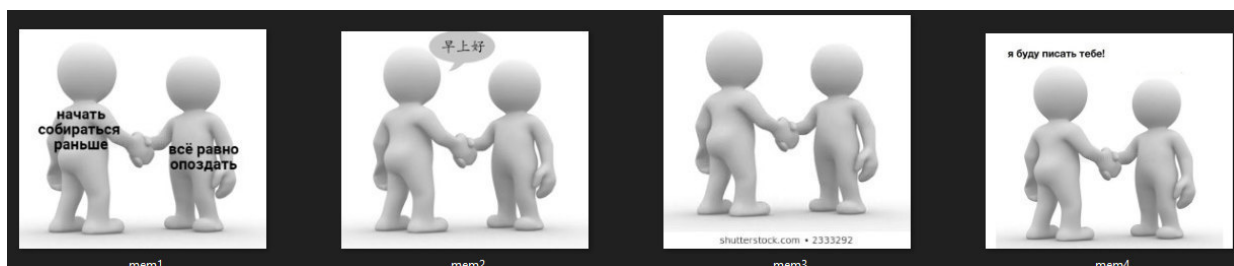


Рис. 1. Группа изображений № 1

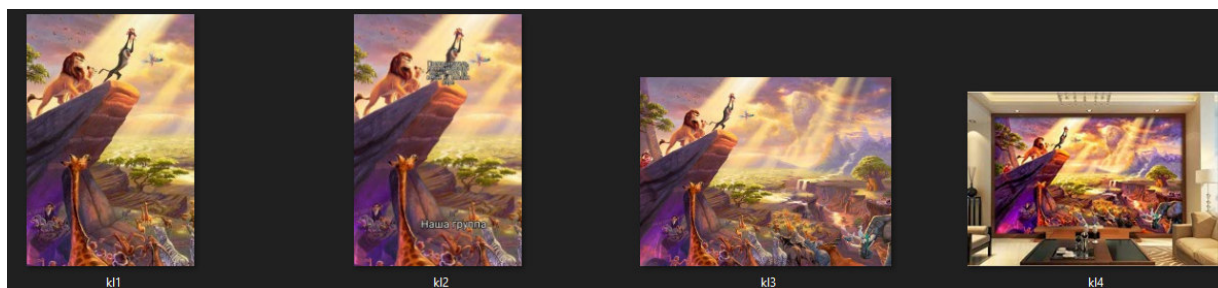


Рис. 2. Группа изображений № 2

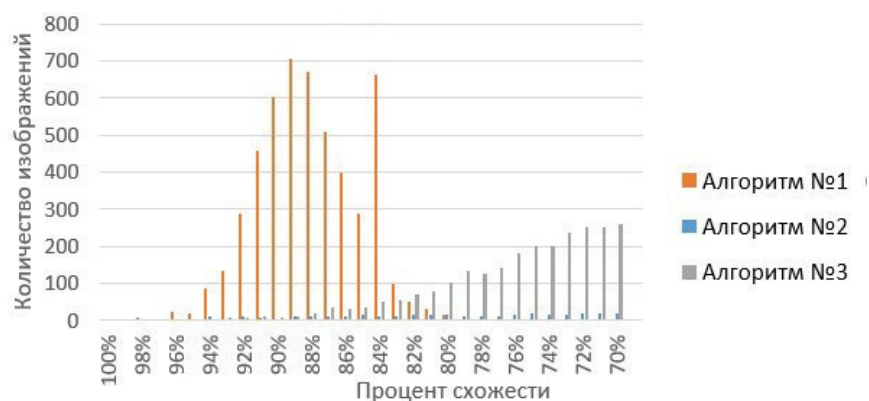


Рис. 3. Гистограмма распределения количества пар изображений на основе процента схожести

Заключение. По результатам работы алгоритмов можно заметить, что Алгоритм №3 более устойчив к коллизиям (сложно найти два входа, которые порождают один и тот же выход) чем Алгоритм №1 и Алгоритм №2, что является преимуществом. Можно констатировать, что Алгоритм №1 может различить схожие изображения, но возникают большие вопросы к распознаванию разных (алгоритм помечает слишком большим процентом схожести разные изображения). Алгоритм №2 распознаёт чуть хуже схожие изображения, но при этом совсем разные изображения процентом больше 80 не помечает. Проблемы Алгоритма №1 и №2 растут из процесса сжатия изображения и последующей обработки среднего и цветов в целом. Очень легко представить вариант, что при сжатии цвета совпадут, поэтому вероятность погрешность очень сильно возрастает. Алгоритм №3 сравнительно предыдущих работает намного лучше – неплохо справляется со схожими изображениями (без учёта фактора масштабирования), а также является более устойчивым к коллизиям. В заключении хотелось бы добавить, что алгоритмы не идеальны и распознать разные изображения со схожими элементами, как похожие – не смогут, но возможности распознавания почти схожих изображений прекрасно хватит для выявления и последующего удаления явного плагиата из новостной ленты.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Zauner C. Implementation and Benchmarking of Perceptual Image Hash Functions. Master's thesis, 2010.
2. Paternain D., Galar M., Jurio A., Barrenechea E. A new algorithm for color image comparison based on similarity measures // Proceedings of the 8th conference of the European Society for Fuzzy Logic and Technology. – 2013. – P. 575-581.
3. Простое сравнение изображений с помощью PHP [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://habr.com/ru/post/55926/> (дата обращения: 21.10.2020).
4. Looks-Like-It [Электронный ресурс]. Режим доступа: URL:<http://www.hackerfactor.com/blog/index.php/?archives/432-Looks-Like-It.html> (дата обращения: 21.10.2020).
5. Loeffler C., Ligtenberg A., Moschytz G. Practical Fast 1-D DCT Algorithms with 11 Multiplications // Proceedings of the International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing. – 1989. – P. 988-991.
6. Блейхут Р. Теория и практика кодов, контролирующих ошибки: Пер. с англ. – М.: Мир, 1986. – 576 с.

УДК 535.42

**ИССЛЕДОВАНИЕ ДИФРАКЦИИ СВЕТА НА МНОГОСЛОЙНЫХ НЕОДНОРОДНЫХ
ГОЛОГРАФИЧЕСКИХ ФПМ ДИФРАКЦИОННЫХ СТРУКТУРАХ В УСЛОВИЯХ ФИП**В.Г. Иванченко, В.О. Долгирев, Д.С. Растрыгин

Научный руководитель: профессор, к.ф.-м.н., С.Н. Шарангович

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,

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

E-mail: vital2@mail.ru**THE INVESTIGATION OF LIGHT DIFFRACTION BY MULTILAYER VOLUME PPM
HOLOGRAPHIC DIFFRACTIVE STRUCTURES IN CONDITION OF PLA**V.G. Ivanchenko, V.O. Dolgirev, D.S. Rastrygin

Scientific Supervisor: Prof., S.N. Sharangovich

Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, Russia, Tomsk, Lenin str., 40, 634050

E-mail: vital2@mail.ru

Abstract. *This paper presents a study of light diffraction on multilayer volume holographic diffraction structures (MVHDS) in a photopolymer material (PPM) under conditions of photoinduced light absorption (PLA). Taking into account the PLA shows possible distortions of the selective response of the diffracted beam due to the inhomogeneity of the grating profiles in the depth of the layers.*

Введение. Формирование многослойных неоднородных дифракционных структур (МНГДС), разделенных промежуточными слоями, в настоящее время вызывает большой интерес у исследователей. Количество слоев, их состав и размеры напрямую влияют на вид селективного отклика [1, 2]. Что в свою очередь, возможно применить в оптических устройствах связи, например в оптических мультиплексорах, оптических межсоединениях, спектральных фильтрах и сенсорах [1, 2].

Формирование таких многослойных структур голографическим методом с применением фоточувствительных сред является одним из наиболее эффективным и актуальным [1, 2]. Эффективность данного метода обусловлена возможностью создавать различные дифракционные структуры, варьируя внутренним составом образца. В работе [1] подобные структуры были исследованы на основе фотополимерного материала (ФПМ). Однако, в данной работе недостаточное внимание уделено влиянию неоднородных параметров, например, изменяющемуся во время экспозиции поглощению света по глубине голограммы. Так, в работе [2] показано, что фотоиндуцированное изменение оптического поглощения (ФИП) света оказывает существенное влияние на профили и дифракционные характеристики голографических решеток. Таким образом, исследование дифракционных характеристик МНГДС в ФПМ с учетом ФИП становится актуальным.

Теоретическая часть. В данной работе рассматривается пропускающая геометрия записи голографической дифракционной структуры (ГДС), представляющая собой падение двух пучков монохроматических волн E_0 и E_1 под углами θ_0 и θ_1 на образец. Распределение интенсивности интерференционной картины на n -ом слое МНГДС при этом:

$$I^n(t, \mathbf{r}) = I^n(t, \mathbf{r}) \left[1 + m^n(t, \mathbf{r}) \cos(\mathbf{K}^n \cdot \mathbf{r}) \right], \quad (1)$$

где $m^n(t, \mathbf{r}) = 2\sqrt{I_0^n(t, \mathbf{r})I_1^n(t, \mathbf{r})}(\mathbf{e}_0\mathbf{e}_1) / (I_0^n(t, \mathbf{r}) + I_1^n(t, \mathbf{r}))$; $j = 0, 1$; $\mathbf{K}^n = \mathbf{k}_0^n - \mathbf{k}_1^n$ – вектор решетки;
 $I^n(t, \mathbf{r}) = [I_0^n(t, \mathbf{r}) + I_1^n(t, \mathbf{r})]$; $I_j^n(t, \mathbf{r}) = I_j^n(t, \mathbf{r}) \cdot e^{-\alpha^n(t, \mathbf{r}) \cdot y / \cos(\theta_j)}$; $I_j^n(t, \mathbf{r}) = |E_j^n(\mathbf{r})|^2$; $\mathbf{r}$ – радиус-вектор;
 $\alpha^n(t, \mathbf{r}) = \alpha_2 + \alpha_1^n \exp\left[-(I_0^n(t, \mathbf{r}) / \cos(\theta_0) + I_1^n(t, \mathbf{r}) / \cos(\theta_1)) \cdot y \cdot t / T_a\right]$ – коэффициент ФИП; $\mathbf{k}_j^n$ – волновые векторы; n – номер слоя; α_2 и α_1^n – коэффициенты поглощения подложки и красителя.

Из выражения (1) видно, что ФИП вносит влияние на интенсивность светового поля внутри каждого слоя, изменяя условия записи решеток. Решение для амплитуды 1-ой гармоники показателя преломления ищется в общем случае из кинетических уравнений фотополимеризационно-диффузионного формирования дифракционных структур (ДС) в ФПМ и будет складываться из двух составляющих, связанных с фотополимеризационными и диффузионными механизмами записи [2]:

$$n_1^{n,m}(t, \mathbf{r}) = n_{1p}^{n,m}(t, \mathbf{r}) + n_{1d}^{n,m}(t, \mathbf{r}), \quad (2)$$

где $n_{1p}^{n,m}(t, y) = \delta n_p^n \frac{2^k}{b^n(t, y)} \int_0^t I_{0n}^n(\tau, y) [p^n(\tau, y) k m^n(\tau, y) - f^n(\tau, y) (1 + 1.5 L^n(\tau, y))] d\tau$; δn_p^n и δn_d^n – полимеризационные и диффузионные коэффициенты; k – степень нелинейности процесса;
 $b_m^n(t, y) = \exp[-s(1 - p^n(t, y))]$; $L^n(t, y) = k(k-1) \frac{m^n(t, y)^2}{2}$; $n_{1d}^{n,m}(t, y) = \delta n_d^n \int_0^t f^n(\tau, y) b_m^n(\tau, y) d\tau$;
 $p^n(t, y) = \exp\left[-\frac{2^k}{b^n(t, y)} (1 + L^n(t, y)) t\right]$; $b^n(t, y)$ – соотношение времени полимеризации к диффузии;
 $f^n(t, y) = \frac{2^k}{b^n(t, y)} k \int_0^t p^n(\tau, y) m^n(\tau, y) I_{0n}^n(\tau, y) \exp\left[-\int_\tau^t b_m^n(T, y) \frac{2^k}{b^n(T, y)} I_{0n}^n(T, y) (1 + 1.5 L^n(T, y)) dT\right] d\tau$.

Таким образом, выражение (2) описывает кинетику формирования профиля показателя преломления для первой гармоники с учетом ФИП. Данный профиль можно аппроксимировать функцией вида $n_1(y, c, s, t) = ch^{-1}[c(sy - t)]$, где параметры c, s, t находятся для каждого слоя отдельно путем аппроксимации $n_1(y)$, полученной при записи МНГДС.

При дифракции связь между входным $\mathbf{E}_0$ и дифракционным $\mathbf{E}^N$ полем на выходе МНГДС:

$$\mathbf{E}^N = \mathbf{T} \cdot \mathbf{E}_0,$$

где $\mathbf{E}^N = \begin{bmatrix} E_0^N(\omega, \theta) \\ E_1^N(\omega, \theta) \end{bmatrix}$; $\mathbf{T}^n = \begin{bmatrix} T_{00}^n(\omega, \theta) & T_{10}^n(\omega, \theta) \\ T_{01}^n(\omega, \theta) & T_{11}^n(\omega, \theta) \end{bmatrix}$; $\mathbf{A}^n = \exp[-i(\mathbf{k}_1^n \cdot \mathbf{y}_0) t_n] \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & \exp[-i \Delta K \cdot q] \end{bmatrix}$ – матрица перехода; $\mathbf{T}^n$ – матричная передаточная функция n -го слоя МНГДС; $T_{ij}^n(\omega, \theta)$ – элементы матричной передаточной функции, выраженные через гипергеометрические функции Гаусса [2]; $\mathbf{T} = \mathbf{T}^N \cdot \mathbf{A}^{N-1} \cdot \mathbf{T}^{N-1} \dots \mathbf{A}^n \cdot \mathbf{T}^n \dots \mathbf{A}^1 \cdot \mathbf{T}^1$ – матричная передаточная функция всей МНГДС; $q = t_n / d_n$.

В общем случае дифракционная эффективность определяется выражением [2]:

$$\eta_d = |E_1^N(\omega, \theta)|^2,$$

где $E_1^N(\omega, \theta)$ выражается через элементы $T_{ij}^n(\omega, \theta)$ матричных передаточных функций $\mathbf{T}^n$ слоев.

Экспериментальная часть. На рис. 1 представлена экспериментальная установка по формированию и считыванию ГДС. Схема установки состоит из He-Ne лазера с длиной волны 633 нм и мощностью 2 мВт, светоделительного кубика (с.к.), зеркал (З), шторки (Ш), поворотного механизма (п.м.), анализаторов световых пучков (А) и образца с записанной МНГДС. Образец состоял из двух ФПМ пленок «ГФПМ633.5» производства ООО «Полимерные голограммы – Новосибирск» с толщиной слоя 45 ± 5 мкм на стеклянной подложке толщиной 1 ± 0.1 мм и защитной пленки 135 мкм. Углы падения пучков при записи 10 градусов. Считывание производилось путем перекрывания шторкой одного из пучков и вращения образца поворотным механизмом, имитируя изменение угла считывания ГДС.

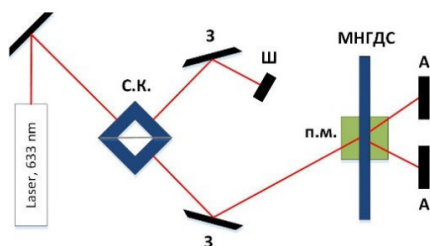


Рис. 1. Схема считывания ГДС

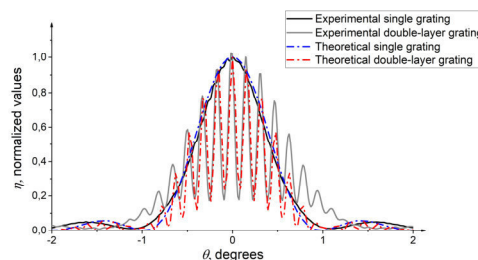


Рис. 2. Угловая селективность одиночной и двухслойной ГДС

Результаты. На основе характеристик записанной одиночной голограммы были подобраны параметры для моделирования кинетики формирования и считывания как для одиночной, так и для двухслойной ГДС. На рис. 2 представлены нормированные угловые селективности дифрагированных световых пучков, полученных экспериментальным методом и с помощью численного моделирования для двухслойной и однослойной ГДС. Соотношение толщины промежуточного слоя к слою с ФПМ равно 6. Из рис. 2 видно, что при увеличении промежуточного слоя количество локальных максимумов контура селективности увеличивается, при этом огибающая контура повторяет вид одиночной решетки. Однако, из-за влияния ФИП, профили решеток становятся неоднородными по глубине, что приводит к искажению контура селективности, в данном случае локальные минимумы не достигают нуля и появляется некоторая асимметрия боковых лепестков.

Заключение. Таким образом, проведенное исследование дифракции света на двухслойной ГДС в условиях ФИП демонстрирует, что неоднородность профиля по глубине решетки приводит к искажению контура селективности. Следовательно, варьируя составом образца, возможно сформировать профили, мало отличимые друг от друга, что улучшит дифракционные характеристики МНГДС.

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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пен Е.Ф., Родионов М.Ю. Свойства многослойных неоднородных голографических структур // Квантовая электроника. – 2010. – Т. 40., № 10. – С. 919–924.
2. Дудник Д.И., Шарангович С.Н. Взаимодействие света с пропускающими многослойными неоднородными фотополимерными голографическими дифракционными структурами // Известия РАН. Серия физическая. – 2021. – Т. 85., № 1. – С. 14–21.

УДК 535.015

**ФОТОИНДУЦИРОВАННАЯ ПРОВОДИМОСТЬ В РДС С НАКЛОННЫМИ ДОМЕННЫМИ
СТЕНКАМИ В НИОБАТЕ ЛИТИЯ ДЛЯ РАЗНЫХ ДЛИН ВОЛН**

А.В. Дубиков, Д.Е. Кузьмич, А.Е. Шараева

Научный руководитель: МНС Кафедры Электронных приборов Е.Н. Савченков

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,

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

E-mail: bigtriks@gmail.com

**PHOTO-INDUCED CONDUCTIVITY IN A RDS WITH INCLINED DOMAIN WALLS IN A LITHIUM
NIOBATE FOR DIFFERENT WAVELENGTHS**

A.V. Dubikov, D.E. Kuzmich, A.E. Sharaeva

Scientific Supervisor: JRA of Department of Electronic Devices E N. Savchenkov

Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, Russia, Tomsk, Lenin str., 40, 634050

E-mail: bigtriks@gmail.com

Abstract. *The paper presents the new results of determination of lithium niobate photoinduced conductivity in regular domain structures with tilt domain walls in experiments with light diffraction. A control experiment was carried out at a wavelength of $\lambda = 633$ nm, and additional series of experiments were carried out at wavelengths $\lambda = 532$ nm and $\lambda = 657$ nm.*

Введение. Одним из подходов в развитии методов преобразования спектральных характеристик лазерного излучения и электрооптического управления его параметрами является использование регулярных доменных структуры (РДС) в кристаллах ниобата лития (LN) [1, 2]. В LN могут присутствовать РДС, имеющие наклонные доменные стенки. Они являются заряженными и обладают сверхвысокой проводимостью, превосходящей темновую проводимость на несколько порядков. РДС с такими свойствами интересны как перспективные элементы квантовой и волноводной фотоники [3-5].

Исследования по дифракции Брэгга показали, что в наклонных доменных стенках РДС в LN проводимость носит фотоиндуцированный характер [5]. В дифракционных экспериментах на $\lambda = 633$ нм было выявлено, что явление не связано с эффектами на границах кристалла, а является объемным. Также обнаружено, что проводимость в доменных стенках линейно возрастала с интенсивностью зондирующего лазерного пучка. Представляет интерес зависимость фотоиндуцированной проводимости для разных длин световых волн. В работе приведены результаты эксперимента на длине волны $\lambda = 633$ нм, а также дополнительных экспериментальных серий на $\lambda = 532$ нм, $\lambda = 657$ нм. Также, по истечении одного года и четырех месяцев были проверены углы наклона доменных стенок к оси Z, изменение наклона которых могло повлиять на проводимость образца LN.

Материалы и методы исследования. Для исследования использовались лазерные пучки гауссовой формы, ослабляемые светофильтрами до необходимой мощности. Они фокусировались сферической линзой с фокусным расстоянием $F = 350$ мм примерно на середину входной грани $y = 0$ образца 5% MgO:LiNbO₃ с РДС, имеющего наклон доменных стенок $\alpha = 0,31^\circ$ к оси Z кристалла. РДС

имел период $\Lambda = 8,79$ мкм (рис. 1 а). Размеры кристалла LN составляли 1x2x40 мм по осям X,Y и Z, соответственно. Настройка по углу Брэгга и вертикальному положению пучка по оси кристалла Z осуществлялась в отсутствие внешнего напряжения по максимуму мощности в первом дифракционном порядке. Посредством плоских медных электродов, механически прижимаемым к Z-граням кристалла, осуществлялось приложение к РДС внешнего напряжения. Тумблером через резистор $R = 1$ кОм подавалось ступенчатое напряжение от стабилизированного источника питания. В момент подачи напряжения 350 В происходило скачкообразное увеличение интенсивности дифрагированного пучка, регистрируемое осциллографом TBS 1152 как ступенчатый импульс с фронтом ~ 25 нс. Дифракционная эффективность достигала максимума, зависящего от напряжения, а далее наблюдалась ее сравнительно медленная релаксация к исходной величине. Время наблюдения процесса релаксации варьировалось в зависимости от интенсивности входного пучка и определялось скоростью развертки от 0,025 до 1 с / дел.

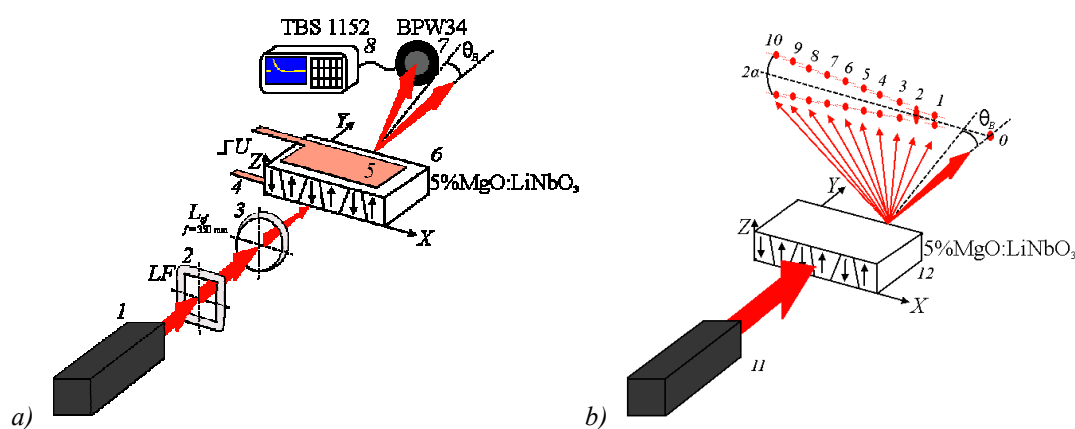


Рис. 1. Схема экспериментальных установок:

- а) Наблюдение фотоиндуцированной проводимости: 1 – лазер; 2 – сменный светофильтр; 3 – сферическая линза; 4 и 5 – медные электроды; 6 – образец LN с РДС; 7 – pin-фотодиод; 8 – осциллограф
 б) Измерение углов наклона доменных стенок. 0 – нулевой порядок дифракции; 1-10 – дифрагированный пучок от 1 до 10 порядка; 11 – лазер; 12 – кристалл LN с РДС

По методике [6], были определены зависимости эффективной фотоиндуцированной проводимости кристалла для различных длин волн. Из полученных результатов можно сделать вывод о линейности фотоиндуцированной проводимости доменных стенок в зависимости от пиковой величины потока квантов света для различных длин волн (рис. 2).

Проводилась также проверка угла наклона доменных стенок. Зондирующий лазерный пучок направлялся примерно на середину входной грани (рис. 1 б). Поворотом кристалла вокруг Z производилась настройка по углу Брэгга до десятого порядка дифракции включительно и измерялось расстояние между нулевым и n-м дифракционным порядком, начиная с третьего, а также между двумя пиками в дифракционных максимумах, возникающих от двух систем доменных стенок, имеющих противоположные наклоны к полярной оси кристалла Z [5]. По результатам были определены углы наклона стенок, составившие в среднем $\alpha = 0,3^\circ$, что близко к $\alpha = 0,31^\circ$, полученному ранее [5, 6]. По

расхождению максимумов в десятом дифракционном порядке проверялась стабильность угла наклона доменных стенок вдоль оси кристалла X. Проверка не показала изменений по всему образцу.

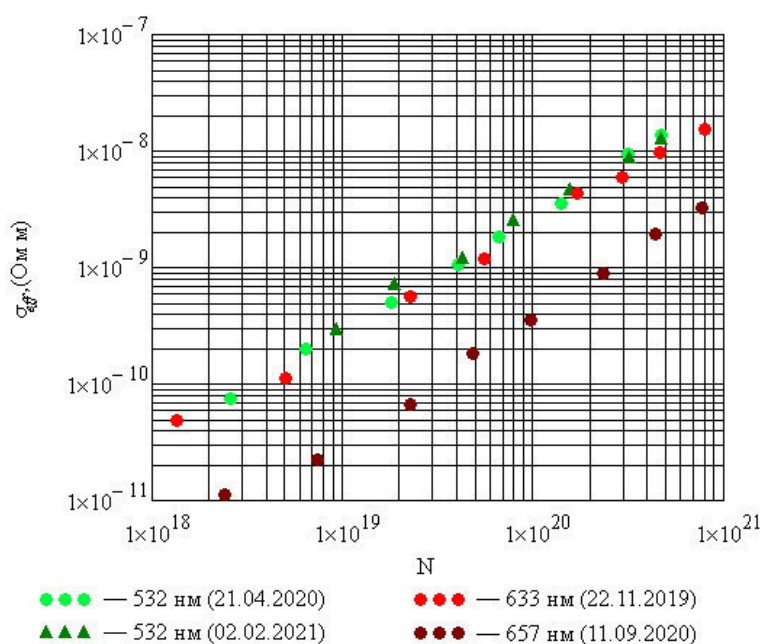


Рис. 2. Эффективная проводимость σ_{eff} кристалла $5\%\text{MgO}:\text{LiNbO}_3$ с РДС в зависимости от пиковой плотности потока квантов зондирующего светового пучка

Заключение. Наличие повторяемости в экспериментах по определению фотоиндуцированной проводимости для $\lambda = 532$ нм, полученных в разное время, а также неизменность во времени угла наклона доменных стенок, указывают на стабильность РДС с наклонными доменными стенками в кристалле LN.

Линейная зависимость фотоиндуцированной проводимости от плотности потока квантов сохраняется для всех длин волн, использованных в экспериментах: 532 нм, 632.8 нм и 657 нм. Величина фотоиндуцированной проводимости уменьшается как с уменьшением плотности потока квантов, так и с увеличением длины волны зондирующего лазерного излучения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Rios L.A., Minor C.E., Barboza N.A., Cudney R.S. Q-switching and quasi-phase-matching using a domain structured LiNbO_3 crystal // Opt. Express – 2018. – №. 26, – P. 17591.
2. Ding T., Zheng Y., Chen X. Integration of cascaded electro-optic and nonlinear processes on a lithium niobate on insulator chip // Opt. Lett. – 2019. – №. 44, – P. 1524.
3. Catalan G., Seidel J., Ramesh R., Scott J.F. Domain wall nanoelectronics // Rev. Mod. Phys. – 2012. – №. 84, – P. 119.
4. Werner C.S., Herr S.J., Buse K., Sturman B., Soegel E., Razzaghi C., Breunig I. Large and accessible conductivity of charged domain walls in lithium niobate // Sci. Rep. – 2017. – №. 7, – P. 9862.
5. Савченков Е.Н., Шандаров С.М., Смирнов С.В., Есин А.А., Ахматханов А.Р., Шур В.Я. Дифракция света на регулярной доменной структуре с наклонными стенками в $\text{MgO}:\text{LiNbO}_3$ // Письма в ЖЭТФ – 2019. – Т. 110. – С. 165.

УДК 537.533.7

**ВЛИЯНИЕ ТЕРМОЭЛЕКТРОННОЙ ЭМИССИИ НА ПАРАМЕТРЫ ПУЧКОВОЙ ПЛАЗМЫ,
ГЕНЕРИРУЕМОЙ ПРИ ТРАНСПОРТИРОВКЕ МОЩНОГО ПУЧКА ЭЛЕКТРОНОВ
В ДИАПАЗОНЕ ДАВЛЕНИЙ СРЕДНЕГО ВАКУУМА**

А.А. Зенин

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,

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

E-mail: zenin1988@gmail.com

**EFFECT OF THERMIONIC EMISSION ON THE PARAMETERS OF THE BEAM PLASMA
GENERATED BY A POWERFUL ELECTRON BEAM DURING IT'S PROPOGATION IN
A MEDIUM VACUUM PRESSURE RANGE**

A.A. Zenin

Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, Russia, Tomsk, Lenin str., 40, 634050

E-mail: zenin1988@gmail.com

***Abstract.** This paper presents the results of the effect of injection of low-energy thermoelectrons on the parameters of the beam plasma and the plasma of the beam-plasma discharge formed during the transport of a continuous electron beam by a forevacuum plasma source based on a discharge with a hollow cathode. It is shown that when low-energy electrons are injected into the beam-plasma discharge region, a significant change in the plasma parameters occurs, namely, the temperature of the plasma electrons decreases from 1.4 eV to 0.5 eV, and the plasma concentration from 6×10^{15} to $5 \times 10^{14} \text{ m}^{-3}$.*

Введение. Плазменные источники электронов обеспечивают формирование электронных пучков в результате эмиссии электронов из газоразрядной плазмы [1]. Среди многообразия плазменных источников электронов следует отдельно выделить форвакуумные плазменные источники электронов, особенностью которых является возможность непосредственной электронно-лучевой обработки диэлектрических материалов – керамик, стекол, полимеров и др. [2] без применения дополнительных средств компенсации поверхностного заряда. Это обусловлено образованием в области транспортировки электронного пучка плотной пучковой плазмы. Ионы из пучковой плазмы, попадая на облучаемую поверхность, практически полностью нейтрализуют отрицательный заряд, приносимый электронным пучком. Развитие и совершенствование таких электронных источников обеспечило повышение мощности электронного пучка до рекордного на сегодняшний день уровня 10 кВт [3]. При столь высоких мощностях электронного пучка, генерируемого форвакуумным плазменным источником электронов, следует ожидать появления новых закономерностей и особенностей в процессах транспортировки электронного пучка и возникновения плазменно-пучкового разряда (ППР). Выявлению этих особенностей и посвящены исследования, результаты которых представлены в настоящей работе.

Экспериментальная часть. Для исследования влияния низкоэнергетичных термоэлектронов на параметры пучковой плазмы и условия зажигания и горения пучково-плазменного разряда была собрана экспериментальная установка, схема которой приведена на рис. 1.

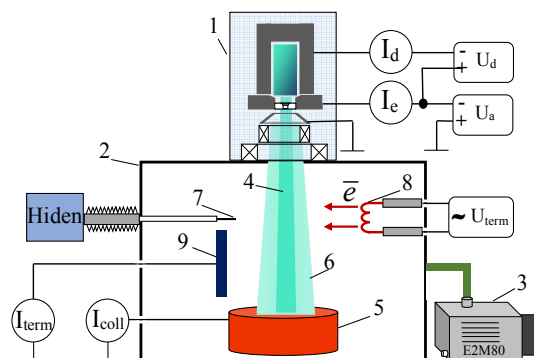


Рис. 1. Экспериментальная установка. 1 – плазменный источник электронов, 2 – вакуумная камера, 3 – форвакуумный насос, 4 – электронный пучок, 5 – водоохлаждаемый коллектор, 6 – пучковая плазма, 7 – одиночный Ленгмюровский зонд Hiden, 8 –прямокальный термокатод, 9 –коллектор для измерения тока термоэмиссии

Форвакуумный плазменный электронный источник 1 устанавливался на вакуумной камере 2, откачиваемой механическим насосом 3 ВОО Edwards E2M80 до остаточного давления 3 Па. Рабочий газ - гелий напускался непосредственно в вакуумную камеру до давления 30 Па. Источник электронов способен функционировать при давлениях 5–50 Па и генерировать пучок электронов с энергией 1–20 кэВ, током максимальным током эмиссии до 500-700 мА. Сфокусированный и ускоренный пучок электронов проходил через атмосферу рабочего газа попадал на водоохлаждаемый коллектор. Процесс транспортировки электронного пучка сопровождался генерацией пучковой плазмы и зажиганием пучково-плазменного разряда (рис. 2 а). В экспериментах по исследованию влияния низкоэнергетичных электронов на параметры плазмы ускоряющее напряжение U_a составляло 10 кВ, а ток эмиссии I_e 220 мА. В качестве источника низкоэнергетичных электронов использовался прямокальный термокатод 8, установленный на расстоянии 7 см от оси пучка. Ток термоэлектронной эмиссии варьировался в пределах от 0 до 8 мА. Для измерения тока термоэлектронной эмиссии в вакуумной камере был дополнительно установлен коллектор 9, а измерение тока проводилось без пучка электронов.

Для измерения параметров плазмы использовался одиночный Ленгмюровский зонд фирмы Hiden Analytics. Зонд был установлен на расстоянии 7 см от оси пучка 10 см от коллектора. Расстояние от источника электронов до коллектора составляло 30 см.

Результаты. Ниже, на рис. 2, 3 приведены фотографии свечения ППР и пучковой плазмы для различных условий транспортировки, а также зависимости тока коллектора и концентрации плазмы от величины тока термоэлектронной эмиссии. Из приведенных зависимостей видно, что при инъекции термоэлектронов значительно изменяются условия транспортировки пучка и зажигания ППР.

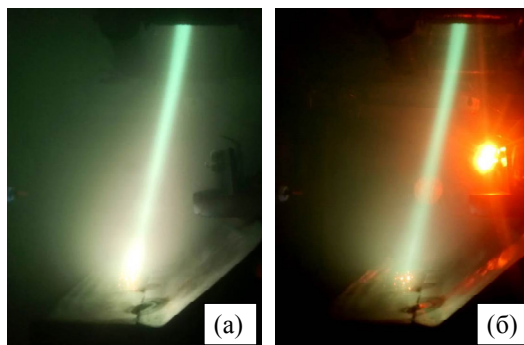


Рис. 2. Свечение ППР и пучковой плазмы: (а)- без инжекции термоэлектронов, (б)-с инжекцией термоэлектронов

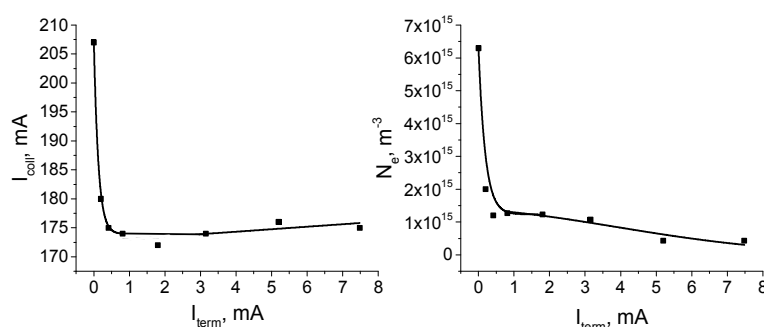


Рис. 3. Зависимость тока коллектора и концентрации плазмы от тока термоэлектронов

Даже незначительный ток термоэлектронов приводит к нарушению условий горения ППР (ППР гаснет), что приводит к уменьшению концентрации плазмы на порядок (до $5 \times 10^{14} \text{ м}^{-3}$) и снижению температуры плазменных электронов 1,4 до 0,6 эВ. Уменьшение тока коллектора связано с уменьшением доли ионов из плазмы, приходящих на коллектор.

Заключение. Приведенные в работе результаты показали, что наличие низкоэнергетичных термоэлектронов в области транспортировки мощного электронного пучка существенно влияют на параметры плазмы и условия генерации ППР.

Исследования поддержаны в рамках госзадания Министерства науки и высшего образования РФ, проект FEWM -2020-0038.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Окс Е.М. Источники электронов с плазменным катодом: физика, техника, применения. М.: НТЛ, 2005. – 216 с.
2. Зенин А.А. Электронно – лучевая пайка алюмооксидной керамики с металлом с применением форвакуумного плазменного источника электронов / А.А. Зенин, А.С. Климов // Доклады ТУСУРа. – март 2013. – №1 (27). – С. 10-13.
3. Zenin A.A. Forevacuum pressure plasma cathode high-power continuous electron beam source / Zenin A.A., Bakeev I.Y., Klimov A.S., Oks E.M., Tran V.T. // Review of Scientific Instruments. 2020. - Т. 91(3). - P. 033303.

УДК 537.533

**ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕНЕРАЦИИ ИМПУЛЬСНОГО ЭЛЕКТРОННОГО ПУЧКА
ФОРВАКУУМНЫМ ПЛАЗМЕННЫМ ИСТОЧНИКОМ НА ОСНОВЕ КОНТРАГИРОВАННОГО
ДУГОВОГО РАЗРЯДА**

А.В. Казаков, Н.А. Панченко, А.В. Никоненко

Научный руководитель: профессор, д.т.н. Е.М. Окс

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,

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

E-mail: andrykazakov@gmail.com

**RESEARCH OF GENERATION OF PULSED ELECTRON BEAM BY A FOREVACUUM PLASMA
SOURCE BASED ON A CONSTRICTED ARC DISCHARGE**

A.V. Kazakov, N.A. Panchenko, A.V. Nikonenko

Scientific Supervisor: Prof., Dr. E.M. Oks

Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, Russia, Tomsk, Lenin str., 40, 634050

E-mail: andrykazakov@gmail.com

Abstract. *The research of generation of a pulsed low-energy (up to 10 keV) electron beam by a plasma electron source based on a constricted arc discharge in the forevacuum pressure range are presented. An increase in the accelerating voltage and an increase in pressure have led to an increase in the emission current and in the electron beam current, and an explicit saturation mode of these currents has not been observed.*

Введение. В плазменных источниках импульсных электронных пучков для генерации эмиссионной плазмы часто используется дуговой разряд с катодными пятнами [1], который имеет ряд преимуществ, например, практически отсутствует ограничение на амплитуду и длительность импульса тока. Однако данный тип разряда имеет недостатки, связанные с процессами функционирования катодных пятен, которые негативно влияют на параметры источника электронов. Для уменьшения негативного влияния этих процессов в традиционных плазменных источниках, формирующих электронные пучки при давлении 10^{-3} – 10^{-1} Па, используется контрагированный дуговой разряд [1, 2]. Контрагированный дуговой разряд реализуется сжатием положительного столба дуги каналом небольшого диаметра (1–6 мм) в промежуточном электроде, который устанавливается между катодом и анодом разрядной системы источника. Это обеспечивает экранирование катодной области дугового разряда от области формирования эмиссионной плазмы. В форвакуумном диапазоне давлений от единиц до 100 Па генерация электронного пучка плазменным источником на основе контрагированного дугового разряда ранее не исследовалась. В связи с этим, цель настоящей работы заключалась в исследовании особенностей генерации импульсного низкоэнергетичного электронного пучка плазменным источником электронов на основе контрагированного дугового разряда в форвакуумном диапазоне давлений.

Методика эксперимента. На рис. 1 изображена схема экспериментальной установки. Используемая электродная система форвакуумного плазменного источника электронов на основе контрагированного дугового разряда описана в [3]. В настоящей работе диаметр и протяженность

контрагирующего канала в промежуточном электроде были 3 мм. Плазменный источник питался импульсным блоком питания разряда и высоковольтным источником ускоряющего напряжения. Ток I_d разряда в экспериментах был до 20 А, длительность импульса составляла 120 мкс, частота следования импульсов была 1 имп./с. Ускоряющее напряжение U_a варьировалось от 0 до 10 кВ. Амплитуда тока I_d разряда регулируется величиной напряжения U_{d0} , подаваемого на вход источника питания разряда. Плазменный источник электронов размещался на фланце вакуумной камеры, откачиваемой насосом до давления 2,5 Па, а рабочее давление p регулировалось скоростью подачи рабочего газа (азот) в камеру. Измерения тока I_d разряда и тока I_e эмиссии осуществлялись трансформаторами тока, установленными в соответствующих электрических цепях. Для измерения тока I_b электронного пучка использовался цилиндр Фарадея и трансформатор тока, установленный в цепи заземления цилиндра.

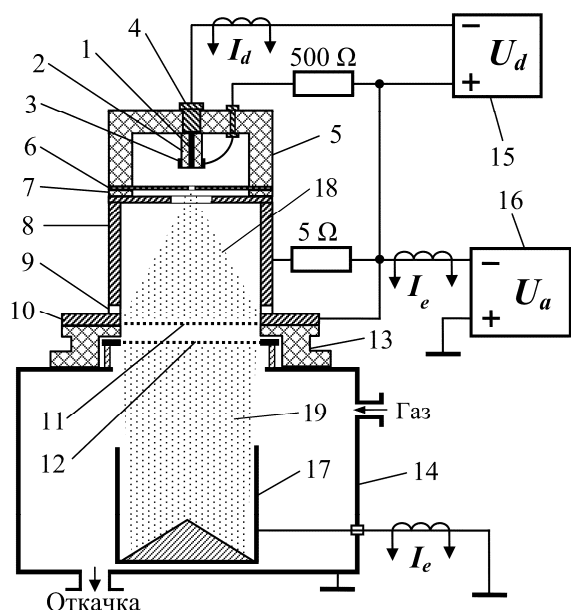


Рис. 3. Схема экспериментальной установки:

1 – катод; 2 – керамический изолятор;
3 – поджигающий электрод; 4 – токоввод;
5 – изолятор; 6 – контрагирующий электрод;
7 – изолятор; 8 – полый анод; 9 – изолятор;
10 – плоская часть анода; 11 – сеточный
эмиссионный электрод; 12 – ускоряющий
электрод; 13 – высоковольтный изолятор;
14 – вакуумная камера; 15 – импульсный блок
питания разряда; 16 – источник постоянного
ускоряющего напряжения; 17 – цилиндр
Фарадея; 18 – эмиссионная плазма; 19 – пучок

Результаты экспериментов и их анализ. На рис. 2 представлены типичные формы импульсов тока I_d разряда, тока I_e эмиссии и тока I_b электронного пучка. Зависимости токов I_d , I_e и I_b от ускоряющего напряжения U_a при неизменном питающем напряжении U_{d0} представлены на рис. 3 (значения токов усреднены по импульсу). Увеличение ускоряющего напряжения U_a приводит к монотонному росту токов I_e эмиссии и I_b пучка, а также заметному росту тока I_d разряда относительно тока I_{d0} разряда в отсутствие эмиссии электронов (т.е. при $U_a = 0$). Увеличение давления p газа приводит к росту токов I_d , I_e и I_b . Более сильный рост токов I_e и I_b связан с увеличением эффективности η извлечения электронов из эмиссионной плазмы. Увеличение эффективности η обусловлено эффектом «переключения» электронной составляющей тока разряда с анода в эмиссию, который в форвакуумном диапазоне давлений индуцируется обратным ионным потоком, проникающим в разрядный промежуток источника через эмиссионную сетку [4]. В исследованном диапазоне ускоряющих напряжений явный режим насыщения тока I_e и, соответственно, тока I_b пучка при увеличении U_a не наблюдается, что существенно отличается от аналогичных зависимостей для форвакуумных источников импульсных электронных пучков на основе тлеющего разряда с полым катодом и на основе дугового разряда с катодными пятнами [5]. Наблюдаемое при давлении $p > 10$ Па превышение током эмиссии I_e тока

разряда I_d обусловлено тем, что в дуговом разряде электронная составляющая тока на анод может превышать ток разряда на 10 % [6], а также вторичной ион-электронной эмиссией, возникающей при бомбардировке эмиссионного электрода ускоренными ионами обратного ионного потока.

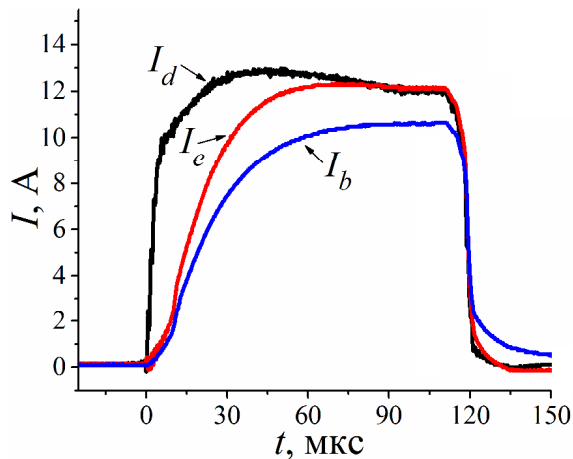


Рис. 2. Осциллограммы тока I_d разряда, тока I_e эмиссии и тока I_b электронного пучка; $U_a = 5$ кВ, $p = 8$ Па

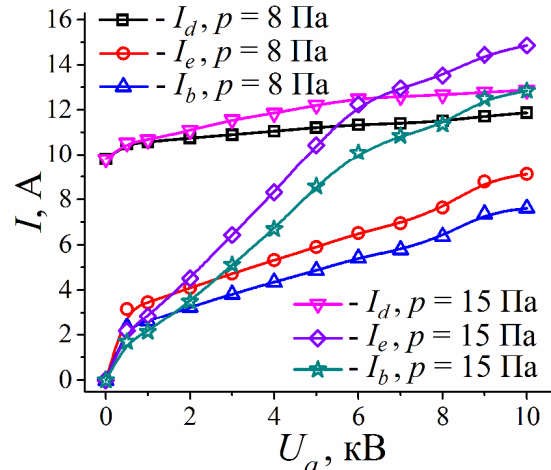


Рис. 3. Зависимости токов I_d разряда, I_e эмиссии и I_b пучка от ускоряющего напряжения U_a при различном p

Заключение. Проведены исследования особенностей генерации импульсного низкоэнергетичного (до 10 кэВ) электронного пучка плазменным источником электронов на основе контрагированного дугового разряда в форвакуумном диапазоне давлений. Установлено, что увеличение ускоряющего напряжения и давления приводят к росту тока эмиссии и, соответственно, тока электронного пучка, а явный режим насыщения токов эмиссии и пучка не наблюдается.

Работа выполнена при поддержке гранта Президента Российской Федерации МК-3621.2021.4.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Окс Е.М. Источники электронов с плазменным катодом: физика, техника, применения. – Томск: Изд-во НТЛ, 2005. – 216 с.
2. Девятков В.Н., Коваль Н.Н. Плазменный сеточный катод на основе контрагированного дугового разряда низкого давления в неоднородном магнитном поле // Известия высших учебных заведений. Физика. – 2017. – Т. 60, № 10-2. – С. 32–38.
3. Kazakov A.V., Medovnik A.V., Oks E.M., Panchenko N.A. Parameters and characteristics of a pulsed constricted arc discharge operating in a forevacuum-pressure plasma-cathode electron beam source // Vacuum. – 2021. – V. 186. – Art. no. 110071.
4. Burdovitsin V.A., et al. Influence of gas pressure on electron beam emission current of pulsed cathodic-arc-based forevacuum plasma electron source // Physics of Plasmas. – 2017. – V. 24, No. 9. – Art. no. 093109.
5. Бурдовицин В.А. и др. Форвакуумные плазменные источники электронов. – Томск: Изд-во ТГУ, 2014. – 288 с.
6. Handbook of vacuum arc science & technology: fundamentals and applications / edited by R.L. Boxman, D.M. Sanders, P.J. Martin. – New Jersey: Noyes Publications, 1995. – 742 p.

УДК 537.226.1

**АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ИЗМЕРЕНИЯ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ
ЛИСТОВЫХ ДИЭЛЕКТРИКОВ В ОТКРЫТОМ РЕЗОНАТОРЕ**Н.С. Кайро, Д.Д. Тетерина, К.В. Билинский

Научный руководитель: к.ф.-м.н. А.В. Бадьин

Национальный исследовательский Томский государственный университет,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 36, 634050

E-mail: nikitakayro@gmail.com**AUTOMATED SYSTEM FOR MEASURING THE ELECTROPHYSICAL PARAMETERS OF SHEET
DIELECTRICS IN AN OPEN RESONATOR**N.S. Kayro, D.D. Teterina, K.V. Bilinskii

Scientific Supervisor: Ph.D. A.V. Badin

National Research Tomsk State University, Russia, Tomsk, Lenin str., 36, 634050

E-mail: nikitakayro@gmail.com

Abstract. *In the article, the results of automation of the setup for measuring the dielectric permittivity of sheet dielectrics in an open resonator are presented. A program to control the positioning mechanism of the object under study, which allows setting the position of the sample with an accuracy of $6.25\ \mu\text{m}$ in the longitudinal direction and 0.225° in the angle, was written in the LabVIEW (National Instruments). For angular position of 30° of sheet dielectrics relative to the longitudinal axis of the open resonator resonance curves are experimentally obtained. Based on the data obtained, the calculation of the dielectric constant of the material is given.*

Введение. При проведении научных исследований электрофизических свойств материалов квазиоптическим резонаторным методом требуется точное позиционирование объекта в пространстве между зеркалами. Ручная регулировка положения с необходимой точностью при исследовании свойств листовых диэлектриков [1], медицинских нитей [2], полимерного филамента [3] для 3D-принтеров и полупроводниковых подложек [4] занимает достаточно длительное время. В связи с этим возникла необходимость создания аппаратно-программного комплекса для измерения параметров листовых диэлектриков в открытом резонаторе.

Экспериментальная часть. Резонаторный метод позволяет измерить параметры листовых диэлектриков с малыми потерями. Данный метод позволяет найти диэлектрическую проницаемость и толщину листовых материалов. Главным преимуществом данного метода является многократное взаимодействие с электромагнитной волны с образцом. Открытый резонатор образован двумя вогнутыми металлическими отражателями с круглой апертурой ($D = 80\ \text{мм}$) и одинаковой кривизной ($R = 150\ \text{мм}$), расположенными на расстоянии $L = 185\ \text{мм}$. В центре отражателей находятся элементы связи в виде узких щелей, осуществляющие связь с внешними волноводными трактами и обеспечивающих поляризацию электрического поля в резонаторе ортогонально щелям. Образец располагается в центре

резонатора (рис. 1а) ортогонально его оси и параллельно вектору электрического поля в его пучности. На рис.1б представлена блок-схема измерительной системы.

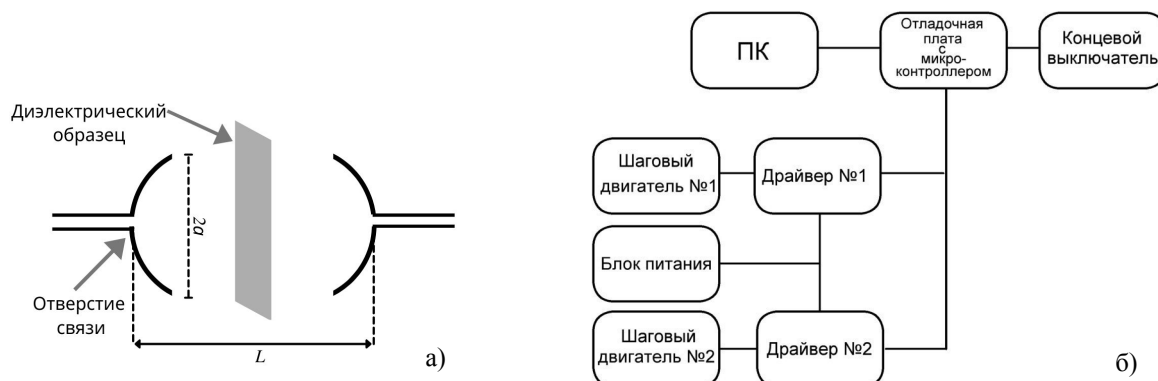


Рис. 1. Открытый резонатор с листовым диэлектриком (а) и блок-схема установки для измерения параметров листовых диэлектриков в открытом резонаторе (б)

Для вычисления диэлектрической проницаемости листового диэлектрика в открытом резонаторе необходимо измерить толщину образца, определить величину межвидового интервала, выбрать поляризацию излучения и угол измерений, после чего измерить сдвиг резонансной частоты или изменение добротности. Вычисление диэлектрической проницаемости производилось согласно методики [5]. В качестве механической части системы была использована каретка с винтовой передачей движения по цилиндрическим направляющим. Для реализации электрической части системы были выбраны: отладочная плата «Arduino Nano» с микроконтроллером Atmega 328p, 2 шаговых двигателя «Nema» (17Hs08-1004S и 17HS4401), драйвер шаговых двигателей (A4988) с дроблением шага 1/8 по углу и DRV8825 с целым шагом для продольного перемещения каретки, оптический концевой выключатель, блок питания постоянного тока с напряжением 12 вольт. Элементы крепежа системы были изготовлены из ABS-пластика методом 3D печати. Программа управления аппаратной частью написана в среде графического программирования LabVIEW от компании National Instruments. С её помощью осуществляется управление перемещением объекта по горизонтали с минимальным шагом 6,25 мкм. Также есть возможность углового перемещения объектов по часовой и против часовой стрелки с минимальным шагом 0,225°. Драйвер № 1 обеспечивает связь микроконтроллера с шаговым двигателем №1, отвечающего за горизонтальное перемещение исследуемого образца. Угловое позиционирование объекта осуществляется микроконтроллером через драйвер шагового двигателя № 2. На рис. 2 приведены измеренные векторным анализатором Agilent E8363B резонансные кривые открытого резонатора с листовыми диэлектриками (пластик и оргстекло), расположенными под углом 30° относительно продольной оси резонатора. На основе экспериментальных данных сдвига резонансной частоты $\delta f_{\text{рез}}$ произведены расчеты диэлектрической проницаемости листовых диэлектриков (Таблица 1).

Результаты. При помещении в открытый резонатор оргстекла уменьшение резонансной частоты составило 460 МГц, для пластика – 290 МГц, соответственно. С помощью методики [5] была найдена диэлектрическая проницаемость, которая составила 2,74 отн. ед. для оргстекла и 2,17 отн. ед. - пластика.

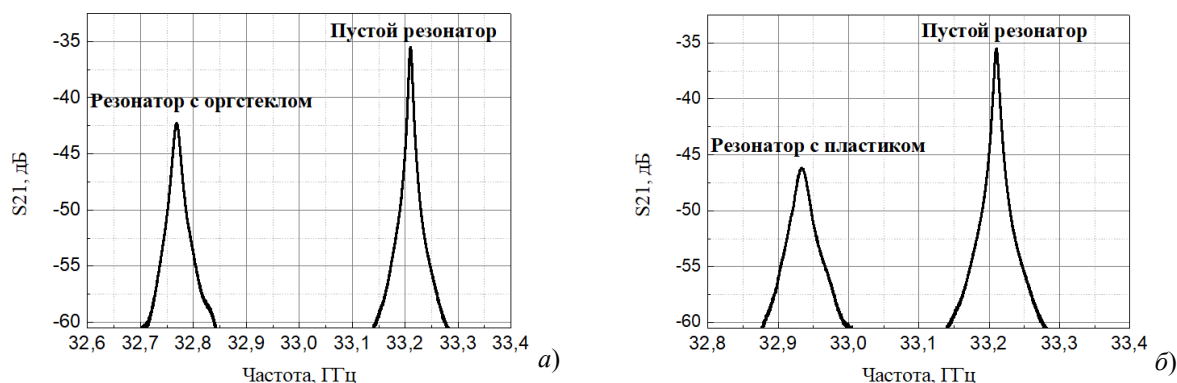


Рис. 2. Экспериментальные резонансные кривые для листовых диэлектриков: оргстекло (а) и пластик (б)

Таблица 1

Характеристики измеренных образцов листовых диэлектриков

№	Название	Толщина, мм	$f_{\text{рез}}$, ГГц	$\delta f_{\text{рез}}$, МГц	ϵ , отн. ед.
1	Оргстекло	2,9	32,77	-460	2,74
2	Пластик	2,63	32,94	-290	2,17

Закключение. Таким образом, была создана и апробирована автоматизированная система измерения параметров листовых диэлектриков в открытом резонаторе. Проведены измерения диэлектрической проницаемости листовых диэлектриков. Исследование выполнено при поддержке совета по грантам Президента РФ для государственной поддержки молодых российских ученых № МК-1709.2020.8.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Емельянов Е.В., Дунаевский Г.Е., Сусяев В.И. Исследование и измерение влажности листовых материалов комбинацией радиофизического и суховесового методов // Материалы докладов Международной научно-практической конференции «Электронные средства и системы управления». – Томск: В-Спектр, 2011: В 2 ч. – Ч. 2. – С. 166 – 169.
2. Бессонов В.В., Дорофеев И.О. Исследование возможности квазиоптического радиоволнового контроля медицинской нити // Известия высших учебных заведений. Физика. – 2015. – Т. 58, №. 8-3. – С. 118–120.
3. Тетерина Д.Д., Бадьин А.В., Геринг М.О. Резонаторная СВЧ диагностика композитного филамента с МУНТ для 3D-печати // V Всероссийский научный семинар. – 2019. – С. 79.
4. Dorofeev I. *et al.* Local Quasioptical Resonator Diagnostics of Semiconductor Wafers // MATEC Web of conferences. – 2018. – V. 155. – P. 01051.
5. Измерение диэлектрической проницаемости плоских диэлектриков с помощью квазиоптического открытого резонатора // Учебно–методическое пособие. – 2009. – С. 11.

УДК 537.52

**КОНТРОЛИРУЕМАЯ ВТОРИЧНАЯ ЭЛЕКТРОННАЯ ЭМИССИЯ ПРИ ОБЛУЧЕНИИ
ДИЭЛЕКТРИКОВ**

К.И. Карпов, Д.Б. Золотухин

Научный руководитель: профессор, д.т.н. В.А. Бурдовицин

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,

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

E-mail: karpov99@gmail.com

CONTROLLED SECONDARY ELECTRON EMISSION DURING IRRADIATION OF DIELECTRICS

K.I. Karpov, D.B. Zolotukhin

Scientific Supervisor: Prof., Dr. V.A. Burdovitsin

Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, Russia, Tomsk, Lenin str., 40, 634050

E-mail: karpov99@gmail.com

Abstract. *The article describes the way to control the dielectric surface potential during electron beam irradiation. It was found that the potential of all dielectrics being irradiated was negative and did not exceed the absolute value of the electron beam energy.*

Введение. Один из эффектов, часто проявляющихся при взаимодействии пучков заряженных частиц с «изолированными» металлическими и диэлектрическими поверхностями, состоит в накоплении ими поверхностного заряда [1]. Известно, что при облучении электронным пучком диэлектрической мишени в условиях высокого вакуума потенциал на её поверхности устанавливается таким, чтобы обеспечить суммарный коэффициент вторичной электронной эмиссии, равным единице и, в частности, этот потенциал может быть равным ускоряющему напряжению электронного источника, что исключает какую-либо обработку поверхности ускоренным электронным пучком. По этой причине модификацию поверхности диэлектрика эффективнее проводить в форвакууме, поскольку образующаяся плазма обеспечивает дополнительные потоки заряженных частиц, влияющих на зарядовый баланс. Таким образом, область среднего вакуума позволяет решить задачу контроля поверхностного потенциала диэлектрика. В данной работе исследуется возможность независимого управления потенциалом поверхности диэлектрика при его обработке электронным пучком в среднем вакууме.

Экспериментальная часть. Схематическое изображение экспериментальной установки показано на рисунке 1. На вакуумной камере 1, изготовленной из нержавеющей стали, установлен форвакуумный источник электронов с плазменным катодом 2. Сфокусированный магнитной системой 3 непрерывный электронный пучок 4 попадал на мишень 5, расположенную на специальном держателе, обеспечивающим наклон в 30°. Непосредственно на мишени располагалась алюминиевая пластина 6 толщиной 0,5 мм с отверстием диаметром 15 мм. Пластина располагалась таким образом, чтобы пятно пучка на мишени находилось в центре отверстия. Изолирование мишени от дополнительного электрода осуществлялось с помощью слюдяной диафрагмы, размеры которой совпадали с размерами металлической пластины. Для анализа вторичных электронов, эмитируемых мишенью, и измерения

Результаты эксперимента и их обсуждение. При подаче напряжения на пластину U_b показания вольтметра свидетельствовали об изменении потенциала ϕ_t изолированной металлической мишени. Визуально, отрицательное смещение дополнительного электрода приводило к увеличению яркости свечения и геометрических размеров столба 8 вторичной плазмы. Причем указанное явление проявлялось как на металлических, так и на диэлектрических мишенях (рис. 2). Поэтому допустимо утверждать, что напряжение смещения на пластине U_b воздействует и на потенциал диэлектрической мишени. Поскольку непосредственное измерение потенциала диэлектрика не представляется возможным, в данной работе мы использовали косвенный метод. Задействованная методика основана на измерении плавающего потенциала зонда ϕ_f , размещенного в области вторичной плазмы, и приемная поверхность которого ориентирована перпендикулярно направлению распространения вторичного пучка. На рисунке 3 приведены экспериментальные зависимости плавающего потенциала зонда ϕ_f для диэлектрических мишеней и оценочные величины их потенциалов ϕ_t от напряжения смещения на пластине U_b .

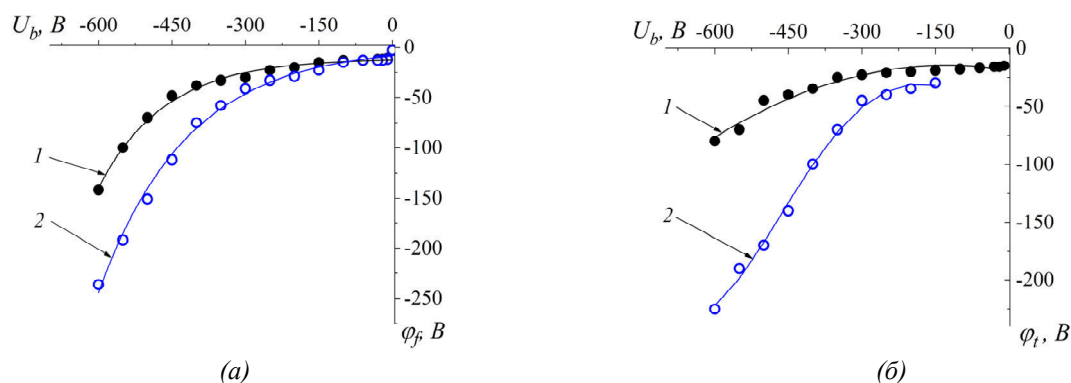


Рис. 3 – Плавающий потенциал φ_f зонда (а) и потенциал диэлектрических мишеней φ_i (б) как функции потенциала U_b на пластине: 1 – алюмооксидная керамика; 2 – кварц. Давление 2 Па, ток пучка 2 мА, энергия пучка 3 кэВ

Результаты, приведенные на рис. 3, получены следующим образом. Проводилась серия экспериментов с изолированными мишенями из алюминия, титана и нержавеющей стали [2]. Для этих материалов определялись зависимости плавающего потенциала φ_f зонда и потенциала φ_t мишени от напряжения пластины U_b . На основании взаимосвязи между значениями φ_f , φ_t и U_b для каждого из металлов мишени, составлялась зависимость плавающего потенциала зонда от потенциала мишени $\varphi_f = f(\varphi_t)$.

Эксперименты показали, что значение плавающего потенциала φ_f зонда существенно зависит от материала мишени. По всей видимости, данная зависимость объясняется различием коэффициента вторичной электронной эмиссии (КВЭЭ) у задействованных материалов. Поэтому, допустимо утверждать, что материалы, обладающие близкими значениями КВЭЭ, будут давать схожие результаты. В связи с этим, остается только подобрать диэлектрическому материалу пару из металла с близким значением КВЭЭ. Так, авторами работы [3] было показано, что нержавеющая сталь и кварц, равно как и алюмооксидная керамика и алюминиевая мишень, обладают близкими значениями КВЭЭ. Тогда, например, график зависимости φ_f от φ_t для нержавеющей стали будет выступать в роли градуировочного графика для кварца. Согласно проведенным оценкам (рисунок 3) влияние отрицательного смещения пластины на величину поверхностного потенциала алюмооксидной керамики меньше, чем на величину потенциала мишени выполненной из кварца. Другими словами, при облучении электронным пучком кварцевой мишени, одни и те же значения смещения на пластине приведут к более отрицательным значениям потенциала на поверхности кварцевой мишени, нежели на поверхности алюмооксидной керамики. Подобное проявление согласуется с относительным различием во вторично-эмиссионных свойствах исследованных диэлектриков.

Заключение. В работе проведена оценка потенциала диэлектрических мишеней, согласно которой поверхность диэлектрика приобретает отрицательный потенциал, причем алюмооксидная мишень обладает меньшими по абсолютной величине значениями потенциала по сравнению с мишенью из кварца. Показано, что управление поверхностным потенциалом можно реализовать с помощью электрического поля, создаваемого электродом, расположенным вблизи мишени, облучаемой электронным пучком в среднем вакууме.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, грант № 19-08-00170.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бурдовицин В.А. и др. Форвакуумные плазменные источники электронов. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 2014. – 288 с.
2. Burdovitsin V.A., Karpov K.I., Oks E.M., Zolotukhin D.B. Controlling the surface potential of a dielectric target irradiated by an electron beam in medium vacuum // Vacuum. – 2021. – Vol 187. – 5 p.
3. Бурдовицин В.А., Золотухин Д.Б., Карпов К.И., Окс Е.М. О возможности оценки коэффициента вторично-электронной эмиссии металлов и диэлектриков в среднем вакууме // Прикладная физика. – 2019. – № 6. – С. 11-17.

УДК 004.41

РАСПРЕДЕЛЁННЫЙ ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС АНАЛИЗА РЕЧИИ.В. Ковалев, В.И. Федосеев, А.С. Воронцов

Научный руководитель: доцент, к.т.н., А.А. Конев

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,

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

E-mail: neunix@yandex.ru**DISTRIBUTED SPEECH ANALYSIS SOFTWARE COMPLEX**I.V. Kovalev, V.I. Fedoseev, A.S. Vorontsov

Scientific Supervisor: Associate professor, Ph.D. A.A. Konev

Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, Russia, Tomsk, Lenin str., 40, 634050

E-mail: neunix@yandex.ru

Abstract. *The problem of computer modeling of speech processing methods based on the principles of the human auditory system is considered. The goal of the project is to create a software package for identifying the parameters of a speech signal, which makes it possible to recognize phonemes in oral speech based on algorithms based on the principles of the human auditory system.*

Введение. Распознавание слитной речи дает системе много больше возможностей для автоматизации. Системы речевых технологий распознают, анализируют и синтезируют голос человека. Они применяются в таких сферах, как заводское производство, банковский сервис, маркетинг, мобильные приложения.

Экспериментальная часть. Комплекс использует клиент-серверную архитектуру (рис. 1), где клиентская часть используется для отправки команд и отображения диаграмм с результатом обработки речевых сигналов оператору, а серверная – для вычисления параметров и работой с базой данных. На текущий момент развития сферы информационных технологий - это самая популярная архитектурой для корпоративных приложений [1, 2]. К преимуществам такой архитектуры можно отнести пониженные требования к компьютерам клиентов, так как большая часть вычислительных операций будет производиться на сервере, а также архитектура клиент-сервер довольно гибкая и позволяет сделать сеть более защищенной.

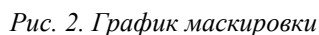
Серверная часть написана на языке программирования C++ и состоит из следующих модулей обработки речевых сигналов: модуль свертки звукового сигнала с фильтром распределяет частоты сигнала по каналам и отбрасывает ненужные каналы. Полученный спектр звукового сигнала поступает в модуль маскировки, который выделяет в спектре наиболее интенсивные частоты, скрывая окружающие их менее интенсивные частоты, что сравнимо с тем, как это делает человеческое ухо. Далее файл обрабатывается модулем вокализации для выделения гармоник сигнала с максимальной интенсивностью.

Клиентский модуль написан на языке программирования Python с использованием библиотек tkinter (графическая библиотека) и Matplotlib (библиотека для визуализации данных).



Речевой корпус содержит описания сегментов записи речи, посторонних шумов, дефектов речи, дикторов, диалектов, эмоционального состояния [3]. Каждая звуковая единица в сегментации имеет свое описание [4–6]. При разработке речевого корпуса был учтен опыт проектов Speech-Dat(E) и Speech-Dat(II) [7].

Результаты. Были проведены проверки на различных мужских и женских речевых сигналах. На рис. 2 показан пример результата маскировки звукового сигнала, на рис. 3 - результата вокализации.



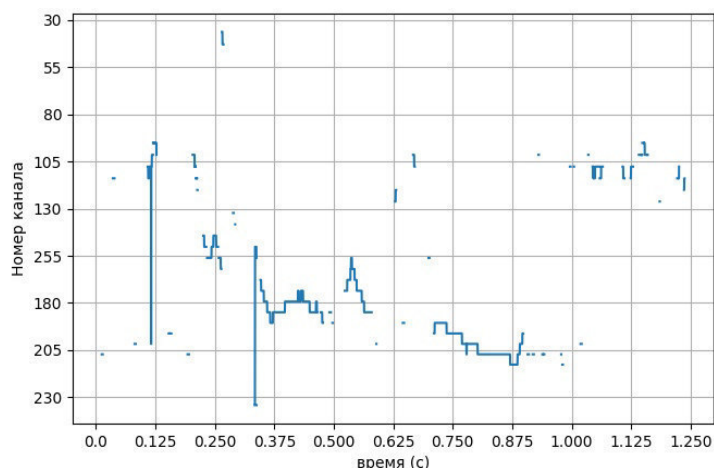


Рис. 3. График вокализации

Результат работы комплекса совпадает с моделью, всё работает корректно. Были проверены модули ядра, интеграция клиентской части с серверной и запросы в БД.

Заключение. Был создан комплекс, который позволяет выполнить преобразование речевых сигналов, выделить наиболее интересные гармоники сигнала с максимальной интенсивностью, для дальнейшего анализа, и выявления особенностей звуков в речи. Созданный комплекс совпадает со схемой (рис. 1) и даёт возможность работать нескольким пользователям одновременно.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Асмоловский В.В., Мартынов Я.А. Преимущества использования многоуровневой клиент-серверной архитектуры при разработке корпоративных приложений // Молодёжь и современные информационные технологии. – 2014. – С. 156–157.
2. Щекочихин О.В., Черкасова Н.В. Анализ шаблонов проектирования информационных систем клиент-серверной архитектуры // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования. – 2019. – № 5 (51). – С. 26–29.
3. Свидетельство о регистрации базы данных RU 2018620585. Речевой корпус для систем анализа и распознавания речи / А.А. Конев, О.О. Шумская; 18.04.2018.
4. Денисов К.М. Речевые корпуса как источник фонетических данных // Теория и практика иностранного языка в высшей школе. – 2020. – № 16. – С. 29–34.
5. Westbury J.R. X-ray Microbeam Speech Production Database User's Handbook. Version 1.0. – Madison: WI, 1994. – 139 p.
6. Конев А.А. Модель и алгоритмы анализа и сегментации речевого сигнала: Автореф. Дис. ... канд. тех. наук. – Томск, 2007. – 20 с.
7. British English SpeechDat(II) FDB-4000 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://catalogue.elra.info/en-us/repository/browse/ELRA-S0097/>.

УДК 519.873

МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ БЛАГОНАДЕЖНОСТИ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ПРЕДПРИНИМАТЕЛЕЙ

Н.А. Козлова, А.С. Колтайс, А.О. Устинов

Научный руководитель: доцент, к.т.н. Е.М. Давыдова

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,

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

E-mail: nadine.99@mail.ru

MODEL FOR TRUSTWORTHINESS ASSESSMENT OF INDIVIDUAL ENTREPRENEURS

N.A. Kozlova, A.S. Koltays, A.O. Ustinov

Scientific Supervisor: Associate professor, Ph.D. E.M. Davydova

Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, Russia, Tomsk, Lenin str., 40, 634050

E-mail: nadine.99@mail.ru

Abstract. *The present article devoted for analysis of the regulations, determine the stop factors and criteria for trustworthiness assessment of individual entrepreneurs, also was build and test a mathematical model that will use for the trustworthiness assessment.*

Введение. По данным МВД РФ за январь-декабрь 2020 года на незаконное предпринимательство приходится на 6,4% преступлений больше по сравнению с предыдущим отчетным периодом [1]. Рост числа преступлений в сфере предпринимательской деятельности увеличивает риски столкнуться с контрагентом - индивидуальным предпринимателем (ИП), который может не исполнить свои обязательства. Следовательно, возрастает необходимость оценки благонадежности индивидуальных предпринимателей.

Экспериментальная часть. Законодательство РФ закрепляет в нормативно-правовых актах критерии для оценки благонадежности контрагентов – ИП. Проведя анализ таких нормативно - правовых актов как ФЗ «О государственной регистрации физических лиц и индивидуальных предпринимателей», ФЗ «О несостоятельности (банкротстве)», Приказ ФНС «Об утверждении концепции системы планирования выездных налоговых проверок» [2–4] были выделены критерии для оценки благонадежности ИП:

- 1) наличие сообщения кредитора о намерении обратиться в суд с заявлением о банкротстве;
- 2) принято решение о процедуре исключения недействующего ИП из ЕГРИП;
- 3) отсутствуют сведения в ЕГРИП;
- 4) лицо привлечено к субсидиарной ответственности;
- 5) наличие ИП в реестре недобросовестных поставщиков;
- 6) находится в реестре перечня лиц, на которое распространяется мораторий на банкротство;
- 7) наличие заблокированных счетов;
- 8) наличие незавершенных исполнительных производств;
- 9) индивидуальный предприниматель имеет недоимку или задолженность;
- 10) участие в закупках;

11) наличие арбитражных дел в роли ответчика.

Для проверки контрагента – ИП на благонадежность по выявленным критериям необходимо пользоваться официальными источниками, позволяющие получать достоверную информацию о контрагенте [5]. К таким источникам относятся: ФНС России, МВД РФ, ФСИН, реестр дисквалифицированных лиц, реестр недобросовестных поставщиков, ФССП, Росфинмониторинг, реестр государственных контрактов, реестр субъектов малого и среднего предпринимательства, реестр арбитражных управляющих, единый федеральный реестр сведений о банкротстве.

Для сокращения времени и упрощения проверки благонадежности контрагента – ИП была построена математическая модель. На вход идут данные о контрагенте, на выходе степень благонадежности контрагента. Для построения модели ранее выявленные критерии были разбиты на две группы: стоп-факторы - факторы, наличие которых говорит о неблагонадежности контрагентов и критерии оценки. Каждому критерию и стоп-фактору было присвоено обозначение. Общий вид модели представлен в формуле 1:

$$\text{БИП} = \sum_{i=1}^7 K_i \cdot \text{Сф1} \cdot \text{Сф2} \cdot \text{Сф3}, \quad (1)$$

где БИП – благонадежность индивидуального предпринимателя;

Сф1 – стоп-фактор - наличие сообщения кредитора о намерении обратиться в суд с заявлением о банкротстве;

Сф2 – стоп-фактор - принято решение о процедуре исключения недействующего ИП из ЕГРИП;

Сф3 – стоп фактор - отсутствуют сведения в ЕГРИП;

K1 – критерий оценки - лицо привлечено к субсидиарной ответственности;

K2 – критерий оценки-наличие ИП в реестре недобросовестных поставщиков;

K3 – критерий оценки – ИП находится в реестре перечня лиц, на которое распространяется мораторий на банкротство;

K4 – критерий оценки - наличие заблокированных счетов;

K5 – критерий оценки - наличие незавершенных исполнительных производств и (или) индивидуальный предприниматель имеет недоимку или задолженность;

K6 – критерий оценки - участие в закупках;

K7 – критерий оценки - наличие арбитражных дел в роли ответчика.

Каждому критерию оценки и стоп-фактору были присвоены баллы (Таблица 1). Если 1 балл, то стоп-фактор не выявлен, 0 баллов - стоп-фактор выявлен. Аналогичным образом рассчитываются критерии, если нет негативных факторов, то 1 балл, если есть, то 0 баллов.

Максимальное значение равняется 7 баллам, минимальное 0. Если ИП набирает 4 балла и больше, что составляет больше 50% от максимального числа возможных баллов, то он благонадежен.

Результаты. Для апробации модели была сделана выборка ИП Томской области. Выборка составила 7653 ИП. 411 ИП оказались неблагонадежными по модели. Для определения точности разработанную модель сравнили с результатами проверки ИП в ИАС СПАРК [6]. Расхождения были обнаружены у 361 ИП из-за отсутствия в СПАРКе оценки благонадежности, оставляя решение за экспертами. Точность модели составила 95,28%.

Таблица 1

Баллы для критериев оценки благонадежности ИП

Название критерия	Баллы		Источник для проверки
	1	0	
Сф1	Сообщение отсутствует	Сообщение присутствует	Единый федеральный реестр сведений о банкротстве
Сф2	Нет решения	Есть решение	ФНС
Сф3	Есть сведения	Нет сведений	ФНС
К1	Не привлечено	Привлечено	Единый федеральный реестр сведений о банкротстве
К2	Отсутствует в реестре недобросовестных поставщиков	Находится в реестре недобросовестных поставщиков	Реестр недобросовестных поставщиков
К3	Отсутствует в перечне	Находится в перечне	Реестре перечня лиц, на которых распространяется мораторий на банкротство
К4	Нет заблокированных счетов	Есть заблокированные счета	ФНС
К5	Нет	Есть	ФССП, ФНС
К6	Есть	Нет	ЕИС в сфере закупок
К7	Нет	Есть	Картотека арбитражных дел

Заключение. Разработанная модель оценки благонадежности ИП проверяет контрагента по критериям, установленным законодательством РФ, что позволяет определить риски, негативные факторы, которые могут возникнуть при сотрудничестве с ИП, а также использование модели сокращает время проверки. Благодаря оценке благонадежности контрагентов - ИП снижается риск невыполнения обязательств, и как следствие сокращается число преступлений в сфере предпринимательской деятельности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Официальный сайт МВД РФ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://xn--blaew.xn--plai/>. (дата обращения: 22.02.2021)
2. Ф3 «О государственной регистрации физических лиц и индивидуальных предпринимателей» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_32881/ (дата обращения: 23.02.2021)
3. Ф3 «О несостоятельности (банкротстве)» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_39331/ (дата обращения: 25.02.2021)
4. Приказ ФНС «Об утверждении концепции системы планирования выездных налоговых проверок» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_55729/ (дата обращения: 25.02.2021)
5. Горяев А.В., Колтайс А.С., Шатрова А.А., Козлова Н.А. Алгоритм проверки контрагента на основе информации из официальных источников // Сборник избранных статей научной сессии ТУСУР. – Томск, 2020. – Т. 2. – С. 138–141.
6. Информационно - аналитическая система СПАРК [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.spark-interfax.ru/> (дата обращения: 26.02.2021)

УДК 535.2

**ФОТОВОЛЬТАИЧЕСКИЕ ПОЛЯ ФОТОРЕФРАКТИВНЫХ ГОЛОГРАММ НАД
ПОВЕРХНОСТЬЮ МИКРОСТРУКТУРЫ $\text{LiNbO}_3\text{:Cu}$ X-СРЕЗА**А.А. Колмаков, А.С. Темерева, Р.И. Анисимов

Научный руководитель: профессор, д.ф.-м.н. С.М. Шандаров

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,

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

E-mail: kolmakov.sasha1@mail.ru**PHOTOVOLTAIC FIELDS OF PHOTOREFRACTIVE HOLOGRAMS OVER THE SURFACE OF
THE $\text{LiNbO}_3\text{:Cu}$ X-CUT MICROSTRUCTURE**A.A. Kolmakov, A.S. Temereva, R.I. Anisimov

Scientific Supervisor: Prof., Dr. S.M. Shandarov

Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, Russia, Tomsk, Lenin str., 40, 634050

E-mail: kolmakov.sasha1@mail.ru

Abstract. Photovoltaic tweezers are a promising tool to place and move particles on the surface of a photovoltaic material in a controlled way. To exploit this technique it is necessary to accurately know the electric field created by a specific illumination. This paper presents the theoretical framework, including the calculations of electrical and dielectrophoretic potential. The calculations have been done for an X-cut copper-doped lithium niobate crystal. The analysis is applied to single Gaussian beam.

Введение. Развитие областей, таких как нанотехнологии и биомедицина, требует параллельного совершенствования инструментов манипулирования микро- и нанообъектами [1]. Среди них – электрокинетические методы, основанные на действующих на микро- и наночастицы электрофоретических или диэлектрофоретических силах [2-6], генерируемые вследствие фотовольтаического эффекта над поверхностью фоторефрактивных кристаллов при неоднородном освещении. Эти поля особенно велики в легированных фоторефрактивных кристаллах, таких как $\text{LiNbO}_3\text{:Fe}$ [2-5] и $\text{LiNbO}_3\text{:Cu}$ [6, 7]. Соответствующие устройства обычно называют фотовольтаическими пинцетами [5]. Привлекательными для их реализации являются диффузионно-легированные пластины $\text{LiNbO}_3\text{:Cu}$ X-среза, характеризующихся гауссовым распределением ионов меди с полушириной около 300 мкм [6], то есть являющихся микроструктурированными. Анализ распределений электрических полей, создаваемых в таких микроструктурах и над их поверхностью при их неоднородной засветке является сложной задачей, рассмотренной в [7] только в приближении преобладающей компоненты электрической напряженности поля пространственного заряда $E_z(x, z, t)$.

Целью настоящей работы является развитие теоретической модели, описывающей поле пространственного заряда в образце X-среза ниобата лития с диффузионным легированием фотовольтаически активной примесью, на начальном участке засветки такого образца единственным одномерным гауссовым пучком.

Теоретическая часть. С использованием приведенных в [6, 7] соотношений и параметров микроструктурированного слоя $\text{LiNbO}_3:\text{Cu}$ получено, что на начальном участке записи распределение электрического потенциала $\varphi_-(x, z, t)$, создаваемого в нем (при $x \leq 0$) одномерным гауссовым пучком с интенсивностью $J(z) = J_0 \exp(-2z^2/\Delta z^2)$, описывается следующим уравнением Пуассона:

$$\varepsilon_1 \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} + \varepsilon_3 \frac{\partial^2 \varphi}{\partial z^2} = -GS_w \hbar \omega_w C_{\text{Cu}^+}^m \exp\left(-\frac{x^2}{\Delta x^2}\right) t J_0 \exp\left[-\frac{\sqrt{\pi}}{2} k_0 \Delta x \operatorname{erf}\left(\frac{x}{\Delta x}\right)\right] \frac{4z}{\Delta z^2} \exp\left(-\frac{2z^2}{\Delta z^2}\right), \quad (1)$$

где ε_1 и ε_3 – диэлектрические проницаемости и G – константа Гласса кристалла $\text{LiNbO}_3:\text{Cu}$; $\hbar \omega_w$ – энергия кванта засвечивающего излучения и S_w – сечение фотоионизации для центров Cu^+ с гауссовым распределением концентрации по глубине, характеризуемым полушириной Δx и максимальным значением $C_{\text{Cu}^+}^m$ определяющим максимальную величину показателя поглощения k_0 на входной грани микроструктуры $x = 0$. Приближенное решение данного уравнения, удовлетворяющее граничным условиям $\partial \varphi_-(x, z, t)/\partial z = 0$ при $z = \pm z_0$ и условию конечности при $x = -x_0 \rightarrow -\infty$, для $x = 0$ может быть получено в виде

$$\varphi_-(0, z) = -\frac{4GS_w \hbar \omega_w C_{\text{Cu}^+}^m J_0 t}{\varepsilon_3 z_0 \Delta z^2} \sum_{p=1,3,5,\dots} p B_p \int_{-x_0}^0 dx' \int_{-x_0}^{x'} \exp\left[-\frac{(x'')^2}{(\Delta x')^2} + \frac{p\pi}{2z_0} x'' + \frac{\sqrt{\pi}}{2} k_0 \Delta x' \operatorname{erf}\left(\frac{x''}{\Delta x'}\right)\right] dx'' \sin\left(\frac{p\pi}{2z_0} z\right), \quad (2)$$

где введены обозначения $x' = \sqrt{\varepsilon_3/\varepsilon_1} x$, $\Delta x' = \sqrt{\varepsilon_3/\varepsilon_1} \Delta x$, и

$$B_p = \int_{-z_0}^{z_0} z' \exp\left(-\frac{2(z')^2}{\Delta z^2}\right) \sin\left(\frac{p\pi}{2z_0} z'\right) dz'. \quad (3)$$

Результаты. Результаты расчета распределения потенциала на границе $x = 0$ при значениях параметров $\text{LiNbO}_3:\text{Cu}$ $G = 4.6 \cdot 10^{-12}$ м/В, $S_w = 2.0 \cdot 10^{-4}$ м²/А, $k_0 = 582$ м⁻¹, $C_{\text{Cu}^+}^m = 7.8 \cdot 10^{24}$ м⁻³, $\Delta x = 316 \cdot 10^{-6}$ м, $\varepsilon_3 = 2.434 \cdot 10^{-10}$ Ф/м, $\varepsilon_1 = 3.982 \cdot 10^{-10}$ Ф/м из работы [7], для засвечивающего образец в течение времени $t = 12$ с одномерного гауссова пучка с интенсивностью на входной грани $J_0 = 2.6 \cdot 10^3$ Вт/м², полушириной $\Delta z = 1.41$ мм и длиной волны $\lambda_w = 532$ нм, при учете вклада в сумму в формуле (3) 14 членов и при ограничении области существования поля размерами $2z_0 = 8$ мм и $x_0 = 0.6$ мм, представлены на рис. 1, а.

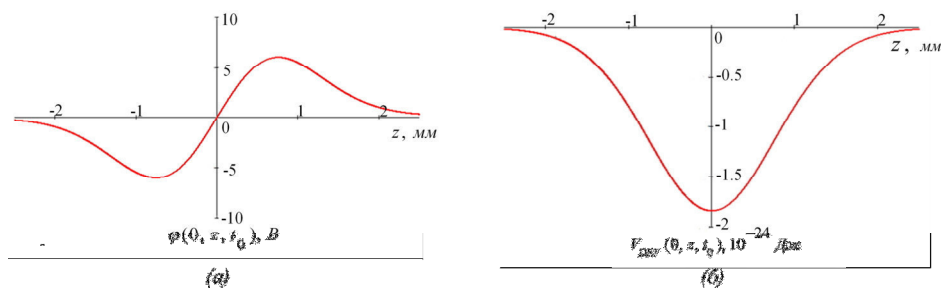


Рис. 1. Распределение электрического (а) и диэлектростатического (б) потенциалов на поверхности $x = 0$ кристалла $\text{LiNbO}_3:\text{Cu}$ X-среза

Распределение потенциала $\varphi_+(x, z, t)$ над поверхностью кристалла (при $x \geq 0$), удовлетворяющее уравнению Лапласа и условию непрерывности $\varphi_+(0, z, t) = \varphi_-(0, z, t)$ может быть найдено в виде интеграла Фурье по соответствующим собственным функциям. При этом, для нейтральных частиц с поляризуемостью α пространственная локализация над поверхностью должна наблюдаться в минимумах диэлектростатического потенциала [8], определяемого как

$$V_{DEF}(x, z, t) = -\varepsilon_0 \alpha \left\{ \left[\frac{\partial \varphi_+(x, z, t)}{\partial x} \right]^2 + \left[\frac{\partial \varphi_+(x, z, t)}{\partial z} \right]^2 \right\}. \quad (4)$$

Результаты его расчета для поляризуемости $\alpha = 1.2 \cdot 10^{-21} \text{ м}^3$, соответствующей наночастицам Al_2O_3 с радиусом 50 нм, нанесенным на поверхность $x = 0$ микроструктуры $\text{LiNbO}_3:\text{Cu}$, представлены на рис. 1,б.

Заключение. Представленные выше результаты анализа для поля, формирующегося на начальном участке при засветке кристалла $\text{LiNbO}_3:\text{Cu}$ X-среза одномерными гауссовыми пучками, свидетельствуют о том, что нейтральные частицы должны быть локализованы фотовольтаическим пинцетом такого типа в центральной области такого пучка.

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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Grier, D. G. A revolution in optical manipulation // Nature – 2003. – No. 424 – P. 810–816.
2. Esseling, M., Holtmann, F., Woerdemann, M., Denz, C. Two-dimensional dielectrophoretic particle trapping in a hybrid crystal // Opt. Express – 2010. – No. 18 – P. 17404–17411.
3. Zhang, X., Wang, J., Tang, B., Tan, X., Rupp, R. A., Pan, L., Kong, Y., Sun, Q., Xu, J. Optical trapping and manipulation of metallic micro/nanoparticles via photorefractive crystals // Opt. Express. – 2009. – No. 17. – P. 9981–9988.
4. Esseling, M., Zaltron, A., Argiolas, N., Nava, G., Imbrock, J., Cristiani, I., Sada, C., Denz, C. Highly reduced iron-doped lithium niobate for optoelectronic tweezers // Appl. Phys. B-Lasers O. – 2013. – No. 113. – P. 1–7.
5. Villarroel, J., Burgos, H., García-Cabañes, Á., Carrascosa, M., Blázquez-Castro, A., Agulló-López, F. Photovoltaic versus optical tweezers // Opt Express. – 2011. – No. 19 – P. 24320–24330.
6. Мамбетова, К.М., Шандаров, С.М., Татьянников, А.И., Смирнов, С.В. Агрегирование диэлектрических наночастиц на X-срезе кристалла $\text{LiNbO}_3:\text{Cu}$ электрическими полями фоторефрактивных голограмм // Известия вузов. Физика. – 2019. – Т. 62., № 4. – С. 89–93.
7. Мамбетова, К.М., Шандаров, С.М., Орликов, Л.Н., Арестов, С.И., Смирнов, С.В., Серебренников, Л.Я., Краковский, В.А. Формирование динамических фоторефрактивных решеток в кристалле $\text{LiNbO}_3:\text{Cu}$ с поверхностным легированием // Оптика и спектроскопия. – 2019. – Т. 126., № 6. – С. 858–863.
8. Arregui, C., Ramiro, J.B., Alcázar, Á., Méndez, Á., Burgos, H., García-Cabañes, Á., Carrascosa, M. Optoelectronic tweezers under arbitrary illumination patterns: theoretical simulations and comparison to experiment // Opt. Express. – 2014. – No. 22. – P. 29099–29110.

УДК 53.082, 53.089

**РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА ИЗМЕРЕНИЯ УРОВНЯ ЗАПОЛНЕНИЯ ЕМКОСТИ С
ПРОМЫШЛЕННО-БЫТОВЫМИ ОТХОДАМИ**

А.Д. Криницкий

Научный руководитель: доцент, к.ф.-м.н. О.А. Доценко

Национальный исследовательский Томский государственный университет,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 36, 634050

E-mail: krinitskii1999@mail.ru

**DEVELOPMENT OF A DEVICE FOR MEASURING THE FILLING LEVEL OF A CONTAINER
WITH INDUSTRIAL WASTE**

A.D. Krinitskiy

Scientific Supervisor: Associate professor, Ph.D. in Physico-mathematical sciences O.A. Dotsenko

Tomsk State University, Russia, Tomsk, Lenin str., 36, 634050

E-mail: krinitskii1999@mail.ru

Abstract. *In the present study the concept of a device for measuring the filling of the volume of a container with industrial and domestic waste. A block diagram of the main functionality has been compiled. The results of trial tests are presented.*

Введение. В настоящее время все больше внимания стало уделяться мировой экологической обстановке. В частности, остро стоит проблема сбора и сортировки мусора в системе городского хозяйства[1]. При организации вывоза твердых отходов возникает несколько противоположных проблем, именно – либо мусорные контейнеры могут находиться в переполненном состоянии, либо машины совершают «холостые рейсы». Подобная же проблема существует и на множестве промышленных производственных предприятий, так как система контроля емкостей с переработанными материалами, в большинстве случаев, не имеет системы оповещения об уровне наполненности. Основу устройства составляет ультразвуковой датчик измерения расстояния [2] из-за его достаточно точных измерений, невосприимчивостью показаний к загрязнению и влаге и относительно небольшой стоимости. Цель данной работы состоит в создании автоматизированной системы контроля за промышленно-бытовыми отходами. Задачей является разработка устройства, отслеживающего уровень наполнения контейнеров с материалами, требующими утилизации, работающего в автономном режиме сбора данных.

Экспериментальная часть. На первом этапе выполнения работы был составлен алгоритм работы устройства. Блок-схема алгоритма приведена на рис. 1. Для экономии энергии аккумулятора измерения будут производиться с интервалом в 30 минут. Измерение температуры позволит регулировать обработку данных о наполненности контейнера с учетом условий распространения звука, а так же просигнализировать в случае возникновения пожара. Вывод из режима сна будет осуществляться также при срабатывании датчика наклона, который регистрирует момент опустошения емкости.

Для решения основного набора задач была разработана концепция измерительного устройства, состоящего из микроконтроллера Atmega328 – базовой части платформы Arduino Uno, трех

ультразвуковых датчиков (УЗД) HC-SR04 и светодиодов. Об уровне заполнения контейнера сигнализирует красный светодиод. УЗД, соединенные проводами с микроконтроллером, крепятся к стенкам контейнера, или к крышке. Микроконтроллер и светодиод находятся на внешней стенке контейнера.

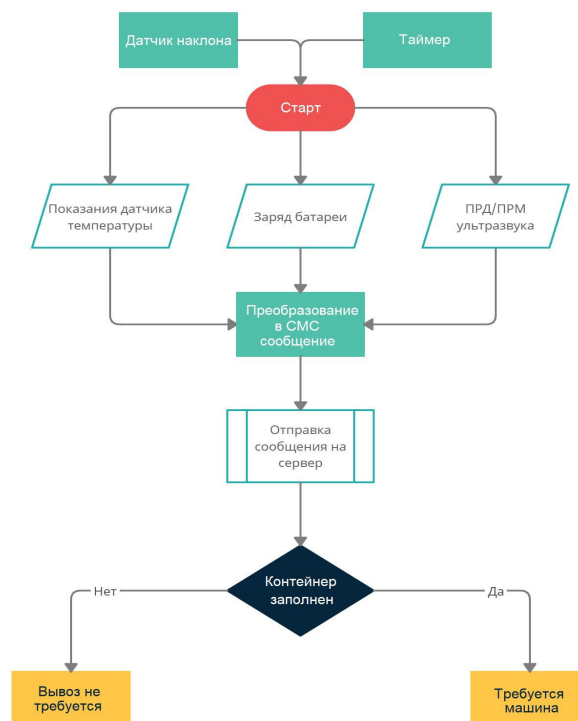


Рис. 1. Блок-схема базового функционала

Известно, что ультразвуковой датчик может хорошо измерять расстояние в случае сыпучих, жидких, прозрачных и отражающих веществ. Эксперимент проводился следующим образом: по краям верхней крышки картонной коробки размещались три ультразвуковых датчика, соединенные проводами с микроконтроллером, прикрепленным к внешней боковой стенке коробки. В качестве сигнализирующего устройства использовался светодиод с тремя режимами работы: выключен, пока уровень содержимого не достиг 54% высоты емкости; мигающий через секунду, если уровень составляет от 54% до 71%, и непрерывный, если уровень наполнения более 71%. В качестве тестовых образцов использовались разнотипные материалы. К таким были отнесены: смятая бумага – имитация обычного мусора (полиэтиленовые мусорные пакеты, бутылки и т.д.) и как разновидность сыпучих материалов, спутанные провода – из-за возможных рассеивающих свойств ультразвукового излучения, ёлочная мишура – из-за возможности наличия у нее отражающих свойств по отношению к ультразвуковому излучению, углеродсодержащий поролон с одной из поверхностей в форме угловых отражателей – в качестве пенного материала, имеющего поглощающие свойства.

Результаты. В ходе проведения эксперимента результаты измерений импровизированного мусорного бака (рис. 2) с бумажным содержимым показали, что в среднем относительная погрешность определения уровня составляет порядка 8%. Необходимо учесть тот факт, что коробка имеет размеры, которые относительно реального мусорного бака достаточно малы, и за счет этого погрешность в данном эксперименте больше, чем была бы в ходе исследования настоящего контейнера.



Рис. 2. Макет прототипа устройства измерения

После наполнения контейнера мишурой оказалось, что показания датчиков с абсолютной погрешностью в 1 сантиметр совпали с результатами прямых измерений, полученных с помощью линейки. Также было обнаружено, что в результатах появились значения с большей погрешностью, чем основное значение. Из этого можно сделать вывод, что материалы с подобными характеристиками имеют отражательные и рассеивающие свойства, способные повлиять на показания датчиков, однако суммарные показания трех датчиков дают малую погрешность. Обычные медные радиомонтажные провода, перепутанные между собой, не повлияли на способность ультразвуковых датчиков измерять расстояния до таких объектов. Полученная погрешность составила 12%. Однако, в отличие от опыта с мишурой, случайных значений было немного больше, что привело к погрешности в определении уровня от 12% до 18%. Последним же материалом для исследования был взят звукопоглощающий поролон, у которого одна из поверхностей имела форму уголкового отражателя. Результаты исследования оказались ожидаемыми. Два УЗД не дали абсолютно никаких адекватных результатов (из-за разных моделей один измеритель показывал максимальное расстояние, соответствующее пустому контейнеру, а второй не получил отраженного сигнала). Но третий УЗД смог зарегистрировать отраженный сигнал, хотя и с погрешностью более 60%. Это показывает, что выбранные пенные материалы практически полностью поглощают звуковое излучение, из-за чего применение ультразвуковых датчиков в местах утилизации таких материалов не возможно.

Заключение. В результате проведенных исследований было выявлено, что рассмотренный ультразвуковой датчик типа HC-SR04 хорошо справляется с измерением расстояния рассмотренных материалов, кроме образцов поролона из-за его поглощающих свойств. Использование ультразвуковых датчиков целесообразно, для использования их в случае измерения, как уровня бытовых отходов, так и промышленных. В дальнейшем планируется переход к исследованиям на более современных микроконтроллерах и датчиках.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мутугуллина И.А., Ахмедзянова Ф.К. Комплексный подход к решению проблемы твердых бытовых отходов (ТБО) // Вестник Казанского технологического университета. – 2013. – № 9. – С. 246–250.
2. Мельников А.А. Ультразвуковые преобразователи в средствах измерения. – М.: «Компания Спутник+», 2010. – 154с.

УДК 533.9.03

**ИССЛЕДОВАНИЕ ИНИЦИИРОВАНИЯ КОНТРАГИРОВАННОГО ДУГОВОГО РАЗРЯДА В
ИМПУЛЬСНОМ ФОРВАКУУМНОМ ПЛАЗМЕННОМ ИСТОЧНИКЕ ЭЛЕКТРОНОВ**А.В. Казаков, А.С. Кузьмин, Н.А. Панченко

Научный руководитель: профессор, д.т.н. Е.М. Окс

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,

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

E-mail: andrykazakov@gmail.com**RESEARCH OF THE INITIATION OF A CONSTRICTED ARC DISCHARGE IN A PULSED
FOREVACUUM PLASMA ELECTRON SOURCE**A.V. Kazakov, A.S. Kuzmin, N.A. Panchenko

Scientific Supervisor: Prof., Dr. E.M. Oks

Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, Russia, Tomsk, Lenin str., 40, 634050

E-mail: andrykazakov@gmail.com

Abstract. *The research of initiation of a constricted arc discharge in the forevacuum plasma electron source is presented. An increase in amplitude of ignition voltage and increase in gas pressure provide an increase in probability of initiation of the constricted arc discharge.*

Введение. Дуговой разряд с катодными пятнами часто используется в импульсных плазменных источниках электронов для генерации эмиссионной плазмы [1]. Данный тип дуги обладает рядом преимуществ, однако он имеет и недостатки, которые негативно влияют на характеристики источников электронов. В частности, недостатки обусловлены процессами, происходящими в катодной области разряда и связанными с функционированием катодных пятен. Для снижения влияния этих процессов в традиционных источниках с плазменными катодами, которые формируют электронные пучки при давлениях 10^{-4} – 10^{-1} Па, используется контрагированный дуговой разряд [1]. Контрагирование дугового разряда, которое осуществляется узким каналом в промежуточном электроде, располагаемым между катодом и анодом, обеспечивает экранирование катодной области разряда от анодной области, где происходит формирование эмиссионной плазмы. Преимущества контрагированного дугового разряда делают привлекательным его использование в форвакуумном импульсном источнике электронного пучка. Особенности зажигания (инициирования) контрагированного дугового разряда исследованы в традиционных источниках, но в форвакуумных источниках инициирование данного типа дуги не исследовалось. Поэтому цель данной работы заключалась в исследовании инициирования импульсного контрагированного разряда в форвакуумном плазменном источнике электронов.

Методика эксперимента. Разрядная система форвакуумного плазменного источника электронов на основе контрагированного дугового разряда устанавливалась на фланце вакуумной камеры, откачиваемой механическим насосом (рис. 1). Подробное описание использованной электродной системы представлено в [2]. Давление рабочего газа, в качестве которого использовался азот, изменялось скоростью напуска газа в камеру. Инициирование контрагированного дугового разряда осуществлялось

вспомогательным разрядом по поверхности керамического изолятора при использовании генератора поджигающих импульсов, который обеспечивал подачу импульсного напряжения U_i до 5 кВ с длительностью импульса 20 мкс. Питание дугового разряда осуществлялось блоком питания на основе формирующей линии, обеспечивающей длительность импульса 120 мкс. В экспериментах «дежурящее» напряжение (т.е. напряжение до инициирования разряда) на формирующей линии, а соответственно между катодом и анодом было $U_0 = 500$ В. После инициирования разряда напряжение между катодом и анодом уменьшалось до напряжения горения дуги. Поскольку при определенных условиях контрагированный дуговой разряд может переходить в каскадный режим функционирования [2, 3], который не является рабочим режимом, то для контроля перехода дуги в данный режим, как и в работе [3], промежуточный электрод выполнен в виде двух изолированных пластин из нержавеющей стали толщиной 1 мм каждая. Пластины соединены проводником, в котором при переходе в каскадный режим функционирования возникает ток I_c близкий к току I_d дугового разряда. Размеры канала контрагирования были следующими: диаметр 3 мм, протяженность канала 3 мм. Вероятность η инициирования контрагированного дугового разряда оценивалась как отношение числа N_d успешных зажигания разряда к полному числу N импульсов, подаваемых генератором поджигающих импульсов ($\eta = N_d/N$).

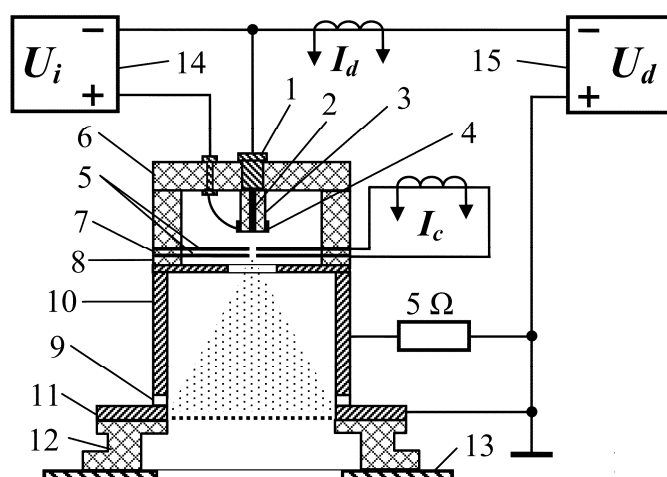


Рис. 1. Схема экспериментальной установки: 1 – токоввод; 2 – медный катод; 3 – керамический изолятор; 4 – поджигающий электрод; 5 – контрагирующий электрод; 6 – 9 – изоляторы; 10 – полый анод; 11 – плоская часть анода с эмиссионным окном, 12 – высоковольтный изолятор; 13 – фланец вакуумной камеры; 14 – генератор поджигающих импульсов; 15 – импульсный блок питания разряда

Результаты экспериментов и их анализ. Достаточно стабильное инициирование контрагированного дугового разряда при напряжении U_i до 5 кВ обеспечивается, когда протяженность поверхности керамического изолятора между катодом и поджигающим электродом составляет 0,9 мм. Увеличение амплитуды поджигающего напряжения U_i приводит к росту вероятности η инициирования дуги (рис. 2, а). Увеличение давления рабочего газа так же приводит к росту вероятности η (рис. 2, б). Для использованной электродной системы, тока разряда I_d и рабочего газа контрагированный дуговой разряд стабильно функционирует при давлении более 6 Па, а при меньшем давлении велика вероятность перехода дуги в каскадный режим функционирования, что является не рабочим режимом. Поэтому на графике зависимости η от p не представлены вероятности при давлении менее критического, поскольку

не реализуется контрагированный режим функционирования дуги. Наблюдаемые зависимости по инициированию контрагированного дугового разряда вспомогательным разрядом по поверхности диэлектрика можно объяснить, используя модель пробоя по поверхности диэлектрика [4], модифицированную и дополненную для случая инициирования дугового разряда с катодным пятном с учетом более высоких давлений форвакуумного диапазона [5]. В тоже время, по сравнению с инициированием обычного дугового разряда с катодным пятном [5], при схожих напряжении U_i и давлении p вероятность инициирования контрагированного дугового разряда немного ниже. Это очевидно обусловлено наличием промежуточного электрода, который затрудняет развитие разряда.

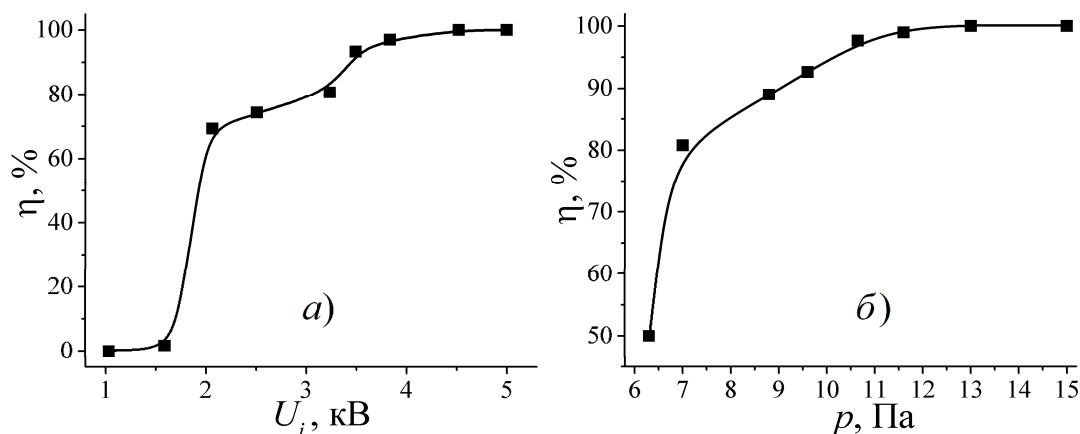


Рис 2. Зависимости вероятности η инициирования контрагированного дугового разряда от амплитуды U_i поджигающего импульса при $p = 8$ Па (а) и от давления газа p при $U_i = 2,5$ В (б)

Закключение. Проведены исследования инициирования контрагированного дугового разряда в форвакуумном плазменном источнике электронов. Увеличение амплитуды поджигающего импульса и давления рабочего газа обеспечиваю рост вероятности инициирования контрагированной дуги.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 20-08-00123.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Окс Е.М. Источники электронов с плазменным катодом: физика, техника, применения. – Томск: Изд-во НТЛ, 2005. – 216 с.
2. Kazakov A.V., Medovnik A.V., Oks E.M., Panchenko N.A. Parameters and characteristics of a pulsed constricted arc discharge operating in a forevacuum-pressure plasma-cathode electron beam source // Vacuum. – 2021. – V. 186. – Art. no. 110071.
3. Гаврилов Н.В. и др. Переход дугового разряда низкого давления из контрагированного в каскадный режим горения // Журнал технической физики. – 1983. – Т. 53, № 10. – С. 1947–1951.
4. Anderson R.A., Brainard J.P. Mechanism of pulsed surface flashover involving electron-stimulated desorption // Journal of Applied Physics. – 1980. – V. 51, No. 3. – P. 1414–1421.
5. Medovnik A.V., Bakeev I.Y., Burdovitsin V.A., Kazakov A.V., Oks E.M. Simulation of the processes of cathode arc initiation by a discharge over the dielectric surface in the forevacuum region of pressures // Journal of Engineering Physics and Thermophysics. – 2016. – V. 89, No. 5. – P. 1265–1270.

УДК 004.032.26

СОЗДАНИЕ НЕЙРОННОЙ СЕТИ ДЛЯ АНАЛИЗА ИЗОБРАЖЕНИЙ

П.Ю. Лаптев, А.А. Гриценко, Н.Д. Шабанов

Научный руководитель: к.т.н. Е.Ю. Костюченко

Томский государственный университет системы управления и радиоэлектроники,

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

E-mail: pavel.laptev.99@mail.ru

CREATION OF A NEURAL NETWORK FOR IMAGE ANALYSIS

P.U. Laptev, A.A. Gritsenko, N.D. Shabanov

Scientific Supervisor: Ph.D. E.U. Kostyuchenko

Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, Russia, Tomsk, Lenin ave., 40, 634050

E-mail: pavel.laptev.99@mail.ru

Abstract. *In this work, steps were taken to develop a method for image segmentation based on a neural network using the parameters of a pretrained MobileNet network.*

Введение. Проект направлен на изучения способов сегментации изображений на основе нейронной сети с применением параметров предварительно обученной сети MobileNet и языка программирования python.

Целью проекта является разработка программного обеспечения на основе нейронных сетей для быстрого анализа изображений. В качестве изображений были взяты фотографии ценников сети магазинов «Лента», а в качестве результата анализа – цена за единицу товара.

Экспериментальная часть. Был собран датасет для обучения нейронной сети: на фотографиях ценников были выделены классы, с которыми предстоит работать нейросети [1]. Изначально работа ведётся над одним классом.

Архитектура нейронной сети представляет собой набор свёрточных слоёв, с использованием приёма «bottleneck». Первая половина нейронной сети, отвечающая за сжатие изображения, выполнена на основе сети MobileNet, с предобученными параметрами, которая была «заморожена» [2, 3]. Полная архитектура нейронной сети представлена на рисунке 1. В качестве языка программирования был выбран python с использованием библиотеки TensorFlow, т.к. они обладают всем необходимым функционалом для работы с нейронными сетями.

В качестве функции потерь использовалась функция бинарной кросс энтропии, в качестве функций активации использовалась функция «ReLU», а в качестве оптимизатора был использован алгоритм «Adam».

На ценнике выделяются несколько классов, с которыми должна взаимодействовать программа. Изначально, нейронная сеть работает только с одним классом на ценнике – цене по карте.

На вход в нейронную сеть подаются изображения размера 256×256 пикселей. Далее с помощью свёрточных слоёв и приёма «боттлнек» (bottleneck) происходит анализ и сегментация изображений. Тип

данных train необходим для обучения нейронной сети, тип данных test используется при валидации нейронной сети. Примеры входных данных приведены на рисунке 2 для класса цены товара.

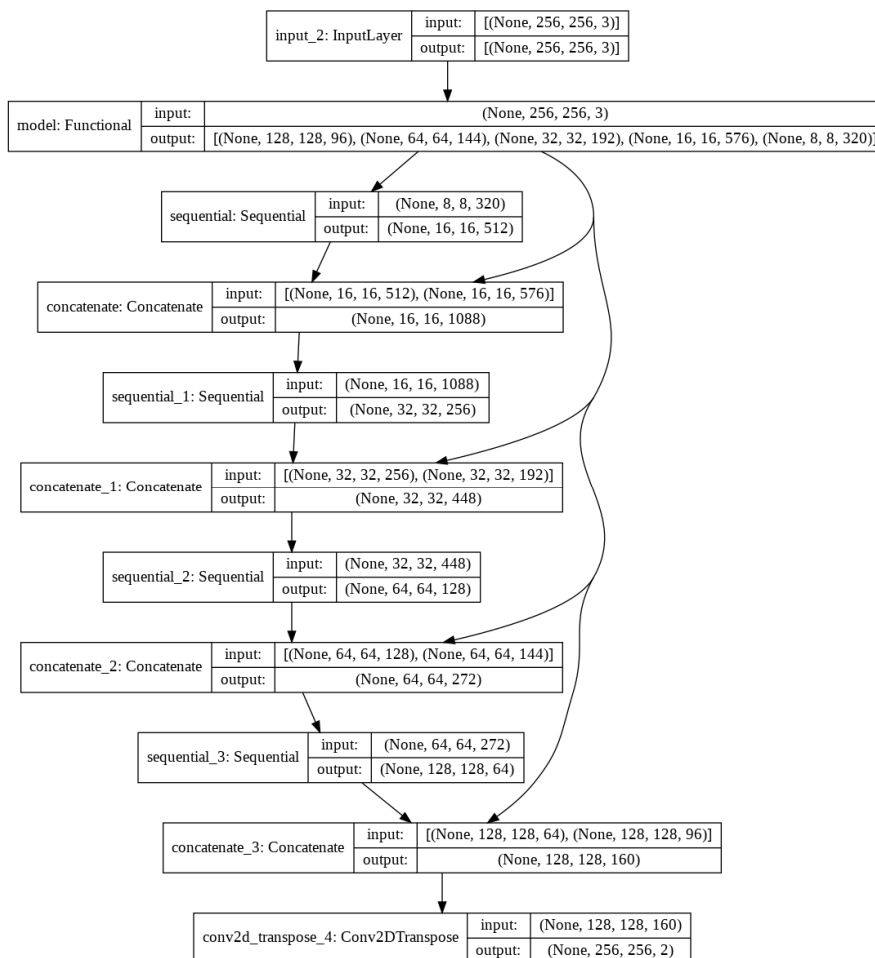


Рис. 1. Архитектура нейронной сети



Изображение ценника



Маска изображения

Рис. 2. Пример входных данных на основе сегмента price_card

Результаты. Нейронная сеть была обучена на небольшом датасете – 40 изображений типа train и 10 изображений типа test на 50 эпохах. Была получена точность $acc = 97,6\%$. На рисунке 3 представлен результат работы нейронной сети после обучения. При этом, из графика на рисунке 4 видно, что переобучения во время обучения не наблюдалось, из чего можно сделать вывод, что возможно увеличение эпох обучения, что может повысить результат работы нейронной сети.

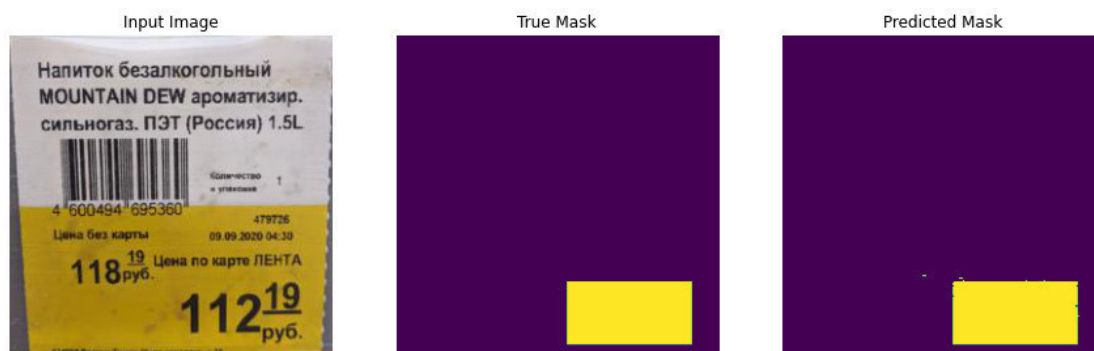


Рис. 3. Результат работы обученной сети

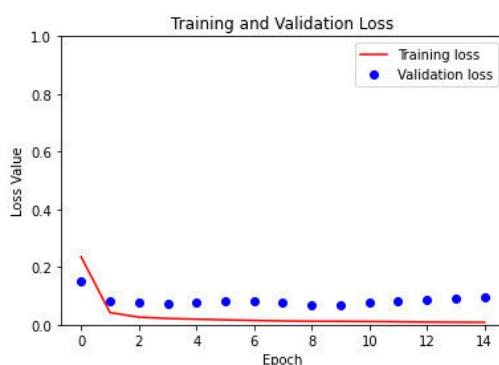


Рис. 4. Изменение функции потерь во время обучения

Заключение. Дальнейшая работа в проекте направлена на распространение работы нейронной сети на остальные классы, разработка программного обеспечения.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках научных проектов, выполняемых коллективами исследовательских лабораторий образовательных учреждений высшего профессионального образования Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, номер проекта FEWM-2020-0042.

Авторы выражают благодарность Иркутскому суперкомпьютерному центру СО РАН за предоставленный доступ к НРС-кластеру «Академик В.М. Матросов» [4].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кирнос В.П., Петров В.А., Трапезников И.Н. Алгоритм поиска пути минимальной стоимости в задаче сегментация символов на изображении // REDS: Телекоммуникационные устройства и системы. – 2013. – Т. 3, №. 3. – С. 268–270.
2. Попов М.И., Миронов А.С. Сегментация изображений с использованием нейронных сетей // Информационные технологии XXI века. – 2018. – С. 53–62.
3. Емельянов А. В. Анализ методов семантической сегментации изображений на основе нейронных сетей // Математические методы в технике и технологиях - ММТТ. – 2019. – Т. 12. – С. 195–201.
4. Иркутский суперкомпьютерный центр СО РАН [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://hpc.icc.ru>. (дата обращения 22.11.2020)

УДК 621.384.3

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС ИЗГОТОВЛЕНИЯ И ИССЛЕДОВАНИЕ
ДИОДНЫХ ОПТОПАР**А.Е. Лебединская

Научный руководитель: профессор, д.т.н. С.В. Оболенский

Филиал РФЯЦ ВНИИЭФ «НИИИС им. Ю.Е. Седакова»

Россия, г. Нижний Новгород, БОКС №486, 603950

E-mail: Anastasia_le@mail.ru**PROCESS TECHNOLOGY AND INVESTIGATION OF RADIATION-RESISTANT
DIODE OPTOCOUPERS**A.E. Lebedinskaya

Scientific Supervisor: Prof., Dr. S.V. Obolenskii

Branch of the Federal State Unitary Enterprise «Russian Federal Nuclear Center - All-Russian

Research Institute of Experimental Physics», «Yu.E. Sedakov Research Institute of Measuring

Systems», Russia, Nizhny Novgorod, box №486, 603950

E-mail: Anastasia_le@mail.ru

Abstract. Results and design of radiation-resistant diode optocoupler for secondary power supplies are demonstrated here. Crystals of radiation resistant sources based on GaAsAl double heteroepitaxial structures, and crystals of radiation resistant receivers are made on «silicon on sapphire» structures. Mounting of crystals in ceramic-metal cases fabricated with optotransparent organic-silicon glue - hermetic. Results of this optocoupler tests demonstrated high radiation resistant level to γ - to the neutron radiation, corresponding to requirements to a radiation-resistant equipment of control systems and communication.

Введение. Перспективным направлением развития оптоэлектроники является разработка источников и приемников излучения и оптоэлектронных изделий на их основе. Оптронами называют такие оптоэлектронные приборы, в которых имеются источник и приемник излучения (светоизлучатель и фотоприемник) с тем или иным видом оптической связи между ними, конструктивно связанные друг с другом.

Оптопары применяются для передачи информации между устройствами, не имеющими замкнутых электрических связей. Этот вид оптронов широко используются в технике получения и отображения информации. Оптопары образуют существенную часть многих фотонных систем. Они обеспечивают изоляцию электрического тока между блоками цепей, которая увеличивает надёжность, например, работающих в космосе приборов. Применение оптопары ИК – диапазона актуально в условия повышенной радиационной стойкости.

В сочетании со сложностью выполнения современных спецстойких оптоэлектронных приборов и их рабочими частотами выполнение указанных требований накладывает весьма жесткие ограничения на схемотехнические, конструкционные и технологические решения таких изделий.

Экспериментальная часть. Характеристики оптопары, как и любого полупроводникового электронного устройства, под воздействием радиации ухудшаются. Требуемые уровни радиационной

стойкости оптопар обеспечиваются стойкостью составляющих элементов [1]. Для диодных оптоэлектронных пар это источник и приемник излучения, а также оптически прозрачная среда.

В общем случае к фотоприемникам, используемым в оптронных приборах, предъявляют требования по согласованию спектральных характеристик с излучателем, минимуму потерь при преобразовании светового сигнала в электрический, фоточувствительности, быстродействию, размерам фоточувствительной площадки, надежности и уровню шумов. В качестве приемника оптического излучения использовался разработанный в ФГУП «РФЯЦ ВНИИЭФ» «НИИИС им. Ю.Е. Седатова» (г. Нижний Новгород) фотодиод. При разработке конструкции и технологии изготовления кристаллов фотодиодов оптоэлектронных пар за прототип были приняты фотодиоды 2ОФ142А [2]. Кристаллы фотодиодов серии 2ОФ142А обладают высокой стойкостью к γ -нейтронному излучению и по основным параметрам соответствуют требованиям к электрофизическим характеристикам оптоэлектронных пар. Фотодиод изготовлен по планарной технологии «кремний на сапфире» (КНС) [3].

Основные требования к излучателю оптрона состоят в достижении высокого КПД, высокой мощности излучения и быстродействия, достаточно узкой направленности излучения, минимального входного тока. Важно иметь широкий динамический диапазон входных токов, в котором квантовая эффективность излучателя и коэффициент передачи оптрона по току постоянны. При разработке кристаллов радиационно-стойких излучателей для диодной оптопары за основу был принят полупроводниковый излучатель 3Л139 ИК-диапазона с длиной волны 0,88 мкм изготовленный АО «НИИПП» (г. Томск), имеющий повышенную стойкость к воздействию ионизирующего излучения.

При проектировании конструкции оптопары важное значение имеет правильный выбор оптического канала между излучателем и фотоприемником. В качестве материала оптического канала используется оптически прозрачная иммерсионная среда, которая должна отвечать следующим требованиям: минимальные потери света, т.е. спектральное согласование с излучателем и фотоприемником; высокий уровень электрической изоляции между входом и выходом; механическая прочность; хорошая адгезия с кристаллами кремния и арсенида галлия. При выборе оптической среды ее изолирующие свойства играют определяющую роль, если расстояние между излучателем и приемником очень мало. В качестве иммерсионной среды заполнения для сборки спецстойкой оптопары выбран специальный кремнийорганический компаунд «Эласил 137-180 ТУ6-02-1214-81.

Общий вид разработанной конструкции диодной оптопары представлен на рисунке 1 [4].

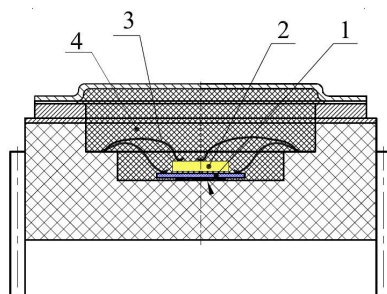


Рис. 1. Эскиз конструкции диодной оптопары

1 – кристалл фотодиода; 2 – кристалл светодиода; 3 – золотая проволока; 4 – клей-герметик кремнийорганический

Результаты. Данная конструкция прошла перечень испытаний, определённый стандартами на полупроводниковые приборы. Анализ результатов испытаний показал соответствие данной конструкции по следующим основным параметрам: механический удар одиночного действия – 1500 g, длительность действия ударного ускорения 0,1 – 2 мс; линейное ускорение – 500 g; синусоидальная вибрация 1–2000 Гц, амплитуда ускорения 20 g; испытания на безотказность – 1000 ч. Проведённые испытания на конструктивно-технологический запас показали 3-х кратный запас по механической прочности конструкции.

Состав испытаний на стойкость к специальным факторам был выбран в соответствии с ГОСТ РВ 20.57.415-98, с учетом РД 319.03.31-97 и включал определительные имитационные испытания для определения конструктивно-технологических запасов стойкости диодных оптопар и характера изменения критериальных параметров диодных оптопар при воздействии спецфакторов. В результате испытаний диодной оптопары ЗОД1001А установлены следующие уровни стойкости: интегральный поток нейтронов - $2,19 \times 10^{14}$ ед./с; мощность дозы излучения - $6,6 \times 10^{11}$ ед./с; доза излучения - $6,5 \times 10^5$ Р.; интегральный поток электронов - 6×10^5 рад; интегральный поток протонов - 6×10^5 рад.

С целью подтверждения радиационной стойкости клея-герметика «Эласил 137-180» были проведены измерения светопропускания материала на УФ-ВИД спектрофотометре марки SG0411024 при длине волны луча в диапазоне от 700 до 1100 нм до и после воздействия факторов гамма-нейтронного излучения. Было установлено, что светопропускание образцов после воздействия изменилось не более чем на 10%.

Выводы. Разработана уникальная гибридная технология сборки. Испытания на механическую прочность и воздействие внешних воздействующих факторов по группе исполнения 4У ГОСТ РВ 20.39.414.1, подтверждающих качество сборки оптопары и свидетельствуют о правильности принятых конструктивно-технологических решений в данной разработке. Измеренные значения электрофизических характеристик и достигнутые уровни радиационной стойкости, обуславливают возможность применения данных диодных оптопар в радиационно-стойкой аппаратуре. Заинтересованность разработчиками аппаратуры, данной оптопарой высока. Образцы на опробование и проекты технических условий запросили «ФГУП ВНИИА им. Н.Л. Духова» г. Москва и АО «НПК» «СПП» г. Москва. Разработанная диодная оптопара может стать отличной базой для развития направления оптоэлектронных приборов в «НИИИС им. Ю.Е. Седякина».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Громов В.Т. Введение в радиационную физику твердого тела. Снежинск: Изд-во РФЯЦ – ВНИИТФ, 2007. – 208 с.
2. А.М. Филачев, И. И. Таубкин, М. А. Тришенков. Твердотельная фотоэлектроника. Фотодиоды – М., Физматкнига, 2011. – 448 с.
3. Кабальнов Ю.А., Труфанов А.Н., Оболенский С.В. Особенности технологии радиационно-стойких фотодиодов на структурах «кремний на сапфире» // Электронная техника. Сер.2. Полупроводниковые приборы. 2019, Вып.3, – с.38-47.
4. Лебединская А.Е., Кабальнов Ю.А., Труфанов А.Н., Градобоев А.В., Седнев В.В. Радиационно-стойкая оптоэлектронная пара для вторичных источников питания // Электронная техника. Сер.2. Полупроводниковые приборы. 2020, Вып.1, – с.40-48.

УДК 535.5

**СПЕКТР ОПТИЧЕСКОГО ПРОПУСКАНИЯ КРИСТАЛЛОВ НИОБАТА ЛИТИЯ,
ЛЕГИРОВАННЫХ МЕДЬЮ**

А.В. Михайленко, Т.А. Журин, К.П. Мельник

Научный руководитель: профессор, д.ф.-м.н. С.М. Шандаров

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,

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

E-mail: nastyamih1999@mail.ru

**OPTICAL TRANSMISSION SPECTRUM OF LITHIUM NIOBATE CRYSTALS DOPED WITH
COPPER**

A.V. Mikhailenko, T.A. Zhurin, K.P. Melnik

Scientific Supervisor: Prof., Dr. S.M. Shandarov

Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, Russia, Tomsk, Lenin str., 40, 634050

E-mail: nastyamih1999@mail.ru

Abstract. *The results of an experimental study of the spectral dependence of the absorption coefficient of the $\text{LiNbO}_3\text{:Cu}$ crystals with diffusion doping in the range from 300 to 1100 nm are presented.*

Введение. Кристаллы ниобата лития являются одними из наиболее уникальных и широко применяемых в настоящее время сегнетоэлектрических материалов в области фотоники и квантовой электроники. Широкий спектр физических свойств, таких как электрооптические и фотогальванические, обеспечивающие формирование сильных электрических полей и изменение показателя преломления под воздействием лазерного излучения, делает возможным использование кристаллов ниобата лития для записи динамических голограмм и реализации оптических пинцетов фотовольтаического типа [1, 2]. Высокие фотогальванические свойства наблюдаются в легированных кристаллах $\text{LiNbO}_3\text{:Fe}$ [1] и $\text{LiNbO}_3\text{:Cu}$ [2-4]. Перспективным методом создания таких структур в коммерчески доступных пластинах чистого конгруэнтного ниобата лития является их диффузионное легирование ионами железа [5] и меди [2-4, 6]. Для определения концентрации легирующей примеси наиболее широко используются методы спектроскопии. В данном сообщении представлены результаты экспериментального исследования образцов $\text{LiNbO}_3\text{:Cu}$ с диффузионным легированием из металлических пленок. Измерены спектральные зависимости показателя поглощения исходных пластин LiNbO_3 и образцов $\text{LiNbO}_3\text{:Cu}$ после проведения диффузии в диапазоне от 300 до 1100 нм, из которых определены средние значения концентрации ионов меди в зарядовых состояниях Cu^{2+} и Cu^{+} .

Экспериментальная часть. Для экспериментальных исследований использовались образцы X-среза из конгруэнтного ниобата лития, имеющие размеры $1,3 \times 10 \times 13,5$ мм по осям x , y и z соответственно. Легирование производилось из металлической пленки меди с толщиной 600 нм, нанесенной на одну из X-граней пластины методом магнетронного распыления, при температуре 1000 °C в течение 20 часов. С использованием спектрофотометра Genesys 2 проводились измерения оптического

пропускания образцов в диапазоне длин волн λ от 300 до 1100 нм, с шагом 1 нм. По данной методике также были исследованы нелегированные образцы кристалла LiNbO_3 .

Результаты. Экспериментальные зависимости коэффициента пропускания $T(\lambda)$ для легированного и нелегированного образцов представлены на рисунке 1.

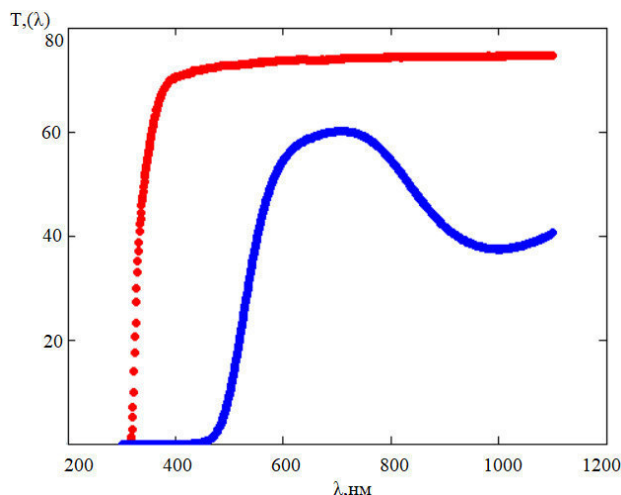


Рис.1 Спектральные зависимости оптического пропускания для образцов LiNbO_3 (красные точки) и $\text{LiNbO}_3:\text{Cu}$ (синие точки)

Образцы $\text{LiNbO}_3:\text{Cu}$ имеют по плоскости, ортогональной оси x , равномерную светло-коричневую окраску и значительно меньший коэффициент пропускания по сравнению с нелегированными образцами, что связано с поглощением оптического излучения примесными центрами Cu^{2+} и Cu^+ . Как видно из рис. 1, примесное поглощение вносит значительный вклад в уменьшение оптического пропускания легированного образца во всем исследованном спектральном диапазоне. С применением стандартных соотношений [7] из зависимостей оптического пропускания $T(\lambda)$ был рассчитан спектр показателя поглощения $\alpha(\lambda)$ для одного из легированных образцов $\text{LiNbO}_3:\text{Cu}$, иллюстрируемый рис. 2. Расчеты показали, что в спектральном диапазоне от 450 до 1100 нм показатель поглощения нелегированных образцов не превышает 0.1 см^{-1} .

Полученные результаты с использованием известных соотношений [3], связывающих в кристаллах $\text{LiNbO}_3:\text{Cu}$ концентрацию примесных центров C_{Cu^+} и $C_{\text{Cu}^{2+}}$, имеющих зарядовые состояния Cu^{2+} и Cu^+ , с показателями поглощения $\alpha(477 \text{ нм})$ и $\alpha(1040 \text{ нм})$ на длинах волн 477 нм и 1040 нм соответственно, как

$$C_{\text{Cu}^+} = 2 \times 10^{21} \text{ м}^{-2} \alpha(477 \text{ нм}), \quad (1)$$

$$C_{\text{Cu}^{2+}} = 6.8 \times 10^{22} \text{ м}^{-2} \alpha(1040 \text{ нм}), \quad (2)$$

позволили определить их значения в исследованном образце: $C_{\text{Cu}^+} = 7.2 \times 10^{24} \text{ м}^{-3}$ и $C_{\text{Cu}^{2+}} = 6.1 \times 10^{24} \text{ м}^{-3}$.

Следует отметить, что данные значения являются усредненными по толщине образца вдоль оси x , поскольку через его полированные грани, перпендикулярные оси z , визуально наблюдается изменение окраски от темно- до светло-коричневой, связанное с уменьшением концентрации ионов меди при удалении от грани $x = 0$, через которую осуществлялась диффузия Cu из металлической пленки.

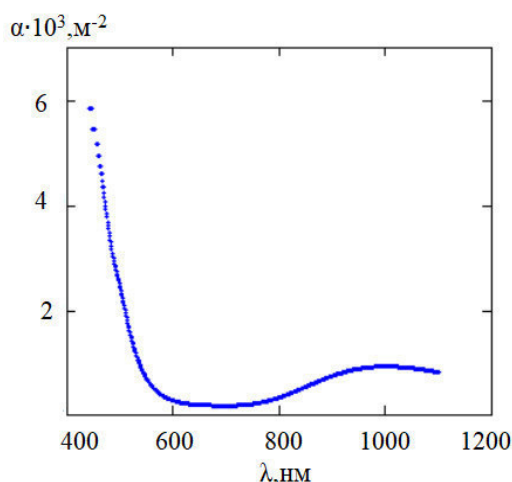


Рис.2 Спектральные зависимости оптического поглощения для образца $\text{LiNbO}_3:\text{Cu}$

Заключение. Таким образом, методом диффузионного легирования получены пластины $\text{LiNbO}_3:\text{Cu}$ X-среза со средними концентрациями ионов меди $C_{\text{Cu}^+} = 7.2 \times 10^{24} \text{ м}^{-3}$ и $C_{\text{Cu}^{2+}} = 6.1 \times 10^{24} \text{ м}^{-3}$, которые могут быть использованы для реализации устройств динамической голографии и применения в качестве основы для фотовольтаических пинцетов.

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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Villarroel, J., Burgos H., García-Cabañes Á., Carrascosa M., Blázquez-Castro A., ALkzgulló-López F. Photovoltaic versus optical tweezers // Opt Express, – 2011, – No 19. – P. 24320–24330.
2. Мамбетова К.М., Шандаров С.М., Татьянников А.И., Смирнов С.В. Агрегирование диэлектрических наночастиц на X-срезе кристалла $\text{LiNbO}_3:\text{Cu}$ электрическими полями фоторефрактивных голограмм // Известия высших учебных заведений. Физика. – 2019. – Т. 62., № 4. – С. 89–93.
3. Peithmann K., Hukriede J., Buse K., Krätzig E. Photorefractive properties of LiNbO_3 crystals doped by copper diffusion. // Phys. Rev. B. – 2001. – V. 61, No 7. – P. 4615-4620.
4. Мамбетова, К.М. С.М. Шандаров, Л.Н. Орликов, С.И. Арестов, С.В. Смирнов, Л.Я. Серебренников, В.А. Краковский Формирование динамических фоторефрактивных решеток в кристалле $\text{LiNbO}_3:\text{Cu}$ с поверхностным легированием // Оптика и спектроскопия. – 2019. – Т. 126., № 6. – С. 858–863.
5. Башкиров А.И., Шандаров В.М. Исследование оптических волноводов в ниобате лития, полученных диффузией железа // ЖТФ. – 1989. – Т. 59., № 8. – С. 66–69.
6. Мамбетова, К.М. , Н.Н. Смаль, С.М. Шандаров, Л.Н.Орликов, С.И. Арестов, С.В.Смирнов Динамика формирования пропускающих голограмм в кристаллах ниобата лития, легированных медью методом высокотемпературной диффузии // Известия высших учебных заведений. Радиофизика. – 2014. – Т. LVII., № 8–9. – С. 675–682.
7. Уханов Ю.И. Оптические свойства полупроводников / Уханов Ю.И. – М.: Наука, 1977. – 368 с.

УДК 621.396.6

**РАЗРАБОТКА ПРОГРАММЫ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКРАНИРОВАНИЯ
КОРПУСА С АПЕРТУРОЙ НА ОСНОВЕ МОДУЛЯ КОЭФФИЦИЕНТА ОТРАЖЕНИЯ**И.А. Онищенко

Научный руководитель: доцент, д.т.н. С.П. Куксенко

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,

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

E-mail: onishchenko1903@yandex.ru**DEVELOPMENT OF A PROGRAM FOR EVALUATING SHIELDING EFFECTIVENESS OF AN
ENCLOSURE WITH AN APERTURE BASED ON THE REFLECTION COEFFICIENT MODULE**I.A. Onishchenko

Scientific Supervisor: Associate Professor, Dr. S.P. Kuksenko

Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, Russia, Tomsk, Lenin str., 40, 634050

E-mail: onishchenko1903@yandex.ru

Abstract. *In the present study, we developed and tested software for evaluating shielding effectiveness of metallic rectangular and cylindrical enclosures with aperture based on the measured frequency dependences of the reflection coefficient module $|S_{11}|$.*

Введение. Одним из основных конструкторских средств обеспечения электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств (РЭС) является электромагнитное экранирование. Традиционно, измерения эффективности экранирования (ЭЭ) выполняют по стандартам IEEE 299-1999 и MIL-STD-285, при этом используются антенны или датчики напряженности поля, которые размещают внутри экранирующей конструкции. Однако для малогабаритных экранирующих конструкций такие измерения не могут быть выполнены. В связи с этим актуальна разработка новых методов для косвенной оценки ЭЭ корпуса. Одним из них является метод расчета ЭЭ на основе результатов измерений модуля коэффициента отражения $|S_{11}|$, предложенный в работе [1]. Цель данной работы – разработка программы для оценки ЭЭ металлических корпусов с апертурой на основе частотных зависимостей $|S_{11}|$.

Экспериментальная часть. Согласно математической модели, описанной в [1], связь сопротивления между двумя портами с S -параметрами выражается как

$$Z = (2Z_0 S_{11}) / (1 - S_{11}). \quad (1)$$

Импеданс короткого замыкания на конце корпуса может быть перенесен на переднюю панель как

$$Z'_{SC} = jZ_g \tan(k_g \cdot a), \quad (2)$$

где a – длина корпуса, k_g – постоянная распространения, Z_g – характеристическое сопротивление.

Импеданс апертуры Z_{ap} можно выразить из (1) и (2) как

$$Z_{ap} = (Z \cdot Z'_{SC}) / (Z'_{SC} - Z).$$

Эквивалентные напряжение (ν_1) и импеданс (Z_1) Тевенена составляют $\nu_1 = \nu_0 \cdot Z_{ap} / (\eta_0 + Z_{ap})$ и $Z_1 = Z_0 \cdot Z_{ap} / (\eta_0 + Z_{ap})$ соответственно.

Теперь эти элементы можно перенести в точку наблюдения внутри корпуса (P) в виде

$$\nu_2 = \nu_1 / \left[\cos(k_g p) + j(Z_1/Z_g) \sin(k_g p) \right],$$

$$Z_2 = \left[Z_1 + jZ_g \tan(k_g p) \right] / \left[1 + j(Z_1/Z_g) \tan(k_g p) \right].$$

Получаем, ν_2 и Z_2 – напряжение источника и импеданс в точке P . Импеданс нагрузки в этой точке является результатом преобразования короткого замыкания в конце корпуса в точку наблюдения

$$Z_3 = jZ_g \tan(k_g \cdot (a - p)).$$

Теперь напряжение в точке P – $\nu_p = \nu_2 Z_3 / (Z_2 + Z_3)$ Таким образом, можем выразить ЭЭ как

$$SE = 20 \cdot \log_{10} \left| \nu_0 / (2\nu_p) \right|.$$

Разработанная программа реализована на языке C++ с применением возможностей платформы Qt [2]. Математические модели для оценки ЭЭ определены в классе *Calculation*. Реализованы методы *RecCalc* и *CylCalc* для вычисления ЭЭ прямоугольных и цилиндрических корпусов соответственно. Отображение трехмерной зависимости ЭЭ реализовано в сервисном классе *Surface* с помощью методов *BuildScene* и *BuildSurface* для построения системы координат и трехмерной зависимости ЭЭ соответственно. Графический интерфейс пользователя (ГИП) программы реализован на языке XML с применением инструмента для проектирования графических интерфейсов Qt Designer.

Программа представляет собой многостраничное окно с навигационными кнопками *Previous* и *Next*. Последовательно перемещаясь по программе, пользователь выбирает тип корпуса, подключает файл с частотными зависимостями $|S_{11}|$, вводит размеры корпуса, а также параметры точек наблюдения (рис. 1). В последнем окне ГИП выполняется вычисление ЭЭ и отображение трехмерного графика (*Calculate*), очистка результатов вычислений (*Clear*) и их сохранение в виде текстового документа (*Save*). Процесс выполнения программы в виде UML диаграммы последовательности представлен на рис. 2.

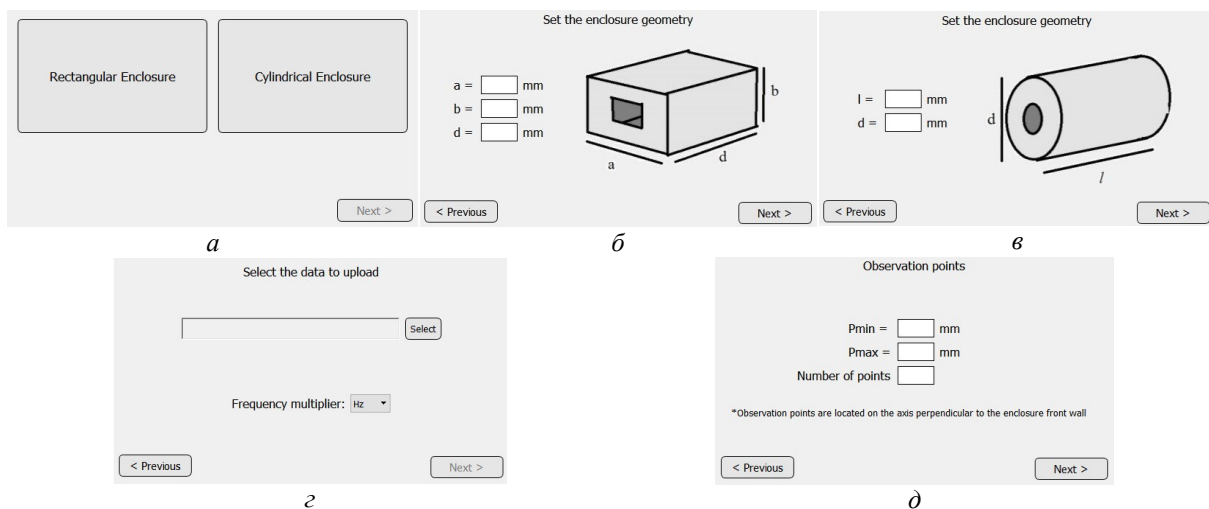


Рис. 1. Интерфейс программы: выбор типа корпуса (а); ввод размеров для прямоугольного (б) и цилиндрического (в) корпусов; загрузка зависимостей $|S_{11}|$ (г); ввод точек наблюдения (д)

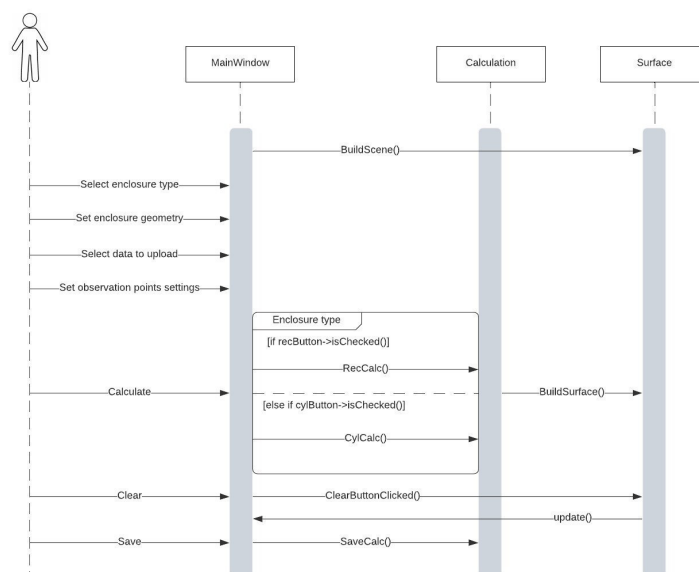


Рис. 2. UML диаграмма последовательности процесса работы программы

Результаты. Проведен запуск алгоритма на основе двух наборов данных, измеренных для прямоугольного и цилиндрического корпусов. Геометрические размеры прямоугольного корпуса (мм): $a=300$, $b=120$, $d=300$, $P_{min}=50$, $P_{max}=250$. Размеры цилиндрического корпуса (мм): $l=300$, $d=300$, $P_{min}=50$, $P_{max}=250$. Число точек наблюдения принято $N=20$. Полученные зависимости ЭЭ приведены на рис. 3.



Рис. 3. Зависимости ЭЭ для прямоугольного (а) и цилиндрического (б) корпусов

Заключение. Таким образом, реализован алгоритм вычисления трехмерных зависимостей ЭЭ от частоты и положения точки наблюдения. Разработана программа для оценки ЭЭ прямоугольных и цилиндрических корпусов с апертурой на основе измеренных частотных зависимостей $|S_{11}|$. Проведены тестовые запуски программы, показывающие корректность программной реализации.

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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Shourvarzi A., Joodaki M. Shielding effectiveness estimation of a metallic enclosure with an aperture using S-parameter analysis: analytic validation and experiment // IEEE Transactions on electromagnetic compatibility. – 2017. – Vol. 59., No. 2. – P. 537–540.
2. Qt | Cross-platform software development for embedded & desktop [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.qt.io> (дата обращения: 30.01.2021).

УДК 539.9.03

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПЛОТНОСТИ ПУЧКОВОЙ ПЛАЗМЫ ГЕНЕРИРУЕМОЙ, ИМПУЛЬСНЫМ
ЭЛЕКТРОННЫМ ПУЧКОМ ФОРВАКУУМНОГО ПЛАЗМЕННОГО ИСТОЧНИКОМ
НА ОСНОВЕ ДУГОВОГО РАЗРЯДА**

Н.А. Панченко, А.В. Казаков, А.В. Никоненко

Научный руководитель: профессор, д.т.н. Е.М. Окс

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,

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

E-mail: PanchenkoNA@vtomske.ru

**RESEARCH OF DENSITY OF A BEAM PLASMA GENERATED BY PULSED ELECTRON
BEAM IN THE FOREVACUUM PRESSURE RANGE**

N.A. Panchenko, A.V. Kazakov, A.V. Nikonenko

Scientific Supervisor: Prof., Dr. E.M. Oks

Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, Russia, Tomsk, Lenin str., 40, 634050

E-mail: PanchenkoNA@vtomske.ru

Abstract. *Research of beam-produced plasma generated by a pulsed electron beam in the forevacuum pressure range is presented. The analysis of the ion density in beam plasma allows to determine the possibilities of its application for material processing*

Введение. Плазменные источники электронов способны стабильно работать даже в присутствии активной газовой среды при давлениях газа от 10^{-4} до 10^{-1} Па [1], то есть плазменные источники электронов способны генерировать пучки электронов при таких условиях, что дает им преимущество над источниками с термокатодами. Исследование данной особенности способствовало появлению форвакуумных плазменных источников электронов, способных генерировать электронные пучки при давлениях от 3 до десятков Па [2, 3]. При таких давлениях генерация электронного пучка сопровождается формированием пучковой плазмы, параметры которой зависят от условий генерации электронного пучка. От состава и параметров пучковой плазмы зависит эффективность применения данной плазмы для различных приложений, таких как: модификация поверхности полимеров [4], нанесение пленок или покрытий на различные поверхности [5], очистка поверхности или травление и для ряда других направлений. Поэтому задача по определению параметров пучковой плазмы и их оптимизации является актуальной. Например, зондовые измерения концентрации ионов.

Методика эксперимента. Схема экспериментальной установки для исследования пучковой плазмы, формируемой импульсным электронным пучком в форвакуумном диапазоне давлений, представлена на рис. 1. Подробное описание форвакуумного плазменного источника на основе дугового разряда, используемого для генерации импульсного пучка, представлено в работе [3]. Питание источника осуществлялось импульсным блоком питания разряда и источником постоянного ускоряющего напряжения. Для измерения тока разряда I_d и тока эмиссии I_e использовались трансформаторы тока с чувствительностью 20 А/В. Ток эмиссии I_e в эксперименте не превышал 15 А, длительность импульса

была не изменой и составляла 500 мкс. Ускоряющее напряжение U_a изменялась в пределах от 1 до 5 кВ. Измерение распределения плотности n (концентрация ионов) пучковой плазмы осуществлялось одиночным плоским зондом. Для измерения ионного тока насыщения на зонд подавался потенциал $U_p = -100$ В. Исследования проводились в атмосфере азота, давление p в камере регулировалось скоростью подачи рабочего газа (при постоянной скорости откачки вакуумной камеры).

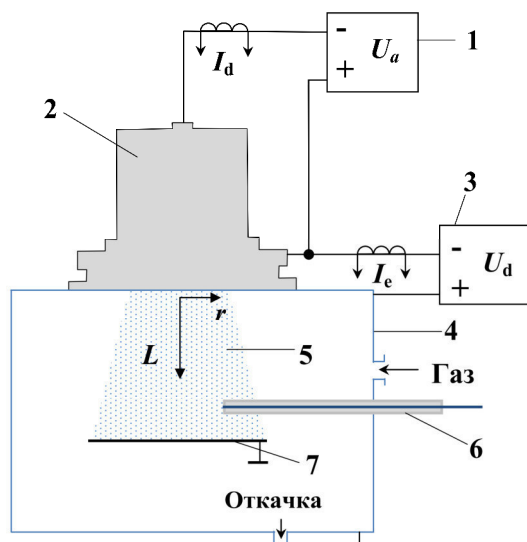


Рис. 1. Схема экспериментальной установки: 1 – импульсный блок питания разряда; 2 – импульсный форвакуумный плазменный источник электронов на основе дугового разряда [3]; 3 – источник постоянного ускоряющего напряжения; 4 – вакуумная камера; 5 – пучок; 6 – одиночный плоский зонд; 7 – стальная пластина

Результаты экспериментов и их анализ. Проведены измерения плотности пучковой плазмы n и сняты радиальные распределения плотности пучковой плазмы от нескольких параметров: от ускоряющего напряжения, от давления, от расстояния L от экстрактора. На рис. 2. показана зависимость плотности n пучковой плазмы на оси симметрии электронного пучка от расстояния L от экстрактора источника. На данной зависимости наблюдается максимум концентрации, что можно объяснить формой зависимости сечения ионизации электрона от его энергии, поскольку сечения ионизации электронов изменяются при распространении в вакуумной камере вследствие потери энергии.

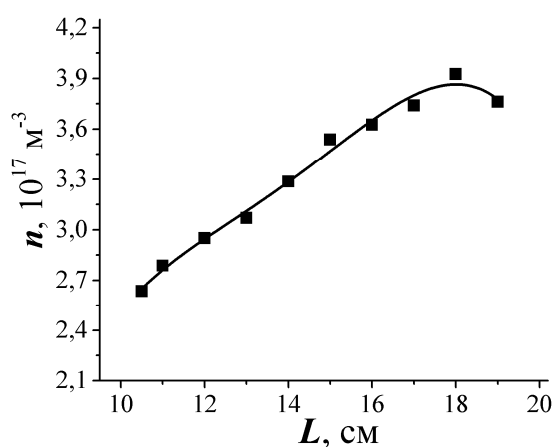


Рис. 2. Зависимость плотности n пучковой плазмы от расстояния L от экстрактора источника, $I_e = 12,5$ А, $U_a = 5$ кВ, $\tau_d = 500$ мкс, $p = 8$ Па, рабочий газ – азот

На рис. 3. Приведены радиальные распределения плотности n пучковой плазмы при разных давлениях p газа и ускоряющих напряжениях U_a . Как видно из рисунков, повышение давления p

приводит к росту концентрации n ионов, в то время как увеличение ускоряющего напряжения U_a - приводит к уменьшению n . При этом качественно вид радиальных распределений не меняется, а неоднородность в радиальном распределении в пределах ± 30 мм от оси симметрии не превышает 10 %.

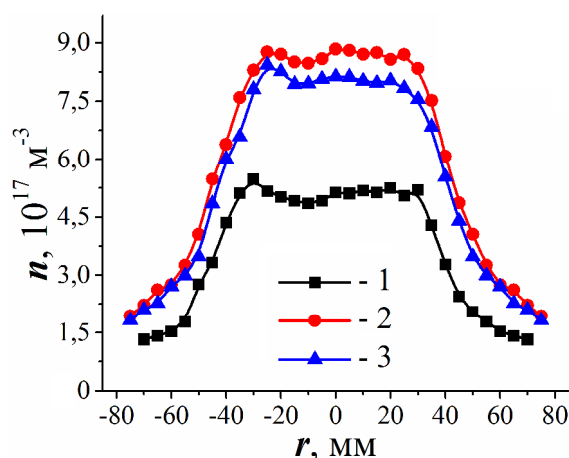


Рис. 3. Радиальные распределения плотности n пучковой плазмы при

$L = 190$ мм, $I_e = 12,5$ А, $\tau_d = 500$ мкс:

1 – $U_a = 5$ кВ, $p = 10$ Па;

2 – $U_a = 3$ кВ, $p = 10$ Па;

3 – $U_a = 3$ кВ, $p = 8$ Па

Заключение. В результате проведенных исследований были получены данные о радиальном распределении плотности n пучковой плазмы, которая формируется импульсным электронным пучком, генерируемым форвакуумным плазменным источником на основе дугового разряда. Неоднородность распределения в сечении пучка на расстоянии от оси симметрии ± 30 мм не превышает 7 %. Полученные результаты свидетельствуют о том, что полученная пучковая плазма может быть использована для обработки непроводящих материалов.

Работа выполнена при поддержке гранта Президента Российской Федерации МК-3621.2021.4.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Окс Е.М. Источники электронов с плазменным катодом: физика, техника, применения . - Томск: Изд-во НТЛ, 2005. – 216 с.
2. Бурдовицин В.А. Опыт разработки и применения форвакуумных плазменных электронных источников // Доклады ТУСУРа. – 2016. – Т. 19, № 2. – С. 5–10.
3. Kazakov A.V. et al. Broad-beam plasma-cathode electron beam source based on a cathodic arc for beam generation over a wide pulse-width range// Rev. Sci. Instrum. - 2020. – V. 91. – Art. no. 093304
4. Castro Vidaurre E.F. Surface Modification of Polymeric Materials by Plasma Treatment // Materials Research. -2002.- vol.5, no.1. – p. 37-41
5. Keima A. Collisions of low-energy ions Ar^+ and N_2^+ with room-temperature and heated surfaces of tungsten, beryllium, and a mixed beryllium–tungsten thin film // International Journal of Mass Spectrometry. -2013. - № 355. – p. 78–86Название книги / Под ред. И.О. Фамилия. – М.: Издательство, 2011. – 123 с. ных. – Томск, 2008. – Т. 1. – С. 226–228.

УДК 004.652

**МОДЕЛЬ АНАЛИЗА НАСТРОЕНИЙ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ САМООРГАНИЗУЮЩИХСЯ
СОЦИАЛЬНЫХ СЕТЕВЫХ СТРУКТУР НА ОСНОВЕ ТЕОРИИ ГРАФОВ
И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ**

Ю.П. Перова

Научный руководитель: профессор, д.т.н. Д.О. Жуков

МИРЭА - Российский технологический университет,

Россия, г. Москва, пр. Вернадского, 78, 119454

E-mail: perova_yu@mirea.ru

**A MODEL FOR ANALYZING USER MOODS OF SELF-ORGANIZING SOCIAL NETWORK
STRUCTURES BASED ON GRAPH THEORY AND THE USE OF NEURAL NETWORKS**

J.P. Perova

Scientific Supervisor: Professor, Dr. D.O. Zhukov

MIREA - Russian Technological University, Russia, Moscow, Vernadsky str., 78, 119454

E-mail: perova_yu@mirea.ru

Abstract. *The article describes a model for analyzing the moods of users of network media resources, which can be considered as self-organizing sociotechnical systems. When developing the model, the approaches adopted in the theory of graphs and neural networks were used. First, data is collected (downloading an archive of news texts from the network mass media and user comments to them, including the date and time of appearance, available user characteristics, etc.). Then, based on the processing of the received data, a directed graph and a matrix of adjacency (links) of comments by news users and their comments to each other are built. Next, the adjacency matrix can be fed to the input of a convolutional multilayer neural network for its classification to one of the possible states expressed by a numeric value on the segment $[0,1]$. The training of the neural network was carried out on a pre-prepared set of patterns marked by user types. Each of them expressed the negative state of public opinion of the self-organizing social network structure in fractions of one. After that, it can be used to assess the state of public sentiment in automated news processing during the day (classifying the state to one of the states of a convolutional neural network), with averaging the results obtained over the entire set of daily news, which allows you to get a time series that can then be used to forecast the dynamics of public sentiment.*

Введение. Анализ в режиме реального времени общественного мнения и социальных настроений в обществе, является одной из практически значимых и актуальных научных задач. Основная проблема заключается в том, что пользователи социальных сетевых структур создают огромные объемы информации, которую необходимо анализировать в режиме реального времени. И это требует не только значительных вычислительных ресурсов, но и разработки математических моделей и алгоритмов, позволяющих выявлять на основе анализа больших объемов текстовой информации (контента и его эмоциональной окраски) определенные классы общественных настроений. Одним из примеров этого являются новости и блоги, посвященные описанию каких-либо общественно значимых событий и их комментарии пользователями. Если в новостях или блогах затрагивается политическая тема, то это, как

правило, притягивает, как сторонников действующей власти (лоялисты), так и противников (оппозиционеры), которые вступают в дискуссии и оставляют взаимные комментарии. Чем более резонансной является новость, тем выше активность пользователей и больше число комментариев, таким образом, образуется самоорганизующаяся социальная сетевая структура. Краткий анализ публикаций на данную тему показывает, что она является очень актуальной.

В работе [1] осуществляется оценка общественных настроений с помощью метода, основанного на лексиконе, созданном на основе анализа настроений в обществе. Нейронная сеть анализирует статьи и определяет, насколько часто различные слова встречаются в них, а затем выделяет наиболее часто встречающиеся ключевые слова, которые позже проверяются экспертами в предметной области, и составляют лексикон общественных настроений по которому можно проводить автоматический анализ. В работе [2] проводится сбор, обработка и сортировки информации о событиях и темах в социальных сетях, проводится их анализ, а также измеряется время, прошедшее между публикациями о них. И формируется временной ряд, по которому можно проследить рост и падение популярности обсуждаемых тем, период их активного обсуждения и настроения в обществе. В статье [3] с использованием поиска ключевых слов в тексте, заранее вводимых в базу данных, проводилось изучение политических настроений в социальных сетях. Главная цель состояла в том, чтобы проследить сколько человек поддерживает определённую политическую партию, благодаря чему она стала популярной и какие темы обсуждаются больше всего. В статье [4] с помощью нейронных сетей проводился анализ настроений в социальных сетях во время президентских компаний. Нейронная сеть была обучена анализировать радикальные мнения, что может быть использовано в качестве замены традиционным методам.

Описание предлагаемой модели анализа настроений пользователей социальных сетевых структур.

1. Сначала с сетевого масмедиа проводится загрузка архива текстов новостей и их метаданные (дата и время появления), а также тексты комментариев к ним, включая доступные сведения об авторах (город, род занятий, место работы, имя или ник – нэйм, дата регистрации, количество рекомендаций и просмотров, общее число комментариев за наблюдаемый период и т.д.). В процессе сбора данных также загружаются сведения о том, кто кого из пользователей и как комментировал при обсуждении новости. На основании полученных данных строится ориентированный граф связей текстов комментариев к тексту новости и комментариев пользователей между собой.
2. Далее на основе методов компьютерной лингвистики (лексический и эмоциональный анализ текстов) оценивается отношение пользователей к событию, описанному в новости и друг к другу. А на основании доступных сведений об авторах комментариев оценивается их принадлежность к реальным пользователям, чат – ботам и троллям.
3. Затем на основе ориентированного графа строится матрица смежности. Наличие петель (комментирование пользователя самого себя) указывается в матрице смежности единицами на главной диагонали. Элементы матрицы, которые больше единицы показывают число комментариев данным пользователем комментариев другого пользователя, матрица смежности не симметрична относительно главной диагонали. Ещё одной из её характеристик является тип, к которому относится узел: оппозиционер, лоялист, тролль, или имеющий нейтральное отношение.

4. Далее с использованием набора заранее размеченных по типам пользователей матриц смежности проводится обучение сверточной нейронной сети. После чего её можно применить для оценки состояния и классификации, например, выраженных в долях от единицы негативных общественных настроений, при автоматизированной обработке новостей за сутки. И получить временной ряд, который можно использовать для прогнозирования развития динамики общественных настроений.

Заключение. В результате проведенных исследований была изучена возможность создания модели анализа настроений пользователей самоорганизующихся социальных сетевых структур на основе применения теории графов и нейронных сетей. Описанная модель может быть использована для оценки состояния общественных настроений при автоматизированной обработке новостей в течении суток (классификации состояния к одному из состояний сверточной нейронной сети), с усреднением полученных результатов, по всему множеству суточных новостей, что позволяет получить временной ряд, который далее можно использовать для прогнозирования развития динамики общественных настроений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Yatim M.A.F., Wardhana Y., Kamal A., Soroinda A.A., Rachim F., Wonggo M.I. A corpus-based lexicon building in Indonesian political context through Indonesian online news media // IEEE 2016 International Conference on Advanced Computer Science and Information Systems (ICACSIS). – 2016. – P. 347–352.
2. Kirn S.L., Hinders M.K. Dynamic wavelet fingerprint for differentiation of tweet storm types // Social Network Analysis and Mining. – 2020. – V. 10, No. 1. – P. 1–31.
3. Karami A., Elkouri A. Political popularity analysis in social media // International conference on information. – Springer, Cham, 2019. – V. 11420 LNCS. – P. 456–465.
4. Belcastro L, Cantini R., Marozzo F., Talia D., Trunfio P. Learning political polarization on social media using neural networks // IEEE Access. – 2020. – V. 8. – P. 47177–47187.

УДК 004.89:004.418

**СОЗДАНИЕ МОДУЛЯ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ДЛЯ
СИСТЕМЫ «ЭЛЕКТРОННОЕ ПОРТФОЛИО»**

Ф.Д. Пираков

Научный руководитель: профессор, д.т.н. В.В. Кручинин
Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 40, 634050
E-mail: farrukh.9559@gmail.com

**CREATION OF AN ARTIFICIAL INTELLIGENCE MODULE FOR
ELECTRONIC PORTFOLIO SYSTEMS**

F.D. Pirakov

Scientific Supervisor: Professor, Dr. V.V. Kruchinin
Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, Russia, Tomsk, Lenin str., 40, 634050
E-mail: farrukh.9559@gmail.com

***Abstract.** This article is devoted to the design and development of an artificial intelligence module for an electronic portfolio information system. The presented module analyzes the achievements of students based on the data of the electronic portfolio and offers users personalized events in various areas of activity at the university.*

Введение. В настоящее время рядом исследователей [1] отмечается широкое использование возможностей искусственного интеллекта (ИИ) в различных областях человеческой деятельности для решения сложных задач, в том числе в сфере образования. Исследователи (Klukta J., Ackerly N., Magda J.A.) выделяют четыре класса задач в образовательной области, связанной с деятельностью студентов: изменение темпов обучения, помощь в формировании приемной компании, разработка обучающих задач, совершенствование образовательных программ. Искусственный интеллект способствует применению индивидуального подхода к каждому студенту. Это позволяет определить сильные и слабые стороны студентов, с точки зрения образовательного процесса, и на основе этих данных сформировать соответствующую информацию для улучшения необходимых качеств.

Необходимо отметить, что одной из важных организационных проблем в современных системах управления учебным процессом является учет индивидуальных особенностей студентов, при организации различного рода мероприятий (научных, творческих, спортивных и др.), трудности заключаются в том, что не учитываются предпочтения и интересы обучающихся при приглашении их на различные мероприятия. В связи с этим нами была поставлена задача спроектировать и разработать программное решение на основе модуля искусственного интеллекта, который бы позволил при взаимодействии с системой электронного портфолио выявлять сильные и слабые стороны обучающихся на основе анализа загруженных материалов, а также формировать информацию о персонализированных мероприятиях по различным направлениям деятельности студентов.

ИИ-модуль системы электронного портфолио. Информационная система электронного портфолио предназначена для хранения достижений учащихся по различным направлениям

деятельности (учебная, научно-исследовательская, общественная, культурно-творческая и др.), академических результатов [2, 3], а также для проведения образовательных конкурсов (рис. 1).

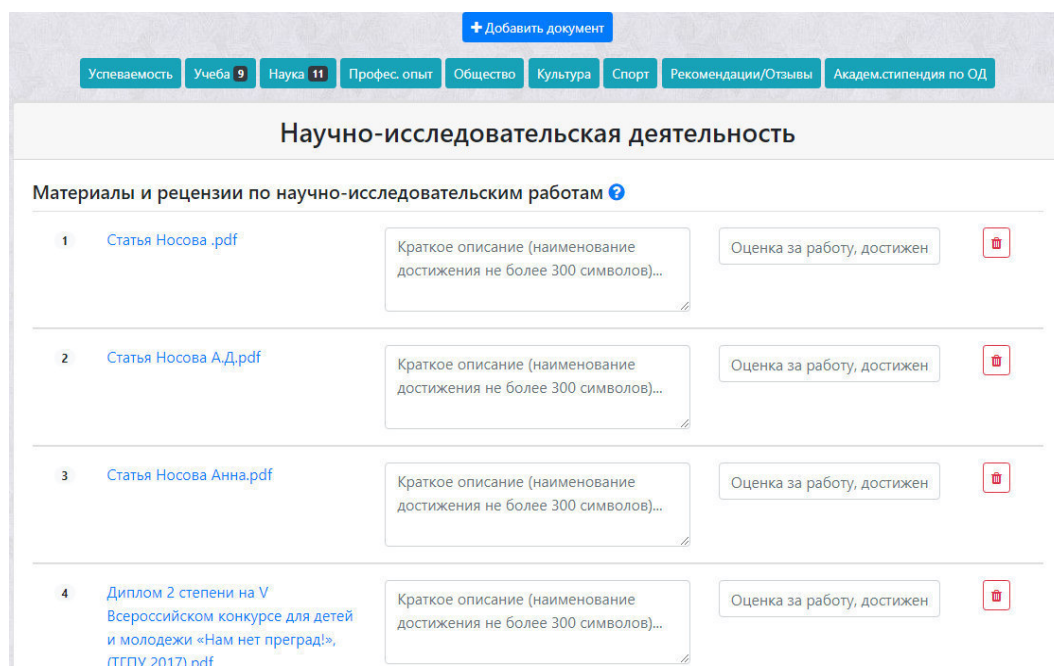


Рис. 1. Система электронного портфолио. Раздел «Научно-исследовательская деятельность»

Для информационной системы электронного портфолио разработан ИИ-модуль, который позволяет анализировать данные учащихся и принимать решение на основе загруженных материалов. В качестве основного инструмента анализа данных был выбран Deductor Studio [4], так как он имеет удобную форму визуализации данных и оснащен различными инструментами, с помощью которых можно формализовать и реализовать процесс принятия решений в программном коде.

На рисунке 2 приведена схема взаимодействия между ИИ-модулем и основными модулями информационной системы электронного портфолио. На вход модуля подаются достижения учащихся по всем направлениям деятельности, выгруженные из системы электронного портфолио, далее производится анализ загруженных материалов ИИ-модулем. ИИ-модуль кластеризует загруженные материалы и определяет основные направления деятельности учащихся, которые имеют потенциал для дальнейшего развития. Затем на основе предпочтения студентов формируется список мероприятий, который далее предоставляется студентам в электронном портфолио в разделе «Мероприятия». Также модуль может определять слабые стороны учащихся (недостатки развития учебной и научной деятельности) и предлагать варианты улучшения (оптимизация траекторий обучения). Сканирование разделов электронного портфолио, необходимое для анализа данных, проводится в автоматизированном режиме каждые сутки. На основе сканированных данных строится матрица предпочтений, в которой рассчитаны основные показатели образовательной деятельности (загруженных документов) в определенных разделах. Эти данные далее поступают на следующий этап обработки, где уже на основе матриц строятся траектории обучения для выделенных групп учащихся.

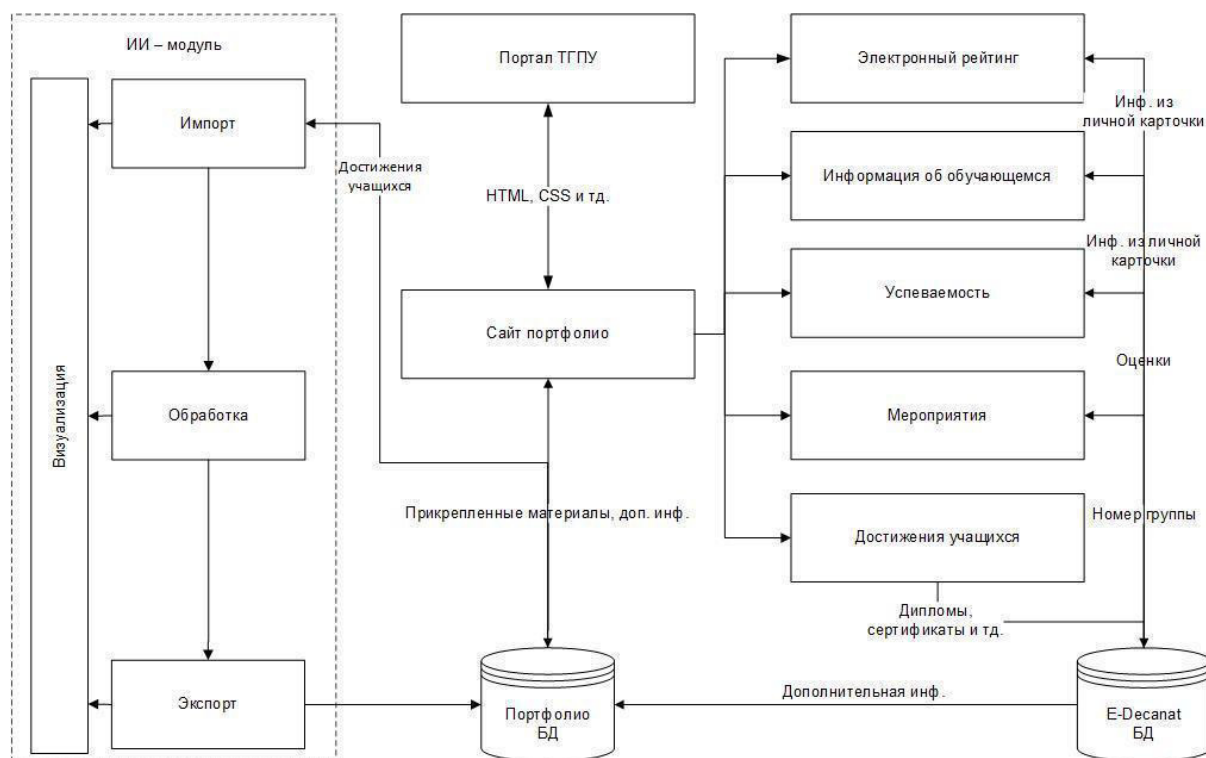


Рис. 2. Схема взаимодействия между ИИ-модулем и основными модулями информационной системы электронного портфолио

Заключение. Данная работа посвящена проектированию и разработке модуля искусственного интеллекта для информационной системы электронного портфолио. В ходе работы был разработан ИИ-модуль и схема взаимодействия между основными модулями информационной системы электронного портфолио. На основе созданной схемы разработана программная реализация, которая позволяет анализировать достижения учащихся и на основе их анализа предлагать персонализированные мероприятия по различным направлениям деятельности в вузе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Klukta J., Ackerly N., Magda J.A. Artificial Intelligence in Higher Education. Current Uses and Future Applications // Learning House [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.learninghouse.com/wp-content/uploads/2018/11/201811-AI-in-Higher-Education-TLH.pdf>. (дата обращения: 05.03.2021)
2. Пираков Ф.Д., Клишин А.П., Еремина Н.Л., Клыжко Е.Н. Разработка и применение системы электронного портфолио // Вестник НГУ. Серия: Информационные технологии. – 2019. – Т. 17, № 4. – С. 87–100.
3. Пираков Ф.Д., Мытник А.А. Разработка и внедрение системы электронного портфолио в вузе // Молодёжь и современные информационные технологии. XIV Междунар. науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых учёных. – Томск: ТПУ, 2016. – Т. 1. – С. 313–314.
4. BaseGroup Labs. Технологии анализа данных. Deductor Studio. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://basegroup.ru/deductor/components/studio>. (дата обращения: 05.03.2021)

УДК 62-1/-9

**МЕТОД ФОРМИРОВАНИЯ ТОПОЛОГИИ В РЕЗИСТИВНОЙ МАСКЕ СВЕРХ
РАЗРЕШАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ПРОЕКЦИОННОЙ i-LINE ЛИТОГРАФИИ**И.Ю. Проказина

Научный руководитель: к.т.н., С.В. Ишуткин

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,

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

E-mail: irina_tusur@mail.ru**METHOD OF FORMING THE TOPOLOGY IN THE RESIST MASK ABOVE RESOLUTION OF THE
PROJECTION i-LINE LITHOGRAPHY**I.Yu. Prokazina

Scientific Supervisor: Ph.D., S.V. Ishutkin

Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, Russia, Tomsk, Lenin str., 40, 634050

E-mail: irina_tusur@mail.ru

Abstract. *The paper presents the results of the development of a method for the formation of submicron topology elements in a single-layer resist mask of polymethylmethacrylate (PMMA) using projection i-line lithography. The possibility of forming windows in a resist with a width of 200 nm was demonstrated, which is significantly above than the resolution of the used lithographic equipment.*

Введение. Уменьшение линейных размеров элементов является одним из приоритетных направлений развития современной микроэлектроники. Текущий уровень развития литографии позволяет достигать размеров элементов в единицы нанометров. В тоже время в области СВЧ микроэлектроники на основе соединений A^3B^5 остаются актуальными процессы с топологическими нормами 70-500 нм. Если для формирования элементов с топологической нормой 500 нм напрямую используются методы оптической литографии, то для более тонких процессов используют электронную литографию по многослойным резистивным маскам. При высокой разрешающей способности электронная литография обладает одним существенным недостатком, а именно, относительно невысокой скоростью прорисовки топологии. Поэтому разработка и внедрение косвенных методов формирования субмикронных элементов с высокой пропускной способностью остается актуальной задачей. Ранее был разработан ряд косвенных методов уменьшения размеров элементов топологии с использованием методов оптической литографии. К ним относятся: использование RELACS полимеров [1] и пристеночного диэлектрика [2], метод термического оплавления резиста [3]. При направленном осаждении тонких пленок, может использоваться метод углового напыления [4]. Разработаны методы инвертирования формируемой маски [5] и формирования многослойных масок со смещением [4].

Целью работы является разработка метода формирования субмикронных элементов топологии (250 нм и менее) в однослойной резистивной маске с использованием проекционной i-line литографии.

Экспериментальная часть. На рис. 1 представлен технологический маршрут формирования окон в однослойной резистивной маске посредством инвертирования топологии. Технологический маршрут

состоит из следующей последовательности операций: формирования методом проекционной литографии столбика в фоторезисте (рис. 1, поз. 1 и 2), планаризации поверхности вторым резистом (рис. 1, поз. 3), утонения планаризирующего резиста (рис. 1, поз. 4) и селективного удаления столбика фоторезиста (рис. 1, поз. 5). В рамках данной статьи рассматривается часть технологического маршрута до этапа планаризации вторым резистом.

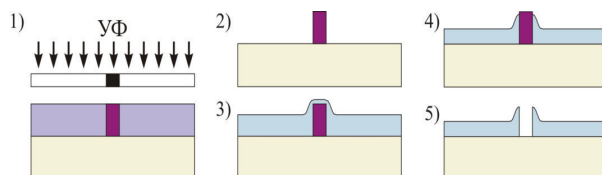


Рис. 1. Техмаршрут формирования окон в резистивной маске с инвертированием топологии

В работе были использованы полуизолирующие подложки GaAs диаметром 100мм. Нанесение пленок резистов выполнялось методом центрифугирования на установке OPTISpin SB20, сушка резистов проводилась на термоплитах Sawatec HP-401-250C. Для формирования фоторезистивного столбика использовался позитивный фоторезист марки IX965G, для формирования второго резистивного слоя, электронный резист на основе полиметилметакрилата (ПММА) марки 950 PMMA A4. Проявление рисунка осуществлялось в ТМАН (2,04 - 2,38%) в течение 1 мин. Контроль размеров элементов выполнялся методом сканирующей электронной микроскопии на установке Raith 150two.

Результаты эксперимента. На рис. 2 представлен график зависимости ширины столбика в фоторезисте IX965G толщиной 600 нм от дозы экспонирования, при этом эффективная ширина линии в фотошаблоне составляла 280 нм (реальный масштаб $\times 5$). На графике наблюдается монотонное уменьшение ширины фоторезистивного столбика, при увеличении дозы экспонирования, достигая 200 нм при дозе 345 мДж/см^2 . Минимально достигавшаяся ширина столбиков в фоторезисте, в ходе экспериментов, составляла менее 100 нм. Однако, при данной ширине, элементы были крайне неустойчивы. По оценке авторов, при толщине 600 нм фоторезистивной пленки IX965G, возможно воспроизводимо формировать столбики шириной 150-200 нм.

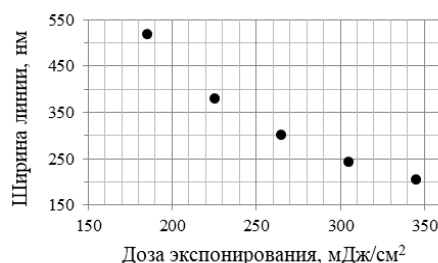


Рис. 2. График зависимости ширины столбика в фоторезисте IX965G от дозы экспонирования, при эффективной ширине линии в топологии 280 нм

На рис. 3, а представлено микроскопическое изображение сформированного в фоторезисте столбика шириной 200 нм, аспектное соотношение размеров элемента равно 3. На рис. 3, б показан

столбик в фоторезисте после планаризации пленкой электронного резиста 950 РММА А4 толщиной порядка 400 нм. Электронный резист показывает высокий уровень планаризации поверхности подложки. Так при ширине столбика 350 нм толщина слоя ПММА над столбиком составляет 120-140 нм, а при ширине столбика 200 нм толщина слоя уже не превышает 50 нм. Также на рисунке наблюдается контраст на границе электронного и фоторезистов, что свидетельствует о их не смешиваемости. Это позволяет рассчитывать на точное воспроизведение размеров окна в электронном резисте после удаления столбика.

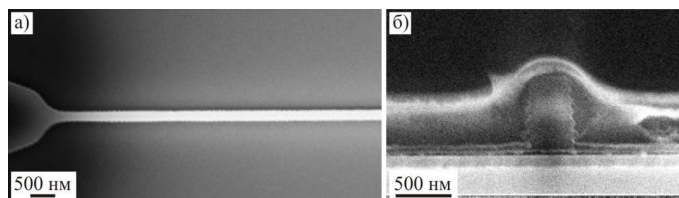


Рис. 3. Микроскопические изображения столбика в фоторезисте IX965G:

а) вид сверху, б) скол поперечного сечения после планаризации ПММА резистом

Заключение. В работе представлен метод формирования субмикронных элементов топологии путем инвертирования резистивной маски сформированной с использованием установки проекционной литографии Nikon NSR2205 i12 с разрешением 350 нм. Была показана принципиальная возможность формирования окон шириной 200 нм в однослойной маске электронного резиста 950 РММА А4. Полученный результат не является предельно достижимым для данного метода и может быть улучшен до значений менее 100 нм. Следующим этапом работы будет разработка способа удаления столбика из фоторезиста для формирования субмикронного окна в маске ПММА.

Работа выполнена коллективом научной лаборатории интегральной оптики и радиофотоники при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках соглашения №075-03-2020-237/1 от 05 марта 2020г. (внутренний номер проекта FEWM-2020-0040). Экспериментальные результаты получены с использованием оборудования ЦКП «Импульс».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Subramanian R. et al. RELACS process to double the frequency or pitch of small feature formation : пат. 6383952 США. – 2002.
2. Cho S.-J. Wang C., Kim N.-Y. High power density AlGaAs/InGaAs/GaAs PHEMTs using an optimised manufacturing process for Ka-band applications // Microelectronic Engineering. 2014. – V. 113. – P.11–19.
3. Wang W.-C., Chen C.-H., Du J.-H., et al. Development and Control of a 0.25μm Gate Process Module for AlGaN/GaN HEMT Production // Proc. CS MANTECH Conf. – Denver, 2014. – P.143–146.
4. Лапин В.Г. Новые направления создания промышленных полевых СВЧ транзисторов на основе арсенида галлия: Автореф. Дис. докт. техн. наук. – Фрязино, 2019. – 39 с.
5. Арыков В.С. Разработка технологии и создание GaAs СВЧ монолитных интегральных схем на основе самосовмещенных ионно-легированных полевых транзисторов Шоттки: Автореф. Дис. канд. техн. наук. – Томск, 2012. – 22 с.

УДК 621.313.8

**ИССЛЕДОВАНИЕ ГАРМОНИЧЕСКОГО СОСТАВА ТОКОВ БЕСКОЛЛЕКТОРНОГО
ДВИГАТЕЛЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА С ПОСТОЯННЫМИ МАГНИТАМИ**

Д.Е. Растрепин

Научный руководитель: доцент, к.т.н. С.В. Леонов

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: der@tpu.ru

**RESEARCH OF THE HARMONIC COMPOSITION OF CURRENTS OF A BRUSHLESS DC
MOTOR WITH PERMANENT MAGNETS**

D.E. Rastrepin

Scientific Supervisor: Associate professor, Ph.D., S.V. Leonov

Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050

E-mail: der@tpu.ru

Abstract. *The article provides an overview of the spectral composition of the BLDC stator currents obtained by simulating the motor in the MATLAB Simulink software package. The spectrum was obtained using the fast Fourier transform (FFT). The simulation results can become a source of statistical data for the creation of diagnostic systems for such engines and the subsequent basis for control modules that determine the remaining engine life during operation.*

Введение. Бесколлекторные двигатели постоянного тока (БДПТ) являются альтернативой классическим двигателям постоянного тока, находят всё большее применение в связи с появлением дешёвых модулей управления. Хотя БДПТ является более надёжным с точки зрения конструкции, тем не менее ставится вопрос об анализе параметров электродвигателя в ходе работы и предупреждении аварийных режимов в связи с изменением свойств постоянных магнитов или нарушения электрической изоляции обмоток. Последнее обстоятельство особенно актуально при использовании БДПТ в составе привода электротранспортных систем, а также в составе автономных робототехнических мобильных комплексов.

В соответствии с результатами ряда исследований [1, 2] процесс старения узлов электродвигателя можно идентифицировать по появлению в спектре гармоник тока статора новых составляющих [3], отражающих в том числе и степень деградации свойств материалов. С научной точки зрения вызывает интерес проведения таких же исследований для БДПТ. Так в данной работе проводится исследование на основе моделирования в программном пакете MATLAB Simulink.

Экспериментальная часть. В экспериментальной части работы исследуется модель построенная в MATLAB Simulink, структурная схема приведена на рис. 1. Полученный цифровой двойник описывает образец БДПТ со следующими характеристиками: $P_{\text{ном}} = 180$ Вт, $\Phi = 0,7$ Вб, сопротивление на фазу статора $R_c = 10$ Ом, индуктивность на фазу статора $L_c = 62,28 \cdot 10^{-3}$ Гн-количество пар полюсов постоянных магнитов $p = 2$. Ниже на рисунке 1 приведена структурная схема модели в Simulink.

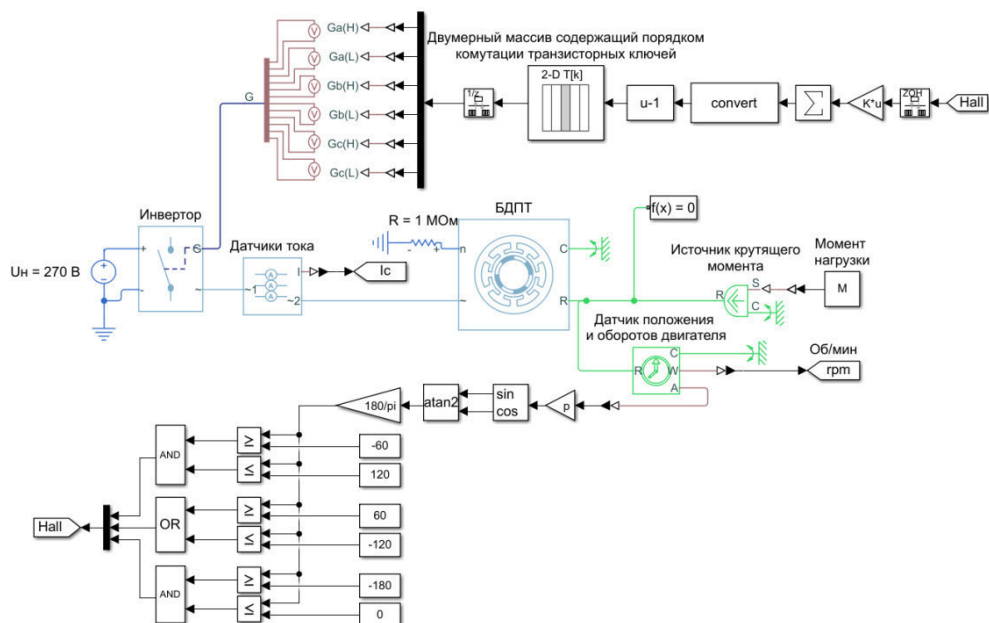


Рис. 1. Структурная схема модели в программном комплексе MATLAB Simulink

Методология получения спектрального состава фазных токов статора:

- исследование режимов работы при изменении величины основного магнитного потока с целью симуляции «старения» параметров высококоэрцитивных постоянных магнитов;
- формирование массивов фазных токов статора для анализа гармонического состава посредством быстрого преобразования Фурье (БПФ).

Результаты моделирования. На рис 2. изображены спектры фазных токов статора БДПТ при изменении нагрузки на валу (холостой ход, номинальный режим и режим двукратной перегрузки).

Одним из наиболее существенных факторов, влияющих на режимы работы БДПТ, является величина основного магнитного потока, величина которого напрямую связана с магнитными свойствами используемых в конструкции ротора высококоэрцитивных постоянных магнитов (Ni-Fe-B).

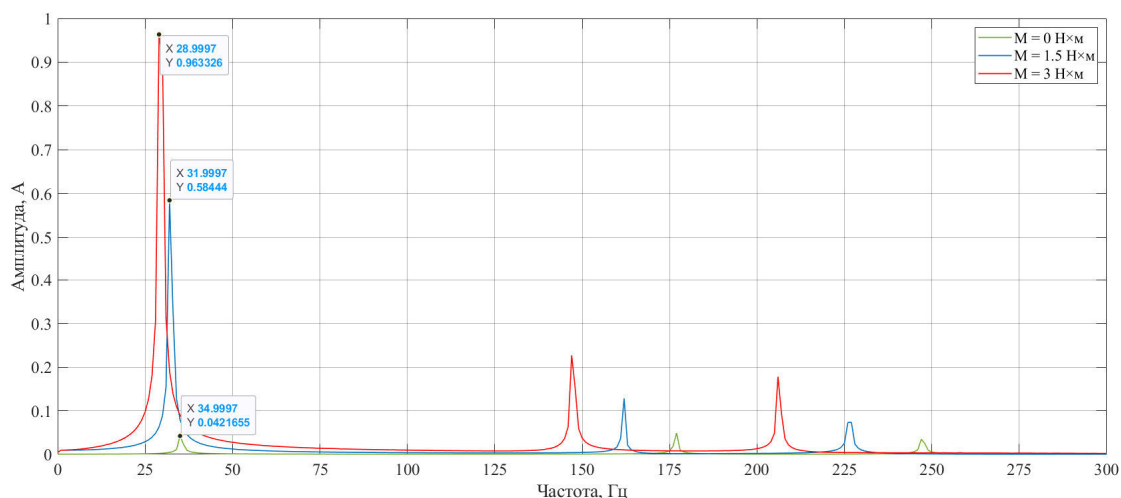


Рис. 2. Спектры фазных токов статора БДПТ при трёх характерных режимах работы:

M – момент нагрузки на валу

Влияние величины магнитного потока на гармонический состав токов отражено на рис. 3. Изменение магнитного потока на 10 % и 20 % относительно номинального $\Phi = 0,7$ Вб при номинальной нагрузке показывает смещение первой гармоники на 3 Гц и 7 Гц соответственно, пятой гармоники на 15 Гц и 33 Гц и т.д. Таким образом, анализируя степень смещения гармоник можно реализовать метод экспресс-диагностики энергетических свойств БДПТ с целью своевременного выявления неисправности и определения сроков последующего сервисного обслуживания.

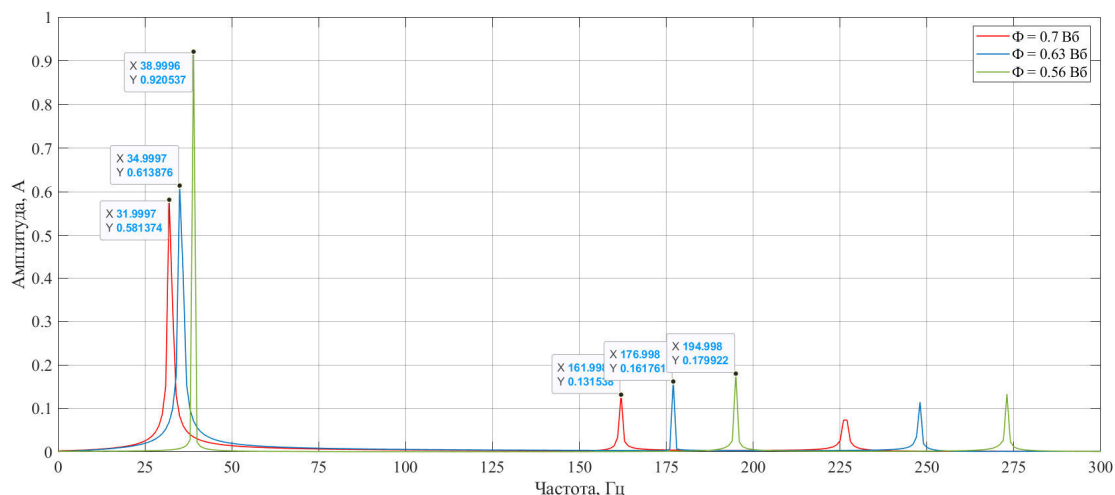


Рис. 3. Спектры фазных токов статора БДПТ при нескольких значениях величины магнитного потока:

Φ – величина магнитного потока

Заключение. Вышеописанное исследование токовых спектров позволяет обнаружить деградацию свойств постоянных магнитов, позволяя оценить остаточный ресурс электродвигателя. Моделирование позволяет значительно ускорить получение статистических данных для последующего формирования алгоритмов автоматической диагностики БДПТ, которые после могут быть внедрены в модули управления электродвигателем.

Необходимо отметить, что быстроедействие современных микроконтроллеров и наличие аналого-цифровых преобразователей позволяет проводить БПФ в реальном времени, таким образом, тем самым позволяет диагностировать изменения в ходе всего цикла работы двигателя, не требуя отключения оборудования или установки дополнительных датчиков.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кодкин В.Л., Аникин А.С., Балденков А.А. Спектральный состав тока ротора асинхронного двигателя - показатель его эффективности // Омский научный вестник. – 2019. – № 5 (167). – С. 39–45.
2. Беляев П.В., Головский А.П. Диагностика неисправностей асинхронных двигателей на ранних стадиях повреждения // Динамика систем, механизмов и машин. – 2020. – № 3. – С. 36–23.
3. Петухов В.С., Соколов В.А. Диагностика состояния электродвигателей. Метод спектрального анализа потребляемого тока // Новости ЭлектроТехники. – 2005. – № 1 (31). – С. 50–52.

УДК 004.42:378.145

ОПЫТ ВНЕДРЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ АВТОРАСПИСАНИЯ AVTOR В ТГПУМ.И. Рублева¹, Ф.Д. Пираков²Научный руководитель: зав. лаб. СНИЛИТ УРИСЭД ТГПУ А.П. Клишин¹¹Томский государственный педагогический университет,

Россия, г. Томск, ул. Киевская, 60, 634061

²Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,

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

E-mail: rubleva_mariya@mail.ru**EXPERIENCE IN IMPLEMENTING AVTOR AUTO SCHEDULING INFORMATION SYSTEM IN TSPU**M.I. Rubleva¹, F.D. Pirakov²Scientific Supervisor: head. lab. SNILIT URISED TSPU A.P. Klishin¹¹Tomsk State Pedagogical University, Russia, Tomsk, Kievskaya str., 60, 634061²Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, Russia, Tomsk, Lenin str., 40, 634050E-mail: rubleva_mariya@mail.ru

Abstract. *This article describes the analysis of the experience of implementing the Avtor autoscheduler software package at Tomsk State Pedagogical University. Based on the analysis of software products for scheduling the decision was made to implement the Avtor auto-scheduling system. The introduction of a new software system makes it possible to form a better educational schedule for teachers and study groups, which allowed significantly streamline the educational process for various forms education and increased the efficiency of using the audit fund and in general university infrastructure.*

Введение. В настоящее время вопрос о составлении оптимального учебного расписания в высших учебных заведениях является актуальным и представляет теоретический и практический интерес. Построение учебного расписания относится к классу задач связанных с планированием и организацией учебного процесса в вузе, и от качества ее решения зависит в целом эффективность работы вуза, качество обучения студентов и эффективность использования аудиторного фонда, ресурсной базы и собственно инфраструктуры вуза. Формирование учебного расписания требует разработки и внедрения современных алгоритмов построения расписания с использованием технологий параллельного программирования, а также построение новых программных архитектур. Поэтому в настоящее время, необходимо отметить острую потребность вузов в формировании оптимальных учебных расписаний в соответствии с заданными критериями и требованиями вуза.

Вышеперечисленным требованиям на наш взгляд наиболее полно отвечает система авторасписания Avtor [1], которая успешно внедрена уже во многих образовательных учебных заведениях России [2]. В сравнении с аналогами, например, с 1С: Расписанием [3], у системы расписания Avtor есть важное преимущество: присутствует удобная утилита для интеграции с программой для разработки учебных планов, которая позволяет передать данные об учебной нагрузке преподавателей и групп. В сравнении с системой составления расписания Галактика, авторасписания Avtor также имеет

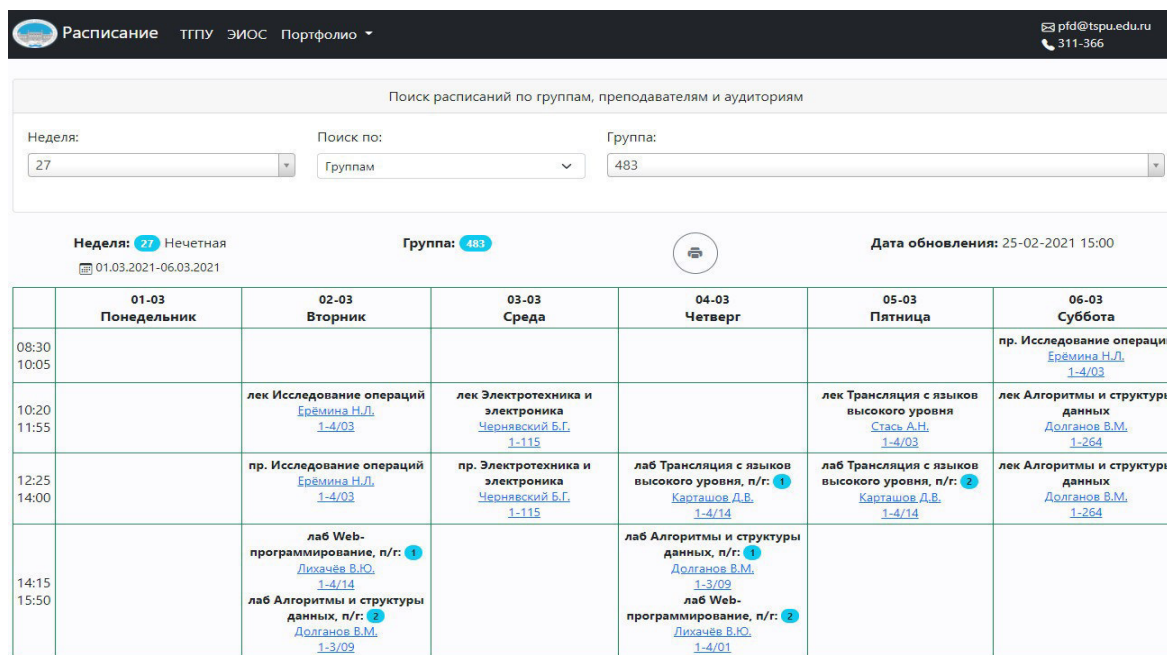
преимущества в высокой интеграции с учебными планами, а развитая система отчетности и предоставляемые различные типы учебных расписаний, практически не уступают вышеназванной системе [4]. На основе проведенного системного анализа предметной области и сравнительных исследований различных программных систем было принято решение о внедрении системы расписания Avtor в ТГПУ [5].

Целью данной статьи является анализ опыта внедрения системы авторасписания Avtor в учебную и в целом образовательную среду вуза.

Программный комплекс Avtor для составления расписания. Для решения задачи внедрения системы авторасписания в ТГПУ была использована версия программы AVTOR MHS (версия 2018.11). Первым делом было задано необходимое количество следующих параметров: учебных групп, различных занятий, дисциплин, аудиторий, учебных корпусов, преподавателей, кафедр, пар в день. Был разработан исходный учебный план, на основе общей семестровой нагрузки (в академических часах) и понедельные нагрузки (в парах) для каждой учебной группы, по каждой дисциплине с указанием преподавателя, ведущего данную дисциплину. Хранение полученных данных осуществлялось в базе данных с использованием СУБД MS SQL 2016. Для работы с программой на каждом рабочем месте все файлы одной базы данных были сохранены в одном каталоге (папке) на жестком диске.

Внедрение программного комплекса. Система публикации учебного расписания была интегрирована в портал вуза в форме независимого веб-приложения. Доступ к сайту системы обеспечивается по ссылке на сайте вуза <https://timetable.tspu.ru> в разделе Учеба. Примеры генерируемых форм программой приведены на рисунках 1 и 2.

В качестве программного инструментария разработки использовался скриптовый язык программирования PHP 7.4. (для серверной части) и JS, AngularJS и Bootstrap 5 для клиентской части.



The screenshot displays the Avtor timetable system interface. At the top, there is a navigation bar with the logo and text 'Расписание ТГПУ ЭИОС Портфолио'. On the right, contact information is provided: 'pfd@tspu.edu.ru' and '311-366'. Below the navigation bar is a search section titled 'Поиск расписаний по группам, преподавателям и аудиториям'. It includes a 'Неделя:' dropdown set to '27', a 'Поиск по:' dropdown set to 'Группам', and a 'Группа:' dropdown set to '483'. Below the search section, there is a status bar showing 'Неделя: 27 Нечетная', 'Группа: 483', a printer icon, and 'Дата обновления: 25-02-2021 15:00'. The main part of the interface is a timetable table with columns for days of the week (01-03 Понедельник, 02-03 Вторник, 03-03 Среда, 04-03 Четверг, 05-03 Пятница, 06-03 Суббота) and rows for time slots (08:30, 10:05, 10:20, 11:55, 12:25, 14:00, 14:15, 15:50). The table contains details about lectures, labs, and seminars, including the names of the lecturers and the course numbers.

	01-03 Понедельник	02-03 Вторник	03-03 Среда	04-03 Четверг	05-03 Пятница	06-03 Суббота
08:30						пр. Исследование операций Ерёмкина Н.Л. 1-4/03
10:05		лек Исследование операций Ерёмкина Н.Л. 1-4/03	лек Электротехника и электроника Чернявский Б.Г. 1-115		лек Трансляция с языков высокого уровня Стася А.Н. 1-4/03	лек Алгоритмы и структуры данных Долганов В.М. 1-264
10:20						
11:55						
12:25		пр. Исследование операций Ерёмкина Н.Л. 1-4/03	пр. Электротехника и электроника Чернявский Б.Г. 1-115	лаб Трансляция с языков высокого уровня, п/г: ① Карташов А.В. 1-4/14	лаб Трансляция с языков высокого уровня, п/г: ② Карташов А.В. 1-4/14	лек Алгоритмы и структуры данных Долганов В.М. 1-264
14:00						
14:15		лаб Web-программирование, п/г: ① Лихачёв В.Ю. 1-4/14		лаб Алгоритмы и структуры данных, п/г: ① Долганов В.М. 1-3/09		
15:50		лаб Алгоритмы и структуры данных, п/г: ② Долганов В.М. 1-3/09		лаб Web-программирование, п/г: ② Лихачёв В.Ю. 1-4/01		

Рис. 1. Форма вывода расписания по учебной группе

Расписание ТГПУ ЭИОС Портфолио pfid@tspu.edu.ru 311-366						
Поиск расписаний по группам, преподавателям и аудиториям						
Неделя: 28 Поиск по: Преподавателям Преподаватель: Игна Я.Д.						
Неделя: 28 Четная 08.03.2021-13.03.2021 Преподаватель: Игна Я.Д. Дата обновления: 27-02-2021 11:49						
	Понедельник	09-03 Вторник	10-03 Среда	11-03 Четверг	12-03 Пятница	13-03 Суббота
08:30 10:05			пр. Практический курс перевода (первый иностранный язык) Игна Я.Д. 1-411 гр. 274 пр. Практический курс перевода (первый иностранный язык) Игна Я.Д. 1-411 гр. 275		пр. Практический курс перевода (первый иностранный язык) Игна Я.Д. 1-413 гр. 276 пр. Практика речи Игна Я.Д. 1-415 гр. 274 пр. Практика речи Игна Я.Д. 1-415 гр. 275	
10:20 11:55			пр. Практический курс перевода (первый иностранный язык) Игна Я.Д. 1-410 гр. 276 пр. Практический курс перевода первого иностранного языка Игна Я.Д. 1-428 гр. 277 пр. Практический курс перевода первого		пр. Практика речи Игна Я.Д. 1-413 гр. 276 пр. Практический курс перевода (первый иностранный язык) Игна Я.Д. 1-415 гр. 274 пр. Практический курс перевода (первый	

Рис.2. Форма вывода расписания для преподавателя

Закключение. В результате проведенного успешного внедрения программного продукта Avtor в учебный процесс вуза можно сделать вывод о том, что алгоритм формирования расписания, разработанный на основе системы авторасписания Avtor, и внедрённый на сайт ТГПУ является эффективным и успешно генерирует рабочее расписание с приемлемой достоверностью и высокой точностью. Внедренная система авторасписания Avtor дает возможность сформировать более качественное учебное расписание для преподавателей и учебных групп, что позволило значительно упорядочить учебный процесс для различных форм обучения и повысило эффективность использования аудиторного фонда и в целом инфраструктуры вуза.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. AVTOR – система автоматического расписания. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://avtor.bravosoft.org/>. (дата обращения 25.02.2021)
2. Дворовкин А.Г., Тимошина Н.В. Информационные системы для составления расписаний в образовательном учреждении // Молодой ученый. – 2019. – №51 (289). – С. 2–4.
3. 1C: Автоматизированное составление расписания. Университет. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://solutions.1c.ru/asp_univer/features. (дата обращения 28.02.2021)
4. Система Галактика. Расписание учебных занятий. – СПб.: ООО «Галактика ИТ», 2020. – 145 с.
5. Клишин А.Н., Стась А.Н., Газизов Т.Т., Горюнов В.А., Кияницын А.В., Бутаков А.Н., Мытник А.А. Основные направления информатизации деятельности Томского государственного педагогического университета // Вестник ТГПУ. – 2015. – № 3 (156). – С. 110–118.

УДК 004.9+543.08

**ЦВЕТОВАЯ КОРРЕКЦИЯ RGB-ДАТЧИКА ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В ЦИФРОВОМ
ЦВЕТОМЕТРИЧЕСКОМ АНАЛИЗЕ**

К.А. Садыхов

Научный руководитель: доцент, к.т.н. С.В. Силушкин
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050
E-mail: kurban201196@gmail.com

RGB-SENSOR COLOR CORRECTION FOR USING IN DIGITAL COLOR ANALYSIS

K.A. Sadykhov

Scientific Supervisor: Associate professor, Ph.D. S.V. Silushkin
Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050
E-mail: kurban201196@gmail.com

***Abstract.** This report presents the development of a system for reproducing the color of an object and performing color correction using digital RGB-sensor TCS34725 and finding a nonlinear regression that describes the sensitivity function of an RGB-sensor with a minimum error using inverse reexpression Moore-Penrose. Optimal definition of color correction allows you to reduce the errors when conducting digital color analysis. The achieved result makes it possible to make a compact and affordable system for reproducing the color of an object and performing color correction.*

Введение. Цветовая коррекция является основным этапом восстановления цвета объекта при его определении. Причина необходимости проведения цветовой коррекции – функция чувствительности RGB-датчика не может быть представлена с помощью линейной регрессии. Линейная модель цветовой коррекции, которая применялась в ряде исследований, например, в работе [1] показано, что она может давать 8-битные RGB-коды со значительной погрешностью (25%). Альтернативным и более эффективным методом цветовой коррекции является полиномиальная модель регрессии для описания функции чувствительности RGB-датчика. Нелинейные модели регрессии позволяют получить значения RGB-кодов с меньшей погрешностью и применить их для преобразования в коды другого цветового пространства, к примеру, в XYZ систему.

В работе были поставлены следующие задачи: разработка быстродействующей системы определения цвета исследуемого объекта на базе цифрового RGB-датчика TCS34725 для цифрового цветометрического анализа (ЦЦА) [2]; проведение цветовой коррекции; нахождение оптимальной нелинейной модели регрессии, описывающей функцию чувствительности RGB-датчика со средней погрешностью не более 5%.

Актуальными факторами для выполнения поставленных задач является: невысокая стоимость разработки по сравнению с профессиональными системами обработки цвета; корректное определение коэффициентов функции чувствительности RGB-датчика для уменьшения погрешности измерения при проведении ЦЦА.

Методы исследования. Система проведения цветовой коррекции состоит из аппаратной и программной частей. Макет аппаратной части этой системы был собран на базе платы Arduino Uno. Модуль с RGB-датчиком и белым светодиодом подключается к плате Arduino по двухпроводной шине I2C. Плата Arduino в свою очередь подключается к персональному компьютеру (ПК) по шине USB. Программная часть системы цветовой коррекции реализована на ПК и написана на языке программирования JAVA с применением библиотек: Swing – для создания графического интерфейса, jSSC – для информационного обмена с платой Arduino; JAMA – для проведения алгебраических операций с матрицами. Также для проведения цветовой коррекции использовались 24-х цветовые мишени Манселла ColorChecker Classic. RGB-коды мишеней приведены в источнике [3].

Проведение цветовой коррекции заключается в вычислении матрицы цветовых коэффициентов (МЦК) K с помощью инверсного преобразования Мура-Пенроуза:

$$K = Q \cdot M^T \cdot (M \cdot M^T)^{-1},$$

где Q – матрица, определяемая RGB-кодами полей Манселла; M – матрица, определяемая откликом RGB-датчика при измерении стандартных цветов мишени Манселла. Количество столбцов этих матриц определяется количеством образцовых цветов (цветовых координат), и равно 24, количество строк зависит от применяемого уравнения регрессии.

После того как МЦК была определена расчет RGB-кодов выполняется согласно функции чувствительности: $q = K \cdot m$, где m – вектор, определяемый откликом RGB-датчика по измеренным «сырым» r , g , и b сигналам с трех каналов RGB-датчика; q – вектор их соответствующих откалиброванных значений. Размеры этих векторов зависят от уравнения регрессии.

В процессе разработке данной системы было проведено исследование по нахождению оптимальной модели регрессии для вычисления МЦК среди следующих векторов:

$$\{r, g, b, r^2, g^2, b^2, 1\}^T; \quad (1) \quad \{r, g, b, \sqrt{rg}, \sqrt{gb}, \sqrt{br}, 1\}^T; \quad (2)$$

$$\{r, g, b, r^2, g^2, b^2, rg, gb, br, 1\}^T; \quad (3) \quad \{r, g, b, r^2, g^2, b^2, r^3, g^3, b^3, 1\}^T; \quad (4)$$

$$\{r, g, b, \sqrt{rg}, \sqrt{gb}, \sqrt{br}, \sqrt[3]{r^2g}, \sqrt[3]{g^2b}, \sqrt[3]{b^2r}, \sqrt[3]{rg^2}, \sqrt[3]{gb^2}, \sqrt[3]{br^2}, \sqrt[3]{rgb}, 1\}^T; \quad (5)$$

$$\{r, g, b, r^2, g^2, b^2, rg, gb, br, r^3, g^3, b^3, r^2g, g^2b, b^2r, rg^2, gb^2, br^2, rgb, 1\}^T. \quad (6)$$

Результаты. Сравнение полученных результатов цветовой коррекции, выполненных с применением, выше указанных регрессий, между полями Манселла и их восстановленными цветами проводилось по среднеквадратическому отклонению $RMSE$. Результаты вычисления $RMSE$ для трех каналов приведены в Таблице 1. На рис. 1 изображена диаграмма сравнения цветового различия в цветовом пространстве adobeRGB с применением векторов регрессии (3), (4) и (6), так как цветовая коррекция с этими векторами дает меньшее значение отклонения. Ось абсцисс соответствует номерам цветов мишени Манселла, а ось ординат – цветовому различию, так как в ЦЦА, для расчета концентрации веществ, применяется цветовое различие, предложенное авторами в работах [2, 4]:

$$\Delta E = \sqrt{[(R_0 - R_i)^2 + (G_0 - G_i)^2 + (B_0 - B_i)^2]},$$

где R_0, G_0, B_0 – стандартные коды полей Манселла; R_i, G_i, B_i – их восстановленные коды после цветовой коррекции.

Таблица 1

Сравнение RMSE

Стандарт RGB	Канал	Применяемый вектор для цветовой коррекции					
		(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
sRGB	R	12,203	14,338	9,383	17,499	9,624	3,083
	G	5,389	12,082	4,909	4,165	8,281	2,187
	B	8,180	8,938	4,734	9,442	6,749	1,792
adobeRGB	R	5,156	9,973	4,772	3,095	8,321	1,414
	G	4,810	11,256	4,447	3,250	7,856	2,061
	B	6,367	7,974	3,755	5,762	5,805	1,809

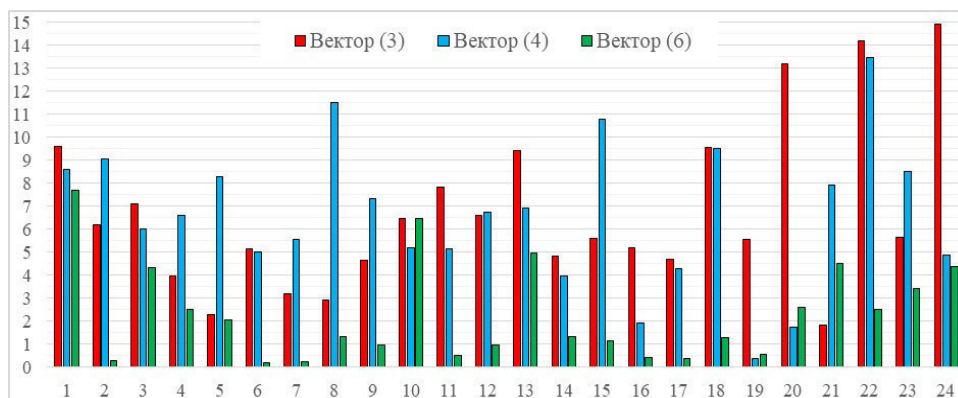


Рис.1. Диаграмма цветового различия

Заключение. В ходе проведения экспериментальных исследований было определено, что для RGB-датчика TCS34725 погрешность восстановления цвета составляет не более 5 % при проведении цветовой коррекции с применением полиномиальной регрессии, используя вектор (6) в цветовом пространстве adobeRGB. Преимуществом разрабатываемой системы является её невысокая стоимость по сравнению с промышленными образцами и интуитивно воспринимаемый пользователем графический интерфейс. Так как программное обеспечение реализуется на языке JAVA, то в дальнейшем, предполагается адаптировать предлагаемое авторами решение на платформу Android. Рассмотренное решение возможно применять для проведения калибровки RGB-датчиков в ЦЦА.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Спиридонова А.С. Полиметакрилатные оптоды в многокомпонентном цифровом цветометрическом экспресс-анализе состава веществ: Дис. ... канд. техн. наук. – Томск, 2019. – С. 59–61.
2. Силушкин С.В. Цифровой цветометрический анализатор для определения состава веществ на основе полимерных оптодов: Дис. ... канд. техн. наук. – Томск, 2011. – С. 40–44.
3. RGB coordinates of the Macbeth ColorChecker [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.babelcolor.com/index_htm_files/RGB%20Coordinates%20of%20the%20Macbeth%20ColorChecker.pdf. (дата обращения 28.02.2021)
4. Gavrilenko N.A., Muravyov S.V., Silushkin S.V., Spiridonova A.S. Polymethacrylate optodes: A potential for chemical digital color analysis // Measurement. – 2014. – V. 51. – P. 464–469.

УДК 535.376

**ИЗМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРОЛЮМИНЕСЦЕНТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК OLED-УСТРОЙСТВ ПРИ
ИСПОЛЬЗОВАНИИ ТЕХНОЛОГИИ ДОПИРОВАНИЯ ЛЮМИНОФОРОВ**Е.В. Сапожникова

Научный руководитель: к.ф.-м.н. К.М. Дегтяренко

Национальный исследовательский Томский государственный университет,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 36, 634050

E-mail: esapozhnikova9@gmail.com**CHANGE OF ELECTROLUMINESCENT CHARACTERISTICS
OF OLED USING TECHNOLOGY OF DOPING**E.V. Sapozhnikova

Scientific Supervisor: C. of Ph. and Math. Sc. K.M. Degtyarenko

Tomsk State University, Russia, Tomsk, Lenin str., 36, 634050

E-mail: esapozhnikova9@gmail.com

Abstract. This report presents method of making organic light emitting diodes (OLED) and shows impact of doped light emitting layers on its' electroluminescent characteristics.

Введение. Одним из направлений в области современных технологий является область создания органических светоизлучающих диодов (Organic light emitting diode (OLED)). На их основе создаются телевизоры, смартфоны, осветительные приборы и многие другие устройства. Одной из проблем в производстве OLED является создание органических светодиодов, излучающих в синей области спектра, так как по своим характеристикам они уступают светодиодам других цветов. Эта работа посвящена поиску органических соединений, перспективных для создания синих светодиодов.

Экспериментальная часть. В данной работе в качестве органического светоизлучающего вещества использовались три соединения, представленные на рисунке 1, состоящие из одинаковой электрон-акцепторной и разных электрон-донорных групп. В качестве электрон-акцепторной группы выступал пиразин с цианогруппой. У первого соединения 1a электрон-донорной группой являлся карбазольный фрагмент, у второго 1b – метилкарбазол, у третьего 1c – трифениламин.

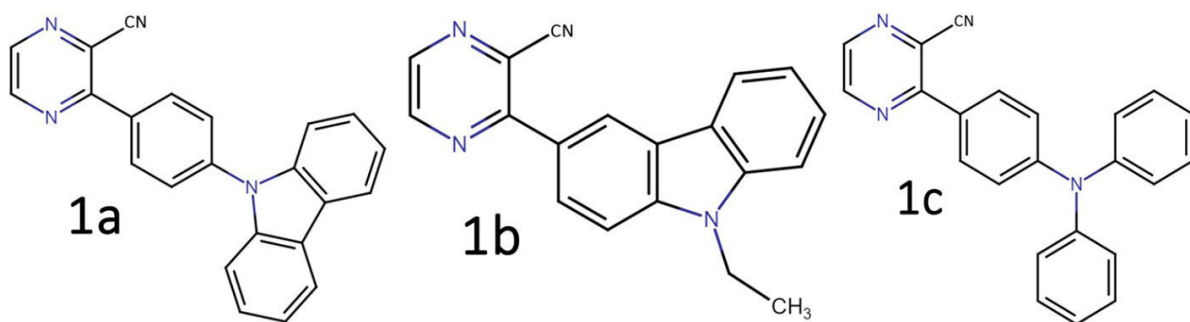


Рис. 1. Органические соединения

На основе данных соединений были созданы OLED-структуры. Нанесение всех слоев проводилось в перчаточном боксе DELLIX в атмосфере сухого азота. В качестве основы OLED использовалась стеклянная

подложка с тонким слоем анода, в роли которого выступает окись индия, допированная оловом ИТО. На подложку методом центрифугирования наносился слой PEDOT, толщина которого составила 20 нм. После этого проводилось напыление дырочно-проводящего слоя NPD (толщина 20 нм). Нанесение данного и всех последующих слоев производилось на установке термовакuumного напыления AUTO306. Толщина слоя активного вещества составила 40 нм. Затем наносился электрон-проводящий и дырочно-блокирующий слой BCP (толщина 18 нм). После этого наносился слой диэлектрика LiF, толщиной 1 нм. Завершающим являлся слой анода из алюминия, толщина которого составила 100 нм.

Также были созданы OLED-структуры с допированным светоизлучающим слоем. Дырочно-транспортный слой CBP был допирован активным веществом в соотношении 10:1. Данные устройства создавались такой же технологии, что была приведена выше. Однако вместо слоя NPD был напылен CBP, толщиной 10 нм. Толщина светоизлучающего слоя, состоящая из допированного активным соединением CBP, составила 30 нм. Толщина катода составила 150 нм.

Затем были измерены вольтамперные и вольт-яркостные характеристики созданных OLED. Результаты измерений представлены в таблице 1.

Таблица 1

Вольтамперные и вольт-яркостные характеристики созданных OLED-структур

Соединение	λ_{EL} , нм	U, В	Яркость, Кд/м ²	Плотность тока, мА/см ²	Эффективность, Кд/А
PEDOT(20)/NPD(20)/L(40)/BCP(18)/LiF(1)/Al(100)					
1a	560	8	152	27,3	0,56
		9	364	57,6	0,63
		10	734	111,4	0,66
1b	553	8	79	125,9	0,06
		9	235	206,2	0,11
		10	527	315,2	0,17
1c	529	8	924	125,3	0,74
		9	1872	232	0,81
		10	3017	376,2	0,8
PEDOT(20)/CBP(10)/CBP+10%L(30)/BCP(18)/LiF(1)/Al(150)					
1a допировано CBP	446	8	591	458,4	0,13
		9	780	662,5	0,12
		10	916	877,4	0,10
1b допировано CBP	450	8	321	264,4	0,12
		9	476	443,6	0,11
		10	600	633,8	0,09
1c допировано CBP	460	8	711	289,8	0,25
		9	975	484,5	0,20
		10	1108	695,1	0,16

После этого были измерены спектры электролюминесценции полученных ячеек, представленные на рисунке 2. OLED-структуры на основе недопированных органических соединений излучают в зеленой области спектра на длинах волн 530-560 нм в зависимости от вещества. При допировании спектры излучения смещаются в синюю область излучения, а толщина спектров заметно сужается.

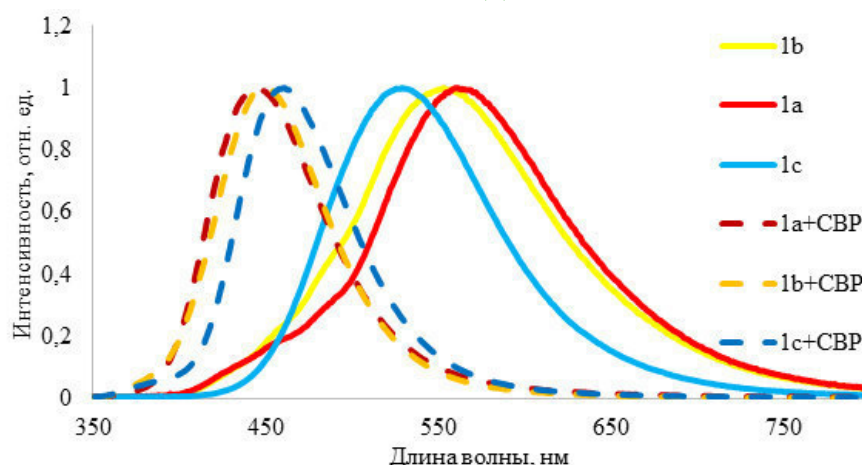


Рис. 2. Спектры электролюминесценции OLED-структур на основе недопированных (сплошная линия) и допированных CBP (пунктирная линия) соединений 1a, 1b и 1c

Результаты эксперимента. Органические соединения, использованные в данной работе, обладают сильными сольватохромными свойствами [1] и склонны к образованию различных комплексов с транспортными слоями при возбужденном состоянии. На это указывают полученные спектры электролюминесценции, а также спектры фотовозбуждения соединений в твердых пленках. В случае соединения 1c данные комплексы оказались благоприятными, так как полученные ячейки обладают заметно большей яркостью и эффективностью, чем устройства на соединениях 1a и 1b. Хуже всех оказалось соединение 1b, на что указывают высокие токи и низкая эффективность. Скорее всего это связано с образованием эксимеров в возбужденном состоянии.

При допировании комплексы уходят и светить начинают непосредственно сами органические вещества, а спектр излучения смещается в синюю область. Соединение 1c также показывает лучшие характеристики, хотя значения яркости упали примерно в 3 раза. Низкая эффективность полученных устройств также связана с тем, что при расчёте данной характеристики учитывается коэффициент восприятия излучения человеческим глазом, который при длине волны в 460 нм меньше примерно в 10 раз, чем при длине волны 530 нм. При допировании соединений 1a и 1b центрами излучений стали преимущественно мономеры этих соединений, показатели яркости увеличились, но токи тоже стали больше.

Выводы. В ходе данной работы были созданы OLED-структуры на основе соединений пиразинов. Было обнаружено, что комплексы, образуемые с транспортными слоями, могут повлиять на характеристики OLED-устройств как в лучшую, так и в худшую сторону, при этом изменяя область спектра излучения. При использовании технологии допирования излучение происходило преимущественно мономерами, что сдвинуло спектр излучения в синюю сторону. Данные соединения являются перспективными для создания OLED-устройств, излучающих в синей области спектра.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Паркер С. Фотолуминесценция растворов. – М.: Мир, 1972. – 510 с.

УДК 004.056.5

**ФОРМУЛИРОВАНИЕ ЦЕЛИ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ
ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ**

В.А. Саргин, А.А. Христолюбова

Научный руководитель: профессор, д.т.н. П.С. Ложников

Омский государственный технический университет,

Россия, г. Омск, пр. Мира, 11, 644050

E-mail: karianna@mail.ru

**FORMULATION OF THE INFORMATION SECURITY PROBLEM FOR DIFFERENT
INFORMATION SYSTEMS**

V.A. Sargin, A.A. Khristolyubova

Scientific Supervisor: Professor, Dr. P.S. Lozhnikov

Omsk State Technical University, Russia, Omsk, Mira str., 11, 644050

E-mail: karianna@mail.ru

***Abstract.** In this article, we presented an actual problem of the formulation of information security objectives for the various information systems, which is based on an analysis of criteria for the classification of protected sites.*

Введение. На сегодняшний день основным методом защиты информации в Российской Федерации является аттестация – проверка соответствия объекта испытаний требованиям действующего законодательства в области информационной безопасности, а также нормативных правовых актов и методических документов в области защиты информации, и выдача на этой основе аттестата соответствия. Система проведения аттестационных испытаний основана на объектно-ориентированном подходе. При этом основным объектом испытаний является объект информатизации, являющийся формальным отражением компонентов процесса обработки информации (технические и программные средства, пользователи, помещение и т.д.). Установление соответствия производится согласно заданным критериям как инженерными методами с измерением физических величин, так и методом экспертной оценки, когда результат зависит исключительно от опыта и квалификации эксперта специальной организации – органа по аттестации. В итоге, получается модель защищенности объекта: компонент «НСД», компонент «ТКУИ», организационный компонент и т.д. Опыт показывает, что при условии типового состава объекта программа аттестационных испытаний также имеет однотипное содержание, чему способствует наличие закрепленных на уровне государственных стандартов процедур испытаний [1]. Достоинства такого подхода достаточно очевидны:

- повторяемость результатов аттестационных мероприятий;
- повышение сравнимости результатов аттестационных испытаний, проводимых разными специалистами, выработка критериальности проводимых испытаний, что дает возможность контролирующим органам качественнее осуществлять свои функции;
- упрощение процесса аттестационных испытаний для специалистов органов по аттестации объектов информатизации, быстрая адаптация новых членов аттестационных комиссий;

– снижение трудоемкости повторных аттестационных испытаний объекта информатизации.

Материалы и методы исследования. Процесс обработки защищаемой информации – это регулярно повторяющаяся последовательность действий, направленных на получение заданного результата с учетом соблюдения условий обработки, в том числе направленная на реализацию требований по защите информации. Для дифференциации требований к функциям безопасности различных средств защиты информации ФСТЭК России утвердило требования, анализируя которые можно выделить критерии их применений для различных объектов защиты (таблица 1) [2].

Таблица 1

Критерии классификации различных объектов защиты информации

Тип объекта защиты	Критерии классификации
Автоматизированные системы учреждений, организаций и предприятий, обрабатывающие конфиденциальную информацию.	Уровень конфиденциальности защищаемой информации. Уровень доступа субъектов к защищаемой информации. Режим обработки данных (многопользовательский, однопользовательский).
Требования к средствам защиты информации, в различных информационных системах, обрабатывающих информацию, содержащую сведения, составляющие государственную тайну, или иную информации с ограниченным доступом.	Уровень конфиденциальности защищаемой информации. Вид объекта защиты (назначение информационной системы). Расположение средства защиты в информационной системе (на физическом и логическом уровнях, аппаратное или программное средство).
Государственные информационные системы.	Вид объекта защиты (назначение информационной системы). Степень территориального распределения ее элементов. Степень ущерба, наносимого при нарушении информационной безопасности.
Информационные системы персональных данных (ИСПДн).	Территориальное размещение ИСПДн. Категории и объем обрабатываемой защищаемой информации. Наличие взаимодействия с другими информационными системами. Возможный объем прав доступа и полномочий к обрабатываемой информации
Объекты критической информационной инфраструктуры Российской Федерации (КИИ).	Тип и количество субъектов, на которое оказывает влияние нарушение безопасности объекта КИИ. Обслуживаемая объектом КИИ территория. Время отсутствия доступности информации объекта КИИ. Объем финансовых потерь, возникающих при нарушении безопасности информации при функционировании объекта КИИ.

Таким образом, общими принципами, которые положены в основу классификации различных объектов защиты, являются [3]:

- эквивалентность по типу системы и степени важности обрабатываемой информации;
- идентичность по расположению логических и физических элементов информационной системы и их взаимодействия с иными информационными системами;
- отношение прав доступа субъектов доступа к элементам информационной системы;
- равнозначность возможного социального или экономического ущерба.

На основе анализа нормативной и методической документации, задающей требования по обеспечению безопасности объектов критической информационной инфраструктуры Российской

Федерации, можно сделать вывод о том, что впервые в критериях классификации появляется понятие о времени отсутствия доступности информационной системы для выполнения заданных функций, а не обрабатываемой информации [4].

Результаты. С изменением массива угроз информационной безопасности, которое спровоцировано событиями последнего десятилетия, связанных с инцидентами нарушения информационной безопасности различных объектов защиты, а также стремительным развитием информационных технологий, актуальным становится обеспечение непрерывности обработки информации.

Заключение. В сложившихся условиях смещения в сторону обеспечения постоянной доступности информационных систем должны обеспечивать достаточный уровень предсказуемости в сочетании с приемлемым уровнем производительности. Они должны иметь возможность восстанавливаться после сбоев быстро и безопасно, чтобы это не оказывало негативного воздействия на производительность работы организации [5]. Актуальным является оценка изменения уровня защищенности всей инфраструктуры предприятий в целом при расширении номенклатуры информационных систем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Николаев А.Г., Ильин Д.В. Автоматизация подготовки документов по аттестации информационных систем на соответствие требованиям по защите информации // Сборник научных трудов «Информатика и вычислительная техника». – Чебоксары, 2020. – С. 145–149.
2. Маковский К.Е. Актуальные требования российских регуляторов по защите информации // Сборник статей XV Международной научно-практической конференции «Прорывные научные исследования: проблемы, закономерности, перспективы». – Пенза, 2020. – С. 65–69.
3. Rogozin E.A., Popov A.D., Korobkin D.I. Классификация угроз информационной безопасности в автоматизированных информационных системах // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2017. – № 7. – С. 22–26.
4. Qadir S., Quadri S.M.K. Information availability: An insight into the most important attribute of information security // Journal of Information Security. – 2016. – V. 7, No. 3. – P. 185–194.
5. Gonzalez S.G., Canto S.D., Moreno J.S. Obtaining high preventive and resilience capacities in critical infrastructure by industrial automation cells // International Journal of Critical Infrastructure Protection. – 2020. – V. 29. – P. 100355.

УДК 004.62

**ВЫЯВЛЕНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ПРИЗНАКОВ ПАЦИЕНТОВ С БОЛЕЗНЬЮ ЛАЙМА
И КЛЕЩЕВЫМ ЭНЦЕФАЛИТОМ**Е.В. Сафронова, В.С. Сафронов

Научный руководитель: доцент, к.т.н., С.В. Аксёнов

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: ev.kashcheeva@mail.ru**IDENTIFICATION OF PREDICTOR FEATURES IN PATIENTS WITH BORRELIOSIS
AND ENCEPHALITIS**E.V. Safronova, V.S. Safronov

Scientific Supervisor: Assistant Professor, Candidate of Technical Sciences S.V. Axyonov

Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050

E-mail: ev.kashcheeva@mail.ru

Abstract. *This article describes the data analysis of patients with encephalitis and borreliosis. The analysis is carried out using visualization methods. The features of tick-borne infections occurring in the Russian Federation are given. The features of predictors of patients who applied to medical institutions of the Tomsk region were studied.*

Введение. Ежегодно в медицинские учреждения обращаются пациенты с клещевыми инфекциями. Заражение может произойти при укусе клеща, при попадании фекалий клеща на кожу, а также при употреблении сырого молока животного, зараженного инфекцией. Чаще встречающимися являются такие заболевания, как клещевой энцефалит (КЭ) и иксодовый клещевой боррелиоз (ИКБ, также известный как болезнь Лайма). Клещ одновременно может быть инфицирован боррелиями, вирусом клещевого энцефалита и другими возбудителями, поэтому возможно развитие микст-инфекции [1]. Область распространения энцефалита и боррелиоза совпадает, заболевания регистрируются на всей территории Российской Федерации. С марта-апреля начинают регистрировать первые факты укусов, пик достигается в мае-июне, последние случаи могут быть зарегистрированы даже в октябре. Заболеваемость иксодовым клещевым боррелиозом в 2-4 раза выше, чем энцефалитом [2]. Отделением инфекционных заболеваний Сибирского государственного медицинского университета были предоставлены обезличенные данные пациентов с болезнью Лайма, клещевым энцефалитом и их микстом. Было решено провести анализ полученных данных, чтобы выявить особенности предикторов пациентов, обратившихся в медицинские учреждения Томской области. Целью исследования является выявление особенностей признаков пациентов с болезнью Лайма и клещевым энцефалитом.

Основная часть. Для начала было решено выяснить, в какие месяцы были зарегистрированы укусы клещами и какова длительность лечения заболевания в зависимости от месяца укуса. Был построен график, представленный на рис. 1. Выяснилось, что большинство укусов зарегистрировано в мае и июне. Первые случаи укусов зафиксированы в апреле, а последние – в октябре. В сентябре случаи

укусов не были зафиксированы. Наибольший разброс продолжительности лечения наблюдается у пациентов, укушенных клещами в мае и июне, в остальных случаях длительность в основном варьируется от 10 до 15 дней.

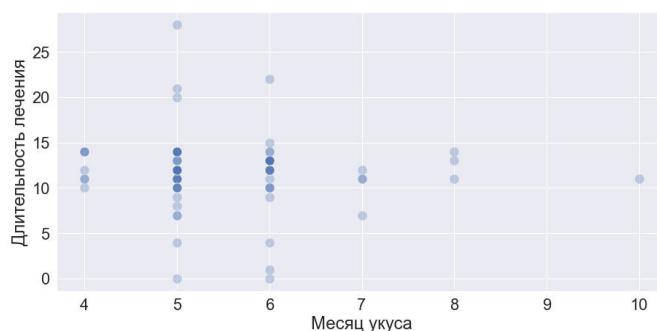


Рис. 1. График зависимости длительности лечения заболевания от месяца укуса клещей

При анализе соотношения количества пациентов с боррелиозом, энцефалитом и их микстом выяснилось, что большую часть составляют пациенты с диагнозом «Болезнь Лайма» (72,2%), затем 17,4% составляют пациенты с клещевым энцефалитом. Наименьшую часть составили пациенты с микстом этих двух заболеваний (10,4%). Для определения количественного соотношения способов заражения тремя видами клещевых инфекций был построен график, представленный на рис. 2.

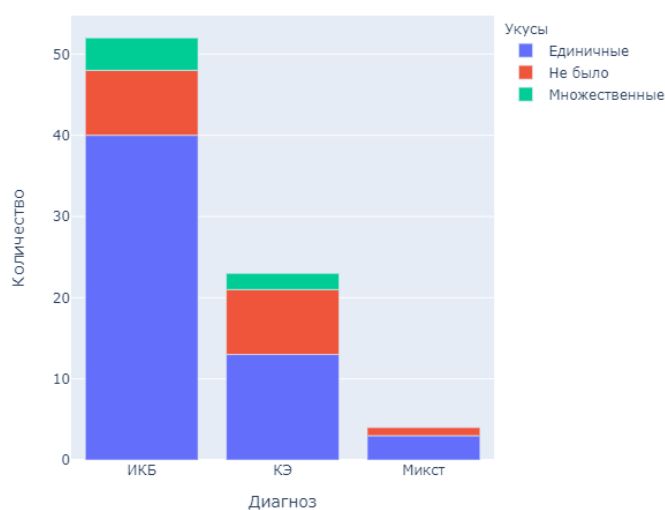


Рис. 2. Диаграмма соотношения способов заражения клещевыми инфекциями

При всех трех диагнозах преимущественное большинство пациентов было укушено клещом единожды. Менее десяти пациентов и с тем, и с другим заболеванием не были укушены клещами. Микст был диагностирован у пациентов, подвергшихся единичному укусу или у не укушенных. Также были рассчитаны средние значения длительности заболевания в зависимости от диагноза, результат представлен в таблице 1. Выяснилось, что в среднем длительность заболевания выше у пациентов с клещевым энцефалитом, чем с боррелиозом или миксом. На течение заболевания могут оказывать влияние различные факторы. Было решено выяснить зависимость между длительностью лечения и такими показателями, как возраст и наличие излишней массы тела пациентов.

Таблица 1

Средняя продолжительность заболевания в зависимости от диагноза

Диагноз	КЭ	ИКБ	Микст
Средняя длительность лечения	12,44	11,48	12,40

Предварительно был рассчитан индекс массы тела (ИМТ), который указывает на наличие или отсутствие отклонений в соотношении роста и веса человека. Нормой считается значение от 16,5 до 25, значение меньше нижней границы свидетельствует о недостатке массы, а больше верхней границы – об избытке, соответственно. На рис. 3 представлен график зависимости длительности лечения клещевой инфекции от возраста пациента и ИМТ. Выяснили, что в основном преобладают пациенты в возрасте 50-70 лет, основная часть которых имеет избыточный вес. У большинства пациентов младше 40 лет масса тела находится в норме. В основном длительность лечения варьируется в диапазоне 10-15 дней.

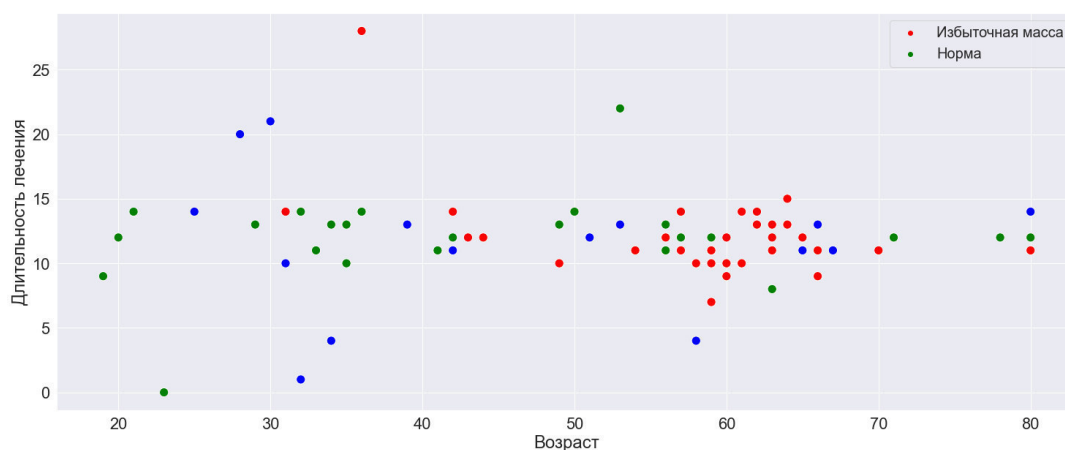


Рис. 3. График зависимости длительности лечения от возраста с учетом индекса массы тела

Заключение. В рамках данного исследования был проведен анализ предикторов пациентов с болезнью Лайма, клещевым энцефалитом и микстом заболеваний. Выяснилось, что большинство фактов укусов было зарегистрировано в мае и июне, длительность лечения пациентов, укушенных в это время имеет наибольший размах. Основную часть пациентов с клещевыми инфекциями составили пациенты с болезнью Лайма. Заражение, как энцефалитом, так и боррелиозом произошло в результате единичного или множественного укусов, а также без укуса клещом. Наибольшая средняя длительность лечения была обнаружена у пациентов с клещевым энцефалитом. Большую часть пациентов составили пожилые люди с отклонениями в массе тела.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Болезнь Лайма: особенности клещевого боррелиоза // СитиЛаб [Электронный ресурс]. – URL: [https://citilab.ru/articles/kleshevoi-borrelioz-\(bolezn_-laima\)/](https://citilab.ru/articles/kleshevoi-borrelioz-(bolezn_-laima)/) (дата обращения: 10.03.2021).
2. Клещевой энцефалит // Медицина [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.medicina.ru/patsientam/zabolevanija/kleshchevoj-encefalit/> (дата обращения: 10.03.2021).

УДК 004.89

**ГЕНЕРАЦИЯ ПРАВИЛ НЕЧЕТКОГО КЛАССИФИКАТОРА С ПОМОЩЬЮ
АЛГОРИТМОВ ADP И K-MEANS**

М.О. Светлаков

Научный руководитель: профессор, д.т.н. И.А. Ходашинский
Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 40, 634050
E-mail: svetlakov.m4@gmail.com

GENERATION OF FUZZY CLASSIFIER RULES USING ADP AND K-MEANS ALGORITHMS

M.O. Svetlakov

Scientific Supervisor: Professor, Dr. I.A. Hodashinsky
Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, Russia, Tomsk, Lenin str., 40, 634050
E-mail: svetlakov.m4@gmail.com

Abstract. *The article discusses the issues of building fuzzy classifier's rulebase using the k-means clustering algorithm and the nonparametric ADP clustering algorithm. Optimization of the antecedents of the fuzzy system was carried out using a version of the metaheuristic algorithm "Bird Swarm" aimed at working with continuous numerical data. The efficiency of fuzzy classifiers with rules constructed by the specified algorithms has been tested on data sets from the KEEL repository.*

Введение. Нечеткие классификаторы выделяются среди других методов машинного обучения тем, что их нечеткие правил типа «ЕСЛИ-ТО» интерпретируемы людьми, могут быть проверены на то, как они соотносятся со знаниями эксперта в рассматриваемой предметной области [1]. При создании нечеткой системы производится идентификация структуры базы правил и идентификация параметров. Одним из основных способов построения начальной базы правил нечеткого классификатора является построение базы правил по алгоритму экстремумов. Недостатком данного алгоритма является то, что число создаваемых правил всегда равно числу классов в наборе данных, на основе которого создается база правил.

В данной работе для решения задачи идентификации параметров нечеткого классификатора предлагается использовать метаэвристический алгоритм оптимизации "Bird Swarm" для оптимизации параметров антецедентов, а для генерации базы правил предлагается использовать комбинацию алгоритмов k-means и генерации экстремумов, а также непараметрический алгоритм кластеризации k-means.

Постановка задачи. Нечеткий классификатор. Как рассматривается в работе [2], нечеткая модель может быть построена либо на основе знаний эксперта, либо на основе таблицы наблюдений ($\{(\mathbf{x}^p; y_p), p = 1, \dots, z\}$, где $\mathbf{x}^p = (x_1^p, \dots, x_n^p)$ – вектор значений входных признаков p -го объекта, y_p – значение выходной переменной). Пусть имеется универсум $U = (A, C)$, где $A = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ – множество входных признаков, $\mathbf{X} = x_1 \times x_2 \times \dots \times x_n \in \mathfrak{R}^n$ – n -мерное пространство признаков.

Нечеткая система строится на множестве нечетких правил типа «ЕСЛИ-ТО» (в ЕСЛИ содержится утверждение относительно значений входных переменных, в ТО указывается значение выходной переменной). В нечетком классификаторе i -ое правило имеет следующий вид:

$$R_{ij} : \text{ЕСЛИ } x_1=A_{1i} \text{ И } x_2=A_{2i} \text{ И } x_3=A_{3i} \text{ И } \dots \text{ И } x_n=A_{ni} \text{ ТО class}=c_j,$$

A_{ki} – нечеткий терм, характеризующий k -ый признак в i -том правиле ($i \in [1, R]$), R – число правил; c_j – идентификатор j -того класса, $j \in [1, m]$; $x_i \in \mathbf{A}$.

$$\begin{bmatrix} x_1^1 & x_2^1 & \dots & x_j^1 & \dots & x_n^1 & y_1 \\ x_1^2 & x_2^2 & \dots & x_j^2 & \dots & x_n^2 & y_2 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_1^i & x_2^i & \dots & x_j^i & \dots & x_n^i & y_i \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_1^{m-1} & x_2^{m-1} & \dots & x_j^{m-1} & \dots & x_n^{m-1} & y_{m-1} \\ x_1^m & x_2^m & \dots & x_j^m & \dots & x_n^m & y_m \end{bmatrix}$$

Рис. 1. Таблица наблюдений

Нечеткий классификатор может быть представлен функцией:

$$c = f(\mathbf{x}^p, \boldsymbol{\theta}, \mathbf{D}, \mathbf{r}),$$

где $\boldsymbol{\theta}$ – вектор, описывающий антецендентную часть базы правил нечеткого классификатора ($\boldsymbol{\theta} = \{\theta^k, k = 1, \dots, s\}$), $\mathbf{r} = (r_1, \dots, r_s)$ – вектор значений консеквентов.

На множестве обучающих данных (таблице наблюдений) определим единичную функцию и выразим с ее помощью численный критерий качества классификации $E(\boldsymbol{\theta})$:

$$\text{delta}(p, \boldsymbol{\theta}) = \begin{cases} 1, & \text{если } c_p = f(x_p, \boldsymbol{\theta}) \\ 0, & \text{иначе} \end{cases}, p = 1, 2, \dots, z,$$

$$E(\boldsymbol{\theta}) = \frac{1}{z} \cdot \sum_{p=1}^z \text{delta}(p, \boldsymbol{\theta}).$$

Алгоритм “Bird Swarm” Данный метаэвристический алгоритм основан на подобию поведению стай птиц в природе, является роевым алгоритмом. Цель применения данного алгоритма состоит в оптимизации базы антецендентов. Метаэвристические алгоритмы оптимизации, подобные используемому, обычно позволяют находить близкие к истинному оптимуму решения за приемлемое вычислительное время и затраченный вычислительный ресурс. Впервые данный алгоритм применен в работе [3].

Построение базы правил В данной работе используется гибридный алгоритм построения базы правил. В первой фазе используется непараметрический алгоритм кластеризации Autonomous Data Partitioning (ADP) [4]. Данный алгоритм не требует настройки гиперпараметров и выдает автоматически определенное число кластеров. На основе каждого из этих кластеров строится правило нечеткой системы, полученная база правил оценивается с помощью критерия $E(\boldsymbol{\theta})$. После этого полученное число правил используется в качестве параметра k алгоритма кластеризации k-means. На основе полученных k кластеров формируются правила нечеткой системы, к ним добавляются правила сгенерированные по методу экстремумов (чтобы гарантировать наличие правил на каждый класс), полученная база правил оценивается с помощью критерия $E(\boldsymbol{\theta})$. После этого выбирается лучшая база правил.

Экспериментальная часть. Эксперимент. Для оценки эффективности нечеткого классификатора, настроенного приведенным алгоритмом, были построены нечеткие системы на наборах данных из репозитория KEEL (<http://www.keel.es/>) по схеме кросс-валидации, тип функции принадлежности – гауссоида.

Результаты. Результаты эксперимента приведены в Таблице 1. На рассмотренных наборах данных рассматриваемый способ генерации базы правил дает лучшие результаты, нежели алгоритм генерации по экстремумам.

Таблица 1

Результаты эксперимента

Набор данных	Способ	$E(\theta)_{\text{обуч}}$ после генерации	$E(\theta)_{\text{обуч}}$ после оптимизации	$E(\theta)_{\text{тест}}$ после оптимизации	Число правил
hepatitis	Extremums	0,2898	0,9710	0,9840	2
	ADP	0,8696	0,9420	0,9967	20
	K-means	0,8696	0,9710	0,8181	20
mammographic	Extremums	0,6329	0,8444	0,8214	2
	ADP	0,4879	0,8580	0,8274	29
	K-means	0,7931	0,8520	0,7976	29
penbased	Extremums	0,5622	0,6679	0,6564	10
	ADP	0,2640	0,5012	0,4710	42
	K-means	0,8729	0,8988	0,8609	42
Banana	Extremums	0,4561	0,7700	0,7700	2
	ADP	0,5524	0,8333	0,8075	12
	K-means	0,8350	0,8955	0,8811	12
glass	Extremums	0,4949	0,6939	0,5556	6
	ADP	0,4234	0,7449	0,6666	18
	K-means	0,4439	0,7445	0,8333	18
Ecoli	Extremums	0,5075	0,8283	0,7059	8
	ADP	0,3806	0,6941	0,6323	29
	K-means	0,7687	0,8731	0,7647	29

Заключение. В результате проведенных исследований выявлено, что предлагаемый алгоритм применим для генерации базы правил нечеткой системы и показывает хорошие результаты.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Круглов В.В., Дли М.И., Голунов Р.Ю. Нечеткая логика и искусственные нейронные сети. – М.: Изд. Физ. мат. лит., 2002. – 312 с.
2. Ходашинский И.А., Дудин П.А. Идентификация нечетких систем на основе непрерывного алгоритма муравьиной колонии // Автометрия. –2012. – Т. 48, № 1. – С. 45–71.
3. Aljarah I., Faris H., Mirjalili S. Evolving neural networks using bird swarm algorithm for data classification and regression applications // Cluster Computing. – 2019. – V. 22, – P. 1317–1345.
4. Gu X., Angelov P., Principe H. A method for autonomous data partitioning // Information Sciences. – 2018. – V. 460-461. – P. 65–82.

УДК 621.396.67

LCMV АЛГОРИТМ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ИМИТАЦИОННЫХ ПОМЕХ

А.А. Сенченко, А.Г. Андреев, А.Ю. Тараненко

Научный руководитель: профессор, д.ф.-м.н. С.П. Царев

Сибирский федеральный университет

Россия, г. Красноярск, ул. Академика Киренского, 28, 660074

E-mail: alsenchenko@mail.ru

LCMV ALGORITHM UNDER SPOOFING CONDITIONS

A.A. Senchenko, A.G. Andreev, A.Yu. Taranenko

Scientific Supervisor: Prof., Dr. S.P. Tsarev

Siberian Federal University, Russia, Krasnoyarsk, Akademika Kirenskogo St., 28, 660074

E-mail: alsenchenko@mail.ru

Abstract. This article presents results of LCMV beamforming algorithm performance analysis under low power spoofing signals. Performance of LCMV algorithm is evaluated through simulations. The simulation results and their analysis show that no nulling is formed in case of low power spoofing signals.

Введение. Задачей LCMV [1, 2] алгоритма является формирование нулей в диаграмме направленности (ДН) антенной решетки (АР) в направлении мощных помех. Однако имитационные помехи могут быть мощнее всего на несколько децибел полезного сигнала и этого будет достаточно для выдачи ложных показаний приемной аппаратурой. Сигналы глобальных навигационных систем (ГЛОНАСС, GPS, Galileo и др.) находятся глубоко под шумами и могут быть легко подменены сигналами имитационных помех. А слабая мощность реальных навигационных сигналов не требует высокого отношения помеха/шум (ОПШ). В связи с этим возникает задача исследования работы алгоритма LCMV при воздействии слабых помех.

Метод исследования. Для изучения работы алгоритма LCMV была создана компьютерная модель, структурная схема которой представлена на рис. 1. В модели в качестве имитационной помехи $s(t)$ формировался сигнал ГЛОНАСС L1 СТ. Сформированный сигнал пропускали через ограничивающий фильтр с полосой пропускания около 30 МГц и подавали в блоки задержки, имитирующие запаздывание сигнала в пространстве. Блоки задержки выполнены на основе КИХ фильтров с единичной АЧХ и заданной ГВЗ в диапазоне частот сигнала. Требуемые задержки рассчитывались исходя из геометрии антенной решетки (четырёхэлементная квадратная антенная решетка с диагональю равной длине волны) и направления прихода имитационного сигнала. Аналогичным образом формировался полезный сигнал ГЛОНАСС L1 СТ (на рисунке не показан) на той же частоте, но другой начальной задержкой и направлением. Полезный и имитационный сигналы суммировались для соответствующих антенн, и к подмешивали некоррелированные ограниченные по спектру шумы $n_i(t)$ с нормальным распределением. Полученная смесь сигналов подавалась на вход адаптивной диаграммообразующей схемы (ДОС) на основе КИХ-фильтров.

Коэффициенты КИХ фильтров ДОС рассчитывались по оптимальному алгоритму LCMV [1, 2]:

$$\mathbf{w}_{opt} = \mathbf{R}_{xx}^{-1} \mathbf{C} (\mathbf{C}^H \mathbf{R}_{xx}^{-1} \mathbf{C})^{-1} \mathbf{f},$$

где $\mathbf{R}_{xx}$ – ковариационная матрица сигнала на входе ДОС, $\mathbf{C}$ – матрица ограничений, определяющая направление на полезный сигнал и $\mathbf{f}$ – вектор ограничений, определяющий требуемую частотную характеристику ДОС. Так как ковариационная матрица неизвестна, то вместо неё использовалась её оценка $\mathbf{R}_{xx} = \mathbf{x}\mathbf{x}^H$, $\mathbf{x}$ – матрица выборок сигнала, по строкам располагаются выборки с каждой из антенн и их задержанные копии, всего $M \times N$ строк, где M – число антенн, N – порядок КИХ-фильтров ДОС, а по столбцам отсчеты сигнала по времени, оператор $(\cdot)^H$ обозначает операцию транспонирования с комплексным сопряжением.

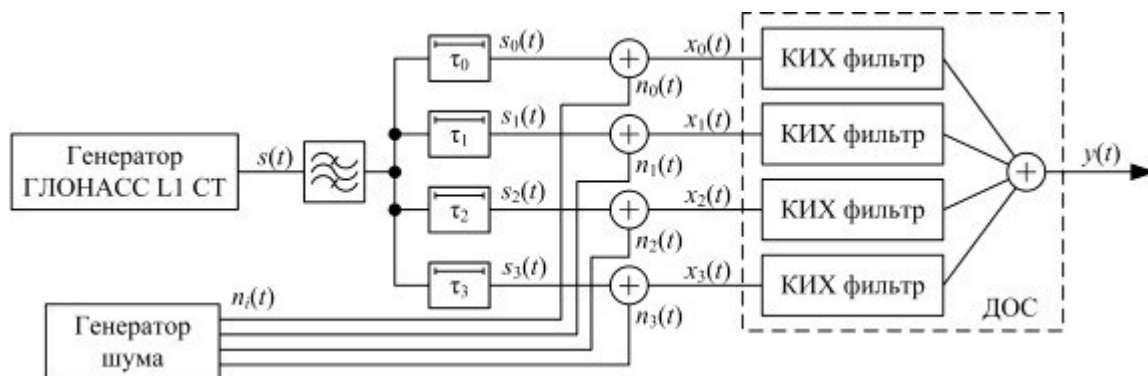


Рис. 1. Структурная схема модели

Результаты. Для изучения поведения алгоритма при воздействии слабых помех была получена зависимость коэффициента передачи ДОС в направлении на помеху от её мощности. В модели присутствовало два сигнала: полезный, приходящий по нормали к поверхности антенной решетки и сигнал имитационной помехи, приходящий с горизонтального направления. Азимутальное положение имитационной помехи выбиралось таким образом, чтобы она попадала в один из боковых лепестков ДН при её отсутствии. Отношение мощности полезного сигнала к спектральной плотности мощности шума было задано $C/N_0 = 50$ дБГц, что соответствует отношению C/N_0 на выходе антенны при приёме реальных сигналов ГЛОНАСС у земной поверхности. Сигнал имитационной помехи отличался от полезного только задержкой и мощностью. Полученные зависимости приведены на рис. 2, на котором изображены четыре кривые, соответствующие различным количествам K выборок сигнала и для различного порядка N фильтров ДОС. Каждая кривая была усреднена по 100 реализациям. На рисунке присутствует две оси X , на которых отмечена мощность сигнала помехи в разных единицах измерения: на верхней оси приведено отношение J/N_0 на входе ДОС, а на нижней оси отмечены значения отношения мощности помехи на входе ДОС к мощности шума на входе ДОС. Как следует из рисунка, алгоритм LCMV начинает реагировать на помеху когда её мощность на 20 дБ меньше мощности шумов, а увеличение мощности помехи приводит к увеличению подавления на схожую величину.

Изначально предполагалось, что превышение мощности помехи выше некоторого порога приведет к формированию провала в направлении на помеху. Далее было возможно два варианта: либо будет сформирован глубокий провал, который сильно подавит помеху, либо глубина провала будет зависеть от мощности помехи, подавляя последнюю до уровня шумов.

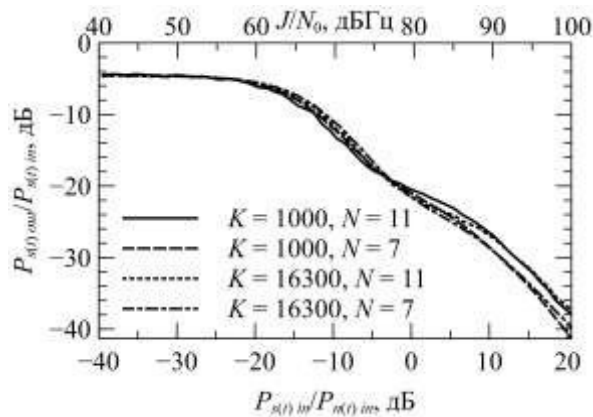


Рис. 2. Коэффициент передачи ДОС в направлении на помеху от её мощности

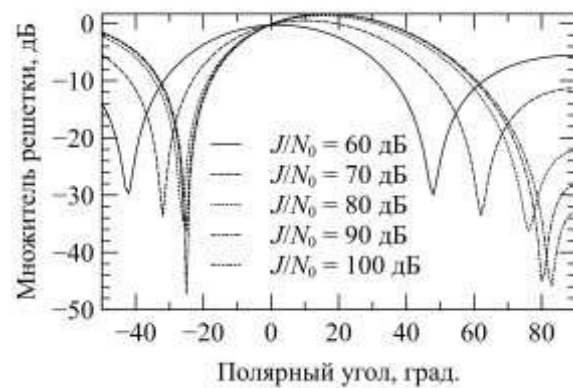


Рис. 3. Диаграмма направленности решетки для различной мощности помехи

Результаты расчета ДН в вертикальной плоскости, проходящей через направление прихода помехи (рис. 3), показали иное поведение алгоритма LCMV: при увеличении мощности помехи алгоритм смещал один из «естественных» нулей ДН ближе к направлению прихода имитационного сигнала (помеха приходила с полярного угла 90°), в результате чего уменьшался уровень бокового лепестка. Этим и объясняется плавное изменение коэффициента подавления помехи при увеличении её мощности.

Заключение. Алгоритм LCMV позволяет формировать нули ДН только на мощные помехи. Слабые помехи способны только сместить один из естественных нулей ДН и тем самым ослабить помеху. Мощность помехи уменьшается только до уровня -20 дБ относительно мощности некоррелированных шумов. Время накопления (число отсчетов K) и порядок N фильтров ДОС не оказывает существенного влияния на коэффициент подавления слабых помех.

Таким образом, исследованный алгоритм не может использоваться для подавления слабых помех. В работе [2] для подавления сигналов с малым отношением J/N_0 предлагается использовать модифицированный алгоритм RAIS-LCMV. Его исследование будет проведено в будущих работах. Возможно и другое решение данной проблемы. Если удастся каким-либо образом определить направление на помеху, например с использованием алгоритма MUSIC [3], то можно синтезировать ДН с нулями в заданных направлениях.

Исследование выполнено при поддержке Красноярского краевого фонда науки в рамках научного проекта №2021021207511

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Frost O.L. An Algorithm for Linearly Constrained Adaptive Array Processing // Proc. IEEE. – 1972. – Vol. 60, № 8. – P. 926-935.
2. Guo X., Chu L., Li B. Robust adaptive LCMV beamformer based on an iterative suboptimal solution // Radioengineering. – 2015. – Vol. 24, № 2. – P.572-582.
3. Schmidt R.O. Multiple emitter location and signal parameter estimation. // IEEE Trans. Antennas Propag. – 1986. – Vol. AP-34, № 3. – P.276-280.

УДК 004.896

**СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ СКАНИРОВАНИЕМ ДЛЯ ОПТИЧЕСКОГО МИКРОСКОПА НА
ОСНОВЕ АЛГОРИТМОВ МАШИННОГО ЗРЕНИЯ**

А.В. Степанов, А.П. Попов, А.В. Коваленко

Научный руководитель: к.в.н. А.И. Димитриева

Чувашский государственный аграрный университет

Россия, г. Чебоксары, ул. К. Маркса, 29, 428003

E-mail: for.antonstep@gmail.com

**OPTICAL MICROSCOPE SCANNING CONTROL SYSTEM BASED ON MACHINE VISION
ALGORITHMS**

A.V. Steapnov, A.P. Popov, A.V. Kovalenko

Scientific supervisor: PhD A.I. Dimitrieva

Chuvash State Agrarian University, Russia, Cheboksary, st. K. Marx, 29, 428003

E-mail: for.antonstep@gmail.com

Abstract. *In this work, the optimization of the algorithms of the scanning control system for an optical microscope for image segmentation is carried out. It also describes the development of a system for collecting data and classifying animal blood cells from photomicrographs of a blood smear for training a deep neural network.*

Введение. В настоящее время, в ветеринарных клиниках наиболее часто прибегают к микроскопическому методу исследований, в связи с этим, нами была проведена работа, направленная на ускорение данного исследования и повышения его точности путем использования алгоритмов машинного обучения. Существующие системы управления процессом сканирования микропрепарата с помощью оптического микроскопа базируются либо на усовершенствованной оптической системе [1], либо на роботизации и автоматизации существующих микроскопов [2].

Экспериментальная часть. Ранее нами был разработан прототип сканера препаратов на основе роботизированного Микроскопа Микромед 1 вар 3 LED (рис.1), состоящий из двух шаговых двигателей для перемещения двухкоординатного столика. В конструкции так же предусмотрен кронштейн для крепления смартфона, камера которого предназначена для съемки изображения микропрепарата через окуляр микроскопа.



Рис. 1. Внешний вид микроскопа Микромед 1 вар 3 LED с приставкой-сканером

Алгоритм работы системы управления состоит из следующих шагов

1. После установки предметного стекла с микропрепаратом происходит калибровка установки
2. Затем начинается процесс сканирования образца
3. Каждое поле зрения проверяется на степень размытости, при необходимости расстояние от объектива до образца меняется пока не будет достигнуто четкое изображение
4. Образец сканируется до достижения заданного количества полей зрения или объектов
5. Фотографии отдельных полей зрения сшиваются в общую панораму.

Для оценки размытости изображения использовался алгоритм на основе расчета вариации Лапласиана из библиотеки OpenCV 2 [3], для сшивки изображений так же использована библиотека OpenCV.

Код для управления микроконтроллером ATmega2560 написан на языке C++ в IDE Arduino. Для управления работой шаговых двигателей использована библиотека AccelStepper. Алгоритм работы микроконтроллера может быть описан в виде следующего цикла

1. Установка системных переменных, подключение цифровых выходов для управления драйверами двигателей
2. Ожидание управляющих сигналов для включения шаговых двигателей
3. Включение одного из трех шаговых двигателей для перемещения по X,Y или изменения расстояния от объектива до предметного стекла
4. Ожидание управляющих сигналов
5. Повторение пп. 2-3 в цикле микроконтроллера

Получаемые микрофотографии передаются в качестве входного файла программному обеспечению на основе глубокой нейронной сети [4], которое производит автоматическую сегментацию изображения клеток крови. Далее подсчитывается лейкоформула. Нейронная сеть разработана на базе TensorFlow [5]. Архитектура нейронной сети строилась на базе архитектуры YOLO v2, обучалась на собственных наборах данных, включающих 13 000 изображений клеток крови. Нейронная сеть распознает три класса объектов (клеток крови) эритроциты (RBC), лейкоциты (WBC), тромбоциты (PLT). Используемая система позволяет автоматизировать процесс подсчета лейкоформулы и сократить время анализа крови при точности 88 % и специфичности 90 %.

Результаты тестирования нейронной сети на тестовом наборе данных приведены в таблице 1.

Таблица 1

Результаты тестирования нейронной сети на тестовом наборе данных

Показатель	Значения
Accuracy	88.95%±0.32%
Area Under the Curve (AUC)	90.44%±0.18%
sensitivity	91.15%±1.27%
specificity	90.54%±1.25%
precision	84.75%±1.13%
negative predictive value	85.33%±1.09%

Диаграмма связи работы отдельных частей системы показана на Рис. 2.



Рис. 2. Функциональная диаграмма работы сканера-приставки

Заключение. Создан прототип программного обеспечения на языке Python 3 с использованием фреймворка TensorFlow для распознавания и классификации клеток крови, а так же программного обеспечения для управлением процессом автоматического сканирования микропрепаратов крови. Работа системы сканирования определяется параметрами и быстродействием нейронной сети, камеры и микроконтроллера, все три устройства связаны между собой каналами передачи данных. И система благодаря такому взаимодействию является системой с обратной связью.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Potsaid B., Bellouard Y., Wen J. T., Adaptive Scanning Optical Microscope (ASOM): A multidisciplinary optical microscope design for large field of view and high resolution imaging // Opt. Express. – 2005. – № 13 – С. 6504-6518
2. Медовый В.С., Парпара А.А., Пятницкий А.М., Соколинский Б.З. Роботизированная микроскопия внедряет стандарт качества анализов мазков крови // Клиническая лабораторная диагностика. – 2009. – № 9. – С.40-44.
3. Bradski, G. The OpenCV Library // Journal of Software Tools. – 2000. – 27 с.
4. Islam M. M.; Islam M. T. Machine learning approach of automatic identification and counting of blood cells // Healthcare Technology Letters. – 2019. – № 6 (4) – P. 103-108
5. Abadi M. et al. Tensorflow: A system for large-scale machine learning // In 12th Symposium on Operating Systems Design and Implementation. – 2016. – № 16. – P. 265–283.

УДК 621.396.41

АЛГОРИТМ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ УЗЛОВ МОБИЛЬНОЙ СЕТИ В СРЕДЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ NS-3А.О. Терехин, Д.А. Баранов, Д.С. Брагин

Научный руководитель: доцент, к.т.н., А.А. Конев

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,

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

E-mail: saha97a@mail.ru**ALGORITHM OF MOBILE NETWORK NODES MOVEMENT IN THE NS-3 SIMULATION
ENVIRONMENT**A.O. Terekhin, D.A. Baranov, D.S. Bragin

Scientific Supervisor: Associate professor, Ph.D. A.A. Konev

Tomsk State University of System Control and Radioelectronics, Russia, Tomsk, Lenin str., 40, 634050

E-mail: saha97a@mail.ru

Abstract. *The article presents the result of the operation of an algorithm designed to move a mobile network in space, for the given conditions for the occurrence of data transmission losses.*

Введение. Развитие информационных технологий сопровождается необходимостью увеличения надежности и повышения скорости передачи данных [1]. Как следствие, ведется постоянная работа по разработке и внедрению сетей связи нового поколения и методов борьбы с угрозами информационной безопасности [2].

В связи с развитием сред имитационного моделирования, в настоящее время, принято перед программно-аппаратной реализацией проводить моделирование процесса передачи данных [3]. Наибольший интерес представляет исследование факторов, оказывающих влияние на показатели качества связи [4]. С точки зрения информационной безопасности телекоммуникационных сетей важным аспектом является вопрос помехозащищенности [5]. Поэтому при моделировании возникает необходимость генерации помех и исследование их влияния.

При оценке надежности канала сетей 4-го и 5-го поколения рассматривается параметр BLER. Его значение вычисляется отношением количества блоков с ошибкой к общему количеству блоков при передаче. Также при расчете BLER учитывается показатель SINR, который определяется как соотношение уровня полезного сигнала к уровню шума с учетом интерференции в точке приема [6].

Для исследования событий, влияющих на надежность передачи данных, необходимо сформировать условия, приводящие к гарантированному возникновению потерь в канале. Одним из способов является ослабление уровня мощности сигнала в точке приема, то есть уменьшения значения параметра SINR. При одинаковых условиях моделирования данный параметр напрямую зависит от расстояния между базовой станцией и абонентом.

Исследование условий возникновения потерь в канале передачи данных проводилось в сетевом симуляторе дискретных событий NS-3. Поскольку базовый набор модулей, формирующий основную концепцию моделирования в симуляторе, акцентирован на реализацию процесса передачи данных, поэтому

вопросы информационной безопасности рассматриваются не в полном объеме. В связи с этим, актуальной задачей является внедрение модулей, позволяющих реализовывать методы защиты информации.

Описание алгоритма. Целью исследования является разработка и реализация в сетевом симуляторе алгоритма перемещения абонентов, приводящего к предсказуемому и гарантированному возникновению потерь в канале передачи данных. Для этого абоненты равномерно удаляются от базовой станции, вокруг которой они расположены. Данный процесс обеспечивается алгоритмом, сутью которого является вычисление вектора перемещения абонента относительно базовой станции.

Удаление абонентов происходит по прямой линии. Функция, описывающая траекторию движения абонентов (рис. 1), определяется начальными позициями абонента и связанной с ним базовой станцией (формула 1).

$$f(x) = \frac{Y_1 - Y_0}{X_1 - X_0} \cdot (X_1 - X_0). \quad (1)$$

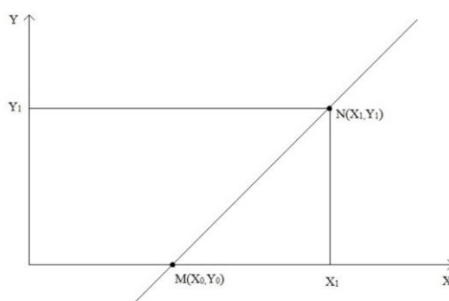


Рис. 1. График функции перемещения абонента

Для каждого абонента задается максимальное расстояние от него до базовой станции и шаг дискретизации по времени. Далее производится перевод в цилиндрическую систему координат для программной реализации вычисления перемещения. В соответствии с шагом по времени определяется текущая позиция абонента. В связи с особенностями моделирования в среде NS-3 осуществляется обратный перевод в декартову систему координат (рис. 2).



Рис. 2. Структурная схема алгоритма перемещения абонента

Результаты. После тестирования программной реализации алгоритма на предмет корректности построения траектории движения абонента, данный модуль был внедрен в сетевой симулятор. В ходе проведения серии моделирований были получены результаты, представленные в таблице 1. Видим, что с

увеличением дистанции между абонентом и базовой станцией происходит уменьшение значения SINR и увеличение BLER соответственно, и, как следствие, увеличение потерь пакетов в канале (таблица 1).

Таблица 1

Результаты моделирования перемещения

Время, мс	Дистанция, м	SINR, дБ	BLER
400	450	21,6	0,0
500	500	19,9	0,06
526	513	19,7	0,24
552	526	19,4	0,52
576	538	19,1	0,87
600	550	18,7	0,99
610	555	18,6	1,0
620	560	18,4	1,0

По результатам, представленным в таблице 1 видно, что при достижении абонентом дистанции 500 м от базовой станции, значение BLER начинает возрастать, соответственно увеличивается шанс потери пакета. Рост вероятности потери происходит нелинейно, а при достижении дистанции в 555 м и более, вероятность ошибки при передаче достигает 100 %.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках базовой части государственного задания ТУСУРа на 2020–2022 гг. (проект № FEWM-2020-0037).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ericsson // Технологии мобильной связи 5G: анализ и перспективы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.lastmile.ru/files/article_pdf/3/article_3889_535.pdf. (дата обращения 02.12.20)
2. Новохрестов А.К., Конев А.А. Оценка качества защищенности компьютерных сетей // Динамика систем, механизмов и машин. – 2014. – № 4. – С. 85–87.
3. Феоктистов А.Г., Башарина О.Ю. Автоматизация имитационного моделирования сложных систем в распределенной вычислительной среде // Программные продукты и системы. – 2015. – № 3. – С. 75–80.
4. Ghosh A., Maeder A., Baker M., Chandramouli D. 5G evolution: A view on 5G cellular technology beyond 3GPP release 15 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8826541>. (дата обращения: 02.12.20)
5. Шелупанов А.А., Евсютин О.О., Конев А.А., Костюченко Е.Ю., Кручинин Д.В., Никифоров Д.С. Актуальные направления развития методов и средств защиты информации // Доклады ТУСУРа. – 2017. – Т. 20., № 3. – С. 11–24.
6. 3GPP TR 38.913 V14.2.0, “Study on scenarios and requirements for next generation access technologies” [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://portal.3gpp.org/desktopmodules/Specifications/SpecificationDetails.aspx?specificationId=2996>. (дата обращения: 10.12.20)

УДК 629.05

УДАЛЕННАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ БАС

Д.Р. Уразаев

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,

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

E-mail: udr@csp.tusur.ru

UAS REMOTE IDENTIFICATION

D.R. Urazayev

Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, Russia, Tomsk, Lenin str., 40, 634050

E-mail: udr@csp.tusur.ru

Abstract. *This paper contains the analysis of technologies for remote identification of UAS. The most optimal technologies for UAS remote identification were selected and the minimum set of functions and technical requirements for the device for UAS remote identification were formulated based on the analysis results.*

Введение. Удаленная идентификация – это способность беспилотных авиационных систем (БАС) в полете предоставлять идентификационную информацию, которая может быть получена другими сторонами [1].

Удаленная идентификация является важным шагом на пути к полной интеграции беспилотных воздушных судов (БВС) в общее воздушное пространство. Риск столкновения БВС и авиации общего назначения является сегодня одной из самых больших проблем при полетах БВС вне зоны прямой видимости. Осведомленность о состоянии воздушного пространства снижает риск столкновения БВС с другими воздушными судами (ВС), людьми и их имуществом на земле.

Передача удаленного идентификатора требует использования беспроводной технологии дальнего действия. На данный момент в российской системе RUTM не указаны конкретные технологии. Цель работы состоит в выборе оптимальной технологии для удаленной идентификации БАС и формировании требований к устройству, осуществляющему удаленную идентификацию.

Технологии удаленной идентификации БАС. Анализ стандартов, спецификаций и концепции [2-5], предлагаемых к введению в Америке и Европе, показывает, что нет четкого представления об осуществлении процесса идентификации БАС. Обобщая информацию по способам идентификации БАС, можно выделить две группы технологий удаленной идентификации:

- широковещательную, основанную на передаче радиосигналов непосредственно с борта БАС на наземные приемники вблизи БАС;
- сетевую, основанную на связи БАС с системой ОВД БАС через Интернет.

При сетевой удаленной идентификации связь может быть организована напрямую или через ретранслятор, к примеру, наземную станцию управления (НСУ) БАС.

Технология удаленной идентификации была сгруппирована комитетом ARC по восьми подкатегориям и двум основным категориям:

- широковещательная удаленная идентификация: АЗН-В, прямой радиочастотный сигнал низкой мощности (Bluetooth, Wi-Fi, RFID и т.д.), нелицензионный интегрированный С2

(C2 в нелицензированном спектре), физический индикатор (гравированные номера, стримеры и т.д.), кодирование визуального света;

- сетевая удаленная идентификация: сотовая связь, спутниковая связь, уведомление о полете на основе ПО.

Важно отметить, что ни одна из вышерассмотренных технологий изначально не создавалась для БАС. Наиболее оптимальными и перспективными из существующих технологий являются АЗН-В и сотовая связь. Часто рассматриваемые Wi-Fi и Bluetooth были отклонены по причине функционирования на небольшом расстоянии и высоте.

Система АЗН-В предназначена для наблюдения за ВС при приеме информации с борта ВС о его местоположении, а также другой дополнительной информации, передаваемой по линии передачи данных в вещательном режиме. Основное преимущество системы заключается в том, что информация о местоположении БАС может транслироваться и пилотируемым самолетам, оснащенным приемником данных АЗН-В. К недостаткам АЗН-В на базе 1090 ES следует отнести явление интерференции/насыщения при высокой плотности воздушного движения, обуславливающее наложение сигналов друг на друга и в силу этого невозможность их различения. По указанным причинам дальность действия АЗН-В в зонах с интенсивным воздушным движением составляет 50-70 км.

В исследовании MITRE показано, что при большом количестве БАС (1 БАС на 2 км^2), выполняющих полеты на низких высотах (до 150 метров) радиочастотная передача АЗН-В Out мощностью 1 Вт парализуют любую систему наблюдения, работающую на частоте 1090 МГц. Таким образом широкомасштабное оснащение малых БАС оборудованием АЗН-В Out на частотах 1090 МГц нецелесообразно, так как текущая система АЗН-В не обладает способностью к значительному росту. В связи, с чем в качестве перспективных средств наблюдения за полетами БАС над городской местностью, где предполагается большое скопление БАС, можно рассмотреть средства, основанные на использовании мобильной связи (4G/5G).

Уровень готовности у 4G или 5G относительно высокий, но не настолько, как у АЗН-В. Стоит отметить, что в силу технических особенностей существует предел по высоте полетов, поскольку вышки ограничены по высоте и в основном направлены вниз. Именно поэтому сети 5G позиционируются для низких городских полетов. Будущая оптимизация LTE и 5G для сценариев использования БАС потребует времени. Эксперты также отмечают, что 4G/5G может использоваться для позиционирования БАС.

Приведенная выше информация является обобщением стандартов, спецификаций и концепций зарубежных организаций в области ОВД БАС. В большинстве рассмотренных документов общей передаваемой информацией являются: идентификатор (БАС или конкретного рейса), координаты БВС и временная метка. Также идет деление на общедоступную информацию о БАС, отображаемую для любого наблюдателя, и конфиденциальную, предоставляемую уполномоченным сторонам.

В настоящее время для наблюдения за полетами БАС большую популярность набирают бортовые спутниковые трекеры устанавливаемые на ВС и предназначенные для определения местоположения БВС и других навигационных параметров с использованием сигналов навигационных спутниковых систем ГЛОНАСС и GPS и доставки данных на телематический сервер с использованием технологии коротких сообщений спутниковой системы Iridium.

Результаты. Проведенный анализ показал, что ни одно решение не является идеальным при любых обстоятельствах. Поскольку частота операций с использованием БАС увеличивается, к удаленному идентификатору будут предъявляться дополнительные требования, такие как более высокая пропускная способность, большая высота, большая безопасность, поддержка повышенной плотности и т.д. Решением данной проблемы может стать разработка бортового устройства сочетающего одновременно несколько технологий удаленной идентификации ВС – АЗН-В 1090ES, 4G/ 5G, спутник.

Учитывая основные задачи передаваемой информации – идентификация воздушного судна и контроль полета, был выделен минимально необходимый набор функций для бортового устройства идентификации БАС и сформулированы основные технические требования.

Минимально необходимый набор функций бортового устройства идентификации БАС:

- удалённая радиочастотная идентификация БАС по идентификационному номеру;
- наблюдение и мониторинг за БАС в общем воздушном пространстве;
- обмен координатно-временной информацией с окружающими ВС по направлению «борт-борт» (технология «каждый видит каждого»);
- предотвращение полётов в запрещённых зонах.

Технические требования к бортовому устройству идентификации БАС:

- поддержка технологии навигации ГНСС ГЛОНАСС/GPS с применением СДКМ и ЛККС;
- поддержка технологии наблюдения и идентификации АЗН-В 1090ES, 4G/ 5G, спутник;
- скорость приёма/передачи данных – не менее 100 кбит/с;
- дальность приёма/передачи данных – не менее 40 км;
- выбор технологий навигации, идентификации, связи в ручном и автоматическом режимах.

Заключение. В результате проведенных исследований было выявлено, что для реализации удаленной идентификации БАС оптимальным является совместное использование технологий АЗН-В 1090ES, сотовой и спутниковой связи и сформулированы минимальный набор функций и технических требований к устройству для удаленной идентификации БАС.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. UAS Remote Identification [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.faa.gov/uas/getting_started/remote_id/ (дата обращения: 18.01.2021)
2. Realizing Remote ID. Syracuse: Hidden Level, 2019. – 16 p.
3. ASTM F3411-19. Standard Specification for Remote ID and Tracking [Text]: standard. – West Conshohocken: ASTM International, 2019. – 67 p.
4. Federal Aviation Administration. Notice of Proposed Rule Making on Remote Identification of Unmanned Aircraft Systems // Federal Register. – 2019. – Vol. 84, No. 250. – P. 72438-72524.
5. Hately, A. et al. U-space Concept of Operations [Text]: Concept of operations for European UTM systems. – Brussels: SESAR, 2019. – Vol. 2. – 92 p.

УДК 519.688: 004.89

**ИЗУЧЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАБОТЫ НЕЙРОННОЙ СЕТИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ
ИНТЕНСИВНОСТИ СОСТЯЗАТЕЛЬНОЙ АТАКИ**Я.А. Усольцев, Б.С. Лодонова, А.А. Коновалов

Научный руководитель: доцент каф. КИБЭВС, к.т.н. Е.Ю. Костюченко

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 40, 634045

E-mail: balzitlodonova@gmail.com**STUDY OF INDICATORS OF NEURAL NETWORK PERFORMANCE DEPENDING ON THE
INTENSITY OF ADVERSE ATTACK**Y.A. Usoltsev, B.S. Lodonova, A.A. Kononov

Scientific Supervisor: Associate professor, Ph.D. E.Y. Kostyuchenko

Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, Russia, Tomsk, Lenin str., 40, 634045

E-mail: balzitlodonova@gmail.com

Abstract. Attacks on machine learning in biometric authentication are being investigated, in particular - an adversarial attack. Various types of errors that arise during the operation of the system under consideration when attacking a specific user are considered.

Введение. Алгоритмы машинного обучения, использующие нейронную сеть как основу, крайне уязвимы для состязательных атак [1]. Такие атаки, используя различные методики подготовки данных, способны обеспечить возможность несанкционированного доступа к системе. На данный момент защита нейронных сетей от атак в том числе и состязательного типа является одним из приоритетных направлений развития в области машинного обучения, потому проводятся многочисленные исследования как самих атак, так и методов защиты от них [2].

На данном этапе исследования были изучены особенности проведения состязательной атаки быстрым градиентным методом на одного из пользователей. Также изучалось влияние такого способа проведения атаки на значения статистических ошибок первого и второго рода, детектируемых на системе в целом и на атакуемом пользователе в частности.

Экспериментальная часть. Система представляет из себя скрипт на языке Python, который: считывает данные о подписях пользователей, обучает на их основе нейронную сеть, проводит состязательную атаку быстрым градиентным методом, считывает и обрабатывает значения точности и статистических ошибок на системе в целом и на атакуемом пользователе. Состязательная атака производится с использованием библиотеки Adversarial Robustness Toolbox [3]. Атака производилась только на данных одного из пользователей. Атака была произведена с изменением значения интенсивности атаки от 1 до 99 %. Для обеспечения воспроизводимости результата эксперимент был проведен сто раз, из полученных данных были рассчитаны минимальные, средние значения и значение медианы.

Таким образом при изменении интенсивности состязательной атаки были получены данные о точности работы сети в целом, представленные на рисунке 1. Кроме того, были сняты параметры точности определения атакуемого пользователя (рисунок 2).

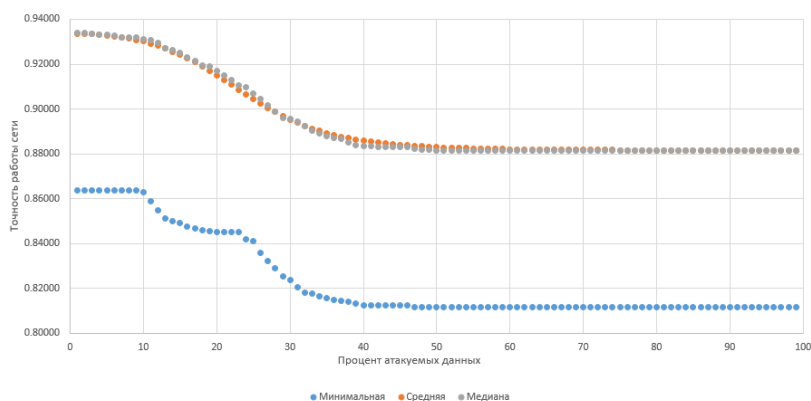


Рис. 1. Зависимость точности работы сети от процента наборов пользователя, подвергшихся атаке

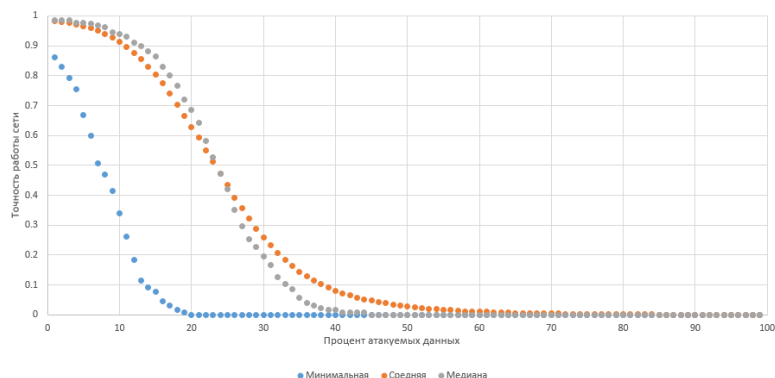


Рис. 2. Зависимость точности определения атакуемого пользователя от процента его наборов, подвергшихся атаке

Так же были сняты показания статистических ошибок первого и второго рода для системы в целом и атакуемого пользователя в частности (рисунок 3, 4).

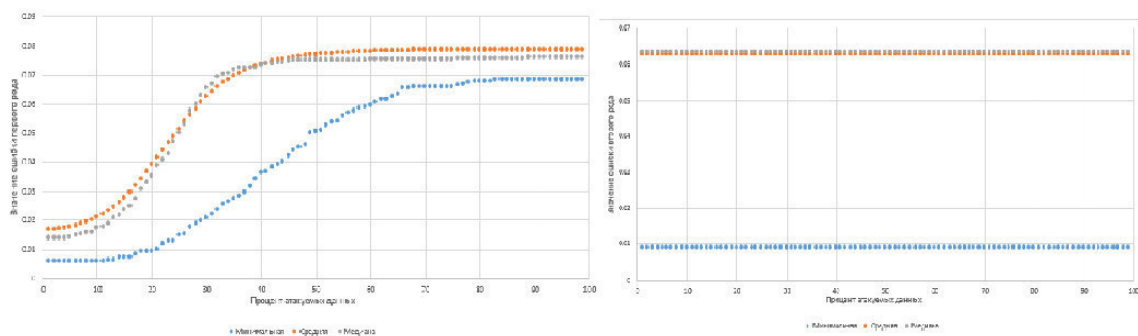


Рис. 3. Зависимость ошибок первого и второго рода, возникающих на сети в целом, от процента наборов пользователя, подвергшихся атаке

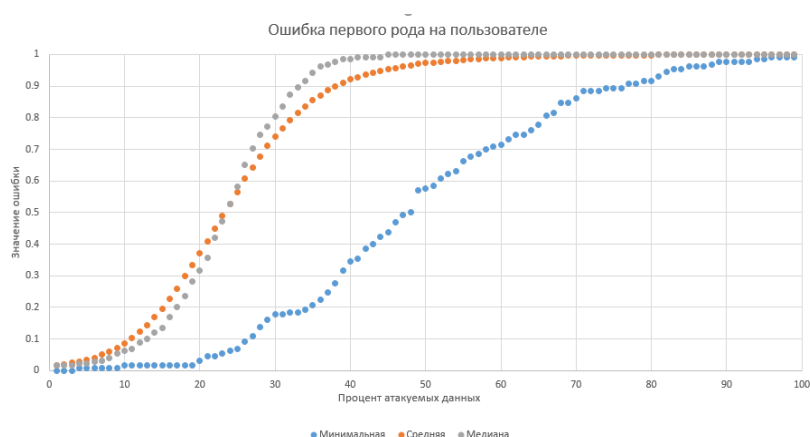


Рис. 4. Зависимость ошибки первого рода, возникающей на атакуемом пользователе, от процента его наборов, подвергшихся атаке

Результаты. Ошибка второго рода по ходу атаки не изменялась и была равна нулю.

Из графиков видно, что даже при атаке на данные только одного пользователя, точность работы сети падает в среднем на 13%, а ошибка первого рода возрастает более чем на 7%. При этом состязательная атака на данные одного пользователя не ведет к увеличению ошибки второго рода, а, следовательно, потенциальный злоумышленник не сможет использовать данную атаку для получения несанкционированного доступа. При этом ошибка первого рода для атакуемого пользователя возрастает до 100% при состязательной атаке более чем на 45% тестовых наборов. Злоумышленник может использовать данную атаку для саботажа доступа атакуемого пользователя к системе, нарушая доступность к системе.

Заключение. Таким образом, было исследовано влияние проведения состязательной атаки на систему биометрической аутентификации. Были оценены, возникающие при атаке статистические ошибки первого и второго рода и построены графики зависимостей этих ошибок от интенсивности атаки.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках базовой части государственного задания ТУСУРа на 2020–2022 гг. (проект № FEWM-2020-0037).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Yuan X., He P., Zhu Q., Li X. Adversarial Examples: Attacks and Defenses for Deep Learning // IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems. – 2019. – V. 9 (30). – P. 2805–2824.
2. Kurakin A., Goodfellow I., Bengio S. Adversarial machine learning at scale // arXiv e-prints. – 2016. – Art. No. arXiv-1611.01236.
3. Welcome to the Adversarial Robustness Toolbox [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://adversarial-robustness-toolbox.readthedocs.io/en/stable/>. (дата обращения: 10.09.2020).

УДК 537.52

**ОСОБЕННОСТИ ЗАЖИГАНИЯ ТЛЕЮЩЕГО РАЗРЯДА ЧЕРЕЗ МАЛОЕ ОТВЕРСТИЕ В
ПОЛОМ КАТОДЕ БОЛЬШОГО ОБЪЕМА**

В.Т. Чан, А.А. Поддубнов, А.С. Климов

Научный руководитель: профессор, д.т.н. А.С. Климов

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,

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

E-mail: tranvantu0208@gmail.com

**SPECIFIC FEATURES OF IGNITING A GLOW DISCHARGE THROUGH A SMALL HOLE IN
A LARGE VOLUME HOLLOW CATHODE**

V.T. Tran, A.A. Poddubnov, A.S. Klimov

Scientific Supervisor: Prof., Dr. A.S. Klimov

Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, Russia, Tomsk, Lenin str., 40, 634050

E-mail: tranvantu0208@gmail.com

Abstract. *In this study, we investigated the process of discharge ignition in an extended cathode cavity. The area of the hole in cathode cavity was less than 1% of the area of the entire hollow cathode, that significantly complicates the discharge ignition. We show the relation between the discharge transition current to cathode cavity, hole size, and the gas pressure.*

Введение. Высокая плотность разрядного тока и незначительная зависимость разрядных характеристик от давления обеспечивают возможность использования тлеющего разряда с полым катодом в процессе генерации эмиссионной плазмы в форвакуумных электронных источниках [1, 2]. Связь формы и размеров катодной полости отражательного разряда с полным катодом является относительно изученной [3]. При этом, данные исследования выполнены в условиях, когда размер полого катода составлял сотни миллиметров. Таким образом закономерности, полученные в данных исследованиях, вероятно, могут отличаться от условий, когда размер полого катода составляет десятки миллиметров, а сам катод является составной частью установки для получения эмиссионной плазмы. Наша работа посвящена исследованию специфики зажигания тлеющего разряда через малое отверстие в полом катоде большого объема.

Экспериментальная часть. В работе использовали плазменный источник электронов с полым катодом (1) размерами 280 мм × 75 мм × 40 мм (рис.1). Полость катода была перекрыта сменными тонкими диафрагмами (3) с одиночными отверстиями различного диаметра: 0,6 mm; 2,5 mm и 4,0 mm, соответственно.

Источник электронов в эксперименте был установлен на фланце вакуумной камеры, в данную камеру подавали рабочий газ (аргон) через натекатель. Давление внутри камеры измеряли термометрическим вакуумметром ВИТ-2. При подаче разрядного напряжения U_d на промежутки между полым катодом и анодом (4) с зажигался тлеющий разряд. В качестве источника питания для зажигания разряда использовали источник постоянного напряжения с возможностью его регулировки от 0 до 10 кВ и силой тока до 300 мА. После получения тлеющего разряда с полым катодом с помощью безмасляного

механического насоса ISP-1000 в камере обеспечивали давление до 50 Па, при этом, в процессе понижения давления мы получали данные по связи давления и характеристик разряда.

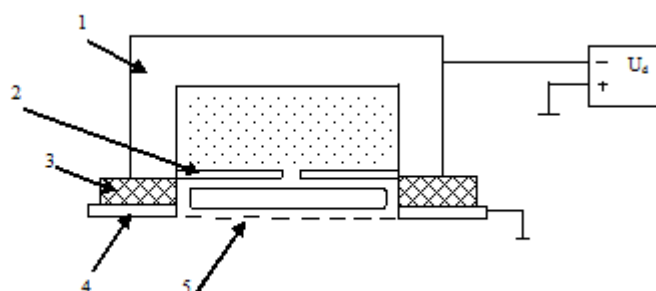


Рис.1. Схема форвакуумного плазменного источника ленточного электронного пучка 1 - Катод; 2 - металлические пластины; 3 - Изолятор; 4 - Анод; 5 - Сетка

Результаты. В результате проведённых экспериментов удалось установить связь между напряжением зажигания разряда, давлением газа и диаметром отверстий в полом катоде. Также определены величины токов и давлений необходимых для зажигания разряда в полом катоде (рис. 2).

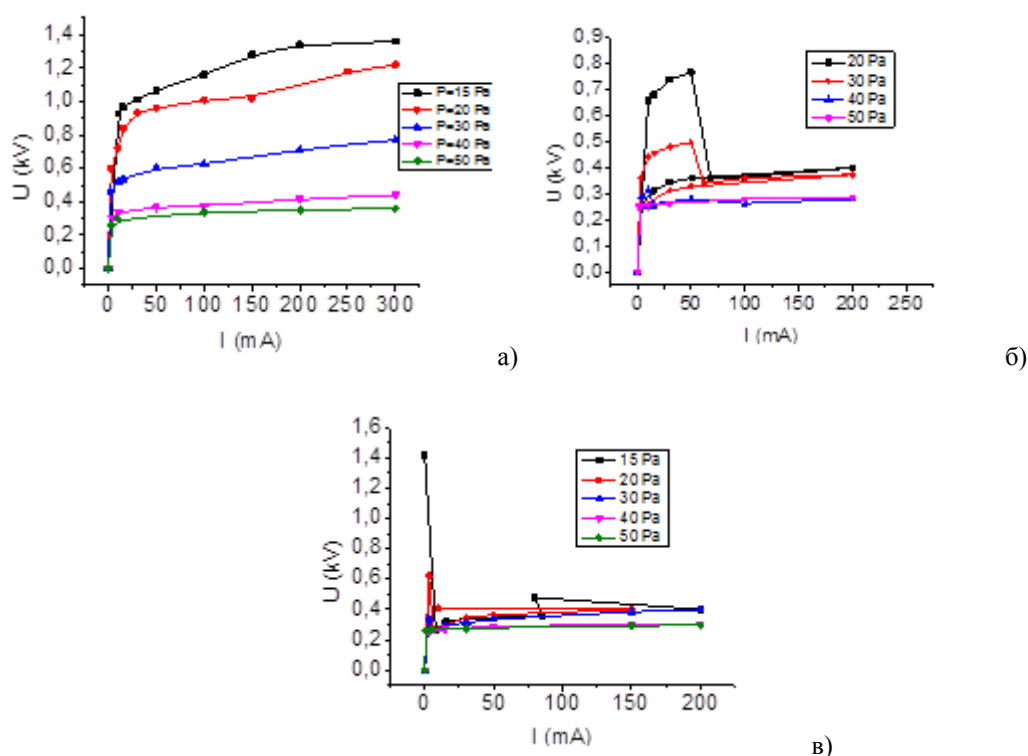


Рис.2. Вольтамперные характеристика разряда при различных значениях давления газа (Ar).
Значения диаметров отверстий, d: а) 0,6мм; б) 2,5мм; в) 4 мм

Как видно из рисунка 2 (а, б, в) повышение давления приводит к уменьшению напряжения зажигания разряда. На рисунке 2а разряд загорается только между плоскими частями катода и анода. Это вольт-амперная характеристика вакуумного диода. Так зажигается тлеющий разряд. Повышение тока разряда приводит к незначительному росту напряжения горения разряда. Проникновения разряда в катодную полость не наблюдается ввиду перекрытия отверстия в катоде ионными слоями. Величины тока в 300 мА при давлении 50 Па оказываются недостаточно генерации разрядной плазмы с концентрацией при которой толщина ионного слоя будет сравнима с радиусом отверстия в катодной полости. При увеличении диаметра отверстия в катодной полости до 2,5 мм возможно наблюдать два режима горения разряда, рис. 2 б. При малых токах малых давлениях разряд зажигается и существует между плоскими частями катода и анода. Повышение тока до 60 мА при наиболее низком из исследуемых давлении в 20 Па приводит к разрыву ионных оболочек и проникновению плазмы в катодную полость. Напряжение горения разряда при этом снижается с 700 до 300 В.

Увеличение диаметра отверстия до 4 мм приводит к тому, что разряд зажигается в катодной полости даже при минимальных токах порядка нескольких миллиампер.

Заключение. Исследовано зажигание тлеющего разряда через малое отверстие в полном катоде большого объема. Установлено что, ток, при котором происходит переключение разряда в режим полого катода, определяется диаметром отверстия в полном катоде, а также давлением газа.

Работа выполнена при поддержке Министерства высшего образования и науки, грант FEWM - 2020-0038.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бурдовицин В.А., Бакеев И.Ю., Зенин А.А., Золотухин Д.Б., Казаков А.В., Климов А.С., Медовник А.В., Окс Е.М., Тюньков А.В. Опыт разработки и применения форвакуумных плазменных электронных источников.// Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. – 2016. – Т. 19., № 2. – С. 5-10.
2. Климов А.С., Бурачевский Ю.А., Бурдовицин В.А., Окс Е.М. Использование разряда с неоднородным протяженным полым катодом для аовышеия плотности тока в форвакуумной плазменном источнике ленточного пучка элетронов.// Журнал технической физики. – 2008. – Т. 78., № 4. – С. 43-46.
3. Семенов А.П. Характеристики отражательного разряда с коробчатой катодной полостью и эмиссионные свойства плазмы разряда.// Журнал технической физики. – 2007. – Т. 77., № 2. – С. 131-135.

УДК 004.4

**РЕКОНСТРУКЦИЯ 3D-МОДЕЛИ ФОРМЫ СТОПЫ ЧЕЛОВЕКА ПРИ ПОМОЩИ
ВИДЕОКАМЕРЫ СМАРТФОНА**Л.С. Шилов, С.Е. Шаньшин, А.В. Куртукова

Научный руководитель: доцент, к.т.н. А.С. Романов

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,

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

E-mail: lionshilov@yandex.ru**RECONSTRUCTION OF A 3D FOOT MODEL FROM VIDEO CAPTURED USING
SMARTPHONE CAMERA**L.S. Shilov, S.E. Shanshin, A.V. Kurtukova

Scientific Supervisor: Associate Professor, Ph.D. A.S. Romanov

Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, Russia, Tomsk, Lenin str., 40, 634050

E-mail: lionshilov@yandex.ru

Abstract. *This article presents a method of reconstruction of the three-dimensional spatial shape of a human foot using modern digital photogrammetry algorithms. The method makes it possible to obtain a fully reconstructed 3D-model of the foot (including the lower arch) based on a video shoot made by a smartphone camera. The AliceVision framework and Meshroom software are used to construct the 3D-model. The models obtained by this method have an error of between 2.3 and 3 mm and can be used as an alternative to plaster cast in the real-life production process.*

Введение. Существует три эффективных метода построения 3D-модели стопы человека для создания индивидуальной ортопедической пары обуви: на основе сканеров глубины, гипсовых слепков и цифровых изображений. Первые два метода являются более ресурсоемкими, т.к. требуют больше временных и финансовых затрат. Кроме того, они требуют физического присутствия покупателя, что зачастую является невозможным для людей с ограниченными возможностями.

Целью работы является реализация метода реконструкции трехмерной пространственной формы стопы человека на основе видеосъемки, выполненной на камеру смартфона.

О работе. В исследовании [1] авторами была предложена методика, в основе которой лежит метод главных компонент и глубокие нейронные сети. Для создания 3D-модели использовались изображения, полученные с камеры смартфона. Погрешность данного метода составляет от 1 до 7,9 мм. Точность такого подхода довольно высока, однако авторы не подразумевают реконструкцию нижнего свода стопы, что делает данный метод неподходящим для пошива ортопедической обуви. В работах [2, 3] авторы используют бюджетные лазерные 3D-сканеры Intel Realsense и Kinect, которые позволяют реконструировать нижнюю часть стопы со средней погрешностью длины и обхвата 3,55 мм.

Ранее в исследовании [4] была предложена технология, основанная на методе DIB-R (дифференцируемый интерполяционный визуализатор), где для оценки качества кластеризации

применялся индекс Жаккара, его среднее значение составило 78,3% для всего набора данных, что оказалось достаточно лишь для виртуальной примерки обуви.

В данном исследовании методы цифровой фотограмметрии рассматриваются в качестве инструментов для полной реконструкции 3D-модели стопы (включая ее нижний свод). Алгоритмы компьютерного зрения AliceVision включают в себя множество гибко настраиваемых модулей, работающих с информативными признаками, позициями камер, искажениями, картами глубин и поверхностями модели в сцене. Параметры модулей можно настраивать в бесплатном программном обеспечении Meshroom. Для получения 3D-модели формы стопы необходим телефон, поддерживающий видеосъемку в формате FullHD с кадровой частотой не менее 30 кадров в секунду.

На рис. 1 представлена IDEF0 диаграмма процесса реконструкции пространственной 3D-модели стопы на основе фотограмметрического подхода.

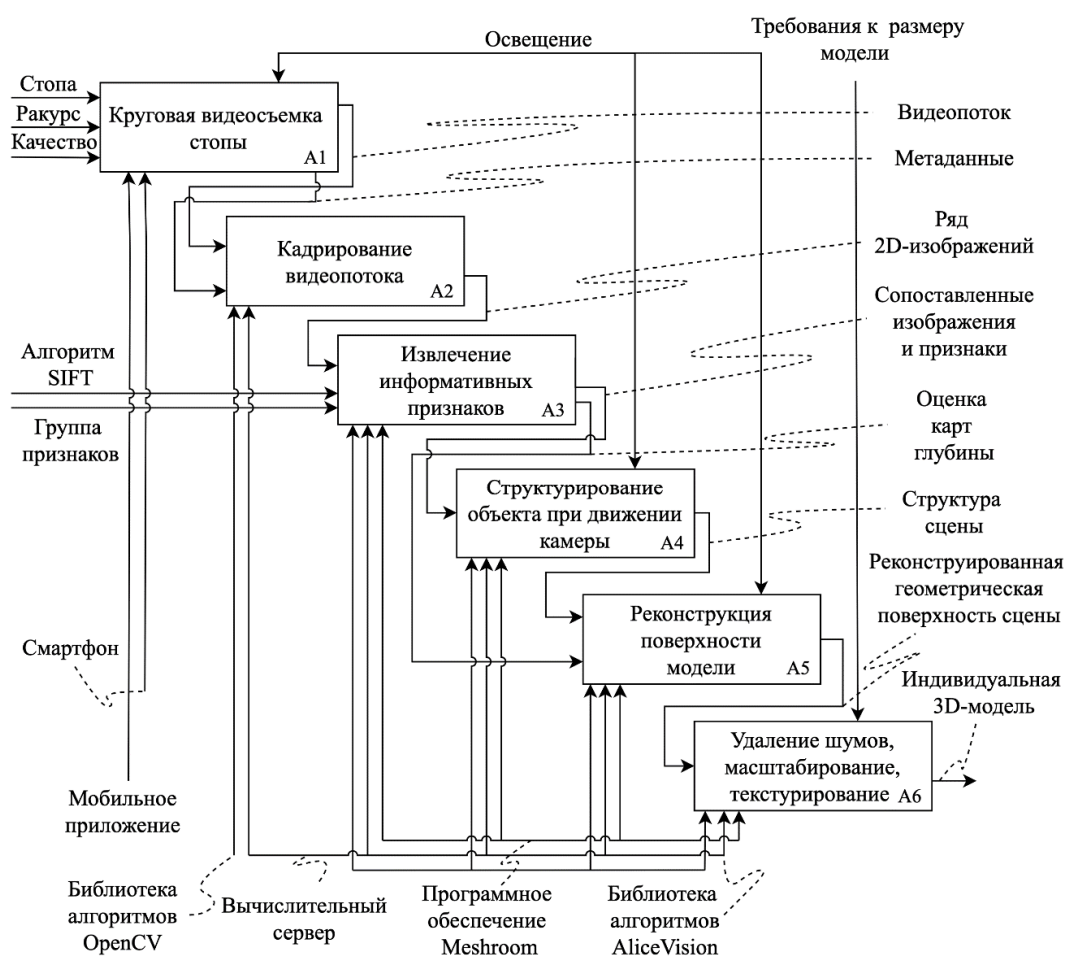


Рис. 1. IDEF0 диаграмма процесса реконструкции 3D-модели стопы на основе фотограмметрического подхода

После формирования ряда 2D-изображений из видеопотока, согласно алгоритму SIFT (Scale-invariant feature transform), происходит извлечение информативных признаков из одного изображения, которые сравниваются с признаками в последующих изображениях. Затем выстраивается структура объекта движения камеры в пространстве, чтобы оценить геометрическую связь объекта и положения камеры. Для

изображений, учтенных при формировании структуры, исследуется глубина каждого пикселя для создания объема и формирования карт глубин, которые объединяются и формируют 3D-модель.

Постановка эксперимента. Для формирования экспериментального набора данных была осуществлена круговая видеосъемка стоп 55 добровольцев. На основе полученного корпуса были реконструированы 3D-модели формы стопы. Для оценки качества трехмерных моделей использовалось отношение реальных замеров (длина, ширина, объем стопы в подъеме) к замерам, полученным из 3D-моделей, результаты и сравнение с приведенными в работе аналогами представлены в табл. 1

Таблица 1

Результаты реконструкции 3D-модели формы стопы

Метод	AliceVision, Meshroom	FootNet: PCA, CNN	Intel RealSense SR300	Microsoft Kinect
Количество изображений	150	3	-	-
Ошибка длины, мм	3,7	4,3	1	3
Ошибка ширины, мм	2,9	6,9	1	-
Ошибка обхвата в подъеме, мм	2,3	-	3,8	3,9

Заключение. В результате эксперимента разброс отклонений по измерениям составил от 2,3 до 3,7 мм, что является приемлемым результатом для начального этапа конструирования индивидуальной обуви. Стоит отметить, что при использовании фотограмметрического подхода существует возможность отлаживать каждый этап и делать упор на отдельные части реконструкции объекта, например, на нижний или верхний свод стопы. В продолжение исследования планируется применение нейронных сетей для детектирования и сегментации стопы, а также эксперименты с использованием различных ракурсов.

Исследование проводится при поддержке Фонда содействия инновациям по договору №538ГУ-ЦЭС8-D3/62098 от 05.10.2020 г.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Kok F., Charles J., Cipolla R. FootNet: An efficient convolutional network for multiview 3D foot reconstruction // Proceedings of the Asian Conference on Computer Vision. – 2020.
2. Pambudi D.S., Hidayah L. Foot 3D Reconstruction and Measurement using Depth Data // Journal of Information Systems Engineering and Business Intelligence. – 2020. – V. 6, No. 1. – P. 37–45.
3. Wang. M., Wang. X. A., Fan. Z., Zhang. S., Peng. C., Liu Z. A 3D foot shape feature parameter measurement algorithm based on Kinect2 // EURASIP Journal on Image and Video Processing. – 2018. – V. 2018, No. 1. – P. 1–12.
4. Куртукова А.В., Шилов Л.С., Федотова А.М. Разработка технологии и программной системы для трехмерной реконструкции формы стопы человека по видеопотоку // Сборник научных трудов XVII Международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Перспективы развития фундаментальных наук». Томск, 2020. – С. 65–67.

УДК 004.9

**ТОЧКИ ВОЗМОЖНОГО УЛУЧШЕНИЯ РОССИЙСКОЙ КАДАСТРОВОЙ СИСТЕМЫ ЗА СЧЕТ
ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ПРИМЕРЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЦИФРОВИЗАЦИИ В ДРУГИХ
СТРАНАХ С БОЛЕЕ РАЗВИТОЙ КАДАСТРОВОЙ СИСТЕМОЙ**

К.В. Шишков

Научный руководитель: доцент, к.т.н. Е.И. Аврунев
Сибирский государственный университет геосистем и технологий,
Россия, г. Новосибирск, ул. Плеханова, 10, 630108
E-mail: feeltherain@gmail.com

**POINTS OF POSSIBLE IMPROVEMENT OF THE RUSSIAN CADASTRAL SYSTEM THROUGH
DIGITAL TECHNOLOGIES AND EXAMPLES OF THE USE OF DIGITALIZATION IN OTHER
COUNTRIES WITH A MORE DEVELOPED CADASTRAL SYSTEM**

K.V. Shishkov

Scientific Supervisor: Associate Professor, Ph.D. E.I. Avrunev
Siberian State University of Geosystems and Technologies, Russia, Novosibirsk, Plakhotnogo str., 10, 630108
E-mail: feeltherain@gmail.com

***Abstract.** In the present study, a study of Swedish and Dutch experience in the development of digital technologies in cadastre works is carried out. On the basis of the studied experience, the directions for improvement of Russian cadastral system such as development of 3D models of real estate objects and further digitalization of cadastral system are proposed.*

Введение. Сегодня очень важно заниматься дальнейшим развитием и совершенствованием процессов, происходящих в экономике на базе цифровых технологий. Отсюда ключевыми точками дальнейшего развития можно считать улучшение российской кадастровой системы за счет цифровых технологий. Для выявления данных точек возможного улучшения требуется рассмотрение примеров использования цифровизации кадастровой системы в других странах, поскольку кадастровая деятельность играет является одним из важных факторов ценообразования на рынке недвижимости, а также является главным источником регулирования земельных отношений в России [1].

Поэтому целью работы являлось исследование точек возможного улучшения российской кадастровой системы за счет цифровых технологий и выявление примеров использования цифровизации в других странах с более развитой кадастровой системой.

Описание исследования. Далее представлен опыт Швеции и Нидерландов по развитию цифровых технологий в кадастровых работах.

Шведская модель по цифровым технологиям подразумевает наличие соответствующей системы, которая представлена на рис. 1.

Перспективными направления развития цифровизации в кадастровых работах может быть построение 3D моделей. Примеры их успешного использования отражены на рисунках 2 и 3 далее. Данный опыт используется активно в таких развитых странах как Швеция и Нидерланды.

В Нидерландах также имеется единая автоматизированная система в кадастре. Функции ее работы отражены на рис. 4.



Рис. 1. Шведская модель цифровых технологий на базе единой кадастровой системы

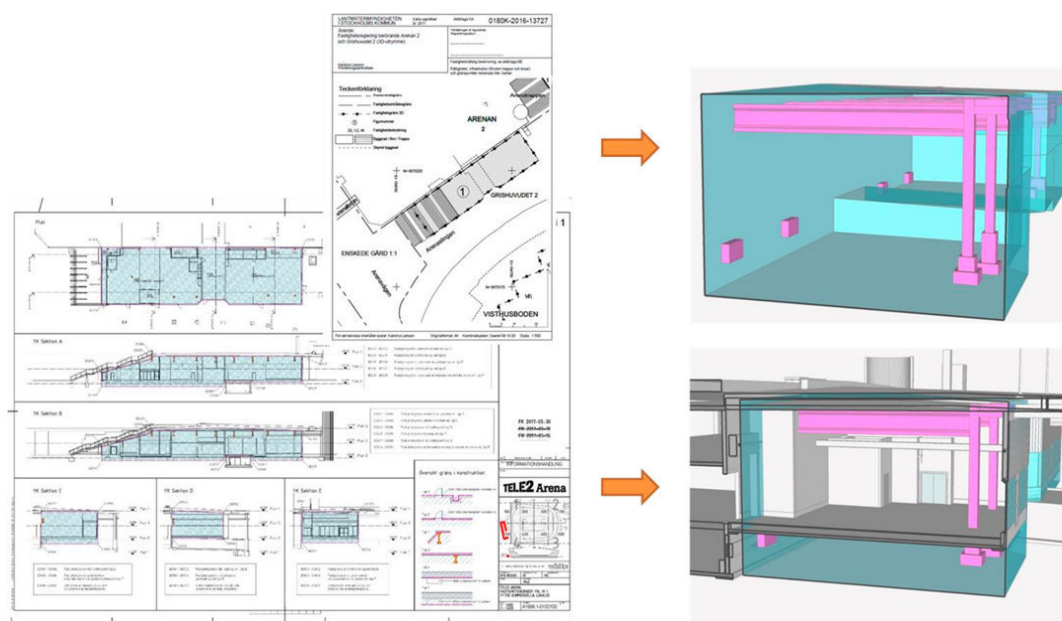


Рис. 2. Пример построения 3D карт объектов недвижимости в Швеции [2]

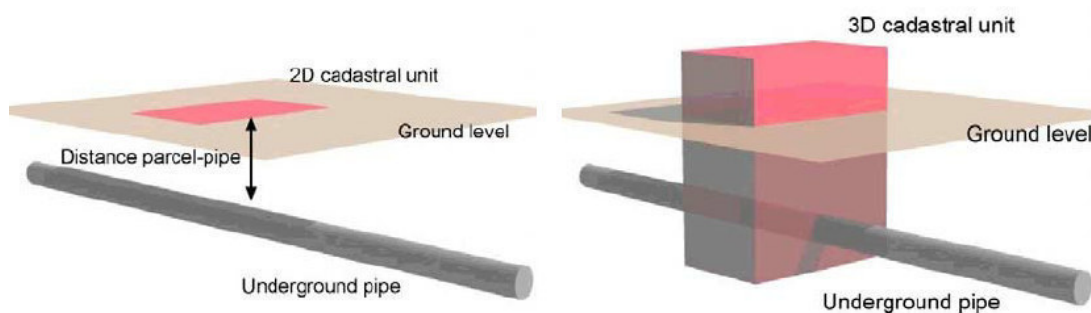


Рис. 3. Пример построения 3D карт объектов недвижимости в Нидерландах [3]

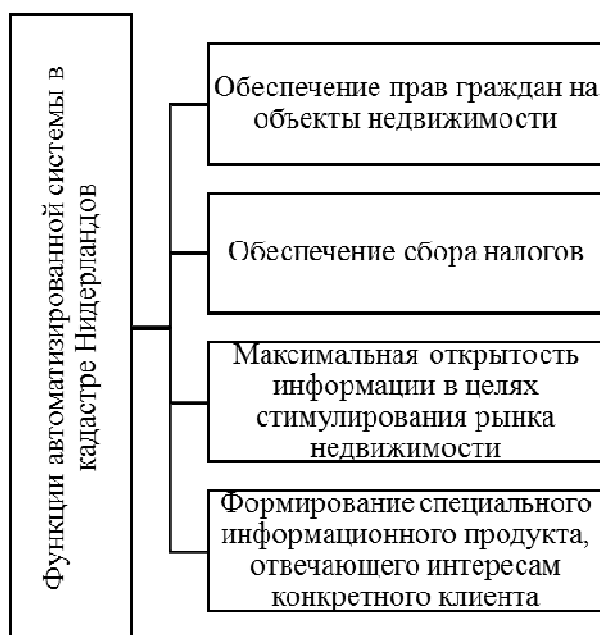


Рис. 4. Функции кадастровой системы на основе цифровых технологий в Нидерландах

Таким образом, можно заключить, что точками возможного улучшения российской кадастровой системы за счет цифровых технологий могут стать развитие цифровых технологий в регистрации прав в обороте недвижимости, построении единой системы учета и регистрации, в массовой кадастровой оценке и налогообложении объектов недвижимости, в территориальном планировании и градостроительном зонировании, в построении навигационных карт, в разработке 3D моделей объектов кадастра на основе зарубежного опыта.

Заключение. В результате исследования точек возможного улучшения российской кадастровой системы за счет цифровых технологий и выявления примеров использования цифровизации в других странах с более развитой кадастровой системой можно сделать выводы о том, что:

- Разработка 3D моделей объектов недвижимости может быть одной из точек возможного улучшения российской кадастровой системы;
- Использование зарубежного опыта может позволить улучшить процессы цифровизации в кадастровых работах и системах в Российской Федерации в настоящее время.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Актуальные проблемы кадастрового учета [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://novaum.ru/public/p587>. (Дата обращения: 22.01.21)
2. Материалы Университета Твенте (Нидерланды) по кадастровой системе, применяемой в Нидерландах [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.itc.nl/>. (дата обращения: 18.01.2021)
3. Материалы Делфтского технического университета (Нидерланды) по кадастровой системе, применяемой в Швеции [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.gdmc.nl/>. (дата обращения: 20.01.2021)

Научное издание

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ НАУК

Том 7. IT-технологии и электроника

Сборник научных трудов
XVIII Международной конференции студентов, аспирантов
и молодых ученых

Компьютерная верстка *С.А. Поробова*

Зарегистрировано в Издательстве ТПУ
Размещено на корпоративном портале ТПУ
в полном соответствии с качеством предоставленного оригинал-макета



Издательство

ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ