МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИТМО

Бюллетень аннотаций ВКР выпускников Университета ИТМО

ИТМО

Санкт-Петербург
2024 г.

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИТМО

Бюллетень аннотаций ВКР выпускников Университета ИТМО

Санкт-Петербург
2024

УДК 004, 063, 065, 504
ББК 20, 32, 40
Бюллетень аннотаций ВКР выпускников Университета ИТМО. – СПб.: Университет ИТМО, 2023. – 718 с.

В бюллетене представлены лучшие аннотации научно-исследовательских выпускных квалификационных работ победителей, лауреатов и участников конкурса на лучшую научно-исследовательскую выпускную квалификационную работу (НИВКР) среди выпускников Университета ИТМО 2023 года.

ИТМО (Санкт-Петербург) — национальный исследовательский университет, научно-образовательная корпорация. Альма-матер победителей международных соревнований по программированию. Приоритетные направления: IT и искусственный интеллект, фотоника, робототехника, квантовые коммуникации, трансляционная медицина, Life Sciences, Art&Science, Science Communication.
Лидер федеральной программы «Приоритет-2030», в рамках которой реализовывается программа «Университет открытого кода». С 2022 ИТМО работает в рамках новой модели развития — научно-образовательной корпорации. В ее основе академическая свобода, поддержка начинаний студентов и сотрудников, распределенная система управления, приверженность открытому коду, бизнес-подходы к организации работы. Образование в университете основано на выборе индивидуальной траектории для каждого студента.
ИТМО пять лет подряд — в сотне лучших в области Automation & Control (кибернетика) Шанхайского рейтинга. По версии SuperJob занимает первое место в Петербурге и второе в России по уровню зарплат выпускников в сфере IT. Университет в топе международных рейтингов среди российских вузов. Входит в топ-5 российских университетов по качеству приема на бюджетные места. Рекордсмен по поступлению олимпиадников в Петербурге. С 2019 года ИТМО самостоятельно присуждает ученые степени кандидата и доктора наук.

© Университет ИТМО, 2024
© Авторы, 2024

ВВЕДЕНИЕ

«Бюллетень аннотаций ВКР выпускников Университета ИТМО» опубликована по результатам конкурса на лучшую научно-исследовательскую выпускную квалификационную работу выпускников (НИВКР) Университета ИТМО 2023 года (Приказ о подготовке и проведении конкурса № 669-од от 26.05.2023 года).

Конкурс проводился в целях привлечении студентов к научно-исследовательской деятельности и участии в научных исследованиях, а также в усилении роли научно-исследовательской работы в повышении качества подготовки выпускников и формировании резерва кадров высшей квалификации. Конкурсная комиссия оценивала умение студента проводить самостоятельную творческую исследовательскую работу, профессиональную зрелость выпускника и его способность решать реальные научно-технические задачи.

Первый этап конкурса проводился на выпускающих факультетах/институтах/кластерах университета. Государственная экзаменационная комиссия (ГЭК) определяла лучшие работы по каждому из направлений подготовки в ходе защиты ВКР. Руководители факультетов/институтов/кластеров определяли лауреатов I, II, III степени. По итогам первого этапа лауреатами I степени стали 6 бакалавров и 15 магистров, лауреатами II степени – 9 бакалавров и 18 магистров, лауреатами III степени – 16 бакалавров и 19 магистров.

Второй этап конкурса проводился на мегафакультетах университета, где Директора мегафакультетов определили одну лучшую НИВКР среди бакалавров и одну лучшую НИВКР среди магистров своего мегафакультета из числа работ лауреатов I степени предыдущего этапа. Лауреаты I степени факультетов/институтов/кластеров, не относящихся к мегафакультетам, продолжили участие в конкурсе на заседании Научно-Технического совета Университета ИТМО (НТС) (заключительном этапе). Таким образом, на мегафакультетах состоялось пять конкурсов на «Лучшую НИВКР» среди бакалавров и пять конкурсов на «Лучшую НИВКР» среди магистров.

Третий завершающий этап конкурса проводился на уровне университета, где Научно-технический совет (НТС) на основании материалов и статистических данных НИВКР лауреатов I степени предыдущего этапа отобрал лучшие работы, авторы которых стали победителями конкурса.

Для участия в конкурсе по итогам защит ГЭК было рекомендовано 651 выпускников. Из них приняло участие: 138 магистров и 50 бакалавров.

Статистические данные участия бакалавров в конкурсе

Этап	Название конкурса	Приняло участие	Победители различных степеней
I	Конкурс факультетов/ институтов/кластеров	50	**24**
II	Конкурс мегафакультетов	13	**7**
III	**Конкурс университета**	**7**	**7**

По итогам конкурса среди бакалавров было определено 7 победителей бакалавров на звание «Лучшей НИВКР университета».

Статистические данные участия магистров в конкурсе

Этап	Название конкурса	Приняло участие	Победители различных степеней
I	Конкурс факультетов/ институтов/кластеров	138	**51**
II	Конкурс мегафакультетов	15	**10**
III	**Конкурс университета**	**10**	**10**

По итогам конкурса среди магистров было определено 10 победителей магистров на звание «Лучшей НИВКР университета».

Основные критерии оценки работ

При оценке НИВКР учитывались следующие критерии:

- актуальность научного исследования;
- степень самостоятельности и качество выполненной работы;
- оригинальность предложенных решений;
- качество оформления (в том числе соблюдение ГОСТов);
- логичность изложения, стиль изложения;
- стадия доведения проекта (частичная реализация; законченный проект; программный продукт, который может быть «внедрен» и т.п.);
- выполнение НИР в качестве соисполнителя;
- наличие выигранных грантов, стипендий Президента и Правительства Российской Федерации;
- выступления с докладами по данной тематике на научных конференциях, семинарах, конкурсах, выставках и олимпиадах всех уровней (международных, всероссийских, региональных);
- наличие наград, полученных на всероссийских, региональных и городских конкурсах, патентов, заявок на объекты интеллектуальной собственности;
- основные результаты должны быть опубликованы в научных журналах и изданиях (как в российских, так и зарубежных).

Общие требования к материалам, представляемым на НТС

Для окончательного подведения итогов конкурса на НТС представлялись следующие документы:

- анкета участника конкурса;
- аннотация ВКР от 4 до 6 страниц.

Итоги конкурса были подведены на заседании НТС университета и утверждены в протоколе заочного заседания НТС Университета ИТМО № 29 от 25.08.2023 года.

Организационную работу по конкурсу проводили: Департамент научных исследований и разработок, Учебный центр студенческой науки, конференций и выставок.

Оглавление

БАКАЛАВРЫ Победители конкурса на «Лучшую научно-исследовательскую выпускную квалификационную работу бакалавров Университета ИТМО» 16

Дунаева Анастасия Евгеньевна
АНАЛИЗ НЕЙРОПРОТЕКТОРНЫХ СВОЙСТВ ЭКСТРАКТОВ ИЗ ЭКСТРЕМОФИЛЬНЫХ ЦИАНОБАКТЕРИЙ IN VITRO С ПОМОЩЬЮ КЛЕТОЧНЫХ ТЕСТ-СИСТЕМ 17

Калязина Дарья Владимировна
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО ОТЖИГА НА СПЕКТРАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВОЛОКОННОЙ БРЭГГОВСКОЙ РЕШЕТКИ 21

Прокопенко Анна Александровна
РАЗРАБОТКА ПРОЕКТА МАРШРУТИЗАЦИИ ПАЦИЕНТОВ НА ПРИМЕРЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО НАУЧНО-КЛИНИЧЕСКОГО ЦЕНТРА 25

Радаев Максим Михайлович
ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ЛАЗЕРНОГО СПОСОБА ПРИДАНИЯ БИОСОВМЕСТИМЫХ И БАКТЕРИЦИДНЫХ СВОЙСТВ ПОВЕРХНОСТИ ТИТАНОВОГО СПЛАВА 30

Семенов Георгий Витальевич
РАЗРАБОТКА СЕРВИСОВ ЖУРНАЛИЗАЦИИ ЗАМЕЧАНИЙ В ИНДУСТРИАЛЬНЫХ ПРОЕКТАХ НА ОСНОВЕ МЕЖДУНАРОДНОГО ИНФОРМАЦИОННОГО СТАНДАРТА BCF 36

Тамаров Вячеслав Викторович
ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ ПОТОКОВ В АККУМУЛЯТОРАХ ТЕПЛОТЫ 42

БАКАЛАВРЫ Лауреаты I степени конкурса на «Лучшую научно-исследовательскую выпускную квалификационную работу бакалавров Университета ИТМО» 45

Баранов Константин Николаевич
ИССЛЕДОВАНИЕ ФОТОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ НАНОКОМПОЗИТОВ ТИПА ЯДРО/ОБОЛОЧКА НА ОСНОВЕ КВАНТОВЫХ ТОЧЕК AGINS2 И ДИОКСИДА ТИТАНА 46

Гаврилова Вероника Викторовна
РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ОБНАРУЖЕНИЯ ЛОЖНЫХ НОВОСТЕЙ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ТЕКСТОВ И МУЛЬТИМЕДИА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОЛЛАБОРАТИВНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ НА БАЗЕ БЛОКЧЕЙНА 51

Глебов Никита Вячеславович
УПРАВЛЕНИЕ ДИСПЕРСИЕЙ ЭКСИТОН-ПОЛЯРИТОНОВ В ФОТОННО-КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ВОЛНОВОДАХ, ИЗГОТОВЛЕННЫХ МЕТОДОМ АТОМНО-СИЛОВОЙ ЛИТОГРАФИИ ПЛЕНОК КВАЗИДВУМЕРНОГО ПЕРОВСКИТА (PEA)2PBI4 56

Каратецкая Мария Юрьевна
ПРОЕКТИРОВАНИЕ ИНТЕРФЕЙСА И РАЗРАБОТКА МОДУЛЯ ДЛЯ МЕДИЦИНСКОЙ СИСТЕМЫ АНАЛИЗА СТАТИСТИЧЕСКИХ МЕДИЦИНСКИХ ДАННЫХ 61

Холошня Вадим Дмитриевич
РАЗРАБОТКА ВИРТУАЛЬНОЙ ЛАБОРАТОРИИ АЛГОРИТМОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ 67

Шумигай Владимир Сергеевич
ПРИМЕНЕНИЕ СПЕКТРАЛЬНОГО СУПЕРКОНТИНУУМА ВИДИМОГО ДИАПАЗОНА ЧАСТОТ ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ ФАНТОМНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ 71

БАКАЛАВРЫ Лауреаты II степени конкурса на «Лучшую научно-исследовательскую выпускную квалификационную работу бакалавров Университета ИТМО» 77

Байрамова Хумай Бахруз кызы
НЕЧЕТКИЙ ПОИСК В POSTGRESQL С АДАПТАЦИЕЙ К ИЗМЕНЕНИЯМ СОСТОЯНИЯ БАЗЫ ДАННЫХ .. 78

Казаков Егор Николаевич
АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ИНТЕНСИФИЦИРОВАННЫХ ТЕПЛООБМЕННЫХ АППАРАТОВ В ЦИКЛАХ ПАРОКОМПРЕССОРНЫХ ХОЛОДИЛЬНЫХ МАШИН *81*

Кокорина Ольга Александровна
РАЗРАБОТКА КОНЦЕПЦИИ ИННОВАЦИОННОГО ПРОДУКТА ДЛЯ ФОРМАТИРОВАНИЯ ТЕКСТОВЫХ ДОКУМЕНТОВ *85*

Ли Юньчжэнь
РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ПОЖАРНОГО ВИДЕОНАБЛЮДЕНИЯ НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИИ ОБНАРУЖЕНИЯ ОБЪЕКТОВ *89*

Ливада Егор Андреевич
РАЗРАБОТКА ЗАЩИЩЕННОГО МЕССЕНДЖЕРА ДЛЯ МЕДИЦИНСКОЙ ОРГАНИЗАЦИИ НА ОСНОВЕ СЕРТИФИЦИРОВАННЫХ АЛГОРИТМОВ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ *92*

Машарская Александра Алексеевна
РАЗРАБОТКА ВЫСОКОАПЕРТУРНОГО ЗЕРКАЛЬНОГО МИКРООБЪЕКТИВА *95*

Морозова Полина Алексеевна
ИССЛЕДОВАНИЕ АТАК НА ЛОКАЛЬНЫЙ ОСЦИЛЛЯТОР СИСТЕМ КВАНТОВОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КЛЮЧА НА НЕПРЕРЫВНЫХ ПЕРЕМЕННЫХ *101*

Петриков Федор Сергеевич
РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ УПРАВЛЕНИЯ ВЕНТИЛЬНО-ИНДУКТОРНЫМ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ *105*

Сидорова Александра Дмитриевна
ОПТИМИЗАЦИЯ МЕТОДИКИ ЛАЗЕРНО-ИНДУЦИРОВАННОГО ПОВЫШЕНИЯ ТВЕРДОСТИ ТИТАНОВЫХ ОБРАЗЦОВ ПРИ МАСШТАБИРОВАНИИ ПОКРЫТИЯ *110*

Тихонов Лев Алексеевич
ПРОЕКТИРОВАНИЕ И РЕАЛИЗАЦИЯ ПРОГРАММНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ ДЛЯ ЗАПУСКА ПРИЛОЖЕНИЙ В ОБЛАЧНОЙ СРЕДЕ *114*

БАКАЛАВРЫ Лауреаты III степени конкурса на «Лучшую научно-исследовательскую выпускную квалификационную работу бакалавров Университета ИТМО» 117

Ли Галина
РАЗРАБОТКА МОБИЛЬНОГО ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ СИСТЕМЫ ОРГАНИЗАЦИИ ТУРИСТИЧЕСКИХ ПОХОДОВ *118*

Лисицина Василиса Васильевна
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДЕНОРМАЛИЗОВАННОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЗАПРОСОВ К ДАННЫМ В POSTGRESQL *122*

Мышляев Артем Сергеевич
РАЗРАБОТКА МЕТОДА УЛУЧШЕНИЯ ТОЧНОСТИ ИДЕНТИФИКАЦИИ ЧАСТОТЫ СИНУСОИДАЛЬНОГО СИГНАЛА В УСЛОВИЯХ ШУМОВ ИЗМЕРЕНИЙ *125*

Родионова Алиса Дмитриевна
РАЗРАБОТКА СПЕКЛ-КОРРЕЛЯЦИОННОГО ДАТЧИКА ПЕРЕМЕЩЕНИЯ, КОМПЕНСИРУЮЩЕГО ПРОСКАЛЬЗЫВАНИЕ АВТОНОМНЫХ МОБИЛЬНЫХ РОБОТОВ *128*

Согрин Матвей Александрович
ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ОПТИЧЕСКИХ МОД В РЕЗОНАНСНЫХ МЕТАСТРУКТУРАХ *131*

Тупяков Даниил Вадимович
ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ СИСТЕМ КВАНТОВОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КЛЮЧА НА БОКОВЫХ ЧАСТОТАХ *136*

Удинцев Максим Валерьевич
РАЗРАБОТКА ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАННОЙ СИСТЕМЫ WEB-АУТЕНТИФИКАЦИИ НА БАЗЕ БЛОКЧЕЙНА *141*

Чередниченко Екатерина Геннадьевна
РАЗРАБОТКА ПРОТОТИПА БЛОКА УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССАМИ ТАРИФИКАЦИИ В БИЛЛИНГОВОЙ СИСТЕМЕ *144*

БАКАЛАВРЫ Участники конкурса на «Лучшую научно-исследовательскую выпускную квалификационную работу бакалавров Университета ИТМО» **147**

Бакшина Светлана Александровна
РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА НА ОСНОВЕ ОДНОРАЗОВОЙ ПОДПИСИ ЛЭМПОРТА ДЛЯ ЗАЩИТЫ ОТ КВАНТОВЫХ АТАК *148*

Головин Валерий Вячеславович
РАЗРАБОТКА ИНСТРУМЕНТАЛЬНОГО СРЕДСТВА ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ВИЗУАЛЬНОГО ВОСПРИЯТИЯ *153*

Губкин Евгений Сергеевич
РАЗРАБОТКА ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ПРОЦЕССОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА *155*

Коркунова Анна Александровна
РАЗРАБОТКА МЕТОДА ДЕТЕКТИРОВАНИЯ СГЕНЕРИРОВАННЫХ ТЕКСТОВ, СОЗДАННЫХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА, ДЛЯ ПРОТИВОДЕЙСТВИЯ ЦЕЛЕНАПРАВЛЕННОМУ ФИШИНГУ *158*

Лакиза Александр Николаевич
РАЗРАБОТКА ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ АНАЛИЗА И ВИЗУАЛИЗАЦИИ ДАННЫХ О РЕАЛИЗАЦИИ МОЛОДЕЖНОЙ ПОЛИТИКИ В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ *160*

Леко Андрей Алексеевич
РАЗРАБОТКА ОПТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПРОСТРАНСТВЕННОГО ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ РАБОЧИХ ЧАСТЕЙ ПОГРУЗОЧНЫХ МАШИН *163*

Лудников Глеб Алексеевич
РАЗРАБОТКА ТЕРАГЕРЦОВОЙ НАНОАНТЕННЫ С ДИАГРАМООБРАЗУЮЩИМИ СВОЙСТВАМИ НА ОСНОВЕ КРИСТАЛЛОВ ГРУППЫ СИЛЛЕНИТОВ *167*

Мартынова Алена Андреевна
ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТРАНСПОРТНОГО ПАУКООБРАЗНОГО РОБОТА *172*

Мороз Николай Римович
ПРИМЕНЕНИЕ АЛГОРИТМОВ МЕТАЭВРИСТИЧЕСКОЙ ОПТИМИЗАЦИИ ДЛЯ ПОИСКА ВЕРОЯТНОСТНЫХ ЛАЗЕЕК В ЗАДАЧАХ ОБРАЩЕНИЯ КРИПТОГРАФИЧЕСКИХ ФУНКЦИЙ *176*

Морозова Екатерина Михайловна
РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ОБРАБОТКИ ДАННЫХ С ТРАНСПОРТНОГО СРЕДТСВА ДЛЯ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ СТОЛКНОВЕНИЙ *180*

Нестеренко Евгений Александрович
РАЗРАБОТКА ФИРМЕННОГО СТИЛЯ ЮРИДИЧЕСКОЙ КОМПАНИИ ООО ПРАВОВОЕ БИЗНЕС-БЮРО «ГРАФ МАЕВСКИЙ» *183*

Пивоварова Анастасия Алексеевна
РАЗРАБОТКА ИГРОВОГО ПРИЛОЖЕНИЯ С ДОПОЛНЕННОЙ РЕАЛЬНОСТЬЮ ДЛЯ ЛОГОПЕДИЧЕСКОЙ РАБОТЫ С ДЕТЬМИ ДОШКОЛЬНОГО ВОЗРАСТА С ОБЩИМ НЕДОРАЗВИТИЕМ РЕЧИ *187*

Попов Глеб Дмитриевич
РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ УЛЬТРАЗВУКОВОГО КОНТРОЛЯ *191*

Толстухин Никита Александрович
РАЗРАБОТКА ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКОГО ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ СТАТИСТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ РЕЗУЛЬТАТОВ ЮЗАБИЛИТИ-ТЕСТИРОВАНИЙ *194*

Чангалиди Антон Ильич
РАЗРАБОТКА ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ АНАЛИЗА ОБОГАЩЕНИЙ НАБОРОВ ГЕНОВ В ДАННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПОЛНОГЕНОМНЫХ АССОЦИАЦИЙ *198*

Шепелев Всеволод Александрович
РАЗРАБОТКА МЕР ЗАЩИТЫ ПЕРСОНАЛЬНЫХ ДАННЫХ ДЛЯ WEB-ПРИЛОЖЕНИЯ «KRONBARS RUNNING CLUB» *202*

Юрин Лев Евгеньевич
ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕРМООПТИЧЕСКИХ ИСКАЖЕНИЙ ВОЛНОВОГО ФРОНТА ЛАЗЕРНОГО ИМПУЛЬСА В СТЕРЖНЕВОМ КВАНТОВОМ УСИЛИТЕЛЕ *206*

МАГИСТРЫ Победители конкурса на «Лучшую научно-исследовательскую выпускную квалификационную работу магистров Университета ИТМО» 211

Antonova Anastasia Denisovna
STUDY OF THE APPLICABILITY OF VEGETABLE INGREDIENT BASED ON SPROUTED WHEAT GRAIN IN THE TECHNOLOGY OF SOUP FROM FISH BY-PRODUCTS *212*

Гончаров Роман Константинович
РАЗРАБОТКА СХЕМЫ КВАНТОВОГО ПОВТОРИТЕЛЯ НА МНОГОМОДОВЫХ КОГЕРЕНТНЫХ СОСТОЯНИЯХ *216*

Жмудь Кира Викторовна
РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ПРИ ЗАРЯДКЕ АККУМУЛЯТОРА ХОЛОДА *221*

Кабиев Руслан Аубакирович
КОМПЕНСАЦИЯ ПРИБОРНЫХ ИСКАЖЕНИЙ И КАЛИБРОВКА ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКОГО ДАТЧИКА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПЛАМЕНИ АВИАЦИОННОГО ДВИГАТЕЛЯ *226*

Каминский Юрий Константинович
РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ СТРУКТУРНОГО ОБУЧЕНИЯ БОЛЬШИХ БАЙЕСОВСКИХ СЕТЕЙ *232*

Назаренко Ульяна Кирилловна
АРТ-ПРОЕКТ «ТЕРРИТОРИЯ ДИСЛЕКСИИ»: АУДИОВИЗУАЛЬНАЯ ИНСТАЛЛЯЦИЯ В ИССЛЕДОВАНИИ СТИГМАТИЗАЦИИ ДИСЛЕКСИИ *238*

Пеньковский Андрей Александрович
РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ РОБАСТНОЙ ВИЗУАЛЬНО-ИНЕРЦИАЛЬНОЙ ОДОМЕТРИИ ДЛЯ НАЗЕМНЫХ МОБИЛЬНЫХ РОБОТОВ *243*

Савельев Александр Геннадьевич
АДАПТАЦИЯ МЕХАНИЗМА ВНИМАНИЯ ДЛЯ АНАЛИЗА ТРАЕКТОРИЙ АГЕНТОВ ПРИ ПОСТРОЕНИИ СПЕЦИАЛЬНЫХ ДЕСКРИПТОРОВ ИЗОБРАЖЕНИЙ ОБЛАСТЕЙ С ТЕКСТОМ *247*

Терло Ян Владимирович
МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ТИПА FOCAL-PISHAPER НА ОСНОВЕ МОДИФИЦИРОВАННОГО МЕТОДА ГЕОМЕТРИЧЕСКОГО ОТОБРАЖЕНИЯ ЛУЧЕЙ *252*

Урванцев Александр Михайлович
РАЗРАБОТКА СТРАТЕГИИ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ ДЛЯ АО «ЛЕО ТЕЛЕКОМ» *258*

МАГИСТРЫ Лауреаты I степени конкурса на «Лучшую научно-исследовательскую выпускную квалификационную работу магистров Университета ИТМО» 263

Бадриева Зиля Фирдинасовна
ЭФФЕКТ МЕЖСРЕЗОВОЙ ВАРИАЦИИ ВРЕМЕНИ РЕЛАКСАЦИИ T2 ПРИ МНОГОСРЕЗОВОМ КАРТИРОВАНИИ И ЕГО КОРРЕКЦИЯ *264*

Бучаев Абдулхамид Яхьяевич
РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ АУТЕНТИФИКАЦИИ УСТРОЙСТВ ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ НА ОСНОВЕ ФИЗИЧЕСКИ НЕКЛОНИРУЕМЫХ ФУНКЦИЙ С ОЦЕНКОЙ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ НАДЕЖНОСТИ *268*

Polina I. Zyrianova
STUDY OF EXTRACELLULAR CELL COMMUNICATION USING HYDROXYAPATITE PATTERNS *271*

Копытов Павел Евгеньевич
РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ ВЫСОКОМОЩНОГО ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО P-I-N ФОТОДИОДА СПЕКТРАЛЬНОГО ДИАПАЗОНА 1300–1550 НМ *277*

Lukiev Ivan Vasilievich
CHAINS STIFFNESS EFFECT ON THE VERTICAL SEGREGATION OF MIXED POLYMER BRUSHES IN SELECTIVE SOLVENT *283*

Марцинкевич Вячеслав Игоревич
РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ ПАРСИНГА И АНАЛИЗА СТРУКТУРНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ТЕКСТОВЫХ PDF ДОКУМЕНТОВ ДЛЯ СЕРВИСА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО НОРМОКОНТРОЛЯ *286*

Нассер Раед
INFLUENCE OF THE SHAPE OF AN OPTICAL FIBER OUTPUT END ON HYDROACOUSTIC PROCESSES STIMULATED IN WATER BY MICROSECOND PULSES OF YB,ER:GLASS-LASER RADIATION *292*

Натыкин Максим Викторович
РАЗРАБОТКА МЕТОДА ФОРМИРОВАНИЯ ПОЛИЦЕНТРИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ОБЩЕСТВЕННЫХ ПРОСТРАНСТВ ДЛЯ ПОДРОСТКОВ В СЛОЖИВШЕЙСЯ ГОРОДСКОЙ СРЕДЕ *296*

Посохов Павел Александрович
РАЗРАБОТКА ГИБРИДНЫХ ПОДХОДОВ К АВТОМАТИЧЕСКОЙ ГЕНЕРАЦИИ РЕПЛИК В ПЕРСОНИФИЦИРОВАННЫХ ДИАЛОГОВЫХ СИСТЕМАХ *301*

Daniil Yu. Piarnits
SYNTHESIS AND STUDY OF PHOTOCATALYSTS BASED ON TITANIUM DIOXIDE AND G-C3N4 ..... *304*

Рефельд Александр Германович
БЕЛОК P53 КАК РЕГУЛЯТОР МЕТАЛЛОШАПЕРОНА ATOX1 В УСЛОВИЯХ ГЕНОТОКСИЧЕСКОГО СТРЕССА *308*

Табунщик Сергей Михайлович
РАЗРАБОТКА АРХИТЕКТУРЫ НЕЙРОСЕТЕВОГО ПРОЦЕССОРА ДЛЯ АППАРАТНОГО УСКОРЕНИЯ РАБОТЫ СВЕРТОЧНЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ *314*

Татаринов Данила Алексеевич
ПОСТСИНТЕТИЧЕСКОЕ ЛЕГИРОВАНИЕ 0D И 2D НАНОСТРУКТУР ПЕРОВСКИТОВ ИОНАМИ Yb^{3+} и Mn^{2+} *320*

Юплова Валентина Вадимовна
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ И НУТРИЦИОННЫХ АСПЕКТОВ ТЕХНОЛОГИЙ ПРОИЗВОДСТВА КАРТОФЕЛЯ ФРИ ИЗ СВЕЖЕГО И ЗАМОРОЖЕННОГО СЫРЬЯ *324*

Юрова Татьяна Сергеевна
ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ПРОЦЕССА ВЫТЯЖКИ СТЕКЛЯННОГО ЦИЛИНДРА *327*

МАГИСТРЫ Лауреаты II степени конкурса на «Лучшую научно-исследовательскую выпускную квалификационную работу магистров Университета ИТМО» 334

Анкушин Даниил Андреевич
РАЗРАБОТКА И РЕАЛИЗАЦИЯ АЛГОРИТМА КОМПЕНСАЦИИ ДИСПЕРСИИ ДВУЛУЧЕПРЕЛОМЛЕНИЯ В ДВУЛУЧЕПРЕЛОМЛЯЮЩЕМ ОПТИЧЕСКОМ ВОЛОКНЕ *335*

Архарова Маргарита Владимировна
ИССЛЕДОВАНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЗАМКНУТОЙ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОПРИВОДА С АККУМУЛЯТОРНЫМ ИСТОЧНИКОМ ПИТАНИЯ *341*

Вертелецкий Евгений Дмитриевич
РАЗРАБОТКА ПРЕДЛОЖЕНИЙ ДЛЯ СОЗДАНИЯ СИСТЕМЫ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД СОКОЛЬСКОГО ЦБК *347*

Глеклер Эдуард Викторович
АНАЛИЗ ПАТТЕРНОВ МОЗГОВОЙ АКТИВНОСТИ И ВИДЕОЗАПИСИ ЧЕЛОВЕКА С ЦЕЛЬЮ АВТОМАТИЧЕСКОГО РАСПОЗНАВАНИЯ МЕДИТАТИВНОГО СОСТОЯНИЯ *351*

Логачева Дарья Николаевна
ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ПЕЛЛЕТ, ПОЛУЧЕННЫХ ИЗ ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНЫХ БИООТХОДОВ *356*

Медведев Анатолий Андреевич
РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УВЕРЕННОСТИ ВЫСКАЗЫВАНИЙ ЧЕЛОВЕКА НА ОСНОВЕ МУЛЬТИМОДАЛЬНОГО АНАЛИЗА НЕВЕРБАЛЬНЫХ СИГНАЛОВ *360*

Набилкова Александра Олеговна
ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ТЕРАГЕРЦОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В ЖИДКИХ ДИСПЕРСИОННЫХ НЕЛИНЕЙНЫХ СРЕДАХ *364*

Петров Вячеслав Сергеевич
УПРАВЛЕНИЕ ОПЫТОМ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ КОНЦЕПЦИИ КОГНИТИВНОГО МАРКЕТИНГА *370*

Соловьева Евгения Олеговна
НОВЫЕ ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ КОМПЛЕКСЫ ДЛЯ СВЕТОИЗЛУЧАЮЩИХ УСТРОЙСТВ *376*

Тирский Богдан Дмитриевич
ЭФФЕКТИВНЫЙ АЛГОРИТМ ПРОВЕРКИ ЭКВИВАЛЕНТНОСТИ СТРОК С УЧЕТОМ АББРЕВИАТУР ДЛЯ POSTGRESQL *381*

Тюлин Александр Андреевич
ЛИПИДНЫЕ ДЕТЕРМИНАНТЫ ПОРООБРАЗУЮЩЕГО И ПРОТИВООПУХОЛЕВОГО ДЕЙСТВИЯ ЛАНТИБИОТИКА НИЗИНА *385*

Хажжуз Абдулкадер
LAYER 2 BLOCKCHAIN-BASED INFORMATION AND PAYMENT SYSTEM FOR SMART PARKING *389*

Хлынов Руслан Дмитриевич
ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ПОЛЯРИЗАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ НЕИНВАЗИВНОГО МОНИТОРИНГА УРОВНЯ ГЕМАТОКРИТА КРОВИ *395*

Чубова Софья Дмитриевна
МОДЕРНИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ ТРЕТЬЕЙ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ЛИНИИ ЗАВОДА ПО СЖИЖЕНИЮ ГАЗА ПРОЕКТА «САХАЛИН-2» *401*

Ширманкин Антон Васильевич
СИНТЕЗ УГЛЕРОДНЫХ НАНОСТРУКТУР НА ПОВЕРХНОСТИ ПОЛИМЕРОВ НЕПРЕРЫВНЫМ ЛАЗЕРНЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ *405*

Семенов Юрий Евгеньевич
МОДЕЛИРОВАНИЕ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО И ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАЗВИТИЯ СУБУРБАНИЗИРОВАННОЙ ЗОНЫ ГОРОДСКОЙ АГЛОМЕРАЦИИ (НА ПРИМЕРЕ ИРКУТСКОЙ АГЛОМЕРАЦИИ) *409*

Якимов Ярослав Дмитриевич
РАЗРАБОТКА АРХИТЕКТУРЫ ДЛЯ ИНФРАСТРУКТУРЫ МОНИТОРИНГА И АНАЛИТИКИ СИСТЕМЫ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ БЕСПИЛОТНОГО МАНЕВРОВОГО ЛОКОМОТИВА *421*

Ячкула Варвара Николаевна *425*
ИССЛЕДОВАНИЕ ДВУХГРЕБЕНЧАТОГО ОПТИЧЕСКОГО СПЕКТРА ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО ЛАЗЕРА С ОПТОЭЛЕКТРОННОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ *425*

МАГИСТРЫ Лауреаты III степени конкурса на «Лучшую научно-исследовательскую выпускную квалификационную работу магистров Университета ИТМО» 430

Белов Павел Андреевич
ПОСТРОЕНИЕ CAE-МОДЕЛИ ТЕПЛОВЫХ ДЕФОРМАЦИЙ РАБОЧЕЙ ЧАСТИ ВИНТОВОГО ОДНОРОТОРНОГО КОМПРЕССОРА *431*

Боков Глеб Алексеевич
DEVELOPMENT OF MULTIVALENT OLIGONUCLEOTIDE AGENTS FOR GENE THERAPY *435*

Демидова Алёна Игоревна
СОВМЕСТНОЕ ПРИМЕНЕНИЕ КОГНИТИВНОГО VR-ТРЕНАЖЁРА И НЕЙРОМЕТАБОЛИЧЕСКОГО СТИМУЛЯТОРА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ КОГНИТИВНЫХ СПОСОБНОСТЕЙ ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ *437*

Езерский Алексей Сергеевич
АНАЛИЗ ДАННЫХ В ЦИФРОВОМ ГОЛОГРАФИЧЕСКОМ МИКРОСКОПЕ, ОСНОВАННОМ НА ЛИНЗЕ С ЭФФЕКТОМ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ФАЗЫ В ЗАДАЧЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МОРФОЛОГИИ КЛЕТОЧНЫХ КУЛЬТУР *440*

Кафеева Дарья Артуровна
ОПТИЧЕСКАЯ АНИЗОТРОПИЯ ДВУМЕРНЫХ И ТРЕХМЕРНЫХ АНСАМБЛЕЙ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ НАНОЧАСТИЦ, ИНДУЦИРОВАННАЯ ОПТИЧЕСКИМИ И МЕХАНИЧЕСКИМИ ВОЗДЕЙСТВИЯМИ *445*

Концевик Георгий Ираклиевич
РАЗРАБОТКА МЕТОДА ОЦЕНКИ ПРОСТРАНСТВЕННОГО НЕСООТВЕТСТВИЯ МЕСТ РАБОТЫ И ПРОЖИВАНИЯ ДЛЯ СПЕЦИАЛИСТОВ ПРИОРИТЕТНЫХ ИНДУСТРИЙ *451*

Лисицкий Никита Николаевич
ТРАНСФОРМАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ В СОЦИОТЕХНИЧЕСКИХ И ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ (НА ПРИМЕРЕ ЦИФРОВИЗАЦИИ ЗДРАВООХРАНЕНИЯ Г. САНКТ-ПЕТЕРБУРГА) *456*

Ляховенко Юлия Александровна
ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ИНФОРМАЦИОННОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ВНУТРЕННИХ СИСТЕМ БЕСПИЛОТНОГО ПОЕЗДА *461*

Меньшутин Алексей Сергеевич
ВЕРИФИКАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ РАБОТЫ СТАТИЧЕСКИХ АНАЛИЗАТОРОВ КОДА ПРИ ПОМОЩИ СИМВОЛЬНОГО ИСПОЛНЕНИЯ *467*

Нога София Алексеевна
КОММУНИКАТИВНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ НАУЧНО-ПОПУЛЯРНЫХ ОБУЧАЮЩИХ ИСТОРИЙ ДЛЯ ДЕТЕЙ НА ТЕМУ ПСИХИЧЕСКОГО ЗДОРОВЬЯ *473*

Anastasiia O. Piven
CONTROLLING THE BEHAVIOR OF LOCALIZED REVOLVING STRUCTURES IN LIGHT-RESPONSIVE CHIRAL NEMATICS LIQUID CRYSTALS *478*

Полицинский Александр Сергеевич
РАЗРАБОТКА И МОДЕЛЬНОЕ ИСЛЕДОВАНИЕ КОНТУРА СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ ЗАРЯДА МОДУЛЬНОГО ЗАРЯДНОГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ МАЛОГО ЭЛЕКТРОТРАНСПОРТА *483*

Смирнов Иван Захарович
ПРОГНОЗИРОВАНИЕ НЕГАТИВНЫХ ВЫСКАЗЫВАНИЙ В РЕЧИ НА ОСНОВЕ ЕЕ МУЛЬТИМОДАЛЬНОГО АНАЛИЗА *489*

Терещенко Владислав Витальевич
СОЗДАНИЕ РЕКОМЕНДАТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ОФОРМЛЕНИЯ СТРУКТУРНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ДОКУМЕНТАХ ФОРМАТА ODT ДЛЯ СЕРВИСА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО НОРМОКОНТРОЛЯ *492*

Шевченко Анастасия Анатольевна
ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ И СОЦИАЛЬНОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ РЫНКА ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ НА ТЕРРИТОРИИ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА ПРИ РАЗЛИЧНЫХ СХЕМАХ ЕГО ОРГАНИЗАЦИИ *498*

МАГИСТРЫ Участники конкурса на «Лучшую научно-исследовательскую выпускную квалификационную работу магистров Университета ИТМО» 501

Lin Zikai
RESEARCH OF ATMOSPHERIC TURBULENCE MITIGATION METHODS FOR IMAGE QUALITY IN SURVEILLANCE SYSTEMS *502*

Авраменко Антон Дмитриевич
ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ЗАГРУЗКИ ГРАФИКОВ ПЛАТЕЖЕЙ *508*

Адхамов Фирдавс Садриддин угли
БИОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ БИОСТИМУЛЯТОРА НА ВОЗДЕЛЫВАНИЕ ПШЕНИЦЫ *512*

Алексеевская Анастасия
РАЗРАБОТКА РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО УЧЕТУ ВЕТРОВОГО РЕЖИМА В ОБЩЕСТВЕННЫХ ПРОСТРАНСТВАХ СОВРЕМЕННОЙ ЖИЛОЙ ЗАСТРОЙКИ *518*

Андрианова Дарья Дмитриевна
РАЗРАБОТКА СТРАТЕГИИ УПРАВЛЕНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТЬЮ ИННОВАЦИОННОГО ПРОЕКТА В СЕКТОРЕ FOODTECH *523*

Zhu Xinyi
RESEARCH AND DESIGN OF OPTICAL SYSTEMS FOR HIGH POWER LASER DIODE MODULE *526*

Спасюк Ирина Владимировна
КОММУНИКАЦИОННЫЕ БАРЬЕРЫ МЕЖДУ ВЫПУСКНИКАМИ ДЕТСКИХ ДОМОВ И ВУЗАМИ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА (НА ПРИМЕРЕ ИТМО) *532*

Афанасенкова Анастасия Владимировна
АНАЛИЗ И ОЦЕНКА ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ ПЛАСТИКА МЕТОДОМ ХИМИЧЕСКОГО РЕЦИКЛИНГА *536*

Афанасов Артем Константинович
ДЕДУПЛИКАЦИЯ ДАННЫХ ПРИ ОТКАТАХ К ТОЧКАМ ВОССТАНОВЛЕНИЯ NTFS НА ОСНОВЕ ТЕНЕВЫХ КОПИЙ ДАННЫХ СИСТЕМЫ И МЕТАДАННЫХ ФАЙЛОВОЙ ТАБЛИЦЫ *541*

Бакламенко Даниил Васильевич
БРЕНДИНГ В СФЕРЕ КУЛЬТУРНОГО ДОСУГА НА ОСНОВЕ КОНЦЕПЦИИ ENGAGEMENT-МАРКЕТИНГА *547*

Бакшеев Андрей Сергеевич
РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ КОНТРОЛЯ УРОВНЯ ЗАЩИЩЕННОСТИ ИНФОРМАЦИИ ОБЪЕКТОВ КРИТИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ *552*

Беликов Андрей Александрович
РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ДЕТЕКТИРОВАНИЯ ОБЪЕКТОВ ДОРОЖНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ И УЧАСТНИКОВ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ МЕТОДАМИ МАШИННОГО ЗРЕНИЯ ДЛЯ БЕСПИЛОТНЫХ АВТОТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ *558*

Бытдаев Алан Хасанбиевич
РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ КОНТРОЛЯ КРУПНОГАБАРИТНЫХ ИЗДЕЛИЙ, ПОЛУЧАЕМЫХ АДДИТИВНЫМ СПОСОБОМ ПРОИЗВОДСТВА *563*

Быханова Татьяна Андреевна
ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОХЛАДИТЕЛЯ ГВС В КОНТУРЕ ГЕНЕРАТОРА КИСЛОРОДА *567*

Викторова Вера Алексеевна
БИЗНЕС-ТЕЗИС «FINPLAY»: РАЗРАБОТКА ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПО ОБУЧЕНИЮ ФИНАНСОВОЙ ГРАМОТНОСТИ ШКОЛЬНИКОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ГЕЙМИФИКАЦИИ *570*

Влад Сергей Евгеньевич
ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ АППАРАТНОЙ ВИРТУАЛИЗАЦИИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ СЕТЕВОГО СОЕДИНЕНИЯ В ВИРТУАЛЬНЫХ СЕТЕВЫХ ФУНКЦИЯХ ПРОДУКТА NFV PLATFORM *575*

Волков Богдан Михайлович
РАЗРАБОТКА МЕТОДА ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО СОПОСТАВЛЕНИЯ НЕСТРУКТУРИРОВАННЫХ МЕДИЦИНСКИХ ДАННЫХ С КЛАССИФИКАЦИЯМИ БОЛЕЗНЕЙ *578*

Воронцова Ирина Олеговна
ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ РАБОТЫ СИСТЕМ КВАНТОВОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КЛЮЧЕЙ В ПАРАДИГМЕ ДОВЕРЕННОГО И НЕДОВЕРЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ ПРИ СОВМЕСТНОМ РАСПРОСТРАНЕНИИ С ИНФОРМАЦИОННЫМИ КАНАЛАМИ В ОПТИЧЕСКИХ ТРАНСПОРТНЫХ СЕТЯХ *582*

Гелазов Роберт Хамбалевич
РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ФЕРМЕНТИРОВАННОГО ПРОБИОТИЧЕСКОГО ПРОДУКТА НА РАСТИТЕЛЬНОЙ ОСНОВЕ *587*

Гетманюк Иван Борисович
ЗАЩИТА ПРОЦЕДУРЫ АУТЕНТИФИКАЦИИ В УСТРОЙСТВАХ ПРОМЫШЛЕННОГО ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИИ БЛОКЧЕЙН *593*

Горифьянов Роман Геннадьевич
РАЗРАБОТКА МЕТОДА ОЦЕНКИ ПАРАМЕТРОВ УСТОЙЧИВОСТИ ПИРИНГОВОГО КРЕДИТОВАНИЯ НА ОСНОВЕ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ *597*

Григорьева Ольга Андреевна
ИССЛЕДОВАНИЕ СОБИРАЮЩИХ ЗЕРКАЛ ДЛЯ ОПТИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ПЛАЗМЫ *601*

Демина Анастасия Павловна
ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВЫСОКООЛЕИНОВОГО ПОДСОЛНЕЧНОГО МАСЛА В ПРОИЗВОДСТВЕ ТВЕРДЫХ МЫЛ *607*

Дмух Надежда Сергеевна
ВНЕДРЕНИЕ КОНЦЕПЦИИ ОЦЕНКИ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА В ПИЩЕВУЮ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ ДЛЯ ПОИСКА СОСТАВА КОМПЛЕКСНОЙ ПИЩЕВОЙ ДОБАВКИ С НАИМЕНЬШИМ НЕГАТИВНЫМ ВОЗДЕЙСТВИЕМ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ *611*

Дорохова Екатерина Ринатовна
ОТНОШЕНИЕ ЖЕНЩИН К СКРИНИНГАМ НА РАК МОЛОЧНОЙ ЖЕЛЕЗЫ: СТИМУЛЫ, БАРЬЕРЫ, ЭФФЕКТИВНОСТЬ *616*

Евшина Яна Алексеевна
ОЦЕНКА ЭФФЕКТА ОТ ЦИФРОВИЗАЦИИ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ ОРГАНИЗАЦИИ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ *619*

Жданова Екатерина Андреевна
ПРЕДСКАЗАТЕЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МНОГОШАГОВЫХ КЛИНИЧЕСКИХ ПУТЕЙ НА ПРИМЕРЕ ЗАДАЧ РЕПРОДУКТИВНОЙ МЕДИЦИНЫ *624*

Загальский Евгений Владимирович
ПРИМЕНЕНИЕ СВЕРТОЧНЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ АНАЛИЗА МРТ-СНИМКОВ ГОЛОВНОГО МОЗГА *630*

Калемагина Ксения Сергеевна
ОЦЕНКА ПРОЦЕССА УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ ПРОДУКЦИИ И УСЛУГ, ПРЕДЛАГАЕМЫХ ВНЕШНИМИ ПОСТАВЩИКАМИ *634*

Калиновский Илья Игоревич
ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ПЯТИКООРДИНАТНОЙ СИСТЕМЫ ИЗМЕРЕНИЯ УГЛОВЫХ И ЛИНЕЙНЫХ СМЕЩЕНИЙ *637*

Кешишян Мария Ованесовна
ФЕНОМЕН МОДЫ В ПРОСТРАНСТВЕ ЦИФРОВОЙ РЕАЛЬНОСТИ: ОДЕЖДА КАК ПРЕДМЕТ ЦИФРОВОЙ ГУМАНИТАРИСТИКИ *640*

Ким Анастасия Абдумаликовна
CARBON BLACK DEVELOPMENT – РАЗРАБОТКА ИННОВАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ КОММЕРЦИАЛИЗАЦИИ ТВЕРДОГО УГЛЕРОДА КАК ПОБОЧНОГО ПРОДУКТА ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ БИРЮЗОВОГО ВОДОРОДА *642*

Ковалев Антон Александрович
РАЗРАБОТКА МЕТОДА ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЦЕЛОСТНОСТИ ДАННЫХ В СЕТЯХ ГРАНИЧНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИИ БЛОКЧЕЙН *645*

Колмакова Анастасия Владимировна
ПРОФИЛАКТИКА ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ КОНФЛИКТОГЕНОВ В ПРОЦЕССЕ СОЗДАНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТЬЮ СТАРТАП-ПРОЕКТОВ (НА ПРИМЕРЕ «IP БИРЖИ» УНИВЕРСИТЕТА ИТМО) *648*

Кондрашов Федор Алексеевич
РАЗРАБОТКА ВЕБ-ИНТЕРФЕЙСА ИНТЕРАКТИВНОЙ РОДОСЛОВНОЙ ДИНАСТИИ РОМАНОВЫХ В ПЕРИОД С 1613 ПО 1796 ГОД *653*

Копыть Никита Михайлович
РАЗРАБОТКА МЕТОДА ПЛАНИРОВАНИЯ ПОРОДНОГО СОСТАВА ЗЕЛЁНЫХ НАСАЖДЕНИЙ НА УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ С УЧЕТОМ ПОПУЛЯЦИОННОГО ВЛИЯНИЯ ИНВАЗИВНЫХ ВИДОВ РАСТИТЕЛЬНОСТИ *658*

Костина Елизавета Николаевна
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВНЕДРЕНИЯ СИСТЕМЫ МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА В ОРГАНИЗАЦИИ *662*

Коцелябина Софья Сергеевна
СНИЖЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ ОТ СИСТЕМЫ ВОДОПОДГОТОВКИ ТЭЦ НА ОСНОВЕ ПРИНЦИПОВ ЭКОЛОГИЧЕСКИ БОЛЕЕ ЧИСТОГО ПРОИЗВОДСТВА *666*

Кравченко Павел Павлович
ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРАВЛЕНИЙ ВНЕДРЕНИЯ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ЛЕСНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ *672*

Кривко Валерий Витальевич
МЕТОДИКА ВЫЧИСЛИТЕЛЬНО ЭФФЕКТИВНОГО РАСЧЕТА ЦЕН ФИНАНСОВЫХ ОПЦИОНОВ *678*

Кузьмин Артем Алексеевич
ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ОБРАБОТКИ ЕСТЕСТВЕННОГО ЯЗЫКА ДЛЯ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В МАТРИЧНОМ ДИЗАЙНЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ПРОГРАММ *682*

Кулебакина Юлия Юрьевна
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕДУРЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫМИ РИСКАМИ В МЕНЕДЖМЕНТЕ КАЧЕСТВА ТРУДА И ОХРАНЫ ЗДОРОВЬЯ *688*

Кутырев Максим Антонович
СОЗДАНИЕ САМОСОБИРАЮЩИХСЯ СУПРАМОЛЕКУЛЯРНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ДОСТАВКИ ЛЕКАРСТВ В КЛЕТКУ *692*

Лещев Алексей Сергеевич
МОДЕЛИРОВАНИЕ ЛОКАЛИЗУЮЩЕГО ПОЛЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ ИОННЫХ ЛОВУШЕК С ПОМОЩЬЮ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ДИРИХЛЕ ДЛЯ РАВНОМЕРНО ЗАРЯЖЕННОЙ ТРЕУГОЛЬНОЙ ОБЛАСТИ *696*

Лосич Антон Алексеевич
БИЗНЕС-ТЕЗИС «BITOK»: РАЗРАБОТКА И ВНЕДРЕНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО СЕРВИСА ДЛЯ ОТСЛЕЖИВАНИЯ, УЧЁТА И КОНТРОЛЯ КРИПТОВАЛЮТ *702*

Матыцина Виктория Владимировна
РАЗРАБОТКА УНИВЕРСАЛЬНОГО МЕТОДА ПОСЛОЙНОГО НАЛОЖЕНИЯ ДЛЯ СЕНСОРА НА ОСНОВЕ АПТАМЕРА ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ ГЛИФОСАТА В ВОДНЫХ СРЕДАХ И ПИТЬЕВОЙ ВОДЕ *705*

Мешков Андрей Владимирович
РАЗРАБОТКА МЕТОДА АНАЛИЗА ИНЦИДЕНТОВ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В СЕТЕВОЙ ИНФРАСТРУКТУРЕ *711*

Нежевенко Сергей Сергеевич
РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ФОРМИРОВАНИЯ ДИНАМИЧЕСКОГО ФОТОННОГО КРИСТАЛЛА С УЧЕТОМ ПРОЦЕССА САМОДИФРАКЦИИ ИЗЛУЧЕНИЯ *716*

БАКАЛАВРЫ

Победители конкурса на «Лучшую научно-исследовательскую выпускную квалификационную работу бакалавров Университета ИТМО»

Выпускник
Дунаева Анастасия Евгеньевна
факультет биотехнологий
Направление подготовки: 19.03.01 – Биотехнология
e-mail: dunaeva@itmo.ru

Научный руководитель
Романовская Екатерина Вячеславовна
к.б.н., доцент
e-mail: e.romanovskaya@spbu.ru

УДК 576.32/.36

АНАЛИЗ НЕЙРОПРОТЕКТОРНЫХ СВОЙСТВ ЭКСТРАКТОВ ИЗ ЭКСТРЕМОФИЛЬНЫХ ЦИАНОБАКТЕРИЙ *IN VITRO* С ПОМОЩЬЮ КЛЕТОЧНЫХ ТЕСТ-СИСТЕМ

Наиболее распространенные нейродегенеративные заболевания, такие как болезнь Альцгеймера и болезнь Паркинсона, являются серьезной медицинской и социальной проблемой во всем мире. Эти расстройства характеризуются прогрессирующей гибелью нейронов головного мозга и нарушением их функций, что приводит к развитию когнитивных нарушений и двигательных расстройств.

Существующие лекарственные препараты могут лишь замедлить прогрессирование нейродегенеративных заболеваний, однако не останавливают процесс нейродегенерации. Поиск новых нейропротекторных соединений является актуальной задачей для современной биологии и медицины. В настоящее время активно проводятся исследования по поиску и выделению таких соединений из природных источников, прежде всего растений и микроорганизмов.

Цианобактерии – одна из наиболее древних групп живых организмов на Земле. Они обладают уникальными приспособлениями к жизни в экстремальных условиях и синтезируют широкий спектр биологически активных веществ. Экстремофильные штаммы цианобактерий являются перспективным источником различных биологически активных веществ, в том числе со значительным нейропротекторным потенциалом.

Патогенез болезни Альцгеймера включает в себя накопление внеклеточных нейритных бляшек, состоящих в основном из белка бета-амилоида (Aβ), содержащего 42 аминокислотных остатка, продукта расщепления белка-предшественника амилоида и внутриклеточных коллекций нейрофибриллярных клубков, состоящих из гиперфосфорилированных форм тау-белка, ассоциированного с микротрубочками [1]. Все процессы накопления белка взаимосвязаны и усиливают друг друга, ведя к прогрессирующей деградации и гибели нейронов, особенно в гиппокампе и коре головного мозга – это приводит к клиническим симптомам БА [2].

Было доказано, что несколько природных соединений, таких как алкалоиды, полифенолы, терпены, каротиноиды, цианобактерии и морские натуральные продукты имеют способность регулировать выработку Aβ путем модулирования активности α- или β-секретазы, тем самым проявляя нейропротекторную активность против агрегации Aβ [3].

Выживание цианобактерий в экстремальных условиях, например таких, как содовые озера с высокой концентрацией солей и щелочным pH (*Spirulina, Cyanospira*), холодные и сухие полярные пустыни с низкой температурой и пониженной влажностью (*Chroococcidiopsis*) и термальные источники с высокой температурой (*Synechococcus*) требует вторичных метаболитов, которых нет ни у высших растений, ни у других микроорганизмов. Цианобактерии синтезируют сотни молекул вторичного метаболизма. Эти молекулы относятся к различным химическим классам, таким как поликетиды, нерибосомные пептиды,

небелковые аминокислоты, сахариды, алкалоиды, терпеноиды и другие, они представлены на рисунке 1 [3]. Именно они представляют интерес при изучении нейропротекторных эффектов.

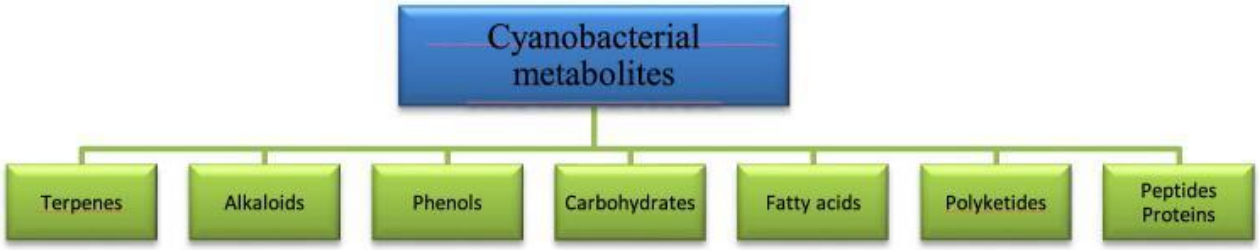


Рис. 1. Схема вторичных метаболитов цианобактерий [3]

В данной исследовательской работе используются штаммы из коллекции микроводорослей и цианобактерий IPPAS ИФР РАН с международным статусом и шифром IPPAS. Коллекция содержит около 300 единиц хранения зеленых, золотистых, красных водорослей и цианобактерий. В данной работе для получения экстрактов используются штаммы, представленные в таблице. С каждым экстрактом был поставлен тест на определение цитотоксичности.

Таблица. **Штаммы цианобактерий, используемые в работе**

Номер	Шифр IPPAS	Штамм
1	B-1220	Desertifilum sp
2	B-1600	Halomicronema hongdechloris
3	B-1527	Microcystis aeruginosa
4	B-1514	Microcystis aeruginosa
5	B-1203	Gloeocapsopsis sp.
6	B-1204	Leptolyngbya sp.
7	B-1200	Cyanobacerium sp.
8	B-256	Arthrospira platensis (Nordstedt) Gomont
9	B-1601	Acaryochloris marina
10	B-2022	Phormidium ramosum

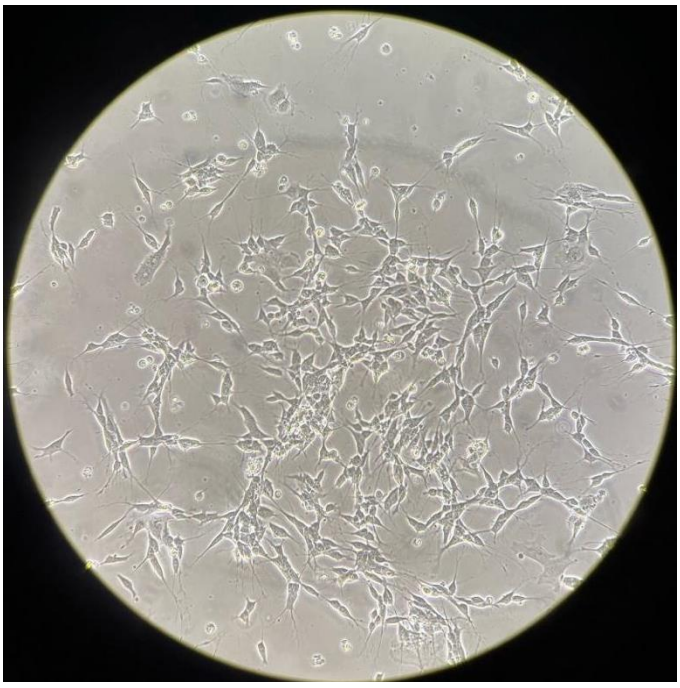


Рис. 2. Клеточная культура SH-SY5Y под микроскопом

Для изучения нейропротекторных эффектов в данной работе использовали культуру SH-SY5Y. Культура представлена на рисунке 2. Клеточную линию SH-SY5Y субклонировали

из клеточной линии SK-N-SH, исходно полученную из метастазирующей нейробластомы. Она имеет ряд исключительно «нейрональных» особенностей: аксональный рост, синтез нейротрансмиттеров, экспрессия рецепторов и оптимально подходит для целей и задач исследования.

Методика проведения эксперимента

Всю работу можно разделить на несколько этапов: подготовка экстрактов, подготовка клеточной культуры и исследование жизнеспособности. Подготовка экстрактов из цианобактерий является одним из ключевых моментов данной работы его цель заключается в наработке необходимого количества экстракта. Подготовка включает в себя взятие наращивание биомассы цианобактерий, отбор проб, экстракцию с помощью 80% метанола, концентрирование, лиофильную сушку и разведение.

Подготовка культуры начинается с размораживания криоконсервированной культуры, далее ее пересевают во флакон для дальнейшего культивирования. Когда культура разрастется и будет готова к пассированию, ее пересевают на чашку Петри и начинают дифференцировку. Дифференцировку проводят с помощью ретиноевой кислоты с концентрацией 10 мМ.

Следующий этап работы - исследование жизнеспособности клеточной культуры в ответ на действие токсина и экстрактов цианобактерий. Суть этапа заключается в проведении MTT теста, с помощью которого становится возможноным построение графика зависимости жизнеспособности клеток в % от контроля от концентрации экстракта штамма. На данном этапе происходит внесение экстрактов и Aβ (25–35), для моделирования нейродегенеративного заболевания, инкубирование и последующее снятие показаний оптической плотности с помощью спектрофотометра. Схема данного этапа представлена на рисунке 3.

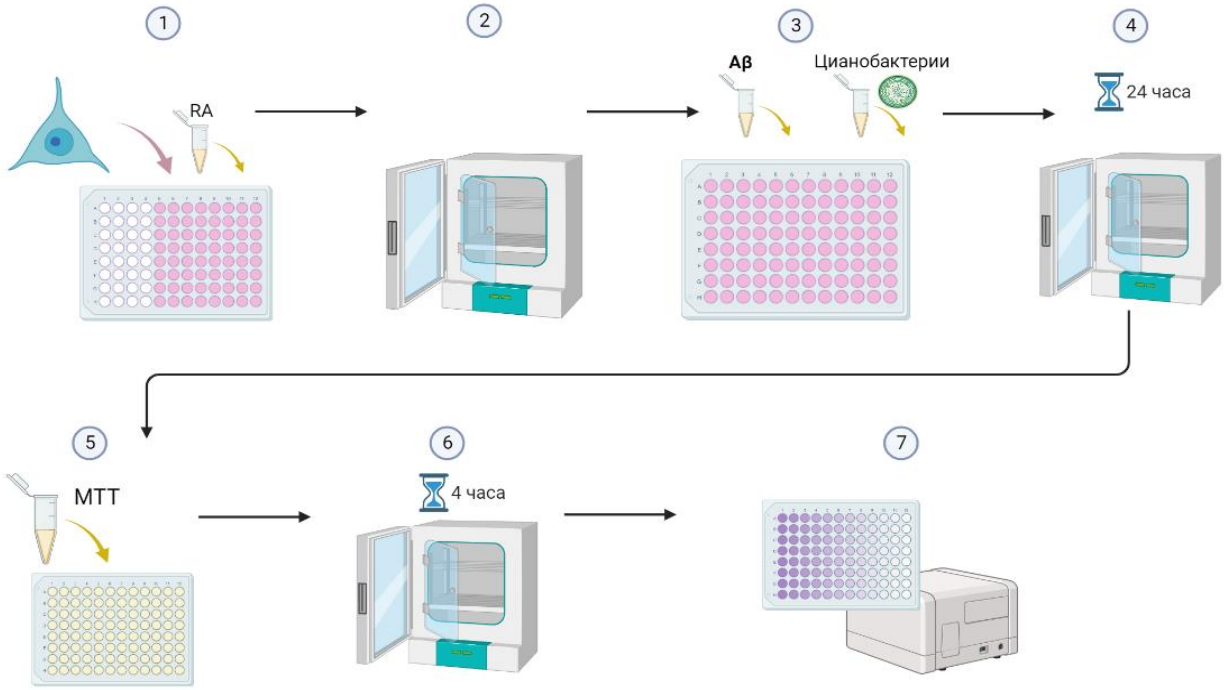


Рис. 3. Схема проведения эксперимента по исследованию жизнеспособности клеточной культуры

Результаты эксперимента

Контролем для всех образцов служили значения оптической плотности, полученные по результатам MTT-теста в присутствии Aβ (25–35), но в отсутствии экстракта цианобактерий.

Один из показательных штаммов: B-1200, представлен на рисунке 4 жизнеспособность клеток SH-SY5Y в присутствии экстрактов штамма B-1200 составляет: для концентрации 1 мкг/мл – 54%, для концентрации 2 мкг/мл – 56%, для концентрации 5 мкг/мл – 63%, для концентрации 20 мкг/мл – 56%, для концентрации 50 мкг/мл – 66%, по сравнению с контролем 52%.

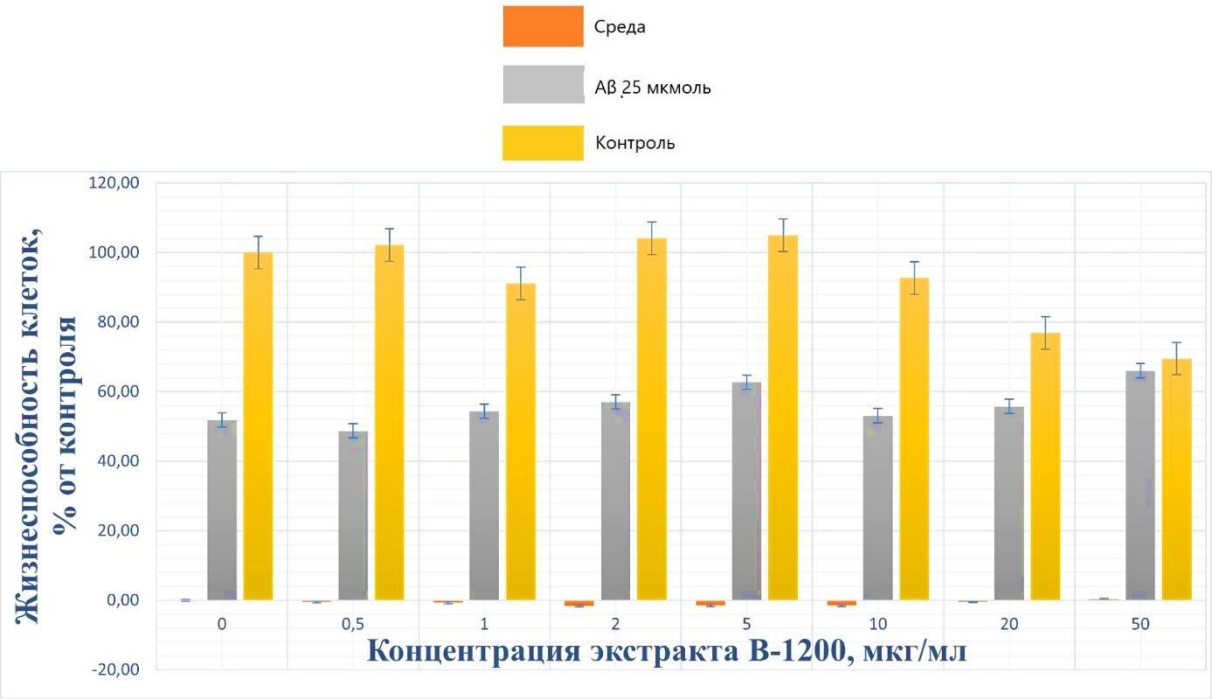


Рис. 4. Нейропротекторные эффекты экстракта штамма В-1200

Работа проводилась с 10 различными штаммами цианобактерий. Среди исследованных штаммов были выделены наиболее эффективные: В-1601, В-1600 и В-1200. Таким образом, в ходе данной работы, было показано наличие нейропротекторной активности экстрактов из цианобактерий на модели нейродегенеративных заболеваний нейрональной линии SH-SY5Y *in vitro*. Это согласуется с литературными данными о защитном действии подобных экстрактов, полученными с использованием других модельных систем *in vitro* и *in vivo* [4, 5].

Данные штаммы являются перспективными для глубокого изучения нейропротекторной активности. Вектор работ будет направлен на проведение экспериментов по исследованию механизмов нейропротекции и дальнейшие исследования *in-vivo* на животных.

Поиск новых нейропротекторных соединений является актуальной задачей для современной биологии и медицины, поэтому экстракты из самых эффективных штаммов могу лечь в основу разработки новых профилактических и лекарственных препаратов. Необходимы дальнейшие исследования *in vitro* и *in vivo* для подтверждения перспективности данного подхода.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Erkkinen M.G., Kim M.O., Geschwind M.D. Clinical neurology and epidemiology of the major neurodegenerative diseases // Cold Spring Harb Perspect Biol. 2018. Vol. 10. №. 4. DOI: 10.1101/cshperspect.a033118.
2. Dugger B.N., Dickson D.W. Pathology of neurodegenerative diseases // Cold Spring Harbor Perspectives in Biology. 2017. Vol. 9. №. 7. DOI: 10.1101/cshperspect.a028035.
3. Dempo Y. et al. Molar-Based Targeted Metabolic Profiling of Cyanobacterial Strains with Potential for Biological Production // Metabolites. 2014. Vol. 4. №. 2. DOI: 10.3390/metabo4020499.
4. Eisele Y.S. et al. Targeting protein aggregation for the treatment of degenerative diseases // Nature Reviews Drug Discovery. 2015. Vol. 14. №. 11. Pp. 759-780.
5. Schenk D., Basi G.S., Pangalos M.N. Treatment strategies targeting amyloid β-protein // Cold Spring Harb Perspect Med. 2012. Vol. 2. №. 9. DOI: 10.1101/cshperspect.a006387.

Выпускник
Калязина Дарья Владимировна
Центр прикладной оптики
Направление подготовки: 12.03.02 – Прикладная и компьютерная оптика
e-mail: zina.kaliazina@gmail.com

Научный руководитель
Варжель Сергей Владимирович
к.ф-м.н., доцент
e-mail: svvarzhel@itmo.ru

УДК 681.7.068

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО ОТЖИГА НА СПЕКТРАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВОЛОКОННОЙ БРЭГГОВСКОЙ РЕШЕТКИ

Волоконные брэгговские решетки (ВБР) находят широкое применение во многих сферах. Некоторые применения требуют узкой полосы спектрального резонанса, в частности для систем квантового распределения ключей зачастую необходимы решетки с шириной полосы отражения менее 100 пм. Существующие исследования температурного влияния на характеристики ВБР, показывают, что отжиг приводит к сужению полосы спектрального резонанса. Однако, эти исследования затрагивают ВБР, индуцированные в нестандартном оптическом волокне, фокусируются на одном параметре или же проводятся на решетках с одинаковыми изначальными характеристиками. Таким образом, комплексного и полного исследования о возможностях изменения характеристик ВБР с помощью отжига на данный момент не существует, что является глобальной целью существующего исследования.

В данной работе исследованы ВБР различающиеся по коэффициенту отражения, индуцированные в стандартном телекоммуникационном оптическом волокне SMF-28 (G.657.A2). Запись ВБР проводилась на базе оптического комплекса с интерферометром Тальбота. В качестве источника была использована эксимерная лазерная система Optosystems CL-7550 с центральной длиной волны 248,3 нм.

В эксперименте принимало участие 6 образцов, информация о первоначальных характеристиках образцов представлена в таблице 1.

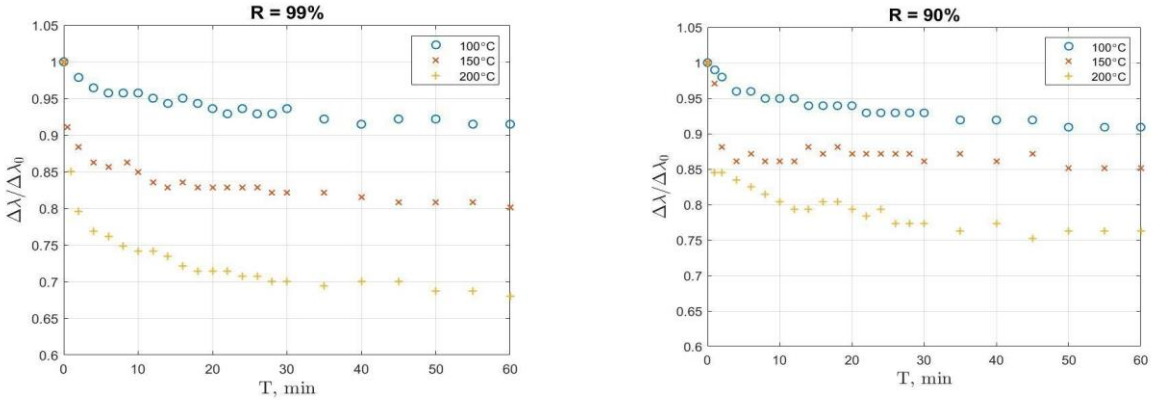
Таблица 1. **Спектральные характеристики записанных образцов**

№	R,%	Δλ, нм	λ_B, нм	SMSR, дБ (right/left)	Длина решетки, мм	Исследуемая температура, °C
1	98	0,141	1549,912	6,31/10,8	14	100
2	98	0,146	1549,841	5,5/13,34	14	150
3	98	0,147	1549,875	9,23/12,03	14	200
4	86	0,103	1549,826	10,46/9,62	14	100
5	86	0,101	1549,761	9,27/11,32	14	150
6	85	0,097	1549,877	12,02/14,37	14	200

Каждая из решеток подвергалась воздействию определенной температуре 100°C, 150°C или 200°C. Для обеспечения равномерности распределения температуры, решетки помещались в медную трубку, которая в свою очередь располагалась на медной пластинке. В качестве нагревательного элемента использовалась магнитная мешалка. Отжиг каждого экземпляра проводился на протяжении 60 минут, первые 30 минут данные записывались каждые 2 минуты, последние 30 минут каждые 5. С помощью спектроанализатора с разрешающей способностью 30 пм были записаны зависимости отражения от длины волны. ВБР были подключены к спектроанализатору с помощью Y-разветвителя, источником излучения, поступающего на решетки служил суперлюминесцентный диод с центральной

длиной волны 1560 нм и шириной спектра 70 нм. Также перед началом эксперимента и после остывания образца были записаны спектры отражения.

В результате проведения экспериментов были построены зависимости, представленные на рисунках 1 и 2.



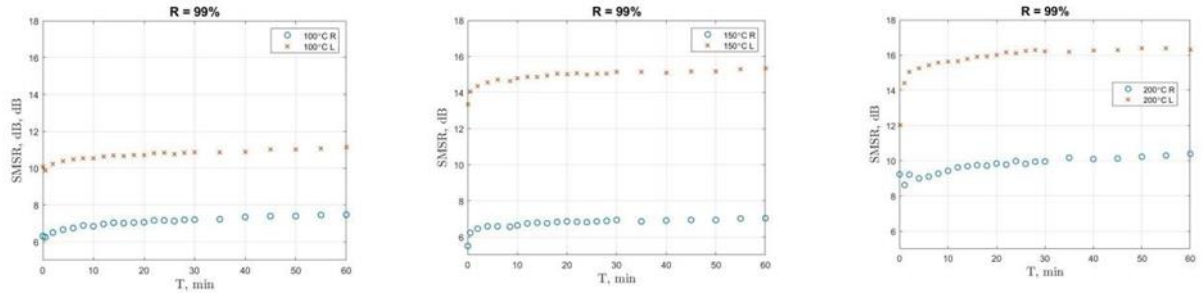
а б

Рис. 1. а) Зависимость $\Delta\lambda_{отн}$ (t) решеток №1-3; б) Зависимость $\Delta\lambda_{отн}$ (t) решеток №4-6

По рисунку 1,а видно, что падение $\Delta\lambda_{отн}$ решетки №1-3 при отжиге в 100°C составляло 8%, при 150°C – 20%, при 200°C – 31%. Абсолютное итоговое значение спектральной ширины решётки, которая отжигалась при температуре 200°C составляет 0,103 нм, что является хорошим показателем с точки зрения практического применения.

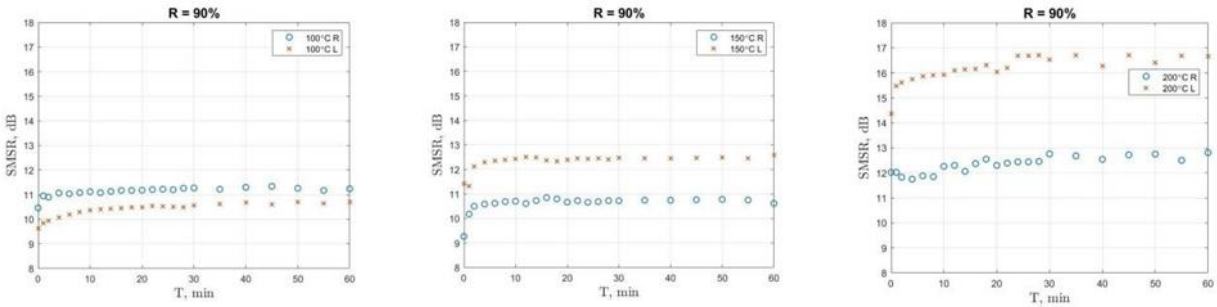
По рисунку 1,б видно, что падение $\Delta\lambda_{отн}$ решетки №3-6 при отжиге в 100°C составляло 9%, при 150°C – 15%, при 200°C – 14% . Во всех случаях абсолютное значение спектральной ширины преодолело в меньшую сторону порог в 100 пм, а в случае отжига при 200°C достигло 0,074 нм. Наблюдается общая тенденция к увеличению большему влиянию большей температуры.

На рисунках 2 и 3 продемонстрированы зависимости коэффициента подавления боковых максимумов от времени отжига.



а б в

Рис. 2. а) Зависимость $SMSR$ (t) решетки №1 под воздействием отжига при 100°C;
б) Зависимость $SMSR$ (t) решетки №2 под воздействием отжига при 150°C;
в) Зависимость $SMSR$ (t) решетки №3 под воздействием отжига при 200°C



а б в

Рис. 3. а) Зависимость $SMSR$ (t) решетки №4 под воздействием отжига при 100°C;
б) Зависимость $SMSR$ (t) решетки №5 под воздействием отжига при 150°C;
в) Зависимость $SMSR$ (t) решетки №6 под воздействием отжига при 200°C

Стоит отметить, что характер поведения изменения коэффициента подавления боковых максимумов не зависел от изначального значения величины и коэффициента отражения. Так, например, отжиг при 100°C уменьшил значение SMSR в длинноволновой области на 1,18 дБ для решетки 3 группы и на 0,9 для решетки 4 группы. Подробные данные об изменениях характеристик, в том числе SMSR можно наблюдать в таблице 2.

Таблица 2. **Сводные данные о результатах эксперимента**

№	Исходные данные				T,°C	Результаты отжига (после остывания)			
	R,%	Δλ, нм	λ_B, нм	SMSR, right/left дБ		R,%	Δλ, нм	λ_B, нм	SMSR, right/left дБ
1	98	0,141	1549,912	6,31/10,8	100	97	0,128	1549,873	7,49/11,05
2	98	0,146	1549,841	5,5/13,34	150	93	0,118	1549,794	6,83/15,28
3	98	0,147	1549,875	9,23/12,03	200	86	0,103	1549,777	14,23/16,2
4	86	0,103	1549,826	10,46/9,62	100	83	0,09	1549,749	11,36/10,5
5	86	0,101	1549,761	9,27/11,32	150	71	0,087	1549,724	10,16/12,58
6	85	0,097	1549,877	12,02/14,3	200	50	0,074	1548,01	11,64/16,42

Также были построены зависимости относительной оптической мощности при прохождении излучения через ВБР, графики которых представлены на рисунке 4.

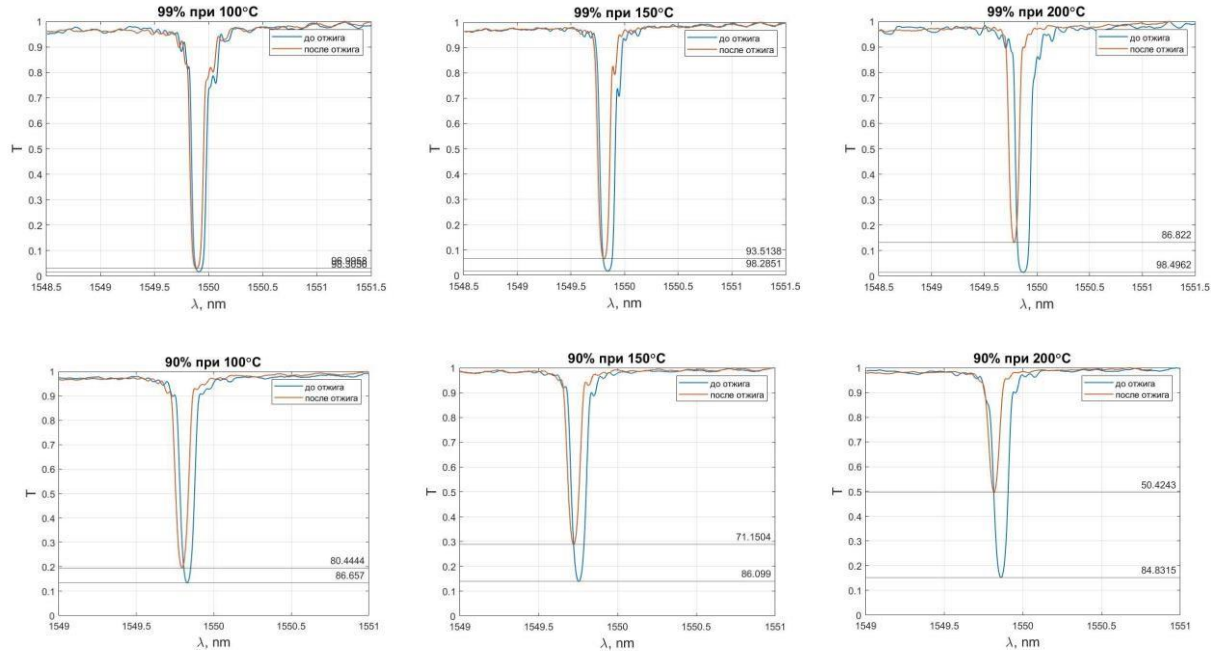


Рис. 4. а) Спектры пропускания ВБР №1 до отжига и после отжига при 100°C; б) Спектры пропускания ВБР №2 до отжига и после отжига при 150°C; в) Спектры пропускания ВБР №3 до отжига и после отжига при 200°C

На рисунке 4 горизонтальными линиями отмечен уровень, соответствующий минимуму спектра пропускания, справа над каждой горизонтальной линией подписано значение R в процентах.

Наименьшее влияние отжига наблюдается у образца №1 при температуре 100°C, по рисунку 4,а видно, что падение коэффициента отражения составило всего 1%, в свою очередь наибольшее влияние оказывает отжиг при температуре 200°C на более слабую решетку №6. По рисунку 5,в видно, что падение R составило более 30%.

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы был проведен обзор существующих исследований влияния температурного отжига на характеристики ВБР, который показал, что данная тематика все еще не нашла комплексного исследования. На основании существующих исследований была разработана собственная методика проведения

экспериментов, позволяющая рассмотреть более широкий спектр вопросов, нежели тот, который представлен в существующей литературе.

Проведенные эксперименты позволили сформулировать следующие выводы:

1) Комплексное влияние более высокой температуры на спектральные характеристики ВБР существенно интенсивнее, чем влияние более низкой температуры.
2) При помощи температурного отжига можно добиться сужения ширины спектрального резонанса более чем на 30% при падении коэффициента отражения менее чем 15%.
3) Температурный отжиг приводит к росту коэффициента подавления боковых максимумов.
4) Наиболее весомые изменения характеристик происходят в первые 15–30 минут температурного воздействия.

Полученные данные можно применять для оптимизации условий отжига ВБР, их стабилизации и/или достижения требуемых параметров решеток после термической обработки.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Yuhua Li, Shuhui Liu, Haiyan Wang, Ningliang Liu, Peixiang Lu, Jiawei Shi Bandwidth-narrowed Bragg gratings inscribed in double-cladding fiber by femtosecond laser // Optical Society of America. 2011. DOI: 10.1364/OE.19.001734.
2. Reekie L., Archambault J.-L., Russell P.St.J. 100% REFLECTIVITY FIBRE GRATINGS PRODUCED BY A SINGLE EXCIMER LASER PULSE // Southampton SO9 5NH. 1993. DOI:10.1049/EL:19930303.
3. Bartelt H., Schuster K., Unger S., Chojetzki C., Rothhardt M., Latka I. Single-pulse fiber Bragg gratings and specific coatings for use at elevated temperatures // Optical Society of America. 2007. DOI: 10.1364/ao.46.003417.

Выпускник
Прокопенко Анна Александровна
факультет технологического менеджмента и инноваций
Направление подготовки: 27.03.05 – Инноватика
e-mail: annprokopenko2001@gmail.com

Научный руководитель
Рогавичене Лариса Ивановна
к.э.н., доцент
e-mail: rogavichene@list.ru

УДК 614.2

РАЗРАБОТКА ПРОЕКТА МАРШРУТИЗАЦИИ ПАЦИЕНТОВ НА ПРИМЕРЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО НАУЧНО-КЛИНИЧЕСКОГО ЦЕНТРА

Актуальность выбранной темы исследования обусловлена увеличением доли больных онкологическими заболеваниями, что провоцирует загруженность профильных специалистов и снижает скорость и качество предоставляемых услуг. Более того, отрасль онкологии является самой быстроразвивающейся отраслью медицины в России за счет ежегодного роста количества технологий лечения.

Объектом исследования выступает федеральный научно-клинический центр медицинской радиологии и онкологии (ФНКЦРиО), подведомственный федеральному медико-биологическому агентству России (ФМБА).

Предмет исследования – инновационные технологии и решения для реализации наиболее эффективного процесса распределения потока пациентов.

Цель работы – разработка инновационного решения для оптимизации процесса маршрутизации пациентов в научно-клиническом центре.

При исследовании рынка услуг по лечению онкологических заболеваний было установлено, что количество использованных в онкологических медицинских учреждениях коек выросло на 11,5%, что увеличивает количество «застоев», также выявлено, что объем средств, затраченных населением страны на все группы услуг, связанные с лечением злокачественных новообразований, в том числе возрос на 13% [1]. Услуги по диагностике, лечению и профилактике предоставляют территориальные органы ФМБА, государственные, муниципальные и частные организации, а также федеральные учреждения.

В 2021 г. ВЦИОМ провел исследования с целью выявления проблем, с которыми сталкивается население страны при получении услуг по лечению онкологических заболеваний [2].

В таблице представлены результаты опросов.

Таблица. **Результаты опроса ВЦИОМ**

Проблема	Количество опрошенных, %
Длительные сроки ожидания	56
Нехватка врачей	37
Недоступность медицинской помощи	35
Недостаточный контроль за качеством услуг	20

Так, по результатам опроса, население страны чаще всего сталкивается с неоправданно долгим ожиданием оказания услуг, в том числе граждане видят проблемой нехватку врачей. Результаты подтверждают необходимость организационно-управленческих решений, которые сделают процесс диагностики и лечения более результативным.

С 2016 г. в рамках работы Министерства здравоохранения при поддержке компании «Росатом» разрабатывается проект «Бережливая поликлиника». Одним из главных

параметров создания благоприятной среды является маршрутизация пациентов – процесс определения оптимального пути их следования с целью получения качественной медицинской помощи при минимальных временных и финансовых затратах.

Анализируя нормативные акты, по которым разрабатываются системы маршрутизации, можно выделить несколько ключевых особенностей распределения пациентопотоков, которые представлены на рисунке 1.

Рис. 1. Принципы распределения пациентопотоков

Наиболее эффективными решениями, которые уже были проверены отечественными больницами, стали:

– инфоматы, которые позволяют автоматически отслеживать нагрузку на специалистов, а также осуществляют непосредственную запись граждан на прием;
– телемедицина, представляющая собой набор различных программных продуктов, снижающих нагрузку на регистратуру и профильных специалистов посредством дистанционного контакта [3];
– продукты на основе ИИ, которые помогают решить целый спектр проблем (рис. 2).

Рис. 2. Классификация продуктов на основе ИИ

Однако нельзя выявить универсальный способ оптимизации маршрутизации пациента. Для этого необходимо учитывать специфику каждого медицинского учреждения.

Теперь, переходя к объекту исследования, то есть ФНКЦРиО, стоит сказать, что он представляет собой медицинский кластер, созданный по принципу комплексной системы замкнутого цикла. Основные клиенты центра – граждане страны, обращающиеся за специализированной медицинской помощью. Медицинская деятельность организации удовлетворяет все потребности населения, связанные с диагностикой, лечением и профилактикой онкологических заболеваний [4].

Проводя анализ конкурентоспособности центра, можно отметить, что главные конкуренты – крупные государственные центры, расположенные в Москве и Санкт-Петербурге. Pest, 7S и SWOT анализы дают сделать вывод о том, организация, как федеральное учреждение, сильно зависит от государства, что может сказываться на деятельности и в худшую стороны. Также немаловажную роль играют социальные барьеры. При анализе ключевых показателей деятельности был установлен факт повышенного спроса на услуги центра, что дает основание к расширению научной и инновационной деятельности.

Анализ существующих проблем в системе маршрутизации ФНКЦРиО позволил установить, что самые загруженные исследования – МРТ и КТ (рис. 3). Показатели по врачебным посещениям поликлиники помогают сделать вывод о нагрузке на онколога, проводящего первичные консультации. Более того, согласно опросу, который проводился центром в 2022 году среди пациентов, были выделены проблемы, с которыми можно ознакомиться на слайде. Итак, все обозначенные проблемы свидетельствуют о необходимости изменения подхода к маршрутизации пациентов в центре.

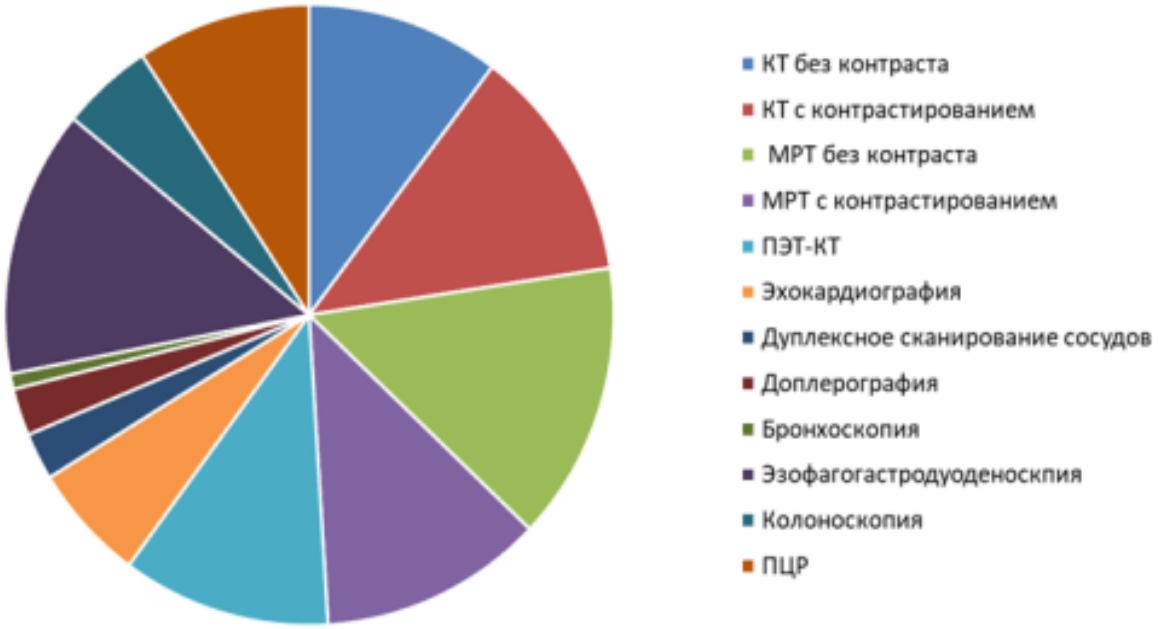


Рис. 3. Нагрузка на лабораторно-диагностические кабинеты

Посредством экспертного опроса было выбрано наиболее удачное и комплексное решение – врач-консультант (приложение), работающий на основе ИИ и анализа больших данных.

На рисунке 4 представлен алгоритм работы ИИ-врача.

Решение может анализировать показатели, предлагать необходимые исследования, проводить анализ первичных обследований, а также давать рекомендации по профилактике, записывать к профильному специалисту и формировать лист маршрутизации.

Необходимый объем первоначальных инвестиций на разработку и внедрение – 3122000 руб.

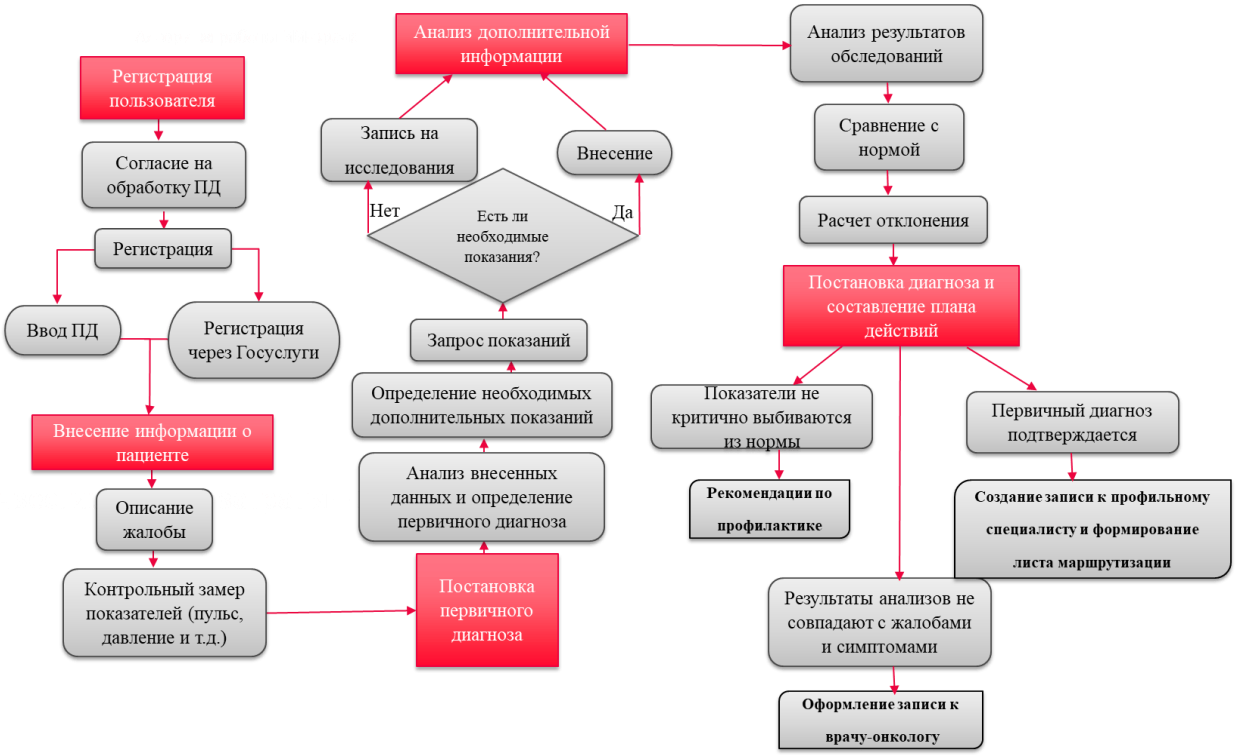


Рис. 4. Алгоритм работы пользователя с приложением

На рисунке 5 представлены этапы разработки, которые займут 18 месяцев.

Рис. 5. Этапы разработки приложения

Основные эффекты от внедрения решения – снижение нагрузки на врачей-онкологов общего профиля, автоматизация ведения отчетной документации, формирование медицинских карт пациентов, оформление записи на лабораторные исследования/к специалистам, автоматизация процесса оценки лабораторных анализов и снимков МРТ и КТ.

На рисунке 6 представлена схема маршрутизации пациентов ФНКЦРиО после внедрения инновационного решения.

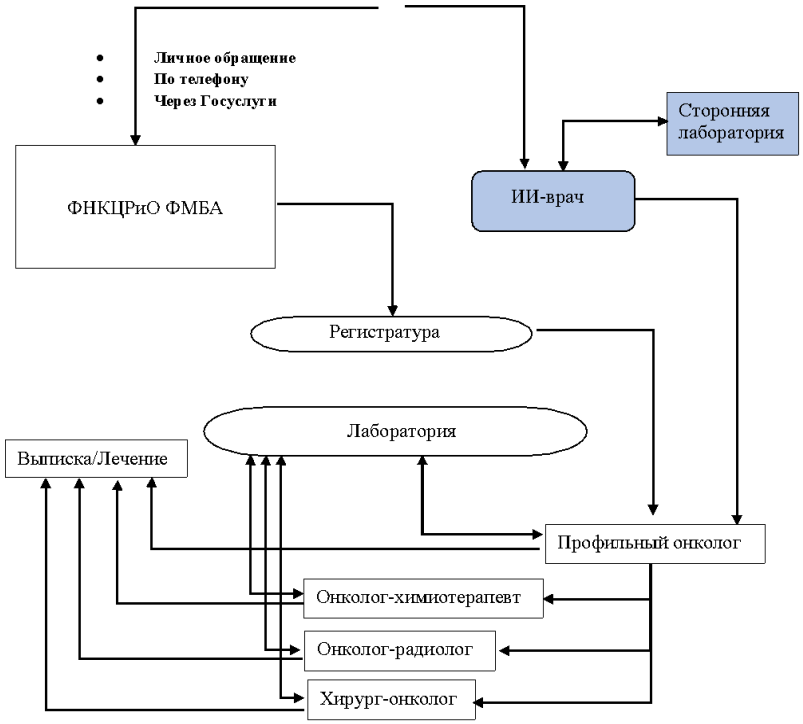


Рис. 6. Обновленная схема маршрутизации ФНКЦРиО

В том числе программный продукт повлияет и на схему маршрутизации, являясь там новым «входом» в организацию, снизив количество прямых обращений.

Оценив экономическую эффективность, можно сделать следующие выводы:

- дисконтированный срок окупаемости составил чуть менее 5 месяцев;
- доход проекта превышает первоначальные инвестиции.

Таким образом, можно говорить об инвестиционной привлекательности проекта, его быстрой окупаемости для организации.

С точки зрения медицинской эффективности объемы наложенных санкций за нарушение процесса оказания помощи снизятся как в количественном, так и в финансовом показателях.

И, оценивая риски, стоит отметить, что большинство рисков являются серьезными или даже критичными, но комплекс мер по снижению угрозы от них позволил значительно сократить финансовый ущерб на 34%. Наиболее чувствительным проект окажется к рискам, связанным с недоверием медицинского персонала и пациентов.

Таким образом, для объекта исследования узкими местами оказались приемная врачей-онкологов общего профиля, а также лаборатория. Для комплексного решения этих проблем было разработано решение в виде врача, работающего на основе технологий ИИ. Продукт поможет оптимизировать работу объекта исследования, а при последующем трансфере также станет эффективным инструментом для других организаций, занятых в области лечения онкологических заболеваний.

По итогам работы центром было принято решение о внедрении продукта в его деятельность.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Отчет о результатах деятельности Федерального фонда обязательного медицинского страхования в 2021 г. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.ffoms.gov.ru/system-oms/about-fund/fund-activities/ (дата обращения: 27.02.2023).
2. Тумусов Ф.С., Косенков Д.А. Современные тенденции в системе здравоохранения Российской Федерации. – М.: Издание Государственной Думы. 2019. 80 с.
3. Телемедицина. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.rosturner.ru/patsientam/telemeditsina/ (дата обращения: 28.03.2023).
4. О центре. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://fnkcrio.ru/ (дата обращения: 29.03.2023).

Выпускник
Радаев Максим Михайлович
институт лазерных технологий
Направление подготовки: 12.03.05 – Лазерная техника и лазерные технологии
e-mail: metalmax2001@gmail.com

Научный руководитель
Карлагина Юлия Юрьевна
м.н.с.
e-mail: jujukarlagina@itmo.ru

УДК 535

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ЛАЗЕРНОГО СПОСОБА ПРИДАНИЯ БИОСОВМЕСТИМЫХ И БАКТЕРИЦИДНЫХ СВОЙСТВ ПОВЕРХНОСТИ ТИТАНОВОГО СПЛАВА

В современной медицине и биомедицинской инженерии доказано, что свойства поверхности имплантатов играют ключевую роль в их эффективной интеграции с биологическими тканями. Титан и его сплавы является биоинертным материалом и широко используется для создания имплантатов, однако его поверхность подвержена колонизации бактериями, что приводит к инфекции и отторжению имплантата. Разработка эффективных методов придания биосовместимых и бактерицидных свойств поверхности титана является актуальной научно-исследовательской задачей.

На сегодняшний день одними из самых распространенных способов придания биосовместимых свойств поверхности титановых дентальных имплантатов являются: абразивная обработка поверхности с последующим кислотным травлением; анодирование; лазерная абляция [1]. Однако, данные способы не позволяют придавать антибактериальные свойства поверхности. Отдельно от них существуют пассивные и активные методы борьбы с микробным загрязнением. Действие пассивных методов заключается в том, что создаются условия, при которых осуществляется препятствование прикреплению бактерий. Активные методы направлены на непосредственное умерщвление бактерий за счет высвобождения антибактериальных агентов либо за счет особой топологии поверхности [2]. Таким образом, необходимо дальнейшее исследование и разработка нового способа, который позволит одновременно придавать как биосовместимые, так и антибактериальные свойства поверхности титановых сплавов.

Целью данного исследования является исследование и разработка лазерного способа придания биосовместимых и бактерицидных свойств поверхности титанового сплава. Лазерная обработка представляет собой перспективный метод, который может обеспечить точность, контролируемость и возможность работы на микро- и наномасштабах. Она позволяет манипулировать поверхностными свойствами материала, включая его текстуру, химический состав и топографию.

Экспериментальные исследования проводились на титановых образцах, диаметром 6 мм, высотой 2 мм (рис. 1), марки сплавов ВТ6 и ВТ1–0. Физические характеристики сплавов приведены в таблице 1.

Рис. 1. Фото образцов: титановые диски из сплава ВТ6 и ВТ1–0

Таблица 1. **Физические свойства сплава титана ВТ6 и ВТ1–0**

Характеристика	Значение (ВТ6/ ВТ1–0)
Коэффициент отражения R (λ = 1,06 мкм)	0,7/0,7
Температуропроводность a, $м^2/с$	$1{,}9\cdot10^{-6}/1{,}9\cdot10^{-6}$
Теплопроводность k, Вт/(м·°К)	17/18
Теплоемкость c, Дж/(кг·град)	0,6/0,54
Плотность ρ, $км/м^3$	4450/4505
Температура кипения $T_{кип}$, °К	3560/3600

Формирование биомиметического рельефа на поверхности образцов производили с помощью макета лазерного комплекса для функционализации поверхности дентальных имплантатов (рис. 2) (ООО «Лазерный центр»). Комплекс оснащен волоконным импульсным иттербиевым лазером, 1064 нм. Характеристики комплекса приведены в таблице 2.

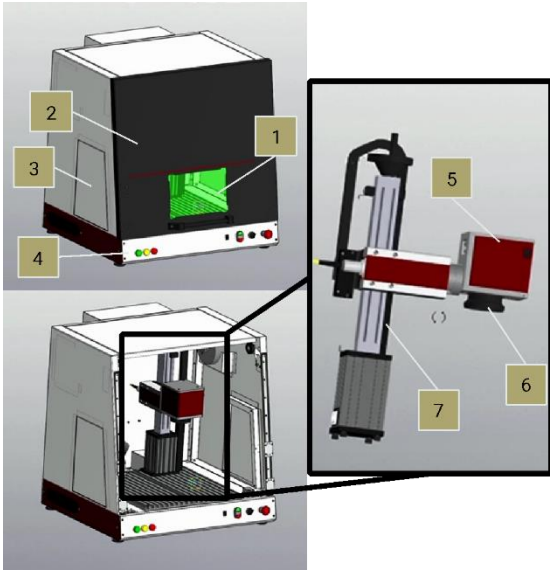


Рис. 2. Макет лазерного комплекса Д и его составные части: 1 — защитное стекло; 2 — передняя защитная дверь; 3 — боковое окно контроля; 4 — индикаторы работы комплекса; 5 — система гальваносканаторв; 6 — F-Teta объектив; 7 — моторизированная ось Z

Таблица 2. **Технические характеристики лазерного комплекса**

Характеристика	Значение
Средняя мощность	20 ВТ
Частота следования импульсов	1,6–999 кГц
Длительность импульсов	4–200 нс
Диаметр лазерного пятна в фокусе	50 мкм
Скорость сканирования	1–8000 мм/с

Прежде чем формировать рельеф на поверхности необходимо понять с каким видом костной ткани контактирует каждая часть имплантата. В данной работе мы рассмотрим шейку дентального имплантата. Она контактирует с компактной костной тканью, структурной единицей которой на микроуровне является остеон (рис. 3). Остеон – система костных пластинок, концентрически расположенных вокруг Гаверсова канала. Между костными пластинами располагаются остеоциты – клетки костной ткани. Диметр остеонов у человека не превышает 400 мкм, ширина и глубина полостей не превышает 50 мкм. Рельеф должен быть гидрофильным, периодическим и биосовместим для клеток.

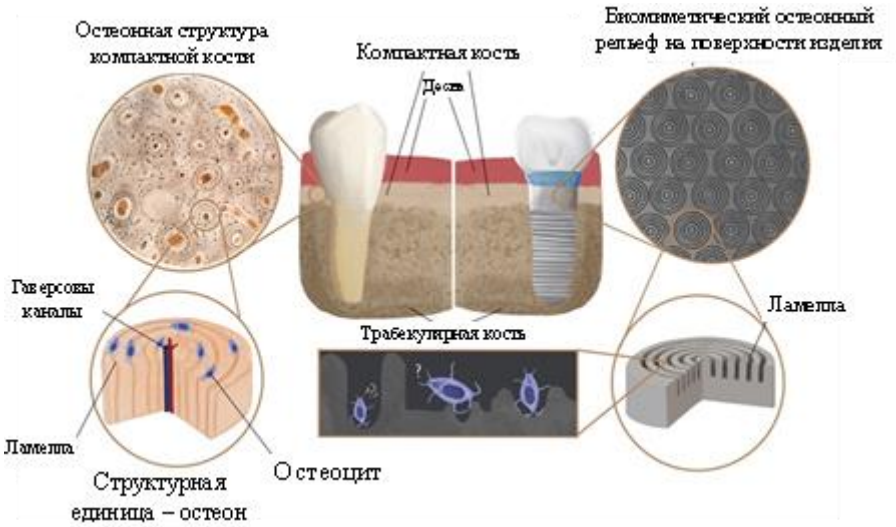


Рис. 3. Концепция биомиметического рельефа на поверхности шейки дентального имплантата

Так как в простейшем случае остеон представляет собой систему глубоких широких канавок, закрученных в кольцо, то в первую очередь нам сначала необходимо создать такую канавку, а затем сформировать ее по круговой траектории сканирования. Так как диаметр пучка составляет 50 мкм, то формировать глубокую и широкую канавку необходимо в несколько проходов с небольшим смещением относительно начала уже сформированной канавки. Алгоритм формирования рельефа можно описать следующим образом:

1. Формируется внешняя канавка с диаметром 400 мкм.
2. Формируется следующая канавка с учётом перекрытия и изменения диаметра. Для этого происходит изменение значения частоты и мощности на фиксированный шаг.
3. Формируется центральная глубокая канавка.
4. Формируется следующая, с меньшим радиусом и глубиной.
5. Формируется последняя канавка меньше глубины первой большой канавки.
6. Делается отступ до следующей большой канавки и формируется внешнее кольцо.
7. Повторяются п.2-4.
8. Формируется внутренняя канавка меньшей глубины второй большой канавки.

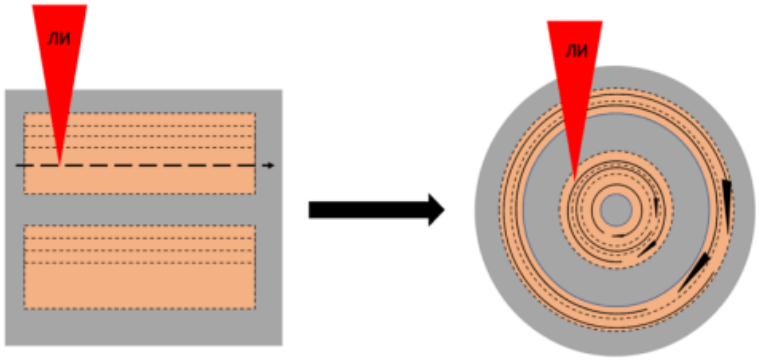


Рис. 4. Схема формирования одного остеона на поверхности

Расчет энергетических характеристик был произведен следующим образом. Определим пороговую плотность мощности лазерного излучения. Для этого воспользуемся формулой расчета температуры поверхности при нагреве её лазерным излучением (на поверхности тела в центре облучённой области (пятна лазерного излучения радиуса r_0) в момент окончания воздействия) (1), которая получена из уравнения теплопроводности для случая постоянной во времени и по площади облучённой зоны плотности мощности излучения q_0 [4]:

$$q_0 = \frac{(T_{кип} - T_н) \cdot k \cdot \sqrt{\pi}}{2(1-R)\sqrt{a \cdot \tau}}. \quad (1)$$

Подставив в формулу (1) численные значения, получим пороговую плотность мощности для нагрева поверхности сплава титана до температуры кипения:

$$q_0 = \frac{(3560-295)\cdot 17\cdot\sqrt{\pi}}{2(1-0{,}7)\cdot\sqrt{1{,}9\cdot 10^{-6}\cdot 20010^{-9}}} = 2{,}66\cdot 10^{11}\,\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}.$$

Рассчитаем среднюю мощность излучения по формуле (2), исходя из заданных параметров f = 60 000 Гц, τ = 200 · 10^{-9} с, r = 50 · 10^{-6} м:

$$P_{\text{ср}} = \frac{q_0}{fr^2}. \quad (2)$$

Подставив в формулу (2) вышеуказанные численные значения получим:

$$P_{\text{ср}} = \frac{x}{6000020010^{-9}(2510^{-6})^2}\ P_{\text{ср}} = 6{,}27\ \text{Вт}.$$

Определим параметры перекрытия лазерных импульсов. Зная, что перекрытие импульсов по Ox должно составлять 95%, найдем значение скорости сканирования $V_{\text{ск}}$ в м/с из формулы (3) и перекрытие M_y по формуле (4):

$$M_x = \left(1 - \frac{V_{\text{ск}}}{f\cdot d_0}\right)\cdot 100\%. \quad (3)$$

$$M_y = \left(1 - \frac{1}{N\cdot d_0}\right)\cdot 100\%. \quad (4)$$

Получим: $V_{\text{ск}} = (1-0{,}95)\cdot f\cdot d_0 = 0{,}15\,\frac{\text{м}}{\text{с}} = 150\,\frac{\text{мм}}{\text{с}}$.

При $N = 200\,\frac{\text{лин}}{\text{мм}}$ получаем $M_y = 90\%$.

Используя рассчитанные технологические параметры лазерного воздействия и разработанной алгоритм, сформируем на поверхности образца биомиметический остеонный рельеф (рис. 5).

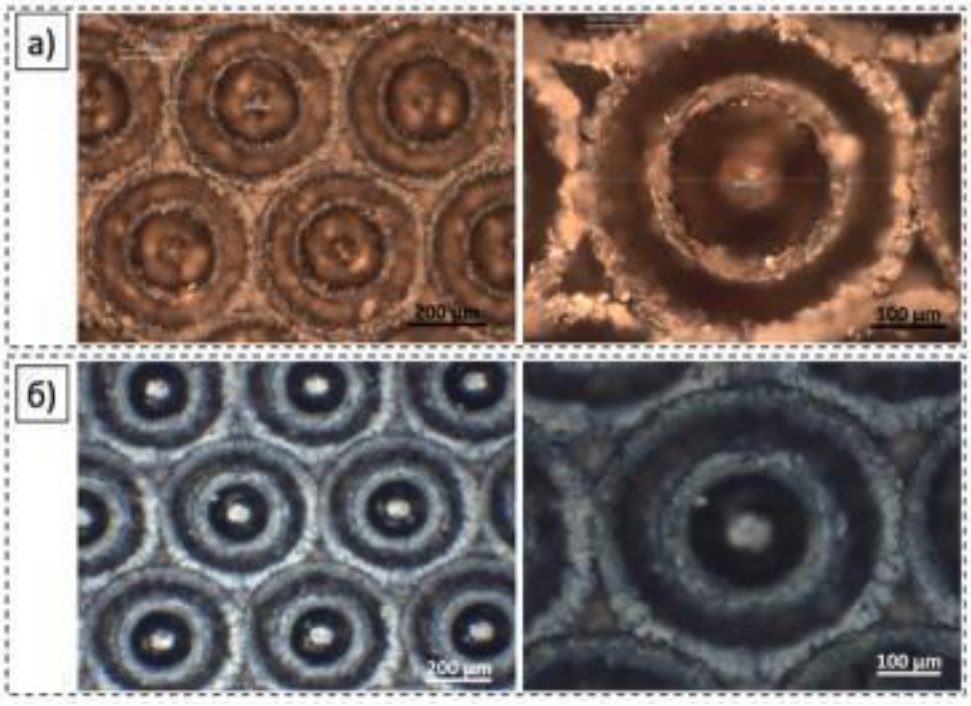
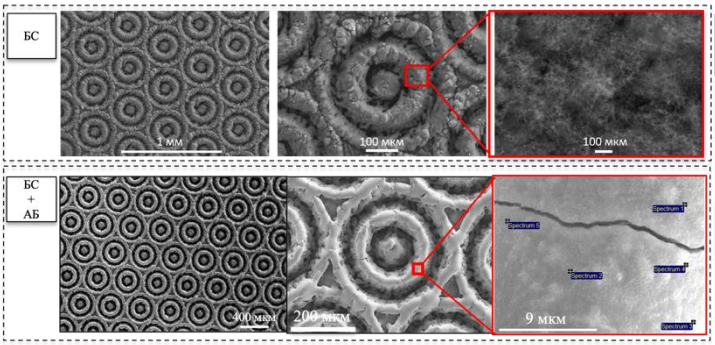


Рис. 5. Оптические снимки полученного биомиметического остеонного микрорельефа на поверхности сплава титана: а) снимок в режиме на отражение, б) снимок в темнопольном режиме

Для изучения морфологии полученного рельефа было проведено исследование с помощью СЭМ и ЭДРС. По результатам, которых, микрогеометрические параметры поверхности не превышали 50 мкм, а на поверхности был обнаружен кислород, что говорит о формировании оксидов.



Элемент	БС, at (%)	БС+АБ, at (%)
Ti	60,35	28,84
O	33,48	67,10
Al	3,06	2,80
V	3,11	1,27

Рис. 6. Результаты исследования морфологии и физико-химических характеристик рельефов методами сканирующей электронной микроскопии и энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии

Также, с помощью ПЭМ были определен элементный состав поверхностных и приповерхностных слоев. Были обнаружены оксиды титана и соединения альфа и бета тиана. Исследование на смачивание поверхности показало, что поверхность является гидрофильной, что полностью удовлетворяет условия.

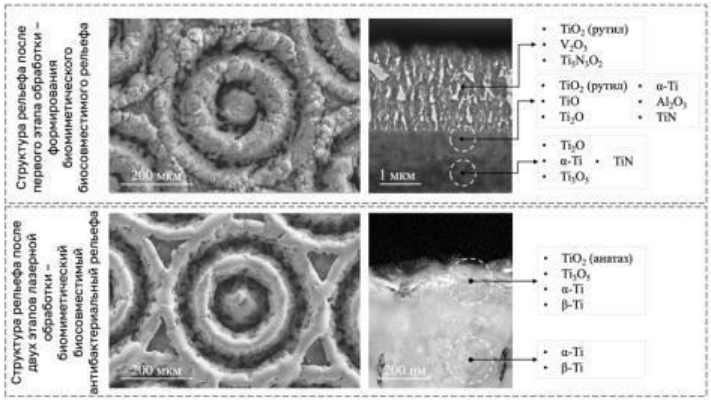


Рис. 7. Результаты исследования ламели с поверхности при помощи просвечивающего электронного микроскопа

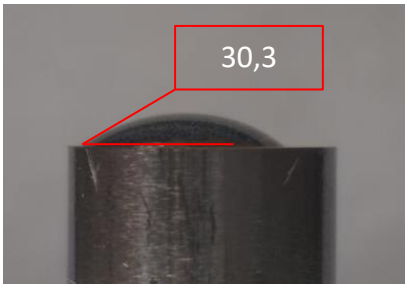


Рис. 8. Оптический снимок лежачей капли на поверхности образцов

In vitro исследования биосовместимых свойств поверхности продемонстрировали высокий процент выживших клеток (более 93%), что говорит об отсутствии токсичности поверхности.

Исследования антибактериальных свойств показали, что на образцах с биосовместимым и антибактериальным покрытием площадь биопленки и количество живых бактерий меньше, чем на образце, на котором был сформирован только биосовместимый рельеф без дополнительного окисления.

В результате был разработан способ лазерного формирования биомиметического рельефа на поверхности шейки дентального имплантата. Путем настройки программного кода, используя размеры реального изделия был вопроизведен рельеф, имеющий голубое оксидное покрытие. Были проведены оценка и контроль качества, полученного рельефа. По результатам которых было установлено, что все параметры совпали.

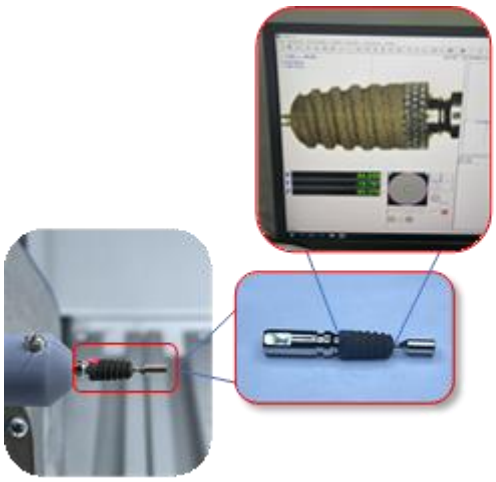


Рис. 9. Фото закрепленного реального изделия в процессе обработки в лазерном комплексе и оптический снимок полученной структуры

В ходе выполнения ВКР был разработан дизайн биомиметического рельефа поверхности шейки дентального имплантата. Определен режим формирования и создан биосовместимый рельеф с оксидным покрытием на поверхности титанового сплава ВТ6 (диаметром 400 мкм, шириной канавки 50 мкм, глубиной канавки 40 мкм). С помощью разработанного способа получен гидрофильный рельеф поверхности, состав которого представлен оксидами титана TiO_2 и Ti_3O_5. Проведена серия *in vitro* экспериментов по верификации биосовместимых и антибактериальных свойств, в ходе которых было установлено, что поверхность обладает данными свойствами и нетоксична по отношению к клеткам МСК (98% выживших клеток на поверхности). Реализован лазерный способ формирования рельефа на поверхности шейки дентального имплантата.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Технологии обработки поверхности имплантатов. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://bioline-implants.ru/techology/tech-implant/ (дата обращения: 17.12.2022).
2. Mas-Moruno C., Su B., Dalby M. J. Multifunctional coatings and nanotopographies: toward cell instructive and antibacterial implants // Advanced healthcare materials. 2019. Т. 8. №. 1. С. 1801103.
3. Rinaldo Florencio-Silva. Review Article. Biology of Bone Tissue: Structure, Function and Factors That Influence Bone Cells / Rinaldo Florencio-Silva, Gisela Rodrigues da Silva Sasso, Estela Sasso-Cerri, Manuel Jesus Simões, Paulo Sérgio Cerri. // BioMed Research International. 2015. 17 p.
4. Вейко В.П., Шахно Е.А. Сборник задач по лазерным технологиям. – СПб: СПб ГУ ИТМО. 2007. 67 с.

Выпускник
Семенов Георгий Витальевич
факультет информационных технологий и программирования
Направление подготовки: 09.03.02 – Информационные системы и технологии
e-mail: themrgeorgeous@gmail.com

Научный руководитель
Бутенко Олег Романович
преподаватель практики, ИТМО
e-mail: oleg.butencko2016@yandex.ru

Консультант
Золотов Владислав Александрович
к.ф.-м.н., с.н.с., Институт системного программирования им. В.П. Иванникова РАН
e-mail: vzolotov@ispras.ru

УДК 004.4

РАЗРАБОТКА СЕРВИСОВ ЖУРНАЛИЗАЦИИ ЗАМЕЧАНИЙ В ИНДУСТРИАЛЬНЫХ ПРОЕКТАХ НА ОСНОВЕ МЕЖДУНАРОДНОГО ИНФОРМАЦИОННОГО СТАНДАРТА BCF

ТИМ-модель – это цифровая модель сооружения, содержащая информацию о геометрии конструкций, свойствах материалов, необходимых ресурсах, план строительства и другую сопроводительную документацию. Открытым форматом для представления ТИМ-моделей является информационный стандарт IFC – Industry Foundation Classes, утвержденный ISO 16739-1:2018.

В ТИМ-приложениях возникает необходимость электронного документооборота, связанного с разрешением проблем, возникающих на этапе проектирования сооружения, верификации проектной документации, строительства и эксплуатации. К таким проблемам относятся инженерные ошибки проектирования, неправильное планирование возведения объектов капитального строительства, поломки оборудования на площадке и пр.

Открытый формат BCF (аббр. от BIM Collaboration Format) был разработан с целью предоставить способ обмена данными о таких проблемах в виде замечаний между различными ТИМ-приложениями. Схема формата BCF позволяет не только представить историю работы над замечанием, но и связать его с соответствующей точкой обзора и с конструктивными элементами сооружения, определенными набором данных формата IFC.

Для обеспечения возможности коллаборативной работы с замечаниями в различных ТИМ-приложениях возникает необходимость использования централизованного серверного решения, реализующего стандартизованный RESTful- программный интерфейс BCF-API. Также актуальной является поддержка сервером возможности оффлайн-работы над замечаниями с последующей синхронизацией произведенных изменений с центральным представлением на сервере.

Целью работы является разработка серверного программного обеспечения на основе RESTful- программного интерфейса, обеспечивающего хранение и работу над замечаниями формата BCF в соответствии со спецификацией BCF-API 3.0.

История формата BCF

Разработка формата BCF (BIM Collaboration Format) началась в 2009 г. двумя членами международного альянса buildingSMART – компаниями Solibri (г. Хельсинки) и Tekla (г. Эспоо) совместно с Институтом прикладной строительной информатики (г. Мюнхен). В дальнейшем формат вошел в международный стандарт openBIM наряду с форматами IFC (Industry Foundation Classes) и Data Dictionary, став открытым для всеобщего использования.

Схема данных формата BCF состоит из следующих основных сущностей: *проект* (project), *замечани*е (topic), *комментарий* (comment) и *точка обзора* (viewpoint). Проект формата BCF может быть иначе назван *журналом замечаний*. Один файл формата BCF-ZIP может представлять целый проект или часть проекта, состоящую из замечаний. Замечания содержат прикрепленные к ним комментарии, а также точки обзора, позволяющие показать место возникновения проблемы на 3D-модели сооружения.

В спецификации BCF-API 1.0 появились методы для создания, изменения и получения проекта, работы с замечаниями, а также прикрепленными к ним IFC-файлами, комментариями, точками обзора с выделенными IFC-компонентами и дополнительными картинками. Также BCF-проект стал включать в себя вложенные документы, а замечания стали на них ссылаться. Фильтры поисковых запросов описывались с помощью синтаксиса фильтров протокола OData, передаваемых в качестве query-параметра filter [1].

В последней версии BCF-API 3.0, выпущенной в 2021 году, внесены незначительные изменения в схему данных, вернулась возможность удаления точек обзора, в тексте спецификации приведено больше примеров и разъяснений. Из предыдущих версий остались требования по обеспечению OAuth2 workflow.

В различных работах, посвященных использованию формата BCF, исследована разработка функциональности по поиску похожих замечаний на основе текстового анализа замечаний BCF, а также показан опыт использования формата для документации повреждений зданий и создания с нуля ТИМ-моделей для уже построенных зданий [2, 3].

Вне зависимости от выбранного в конкретном ТИМ-приложении схемы формата внутреннего представления данных (OWL, EXPRESS, OpenAPI и др.) или ручной реализации формата без использования средств кодогенерации, работа с данными BCF возможна как на основе файлов, так и на основе клиент-серверного взаимодействия. Особый интерес представляет возможность работы с данными BCF в оффлайн-режиме с последующей их синхронизацией с центральным серверным представлением.

Таким образом, стандарт BCF 3.0 предлагает гибкую схему данных, которую ТИМ-приложения могут использовать для различных сценариев.

Анализ требований

В ходе анализа требований с целью создания серверного программного решения, удовлетворяющего интерфейсу BCF-API 3.0, для долговременного хранения и обеспечения коллаборативной работы с данными BCF и обеспечения возможности оффлайн-работы был выделен следующий ряд *функциональных требований*:

1. Получение списка всех проектов, доступных пользователю.
2. Создание, получение, редактирование и удаление свойств проекта.
3. Получение словаря расширений проекта.
4. Получение всех замечаний внутри проекта, в т.ч. с помощью запросов OData4.
5. Создание, получение, редактирование и удаление замечания.
6. Получение и обновление секции файлов замечания.
7. Получение всех комментариев внутри замечания.
8. Создание, получение, редактирование и удаление комментариев, в т.ч. с OData4.
9. Получение точек обзора замечания.
10. Получение, добавление и удаление точки обзора.
11. Получение изображения snapshot для точки обзора.
12. Получение изображения bitmap для точки обзора.
13. Получение компонент selected, colored, visibility точки обзора.
14. Получение и обновление списка связанных замечаний.
15. Получение, обновление и удаление документов проекта.
16. Получение истории изменения замечания, всех замечаний, в т.ч. с OData4.
17. Получение истории изменения комментария, всех комментариев, в т.ч. с OData4.
18. Получение всех данных в формате JSON, хранящихся на сервере.
19. Применение изменений, совершенных пользователем оффлайн.

Также был получен ряд *нефункциональных требований*: приложение должно быть разработано на языке Java 18 с использованием фреймворка Spring; приложение должно быть представлено как отдельный docker-образ и запускаться в отдельном контейнере; все необходимые зависимости приложения должны разворачиваться с помощью скрипта docker-compose; в качестве сервера аутентификации должен использоваться Keycloak; для управления зависимостями и сборки приложения необходимо использовать систему сборки gradle.

Архитектура приложения

Разрабатываемое приложение является серверным, поэтому ему присуща клиент-серверная *системная архитектура*. На вычислительном узле в виртуализированной среде развертывается сервер данных BCF, а также СУБД PostgreSQL для хранения данных о проектах. На другом вычислительном узле разворачивается сервер аутентификации Keycloak со своей СУБД PostgreSQL с целью обеспечения OAuth2 workflow. CAD-приложение взаимодействует с сервером BCF как с помощью определенного стандартом BCF-API, так и с помощью API для синхронизации журнала оффлайн-изменений. Сторонние ТИМ-приложения могут взаимодействовать с сервером с помощью программного интерфейса BCF-API. Сервер аутентификации Keycloak обеспечивает аутентификацию пользователей и выдачу JWT-ключа для обращения напрямую к серверу BCF.

Разработанное приложение обладает монолитной *программной архитектурой* в силу централизованной спецификации программного интерфейса BCF-API 3.0. Переход приложения на микросервисную архитектуру на данный момент не рассматривается в силу отсутствия бизнес-требований по обработке высоких нагрузок. Приложение разработано с помощью языка Java 17 как набор сервисов, реализованных с помощью фреймворка Spring Boot. Приведем список использованных модулей, библиотек и инструментов: Spring Web MVC, Spring Data JPA, Spring Security, Spring OAuth2, Hibernate ORM, Hypersistence Utils, Jackson, SpringDoc (Swagger), Bean Validation API, Lombok, Apache Olingo, драйвер для PostgreSQL, Gradle, OpenAPI Generator. Каждый пакет состоит из слоев Model, Repository, Service, Controller. Пакетная организация приложения выполнена в парадигме domain-driven design, в которой модули соответствуют бизнес-сущностям или предметным областям. Аналогично организованы пакеты автоматизированных тестов.

В спецификации BCF-API 3.0 для нескольких методов описано требование поддержки запросов фильтрации и сортировки, определенныхьв стандарте OData 4. Для реализации разбора этих выражений используется библиотека Apache Olingo. Примером выражения фильтрации для коллекции сущностей Topic является текст: “$filter=assigned_to eq 'Architect@example.com' and topic_status eq 'Open' and creation_date gt 2015-12-05T00:00:00+01:00&$orderby=modified_date desc”.

В *архитектуре данных* приложения выделено два типа хранения: для структурированных данных – реляционная СУБД PostgreSQL 13.3 (совместно с ORM Hibernate), с помощью которой можно будет в дальнейшем оптимизировать поисковые запросы, создав индексы для полей; для неструктурированных данных (таких, как snippet, document, bitmap и snapshot) – локальное файловое хранилище, конфигурируемое с помощью параметров файла application.properties.

Для более сложных запросов к базе данных иногда используются запросы на встроенном языке используемого фреймворка языке SPeL, а также нативные запросы на диалекте PostgreSQL.

Синхронизация данных BCF

Приложение также содержит неклассическую функциональность в виде выгрузки данных сервера в формате JSON, а также применение журнала изменений, также представленного в этом формате. Для решения этой задачи была предложена метамодель, вдохновленная спецификацией JPA и работой [4]. В ней введено два типа сущностей – именованная NamedEntity и анонимная вложенная EmbeddedEntity, связанная с некоторой NamedEntity отношением композиции. Сущности могут содержать поля, значения которых

можно отнести к следующим обобщенным типам данных: Primitive, Embedded, Reference, CollectionOfPrimitive, CollectionOfEmbedded.

Между именованными сущностями с помощью соответствующих аннотаций могут существовать отношения: OneToOne («один-к-одному»), OneToMany («один-ко-многим») и ManyToOne («многие-к-одному»). Отношения «многие-ко-многим» оформляются с помощью промежуточной сущности и отношений OneToMany и ManyToOne, как это определено метамоделью формата EXPRESS.

Для представления сущностей и полей модели в виде программных сущностей были введены классы EntityDescriptor и FieldDescriptor. При запуске приложения происходит автоматическое построение графа модели, а также его валидация, заключающаяся в обнаружении циклов между отношениями Embedded и CollectionOfEmbedded. Очевидно, что сущности, связанные отношением композиции, не могут циклически друг от друга зависеть, поэтому в случае обнаружения таких зависимостей в модели приложение аварийно завершается при старте.

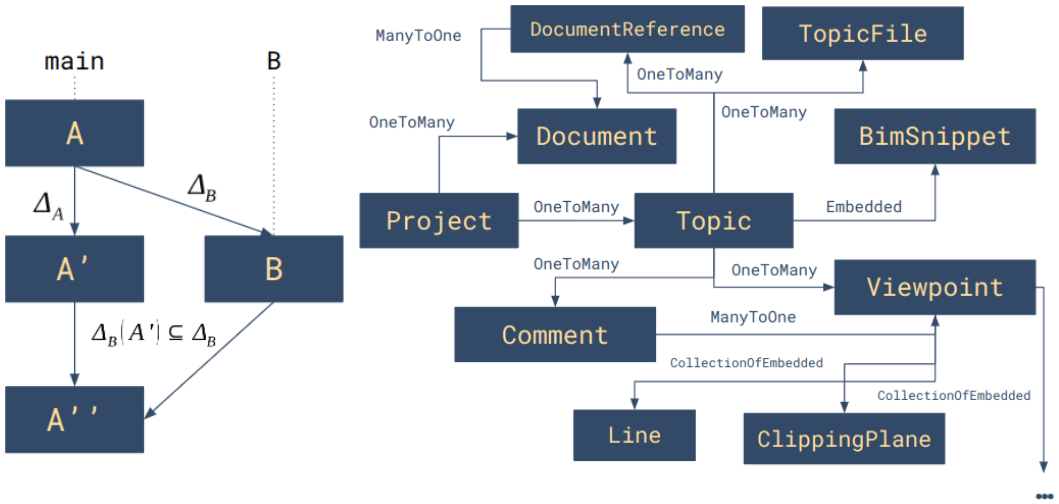


Рис. 1. Схема синхронизации данных. Фрагмент графа модели данных BCF

Изменением (Delta) называется некоторое разностное преобразование, переводящее произвольный объект из начального состояния в конечное. Изменения могут быть определены для примитивных значений, вложенных сущностей и коллекций над полями именованной сущности. Определим задачу применения журнала изменений, показанную на рисунке 1, более формально. Пусть A – исходное представление набора данных, A ' = A ∘ ΔA и B = A ∘ ΔB – его реплики, полученные в результате применения CRUD-операций. Необходимо получить синхронизированную реплику A '' = A ' ∘ Δ' B, где Δ ' B ⊆ Δ B – максимально совместимый журнал, состоящий из подмножества операций Δ B, совместимых с репликой A '. Более подробно задача синхронизации сложных объектно-ориентированных данных рассмотрена в [5].

С помощью аннотаций LWWDelta (Last-Writer-Wins – безусловная операция присваивания значения в поле сущности) и CASDelta (Compare-And-Set – условная операция присваивания значения в поле сущности) для поля можно явным образом задать семантику допустимых для него изменений. По умолчанию, принимается, что над полем допустимы любые операции. Для вложенных в именованную сущность объектов существует изменение EmbeddedFieldDelta, для множества Set и списка List определены изменения SetDelta (множества добавленных и удаленных элементов) и ListDelta (последовательности операций вставки, модификации, удаления) соответственно.

Задача синхронизации данных подразумевает, что при применении журнала изменений могут возникнуть *конфликты*. Под конфликтом понимается некоторое обстоятельство, которое делает невозможным применение транзакции из журнала изменений. Причиной конфликта может быть то, что изменение перестает быть определенным, или то, что применение влечет за собой нарушение согласованности данных. В метамодели были описаны

следующие типы конфликтов: EntityNotFoundConflict, CASConflict, CASReferenceConflict, MultiplicityConflict.

JSON-структура transaction, пример которой показан на рис. 2, используется для представления атомарного набора изменений и состоит из секций create, change и delete. В секции create описываются сущности, вновь созданные в данной транзакции; для них указывается GUID-идентификатор, тип и перечисляются обязательные поля/отношения. В секции change перечисляются изменения над существующими экземплярами сущностей – LWWDelta, CASDelta, SetDelta и ListDelta. В секции delete перечисляются удаленные в транзакции сущности – типы и идентификаторы.

```
{ "id": "f7d7ed2b-29d6-483f-afc4-617a5d44279d",
"type": "transaction",
"change": [{
"oid": "abcdef00-bcf3-bcf3-bcf3-00000000a001",
"type": "Topic",
"fields": [{
"field": "referenceLinks",
"type": "set",
"remove" : [ "https://yandex.ru" ]
}]
}]
}
```

Рис. 2. Пример секции transaction для удаления элемента из множества

Тестирование и развертывание

Для автоматизированного тестирования программного интерфейса использовался фреймворк Spring Test совместно с JUnit 5. Каждый метод программного интерфейса BCF-API 3.0 покрыт, как минимум, одним интеграционным автоматизированным тестом, проверяющим правильность возвращаемого результата на тестовых данных. В общей сложности реализовано 42 автоматизированных теста. Для ручного тестирования программного интерфейса также используется веб-клиент, графический интерфейс которого показан на рисунке 3.

Для обеспечения автоматизированного развертывания в рамках CI/CD (Continuous Integration и Continuous Delivery) приложение было оформлено в виде легковесного Docker-образа на основе дистрибутива alpine. Приложение собирается с помощью multi-stage процесса, определенного внутри Dockerfile, состоящего из предварительных шагов cache и build. Для оркестрации зависимостей проекта в файле docker-compose.yml определено три профиля – production, local, keycloak.

Рис. 3. Графический интерфейс веб-клиента на основе спецификации BCF-API 3.0

Таким образом, было разработано серверное приложение, реализующее программный интерфейс, определенный спецификацией международного стандарта BCF-API 3.0. В приложении также экспериментально реализован объектный протокол для синхронизации данных формата.

Разработанное приложение удовлетворяет описанным функциональным и нефункциональным требованиям, а его качество подтверждается результатами исполнения автоматизированных тестов.

Разработанное приложение входит в качестве серверного компонента в набор приложений, составляющих перспективную ТИМ платформу следующего поколения (BIM Level 3), разрабатываемую в Институте системного программирования РАН.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. OData Version 4.0. Part 2 |. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://docs.oasis-open.org/odata/odata/v4.0/odata-v4.0-part2-url-conventions.html (дата обращения: 30.06.2023).
2. Schulz O. Spatialization of damage to buildings using a BIM collaboration Format approach. // EG-ICE 2021 Workshop on Intelligent Computing in Engineering. 2021. Pp. 108-107.
3. Schulz O., Beetz J. Image-documentation of existing buildings using a server-based BIM Collaboration Format workflow. 2021. Pp. 343-350.
4. Семенов В.А., Аришин С.В. Новый файловый формат для обеспечения интероперабельности bim-приложений на основе журнализации транзакций с IFC данными // BIM-моделирование в задачах строительства и архитектуры: Материалы IV Международной научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 21–23 апреля 2021 года – СПб: СПбГАСУ. 2021. С. 377-384.
5. Семенов Г.В. Синхронизация сложных объектно-ориентированных данных в приложениях оптимистической репликации // Сборник тезисов докладов конгресса молодых ученых. Электронное издание. – СПб: Университет ИТМО. 2023.

Выпускник
Тамаров Вячеслав Викторович
образовательный центр «Энергоэффективные инженерные системы»
Направление подготовки: 14.03.01 – Ядерная энергетика и теплофизика
e-mail: vaceslavtamarov@gmail.com

Научный руководитель
Заричняк Юрий Петрович
д.ф.-м.н., профессор
e-mail: zarich4@gmail.com

УДК 621.565.2

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ ПОТОКОВ В АККУМУЛЯТОРАХ ТЕПЛОТЫ

В современном мире электроэнергия занимает важное место в обеспечении жизнедеятельности человека. Около четверти её общего потребления в мире приходится на сезонные системы нагрева и охлаждения воздуха. Одним из наиболее устойчивых путей развития подобных систем является снижение дневных пиковых нагрузок потребления. Для этого производится запасание тепловой энергии при наиболее благоприятных условиях, например, при низких тарифах на электроэнергию в ночное время суток.

Одним из эффективных способом аккумулирования тепловой энергии является использование веществ с фазовым переходом (ВФП). Во время плавления ВФП поглощает тепло из внешней среды, которое затем сохраняется в материале в виде скрытой теплоты фазового перехода и выделяется при переходе вещества из жидкой в твёрдую фазу. ВФП также получает тепло при нагревании, что позволяет ему сохранять еще и явную теплоту.

Таким образом, если стоит задача использовать вещество с фазовым переходом в качестве аккумулятора холода, то при зарядке будет использоваться фазовый переход "жидкость-твердое тело" (замораживание). Для расчета запасаемой энергии можно использовать формулу [1]:

$$Q = C_1 \cdot m \cdot \left(t_1 - t_{фп}\right) + m \cdot \lambda_{фп} + C_2 \cdot m \cdot \left(t_{фп} - t_2\right), \quad (1)$$

где Q – запасенная энергия; C_1 – теплоемкость жидкой фазы; C_2 – теплоемкость твердой фазы; m – масса ВФП; t_1 – начальная температура; t_2 – конечная температура; $t_{фп}$ – температура фазового перехода; $\lambda_{фп}$ – удельная теплота фазового перехода.

В дальнейшем запасенная энергия может использоваться для охлаждения внешней среды. При этом будет происходить обратный фазовый переход "твердое тело-жидкость" (размораживание). Иллюстрация процессов «зарядки» и «разрядки» подобного аккумулятора холода приведена на рисунке 1 [2].

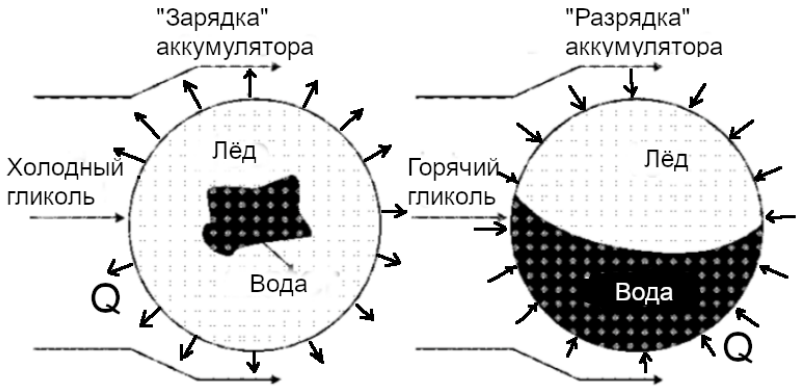


Рис. 1. Зарядка и разрядка аккумулятора холода с водой в качестве ВФП

Целью данной работы является определение безопасного объема заполнения сферического сосуда водой для исследования фазового перехода лёд – вода, получение результатов измерений на экспериментальном стенде и расчёт по ним тепловых потоков в аккумуляторе теплоты.

Для проведения измерений на экспериментальном стенде необходимо оценить максимальный объем вещества с фазовым переходом, который можно залить в используемый в эксперименте сферический контейнер. Это связано с аномальной особенностью воды - увеличиваться в объеме при охлаждении, которая в силу высокой удельной теплоты плавления часто используется в аккумуляторах холода. Поэтому необходимо определить максимальное давление, возникающее при переходе воды в лёд внутри сосуда при его различном заполнении водой. Для получения максимального давления рассматривались условия сразу после фазового перехода, когда температура льда равна 0, а воздуха 4 градусам Цельсия. После получения давления внутри сосуда рассчитывались напряжения, оказываемые на стенки сосуда и шов, после чего выполнялась проверка на прочность. Результат данной проверки приведен на рисунке 2.

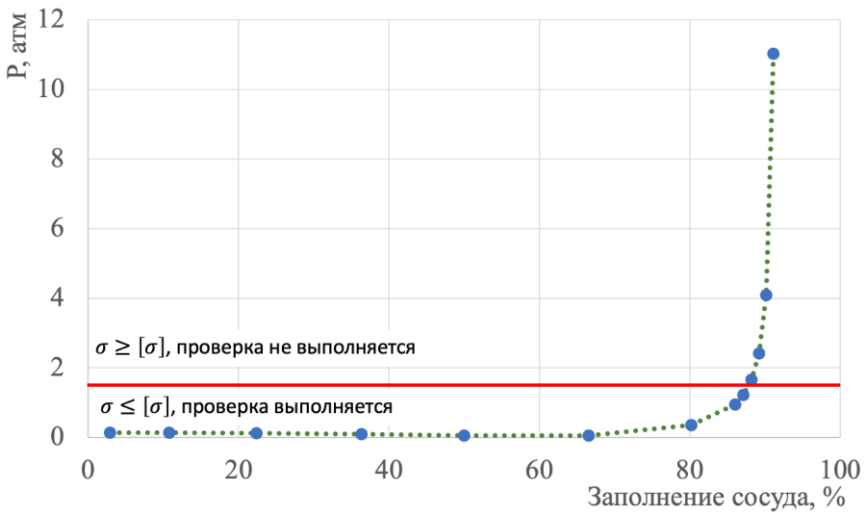


Рис. 2. Давление на стенки сосуда от степени заполнения сосуда при T= 0°C
**Красной линией обозначен допустимый уровень внутреннего давления в контейнере с замерзающей водой*

После определения величины оптимального заполнения был проведен экспериментальный фазовый переход твердое тело – жидкость с дальнейшим расчетом плотности теплового потока от времени. Эксперимент проводился с использованием двухконтурного стенда для изучения фазовых переходов жидкость – твердое тело в первом контуре с холодильной машиной и твердое тело – жидкость. Во втором контуре с трубчатым электронагревателем. Контуры не могут работать одновременно [3]. Для проверки правильности эксперимента каждый раз проводился расчет теплового баланса, показавший, что тепловые потери не превышают 10%, что в условиях эксперимента можно считать хорошим результатом.

Как можно увидеть на рисунке 3 в начале эксперимента плотность теплового потока становится максимальной и постепенно со временем уменьшается в силу уменьшения площади контакта и появления промежуточной жидкой фазы. Проведение расчета на рост давления при замораживании воды показало, что после достижения определенного объема заливаемой в контейнер воды давление в момент фазового перехода начинает расти по экспоненте при увеличении объема жидкости, поэтому необходимо оставлять в контейнере воздух и не заливать воды больше полученного в ходе расчета объема в 430 мл от максимальной ёмкости контейнера 500 мл.

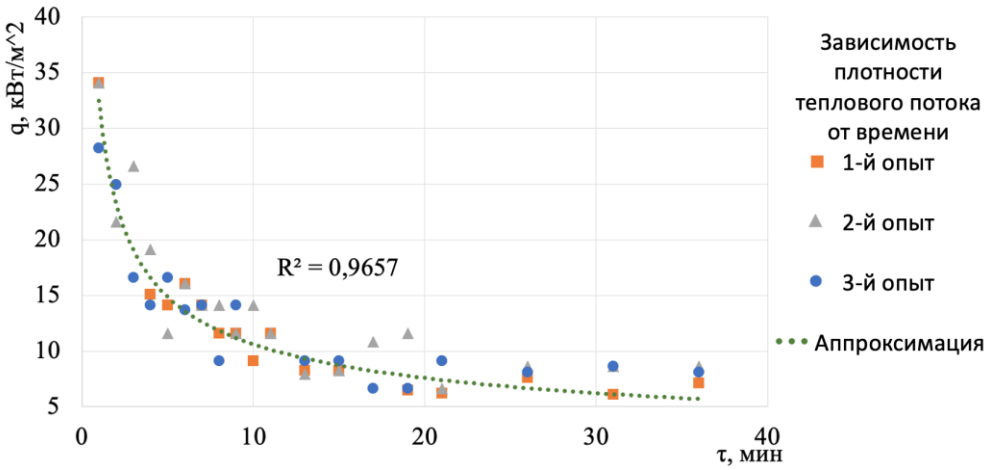


Рис. 3. Зависимость плотности теплового потока от времени

В ходе работы сначала были рассчитаны давления и напряжения, возникающие внутри сосуда при фазовом переходе, а также предел прочности для дальнейшей проверки на прочность и определения максимального объема возможного заполнения сосуда водой. В результате было получено значение максимального заполнения сосуда, равное 430 мл или 87% от сосуда, в оставшихся 13% оставляется воздух при температуре запайки. Заполнение контейнера позволило в дальнейшем выполнить измерения на экспериментальном стенде и по полученным экспериментальным данным рассчитать тепловые потоки в аккумуляторе теплоты и тепловой баланса система в процессе разрядки аккумулятора.

Все вышеперечисленные действия позволили построить графики зависимость возникающего давления от процентного заполнения сосуда в момент фазового перехода и плотности теплового потока, направленного к веществу с фазовым переходом, от времени в течении эксперимента.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Захарова В.Ю., Файзуллин Р.О., Бараненко А.В., Кузнецов П.А. Методика расчета аккумуляторов холода с веществами с фазовым переходом. // Вестник Международной академии холода. 2021. №. 2(79). С. 13-20.
2. Slawomir Rabczak. Free-Cooling in Seasonal Cold Accumulator. // International Journal of New Technology and Research (IJNTR). Vol. 1. Iss. 8. December 2015. С. 49-52.
3. Кузнецов П.А. Повышения эффективности систем кондиционирования воздуха на основе аккумулирования низкотемпературной энергии: дисс. канд. техн. наук: 05.04.03.Университет ИТМО, СПб. 2021. 221 с.

БАКАЛАВРЫ

Лауреаты I степени конкурса на «Лучшую научно-исследовательскую выпускную квалификационную работу бакалавров Университета ИТМО»

Выпускник
Баранов Константин Николаевич
научно-образовательный центр фотоники и оптоинформатики
Направление подготовки: 12.03.03 – Фотоника и оптоинформатика
e-mail: baranov.const@mail.ru

Научный руководитель
Орлова Анна Олеговна
д. ф.-м. н., г. н. с.
e-mail: a.o.orlova@gmail.com

УДК 535.8

ИССЛЕДОВАНИЕ ФОТОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ НАНОКОМПОЗИТОВ ТИПА ЯДРО/ОБОЛОЧКА НА ОСНОВЕ КВАНТОВЫХ ТОЧЕК AGINS2 И ДИОКСИДА ТИТАНА

Работа выполнена в рамках темы НИР №12444 «Исследование фотофизических свойств нанокомпозитов типа ядро/оболочка на основе квантовых точек $AgInS_2$ и диоксида титана».

Устойчивость бактерий к антибиотикам является одной из главных проблем человечества. Нерешение этой проблемы через 20-30 лет может привести к увеличению смертности в десятки раз [1]. Поэтом поиск альтернативных методов для терапии бактериальных инфекций является актуальной на сегодняшний день задачей.

Активные формы кислорода (АФК) могут приводить к деструкции бактерии. Одним из лучших источников генерации АФК являются наночастицы диоксида титана (TiO_2). При воздействии на TiO_2 излучением ультрафиолетового диапазона (УФ) возможна генерация электрон-дырочных пар. Электрон, взаимодействуя с молекулой кислорода, может приводить к образованию супероксид аниона, а дырка, окисляя молекулу воды, способна образовывать гидроксильный радикал. Однако главный недостаток диоксида титана — это широкая запрещенная зона, которая ограничивает его применение в биомедицине. Поэтому исследователи начали разрабатывать методы для расширения спектральной чувствительности TiO_2 в область меньших энергий. Например, для генерации АФК в видимой области может быть создана гибридная структура на основе диоксида титана и квантовой точки (КТ), поглощающей в видимом спектральном диапазоне [2]. Генерация активных форм кислорода в таком случае происходит за счёт фотоиндуцированных переносов носителей заряда из энергетических зон КТ в энергетические зоны TiO_2. В данном случае необходимым условием для генерации АФК под действием излучения видимого диапазона является взаимное расположение краев зоны проводимости и валентной зоны двух полупроводников таким образом, чтобы носителям заряда была энергетически выгодно совершать переходы.

Квантовые точки $AgInS_2$ (AIS) обладают рядом преимуществом перед стандартными (двойными) КТ на основе атомов кадмия. Во-первых, КТ тройных соединений являются менее токсичными. И, во-вторых, константа скорости переноса электрона из зоны проводимости КТ AIS в зону проводимости TiO_2 оказывается на два порядка больше [3], что может потенциально увеличить антибактериальную активность.

Перечисленные преимущества КТ AIS и полупроводникового диоксида титана побудили нас сформировать гибридные структуры типа ядро/оболочка AIS/TiO_2 и выявить закономерности генерации АФК при воздействии на образцы излучением УФ и видимого диапазона.

Синтез водного раствора КТ AIS и наращивание оболочки TiO_2 на квантовые точки $AgInS_2$ происходил по методикам [4] и [5], соответственно.

На рисунке 1 представлены изображения с электронного микроскопа и распределения синтезированных частиц по размеру.

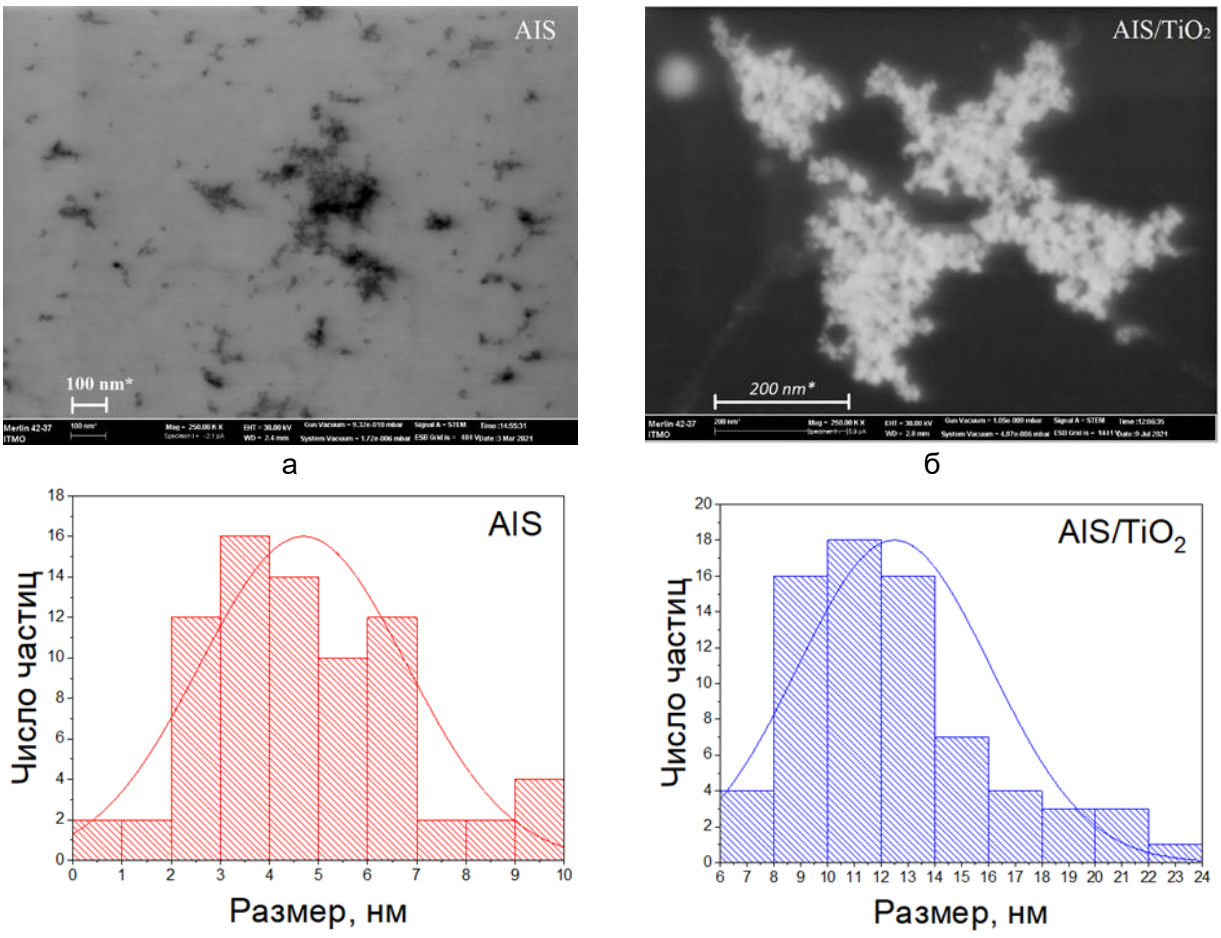


Рис. 1. Изображение, полученное на электронном микроскопе, и распределение частиц по размеру: а) и в) КТ AIS, б) и г) нанокомпозитов AIS/TiO_2 соответственно

Из рисунка 1 следует, что средний размер КТ AIS и нанокомпозитов AIS/TiO_2 составляет 4,5 нм и 12,5 нм, соответственно.

На рисунке 2 представлены энергодисперсионные рентгеновские спектрограммы сформированных частиц, позволяющие идентифицировать атомы, входящие в состав образцов.

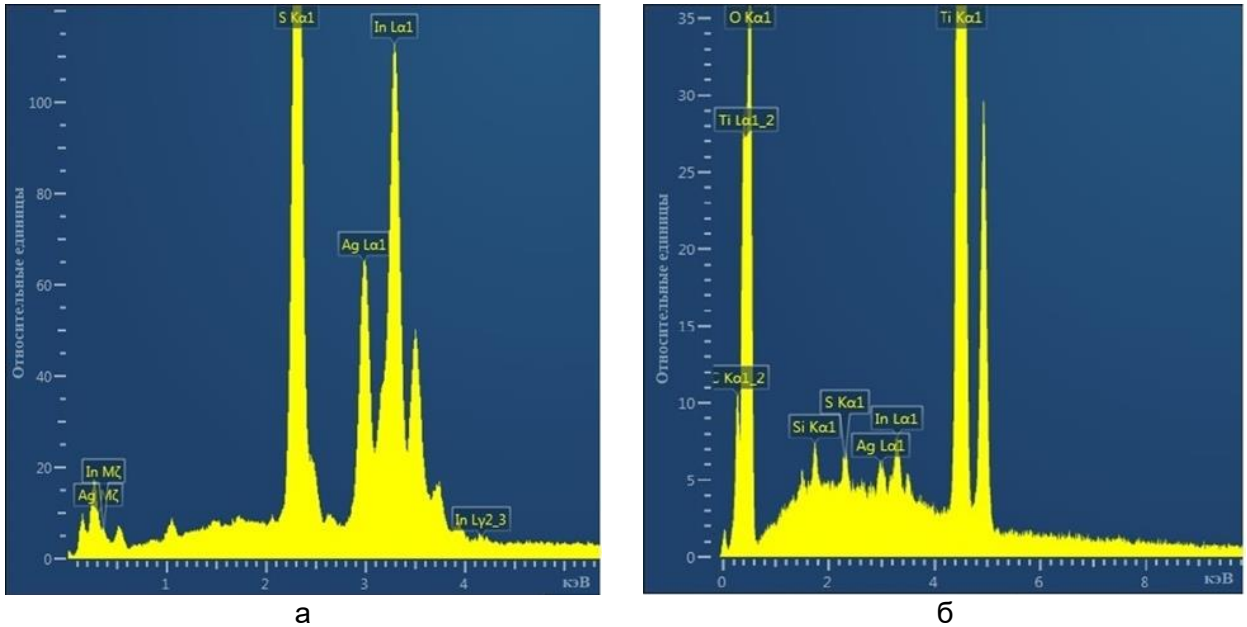


Рис. 2. Энергодисперсионные рентгеновские спектрограммы: а) КТ AIS; б) нанокомпозитов AIS/TiO_2

Из энергодисперсионной рентгеновской спектрограммы КТ AIS следует, что образец в основном состоит из атомов Ag, In и S (рис. 2,а). Кроме того, рентгеновский анализ показал, что атомы Ti и O преобладают в нанокомпозитах AIS/TiO_2 (рис. 2,б). Следовательно, полученные результаты хорошо согласуются с данными сканирующей электронной микроскопии: после наращивания оболочки диоксида титана на квантовые точки происходит увеличение размера нанокомпозитов в несколько раз по сравнению с КТ AIS.

Для регистрации АФК были использованы химические сенсоры. На рисунке 3 показана схема регистрации АФК при помощи химических сенсоров.

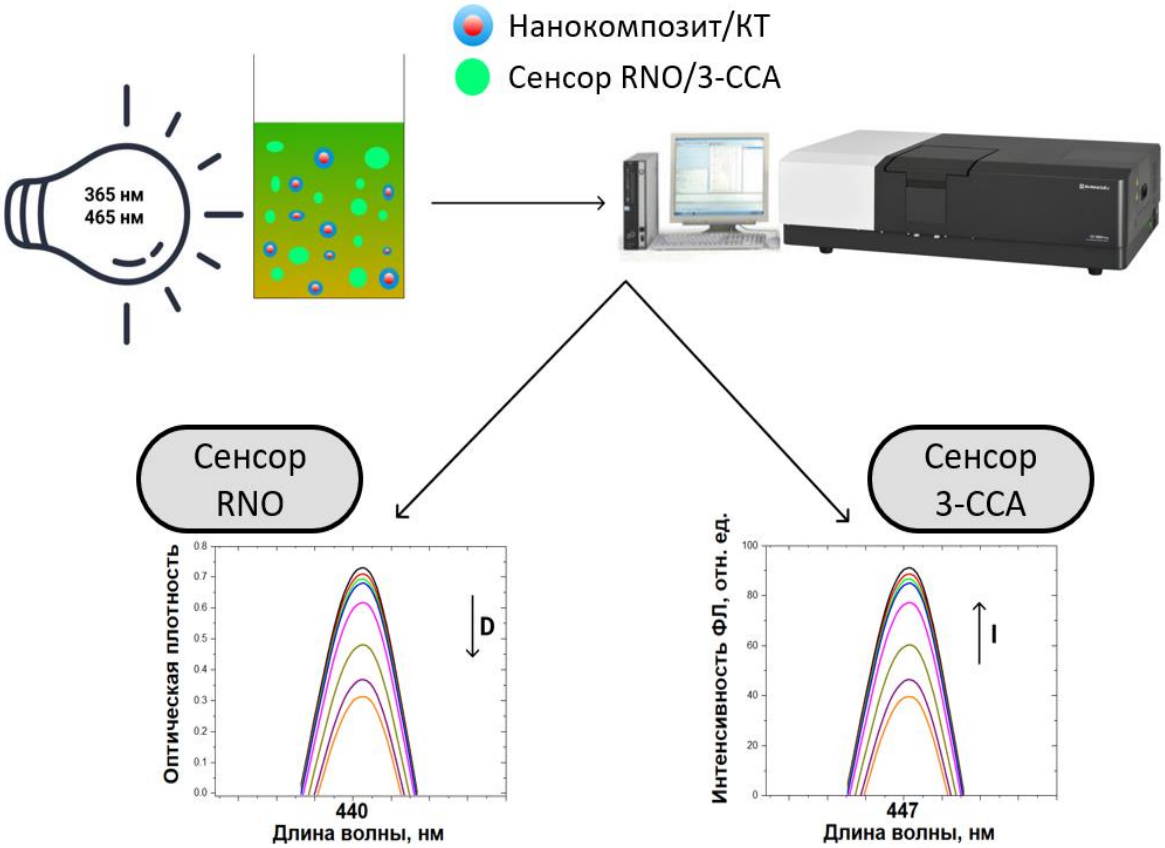


Рис. 3. Схематичное представление регистрации АФК

Хорошо известно, что продуктом взаимодействия сенсора кумарин-3-карбоновой кислоты (3-CCA) и гидроксильного радикала является люминофор, который характеризуется люминесценцией на длине волны 447 нм. Сенсор п-нитрозодиметиланилин (RNO) деградирует при взаимодействии с гидроксильным радикалом или супероксид анионом. Следовательно, в данной работе мы формировали образцы, как смесь сенсора RNO или 3-CCA и водного раствора КТ AIS или нанокомпозитов AIS/TiO_2, воздействовали на образцы излучением УФ (365 нм) или видимого (465 нм) диапазона со средней мощностью 3 мВт и регистрировали спектры поглощения или люминесценции в зависимости от используемого сенсора.

На рисунке 4 представлены зависимости интенсивности люминесценции смеси сенсора 3-CCA с КТ AIS или нанокомпозитами AIS/TiO_2 при воздействии электромагнитным излучением с длиной волны 365 и 465 нм.

Из рисунка 4 следует, что отличная от нуля интенсивность люминесценции на длине волны 447 нм наблюдается только при воздействии на нанокомпозиты AIS/TiO_2 излучение УФ диапазона. Поэтому только в данном случае происходит генерация гидроксильного радикала.

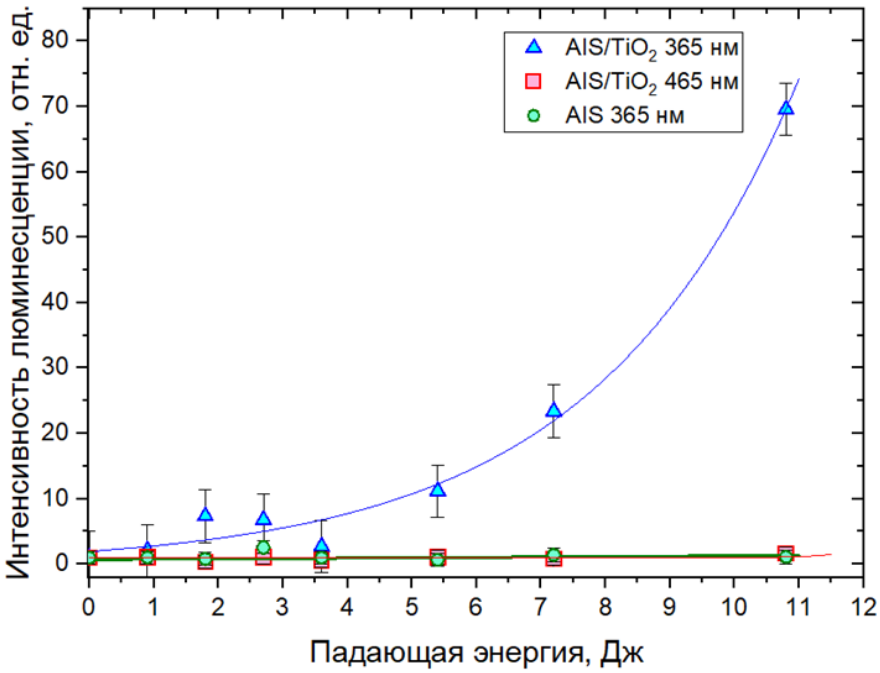
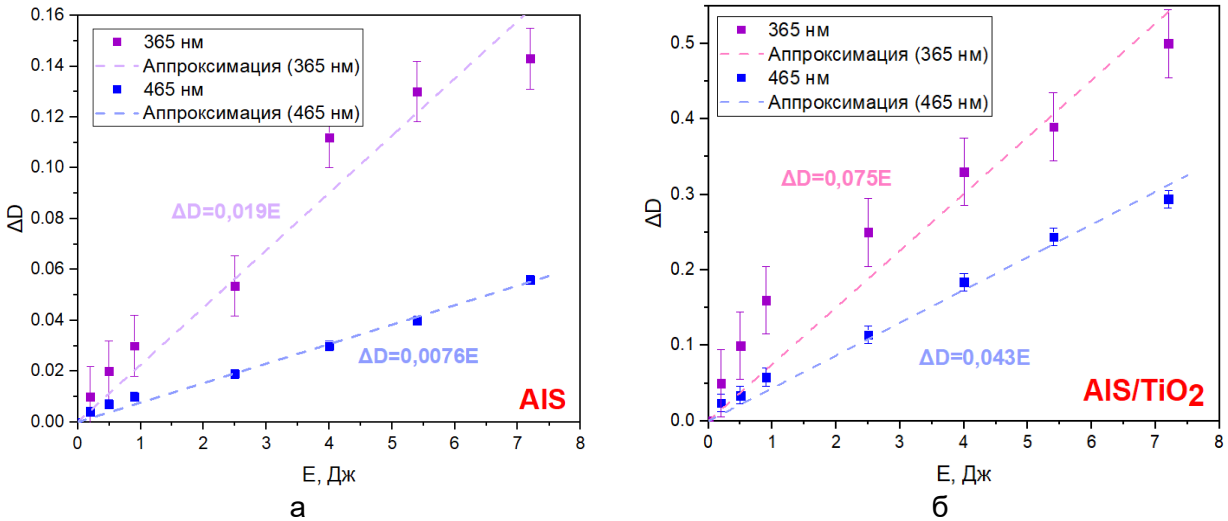


Рис. 4. Зависимости интенсивности люминесценции сенсора 3-CCA на длине волны 447 нм в образце с квантовыми точками AIS и нанокомпозитами AIS/TiO_2 от экспозиции электромагнитного излучения видимого (465 нм) и УФ (365 нм) диапазонов и их аппроксимация, длина волны возбуждения люминесценции 387 нм

На рисунке 5 представлены изменения оптической плотности, которые пропорциональны концентрации АФК, смеси растворов сенсора RNO и нанокомпозитов AIS/TiO_2 или КТ AIS в присутствии и отсутствии воздействия излучением УФ или видимого диапазона для наглядного сопоставления эффективности генерации АФК сформированными структурами.



а б

Рис. 5. Зависимости изменения оптической плотности на длине волны 440 нм при воздействие на (а) КТ AIS и (б) нанокомпозиты AIS/TiO_2 с сенсором RNO излучением УФ и видимого диапазона от падающей на образец энергии и их аппроксимации линейными функциями

Анализ угловых коэффициентов аппроксимирующих прямых показал, что эффективность генерации нанокомпозитами AIS/TiO_2 под действием видимого излучения (465 нм) в 2,2 и 5,65 раз выше, чем генерация АФК квантовыми точками AIS под действием излучения УФ и видимого диапазона, соответственно.

Таким образом, в данной работе были сформированы гибридные структуры $AgInS_2/TiO_2$, средний размер которых равен 12,5 нм, которые демонстрируют повышенную эффективность генерации активных форм кислорода. В дальнейшем планируется исследовать антибактериальную активность синтезированных структур на раковых и бактериальных клетках.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Antimicrobial Resistance: Tackling a crisis for the health and wealth of nations. The Review on Antimicrobial Resistance Chaired by Jim O'Neill. 2014. 20 p.
2. Kobosko S. M., Jara D. H., Kamat P. V. AgInS2–ZnS Quantum Dots: Excited State Interactions with TiO_2 and Photovoltaic Performance // ACS Appl. Mater. Interfaces. 2017. Т. 9. №. 39. С. 33379-33388.
3. Kolesova E. и др. Photoinduced Charge Transfer in Hybrid Structures Based on Titanium Dioxide NPs with Multicomponent QD Exciton Luminescence Decay // J. Phys. Chem. C. 2019. Т. 123. №. 23. С. 14790-14796.
4. Raevskaya A. и др. A Fine Size Selection of Brightly Luminescent Water-Soluble Ag–In–S and Ag–In–S/ZnS Quantum Dots // J. Phys. Chem. C. 2017. Т. 121. №. 16. С. 9032-9042.
5. Lee S. и др. Thin Amorphous TiO2 Shell on CdSe Nanocrystal Quantum Dots Enhances Photocatalysis of Hydrogen Evolution from Water // J. Phys. Chem. C. 2014. Т. 118. №. 41. С. 23627-23634.

Выпускник
Гаврилова Вероника Викторовна
факультет безопасности информационных технологий
Направление подготовки: 10.03.01 – Информационная безопасность
e-mail: 286901@niuitmo.ru

Научный руководитель
Менщиков Александр Алексеевич
к.т.н., доцент
e-mail: menshikov@itmo.ru

УДК 004.056

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ОБНАРУЖЕНИЯ ЛОЖНЫХ НОВОСТЕЙ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ТЕКСТОВ И МУЛЬТИМЕДИА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОЛЛАБОРАТИВНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ НА БАЗЕ БЛОКЧЕЙНА

Современные технологии и популярность интернета способствуют распространению ложных новостей, которые используются для обмана, манипулирования и влияния на общественное мнение во время социально-политических событий. Несмотря на это, существующие системы не могут полностью предотвратить появление фейковых новостей на новостных сайтах и социальных сетях, оценить правдивость информации вручную также затруднительно. Количество ложных новостей растет из года в год, особенно в сферах политики, экономики, науки и социума. Для решения этой проблемы исследователи разрабатывают различные алгоритмы, используя средства машинного и глубокого обучения, однако большинство таких моделей обучаются на англоязычных датасетах и не способны анализировать русскоязычный текст. Таким образом, задача повышения точности алгоритмов и автоматизации определения ложных новостей на русском языке остается актуальной.

В ходе исследования статей [1–5], было обнаружено, что наиболее популярными методами для определения ложных новостей являются модели глубокого обучения. Эти модели могут использовать простые входные данные для получения скрытых представлений из текстовых данных. Самыми распространенными моделями глубокого обучения в нейронных сетях являются сверточная нейронная сеть (CNN) и рекуррентная нейронная сеть (RNN). В результате анализа исследований, была составлена таблица, которая содержит информацию о наиболее успешных методах глубокого обучения для обнаружения ложных новостей. Важно отметить, что все системы использовали англоязычные наборы данных и достигают точности 97%.

Для определения ложных новостей на основе текста и заголовка в данной выпускной квалификационной работе используются алгоритмы, сосредоточенные на лексических или семантических особенностях текстов. Были выбраны семантические характеристики новостей, такие как стиль заголовка, стиль текста и анализ настроения.

Рекомендательная система является эффективным методом определения правильности соотношения между новостью и изображением, показывая пользователю аналогичные изображения, которые заранее были размечены как ложные или правдивые.

Для сбора данных использовались новости с различных сайтов, таких как lenta.ru, insider.ru, meduza.ru, dni.ru и panorama.pub. Ложные новости были размечены по классам: экономические, политические, социальные (в том числе кликбейт) и научные.

Сбор данных был произведен с помощью библиотек BeautifulSoup 4.11.1, Requests 2.28.1 и Urllib3 1.26.13. Собранные данные были лемматизированы с помощью библиотеки. PyMysterm3 и токенезированы.

Таблица. **Результат анализа исследований**

Исследование	Метод	Набор данных	Точность (accuracy)
Deep learning methods for Fake News detection [1]	CNN with one convolutional layer	Kaggle competition	0.9617
	CNN with more convolutional laver		0.9752
DeepNet: An Efficient Neural Network for Fake News Detection using News-User Engagements [2]	News Content and Social Context + DeepNet		0.9520
OPCNN-FAKE: Optimized Convolutional Neural Network for Fake News Detection [3]	OPCNN-FAKE	Dataset from Kaggle (dataset1)	0.9784
Fake News Detection Using Bayesian Inference [4]	EDCM-Bayesian	Bs detector	0.8785
MVAN: Multi-View Attention Networks for Fake News Detection on Social Media [5]	MVAN	Twitter16	0.9365

В ходе работы был создан алгоритм единой сквозной системы для бинарной классификации новостей на правдивые и ложные. Система состоит из лексических признаков и признаков сходства, которые проходят через многослойный перцептрон (MLP) с одним скрытым слоем. Для текстовых данных использовались два простых представления мешка слов (BOW): term frequency (TF) и term frequency inverse document frequency (TF-IDF). Общая структура модели показана на рисунке 1.

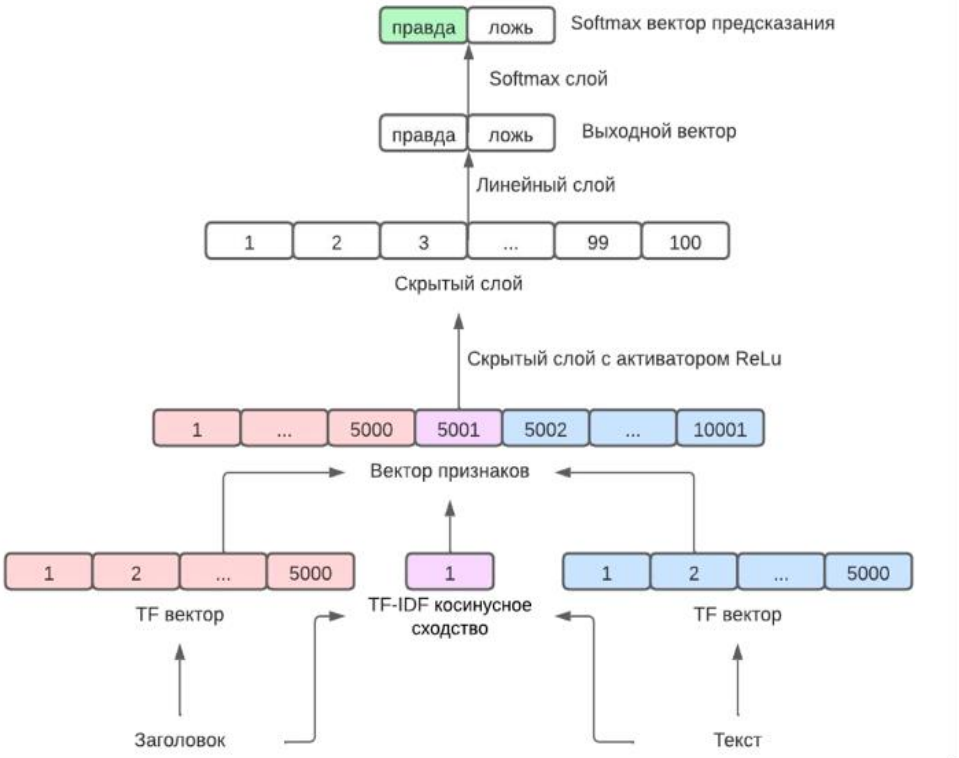


Рис. 1. Схема модели глубокого обучения для бинарной классификации

Для классификации ложных новостей использовалась похожая модель, гиперпараметры которой были подобраны для мультиклассовой классификации. Метки в этом случае соответствовали типам ложных новостей: политические (politics: 0), экономические (economics: 1), социальные и кликбейт (social: 2) и научные (science: 3).

Для поиска правдивых и ложных изображений была разработана система коллаборативной фильтрации, основанная на ResNet50. Рекомендательная система способна определить схожие с данным изображения, которые были предварительно размечены.

На рисунках 2, 3 и 4 продемонстрированы матрицы ошибок моделей глубокого обучения для бинарной и мультиклассовой классификации, а также результаты работы рекомендательной системы.

	TP	TN
FP	528	7
FN	10	526

Рис. 2. Матрица ошибок для модели бинарной классификации

	0	1	2	3
0	100	2	1	31
1	1	71	19	0
2	5	11	107	2
3	26	2	1	106

Рис. 3. Матрица ошибок для модели мультиклассовой классификации

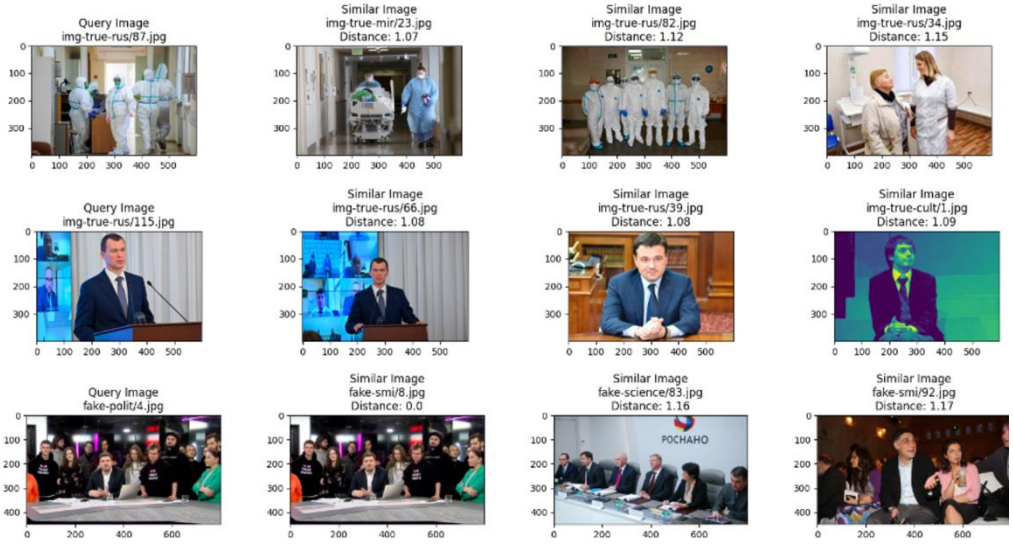


Рис. 4. Результат работы рекомендательной системы

Разработанная система усовершенствована с точки зрения информационной безопасности, чтобы обеспечить сохранность обучающих и результативных данных.

Блокчейн является новым подходом, который находится на стадии исследования и разработки. Свойства блокчейна могут помочь подтверждать правдивость и надежность новостей. Хотя блокчейн не может предотвратить размещение ложных новостей, он может облегчить возможность отслеживания и проверки информации, а также обеспечить анонимность модераторов и целостность данных. Блокчейн гарантирует невозможность изменения данных, что обеспечивает целостность как самих новостей, так и их оценок.

Для реализации этого подхода была предложена платформа на основе блокчейна. Пользователи могут делиться новостным контентом, который проверяется модератором для подтверждения или опровержения. Хэши новостей и их оценки хранятся в цепочке блокчейна. Модераторами являются пользователи с высоким рейтингом, который увеличивается по мере выставления правильных оценок ложной/правдивой новости. Использование smart-contract позволяет исключить возможность влияния третьих лиц на оценку новости, что является основным преимуществом платформы на основе блокчейна перед централизованными системами клиент-сервер. Алгоритм голосования и схема работы платформы представлены на рисунках 5 и 6, соответственно.

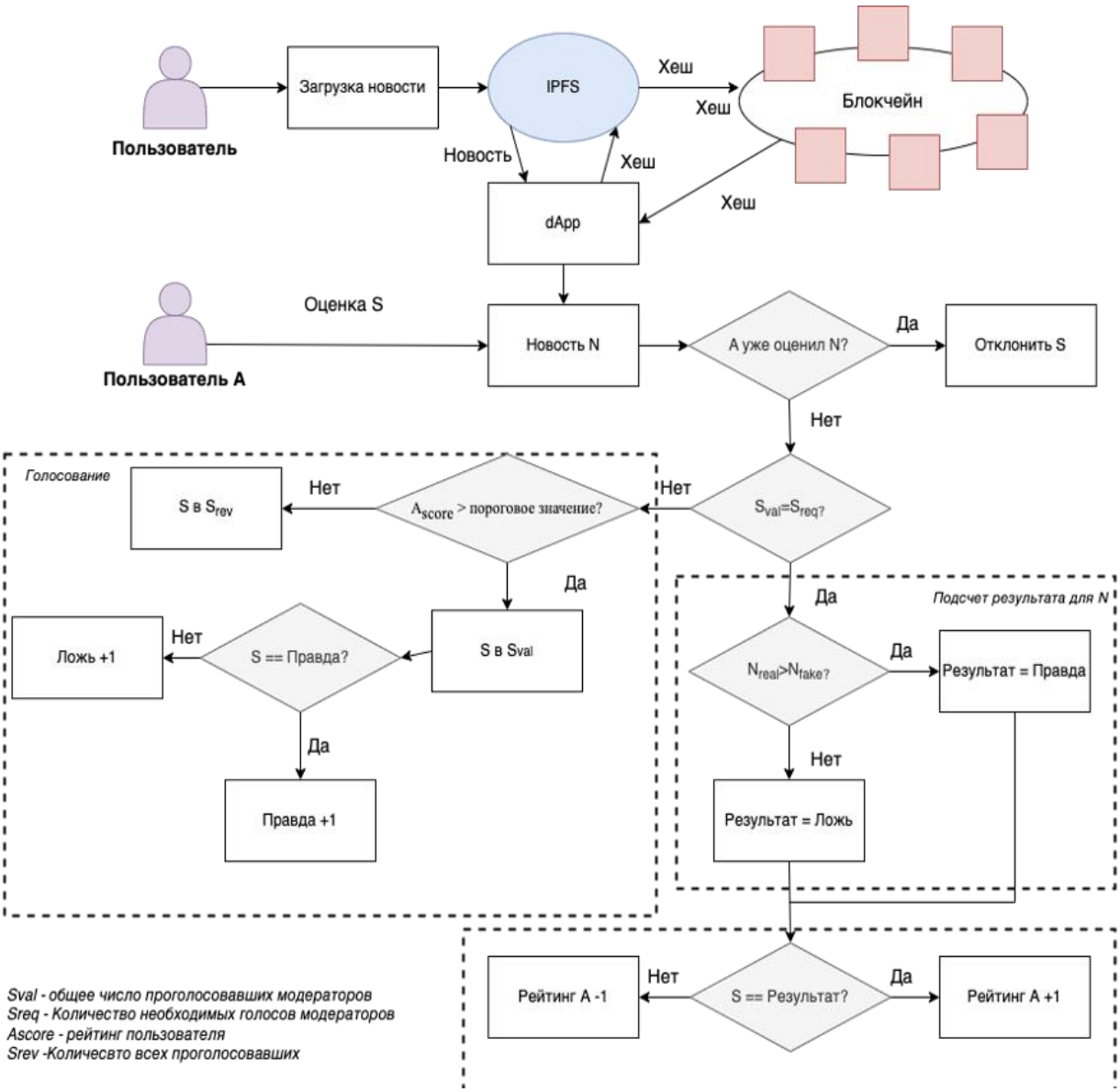


Рис. 5. Алгоритм голосования

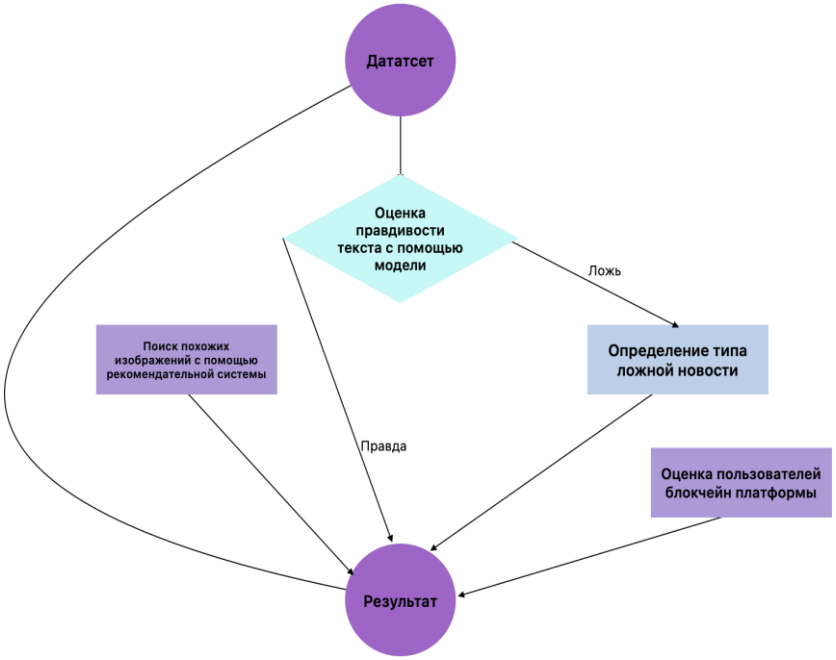


Рис. 6. Схема работы платформы

Предлагается загружать оцененные тексты новостей с меткой оценки в тренировочный набор данных для дальнейшего улучшения точности модели. Это позволит модели классифицировать повторные ложные или правдивые новости со стороны модели.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Krešňáková V.M., Sarnovský M., Butka P. Deep learning methods for Fake News detection // IEEE 19th International Symposium on Computational Intelligence and Informatics and 7th IEEE International Conference on Recent Achievements in Mechatronics, Automation, Computer Sciences and Robotics (CINTI-MACRo). 2019. Pp. 000143-000148. DOI: 10.1109/CINTI-MACRo49179.2019.9105317.
2. Kaliyar R.K., Kumar P., Kumar M., Narkhede M., Namboodiri S., Mishra S. DeepNet: An Efficient Neural Network for Fake News Detection using News-User Engagements // 5th International Conference on Computing, Communication and Security (ICCCS). 2020. Pp. 1-6. DOI: 10.1109/ICCCS49678.2020.9277353.
3. Saleh H., Alharbi A., Alsamhi S.H. OPCNN-FAKE: Optimized Convolutional Neural Network for Fake News Detection // IEEE Access. 2021. Vol. 9. Pp. 129471-129489. DOI: 10.1109/ACCESS.2021.3112806.
4. Najar F., Zamzami N., Bouguila N. Fake News Detection Using Bayesian Inference // IEEE 20th International Conference on Information Reuse and Integration for Data Science (IRI). 2019. Pp. 389-394. DOI: 10.1109/IRI.2019.00066.
5. Ni S., Li J., Kao H.-Y. MVAN: Multi-View Attention Networks for Fake News Detection on Social Media // IEEE Access. 2021. Vol. 9. Pp. 106907-106917. DOI: 10.1109/ACCESS.2021.3100245.

Выпускник
Глебов Никита Вячеславович
физический факультет
Направление подготовки: 16.03.01 – Техническая физика
e-mail: nikita.glebov@metalab.ifmo.ru

Научный руководитель
Макаров Сергей Владимирович
д.ф.-м. н., г. н. с.
e-mail: s.makarov@metalab.ifmo.ru

УДК 535.015

УПРАВЛЕНИЕ ДИСПЕРСИЕЙ ЭКСИТОН-ПОЛЯРИТОНОВ В ФОТОННО-КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ВОЛНОВОДАХ, ИЗГОТОВЛЕННЫХ МЕТОДОМ АТОМНО-СИЛОВОЙ ЛИТОГРАФИИ ПЛЕНОК КВАЗИДВУМЕРНОГО ПЕРОВСКИТА (PEA)2PBI4

Одной из наиболее изученных и широко используемых материальных платформ для экситон-поляритонных систем является GaAs квантовая яма, встроенная в вертикальный брэгговский резонатор. Из-за низкой энергии связи экситонов работа этих поляритонных систем ограничена криогенными температурами. Температурные ограничения могут быть преодолены с помощью широко зонных полупроводниковых квантовых ям, таких как ZnO или GaN, но они по-прежнему требуют трудоемких и дорогостоящих методов изготовления, таких как эпитаксиальный рост. Монослойные дихалькогениды переходных металлов стали перспективными материалами для создания поляритонных систем при комнатной температуре, хотя их потенциальное применение все еще ограничено технологической масштабируемостью. В настоящее время галогенидные перовскиты представляют собой перспективную платформу для экситон-поляритонных систем из-за их простого и экономически эффективного изготовления, а также их выдающихся экситонных свойств, позволяющих реализовать экситон-поляритонные системы при комнатной температуре [1]. Более того, квази-двумерные перовскиты с огромной энергией связи экситонов в диапазоне 190–400 мэВ и исключительно сильным экситонным откликом экспериментально продемонстрировали рекордно высокое значение расщепления Раби среди перовскитов, превышающее 200 мэВ при комнатной температуре [2] и поэтому представляют собой один из перспективных материалов для поляритонных систем.

Наиболее часто используемым фотонным резонатором в поляритонных системах является вертикальный брэгговский резонатор, поскольку он обеспечивает все необходимые требования, такие как низкие оптические потери, контролируемое время жизни и высокое усиление поля. Экситон-поляритоны в перовскитах, уже были продемонстрированы в брэгговских резонаторах [2]. Тем не менее, такие структуры являются громоздкими, т. е. имеют большие вертикальные размеры, а также требуют сложных и дорогостоящих методов изготовления, что сильно затрудняет реальное применение. Между тем, совместимые с конструкциями на чипе планарные фотонные резонаторы, такие как метаповерхности или фотонно-кристаллические волноводы (ФКВ), могут демонстрировать сравнимые характеристики и недавно были использованы в экситон-поляритонных системах с различными материалами [3]. Более того, защищенные симметрией связанные состояния в континууме (BICs), возникающие в метаповерхностях, при сильной связи с экситонным резонансом, позволяют даже реализовать поляритонный бозе-эйнштейновский конденсат [4]. Хотя планарные фотонные резонаторы на основе перовскитов являются более подходящими для будущих приложений, до сих пор не хватает эффективных и недорогих методов изготовления резонаторов.

Ранее уже было продемонстрировано несколько методов наноструктурирования перовскитов, однако все они имеют недостатки и ограничения. Деградация материала может быть вызвана во время литографии сфокусированным ионным пучком и электронным лучом. Прямая лазерная запись позволяет избежать этой проблемы, но имеет ограниченное латеральное разрешение выше 200 нм. Метод наноимпринта сохраняет разрешение ионной (или электронно-лучевой) литографии и не вызывает деградации, но геометрия штампа не может быть изменена после его изготовления. С этой точки зрения, атомно-силовая литография литография (АФЛ) (рис. 1) представляется одним из наиболее универсальных и удобных методов наноструктурирования планарной экситон-поляритонной системы перовскитов, поскольку механическая резка перовскитов не вызывает деградации материала, наконечник атомно-силовой микроскопии (АСМ) может иметь латеральные размеры менее 10 нм, а высокоточные пьезоэлементы АФЛ позволяют динамически настраивать различные параметры получаемой структуры.

Изготовленные ФКВ имеют поперечный размер 15x30 мкм^2. Варьируя координаты перемещения кантилевера, были изготовлены ФКВ с периодами 320, 340, 360, 380 нм и модуляцией около 20 нм. Изменяя силу давления в диапазоне 9–24 мкН, мы также реализуем структуры с различными модуляциями 16, 24, 40, 49 нм и периодом 340 нм. Ожидается, что изготовленные структуры будут иметь разные спектральные положения утекающих мод, а также различную связь мод со свободным пространством, которую мы изучаем далее.

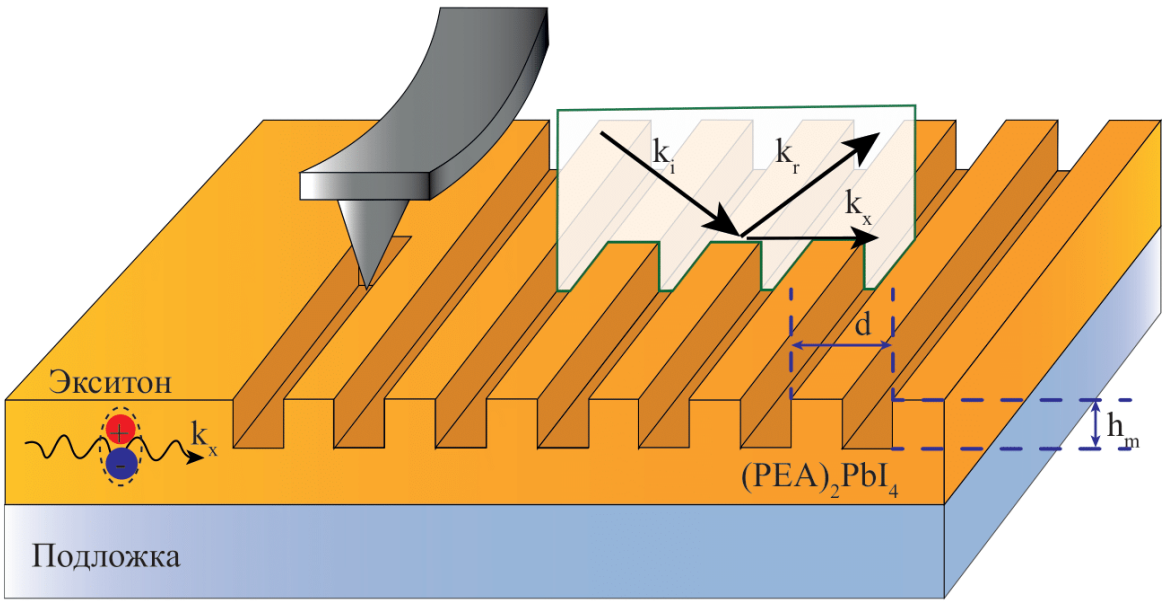


Рис. 1. Эскиз атомно-силовой литографии тонкой пленки $(PEA)_2PbI_4$. АСМ кантилевер с монокристаллическим алмазным наконечником оказывает постоянное давление на пленку и движется по высокоточной траектории для создания периодической структуры фотонно-кристаллического волновода (ФКВ). На вставке схематически показаны падающий ($\mathbf{k}_i$) и отраженный ($\mathbf{k}_r$) волновые векторы, а также их компонента в плоскости ($\mathbf{k}_x$)

Измерены спектры отражения и фотолюминесценции с угловым разрешением для каждой из изготовленных ФКВ, показанных на рисунке 2. Измеренные данные показывают ярко выраженные вытекающие моды в спектральной области ниже экситонного резонанса около 2,37 эВ. Все исследованные образцы демонстрируют изгиб дисперсии мод, асимптотически приближающийся к уровню экситона в высокочастотной области, что свидетельствует о признаках режима сильной связи света с веществом [5].

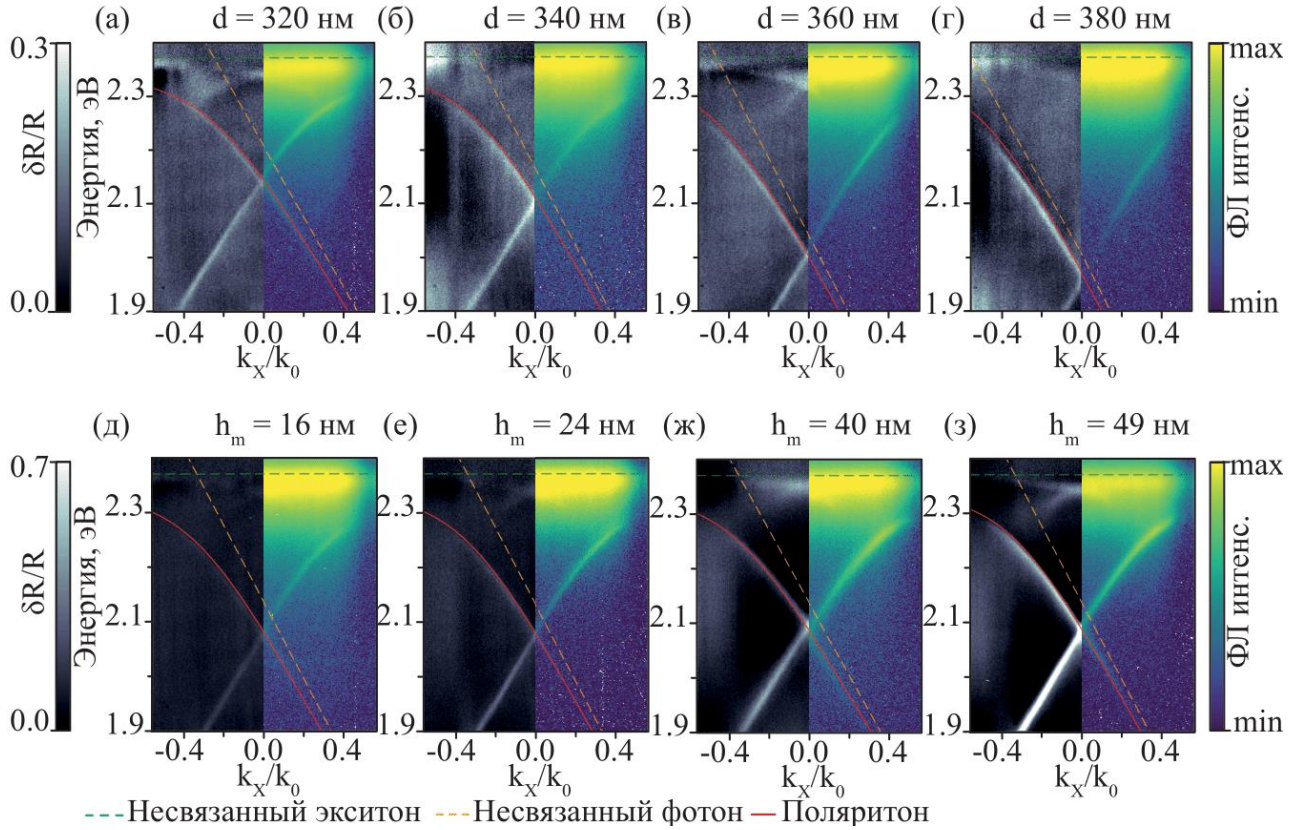


Рис. 2. Спектры отражения (слева) и фотолюминесценции (справа) с угловым разрешением исследуемых ФКВ на основе $(PEA)_2PbI_4$ с периодами 320, 340, 360, 380 нм, соответственно, и модуляцией 20 нм. (д-з) Те же спектральные карты изготовленных ФКВ с периодом 340 нм и модуляцией 16, 24, 40, 49 нм, соответственно. Пунктирные желтые линии соответствуют оцененным дисперсиям несвязанных мод фотонных резонаторов. Пунктирные зеленые линии соответствуют несвязанным экситонным резонансам. Красные сплошные линии представляют поляритонные моды, согласованные с моделью двух связанных осцилляторов

Для проверки режима сильной связи света с веществом мы извлекаем моды из экспериментальных данных. Поскольку верхняя поляритонная ветвь (UPB) выше экситонного резонанса не существует из-за сильного безызлучательного поглощения, единственный способ подтвердить режим сильной связи света и материи — это подогнать извлеченную моду к нижней поляритонной ветви (LPB), оцениваемой по модели двухсвязного осциллятора [5]. Оцененные значения ширин линий несвязанных фотона и экситона не превышают 23 мэВ и 18 мэВ, соответственно. На рисунке 3, д, е показаны оцененные значения расщепления Раби для каждого из ФКВ, которые превышают 230 мэВ для всех модуляций ФКВ. Полученные значения удовлетворяют критериям режима сильной световой материи $(g > |\gamma_C - \gamma_X|; \Omega_R > |\gamma_C + \gamma_X|)$ [5] во всех исследованных образцах.

Дисперсия вытекающих мод 1D ФКВ определяется волноводными модами, свернутыми в сторону первой зоны Бриллюэна с краями $k_x^{BZ} = \pm\pi/d$, где d — период ФКВ. Для волновода выбранной толщины при изменении периода ФКВ пропорционально смещается спектральное положение свернутых несвязанных вытекающих мод, а, следовательно, и поляритонных ветвей. На самом деле разницу в спектральном положении поляритонных мод можно заметить на рисунке 2, а-г. Чтобы выявить зависимость спектрального положения поляритонной моды от периода, мы выделяем спектры отражения при нормальном падении $k_x/k_0 = 0$ (рис. 3, а). Частоты мод оцениваются путем подбора резонансной функции Фано [5] и, как и ожидалось, показывают монотонное уменьшение с увеличением периода ФКВ (рис. 3, в).

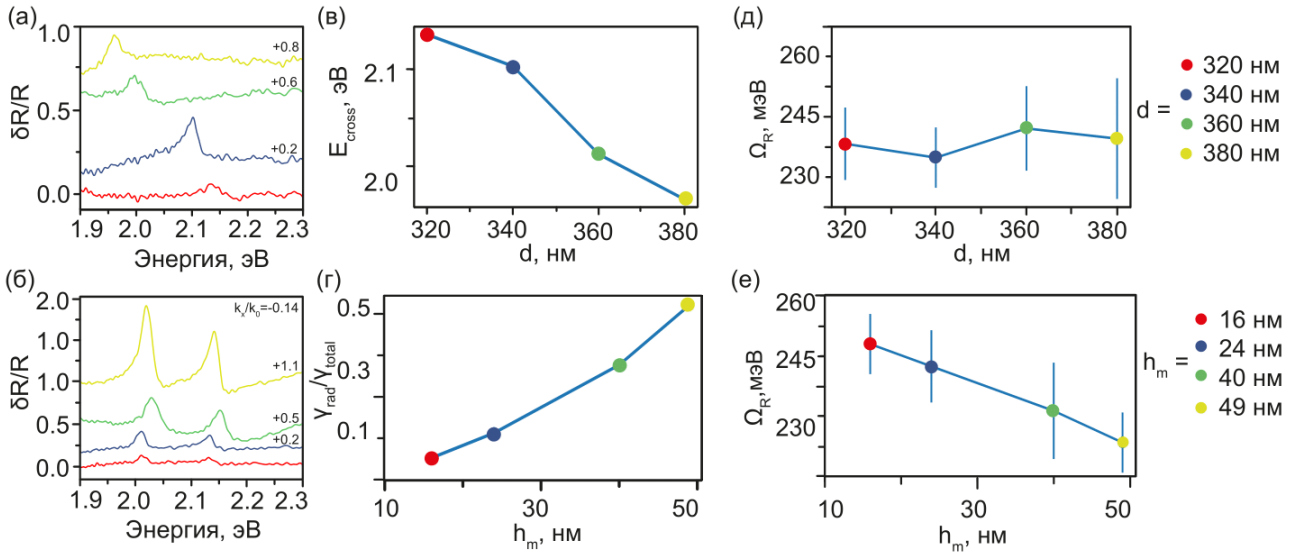


Рис. 3. а) Спектры отражения при $k_x/k_0 = 0$ для соответствующих ФКВ. Они смещены по вертикальной оси на произвольные значения для лучшего визуального восприятия; б) Спектры дифференциального отражения при $k_x/k_0 = 0.14$ для изготовленных ФКВ. Спектры сдвинуты по вертикальной оси на заданные значения для лучшего визуального восприятия; в) Спектральное положение точки пересечения встречных поляритонных мод в зависимости от периода ФКВ; г) Отношение радиационных и полных потерь в зависимости от модуляции ФКВ. На графиках (в) и (г) планки погрешностей не превышают размера маркеров (д), (е) Раби расщепление в зависимости от периода и модуляции ФКВ, соответственно, с планками погрешностей

Величина расщепления Раби зависит от коэффициента связи и ширины линии несвязанных мод экситона и фотона резонатора. Поскольку коэффициент связи зависит от локализации моды резонатора и силы осциллятора, он не должен сильно меняться в зависимости от периода ФКВ или других геометрических параметров. Это подтвердили результаты подгонки всех экспериментальных данных. В свою очередь ширина несвязанной экситонной линии является свойством материала и, следовательно, не должна зависеть от конструкции ФКВ, что мы также подтвердили при анализе данных. Таким образом, единственным способом настройки расщепления Раби является изменение радиационной части потерь утекающих мод, что диктуется модуляцией ФКВ. Таким образом, при вариации периода ФКВ мы не ожидаем и не наблюдаем ярко выраженной зависимости расчетных значений раби-расщепления (рис. 3, д).

Изменение модуляции с постоянным периодом обеспечивает изменение контраста дифференциального отражения экспериментально измеренных поляритонных мод, как показано на рисунке 2, д-з и рисунке 3, б. Более высокая модуляция вызывает более сильную связь утекающей моды со свободным пространством или, другими словами, увеличивает радиационные потери моды. Чтобы выявить зависимость, мы оцениваем отношение $\gamma_{rad}/\gamma_{total}$, подбирая амплитуду и параметр асимметрии резонанса Фано для различных модуляций при $k_x/k_0 = 0{,}14$, и продемонстрированно это на рисунке 3, г. Отметим, что безызлучательные потери должны быть практически постоянными для каждого из ФКВ, поскольку они в основном определяются дефектными состояниями материала и экситонным поглощением. Таким образом, общие оптические потери растут с увеличением модуляции ФКВ, что приводит к умеренному уменьшению величины раби-расщепления (рис. 3, е). Таким образом, прикладывая различные силы к кантилеверу в процессе атомно-силовой литографии, можно управлять контрастом мод и величиной расщепления Раби планарных экситон-поляритонных утекающих модах ФКВ.

Таким образом, в этой работе разработан и продемонстрирован метод атомно-силовой литографии для реализации планарных экситон-поляритонных систем на основе

квазидвумерного перовскита $(PEA)_2PbI_4$ при комнатной температуре. Цель работы достигнута путем получения следующих результатов:

- синтезированы высококачественные пленки квазидвумерного перовскита $(PEA)_2PbI_4$,
- изготовлены фотонно-кристаллические волноводы на основе синтезированных пленок и охарактеризованы с помощью АСМ и СЭМ,
- измерены спектры отражения и фотолюминесценции с угловым разрешением изготовленных структур,
- подтверждена сильная связь света и вещества во всех изготовленных структурах при комнатной температуре,
- продемонстрирована возможность управления спектральным положением и контрастностью поляритонных мод путем варьирования геометрических параметров фотонно-кристаллических волноводов.

Изготовленные ФКВ поддерживают долгоживущие поляритонные моды с Q-фактором до 100. Благодаря гибкости метода АФЛ можно варьировать модуляцию структур с точностью до нескольких десятков нанометров. Период ФКВ контролируется с нанометровой точностью. Ширина траншей составляет десятки нанометров. Таким образом, мы добились полного контроля спектрального положения дисперсии, оптических радиационных потерь и расщепления Раби экситон-поляритонных состояний в планарном фотонном резонаторе на основе $(PEA)_2PbI_4$

Отметим, что продемонстрированный метод может быть применен для других галогенидных перовскитов и для изготовления других планарных фотонных структур, включая метаповерхности и ФКВ. Наша работа показывает доступный для исследовательских целей и эффективный по времени метод изготовления планарных экситон-поляритонных систем высокого оптического качества на основе квазидвумерной пленки перовскита, что очень востребовано для реализации неравновесной экситон-поляритонной конденсации в перовскитных метаповерхностях и оптических нелинейных и активных поляритонных устройств на чипе.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Su R. et al. Perovskite semiconductors for room-temperature exciton-polaritonics //Nature Materials. 2021. Т. 20. №. 10. С. 1315-1324.
2. Wang J. et al. Room temperature coherently coupled exciton–polaritons in two-dimensional organic–inorganic perovskite //ACS nano. 2018. Т. 12. №. 8. С. 8382-8389.
3. Masharin M. A. et al. Polaron-enhanced polariton nonlinearity in lead halide perovskites //Nano Letters. 2022. Т. 22. №. 22. С. 9092-9099.
4. Ardizzone V. et al. Polariton Bose–Einstein condensate from a bound state in the continuum //Nature. 2022. Т. 605. №. 7910. С. 447-452.
5. Glebov N., Masharin M., Borodin B., Alekseev P., Benimetskiy F., Makarov S., Samusev A. Mechanical scanning probe lithography of perovskites for fabrication of high-Q planar polaritonic cavities // Appl. Phys. Lett. - 2023. Т. 122 (14). №. 141103.

Выпускник
Каратецкая Мария Юрьевна
факультет инфокоммуникационных технологий
Направление подготовки: 09.03.03 – Прикладная информатика
e-mail: marysadness160@gmail.com

Научный руководитель
Береснев Артем Дмитриевич
старший преподаватель
e-mail: artem.beresnev@itmo.ru

УДК 004.62

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ИНТЕРФЕЙСА И РАЗРАБОТКА МОДУЛЯ ДЛЯ МЕДИЦИНСКОЙ СИСТЕМЫ АНАЛИЗА СТАТИСТИЧЕСКИХ МЕДИЦИНСКИХ ДАННЫХ

Целью проекта является создание удобного сервиса по работе с большим объемом конфиденциальных медицинских данных по онкологии, приходящих в НМИЦ им. Петрова из других государственных медицинских учреждений Северо-Западного региона по профилю онкология. Приложение предназначено в первую очередь для сотрудников НМИЦ им. Н.Н. Петрова отдела по работе с другими регионами Северо-западного округа, который состоит из 11 регионов. В дальнейшем планируется расширить использование данным приложением на другие региональные медицинские учреждения. Программа должна предоставлять пользователю, исходя из его ролевой модели, необходимый функционал: загружать данные в базу данных, проверять загруженные данные, получать различные отчеты, анализировать маршруты пациентов между различными медицинскими учреждениями (МУ). Все медицинские учреждения данного округа предоставляют данные о всех зарегистрированных онкологических случаях и их прогрессе, а также данные о самих МУ, на основе полученных данных медицинский центр планирует проводить анализ и различные выборки. Ниже будет представлен список документов и литературы, на которые опиралась команда проекта при создании информационной системы.

Документом для изучения порядка построения медицинских данных стал Приказ ФФОМС от 07.04.2011 N 79 (ред. от 15.01.2020) "Об утверждении Общих принципов построения и функционирования информационных систем и порядка информационного взаимодействия в сфере обязательного медицинского страхования" [1]. В нем описываются какие типы документов используются в медицинских государственных учреждения – классификаторы, реестры счетов, перечни ошибок, справочники. Также в нем описывается порядок взаимодействия всех участников процесса при обращении какого-либо пациента в медицинское учреждение – Федеральный фонд обязательного медицинского страхования, территориальные фонды обязательного медицинского страхования, страховые медицинские организации, медицинские организации; требования к ведению и содержанию документации – полисы ОМС, сведения о медицинской помощи, взаимодействие между медицинскими организациями и др. Есть два основных вида получаемых данных – популяционный раковый регистр (ПРР) и реестр счетов. ПРР включает в информацию о опухолевых новообразованиях среди популяции на определенной территории, например, данные о диагнозе, о лечении онкологического заболевания, о проведенных операциях, о врачах и т.п. Реестр счетов содержит в себе информацию об оказанных медицинских услугах (ключевым значением в этих данных является номер полиса ОМС пациента). Есть два вида реестра счетов – CT*-LCT*, которые содержат файлы обычного реестра услуг (CT* – сам файл реестра услуг, LCT* – файл персональных данных к этому реестру), TT*- LTT*, которые содержат файлы реестров по оказанной высокотехнологичной помощи (TT* – сам файл реестра услуг, TT* – файл персональных данных к этому реестру). Файлы реестров счетов должны быть парными, без

этого они не несут никакой полезной информации. Следующий документ, который является важной частью системы – форма федерального статистического наблюдения N 30 "Сведения о медицинской организации", которая содержит информацию о действующих медицинских учреждениях, которую предоставляют все типы медицинских учреждение ежегодно в соответствие с приказом Росстата от 04.09.2015 N 412 "Об утверждении статистического инструментария для организации Министерством здравоохранения Российской Федерации федерального статистического наблюдения в сфере здравоохранения" [2].

Основной идеей этого проекта является модернизация процессов работы НМИЦ им. Н.Н. Петрова с медицинскими учреждениями Северо-Западного округа. Минимальный функционал раньше выполнялся вручную сотрудниками - загрузка XML файлов в базу данных и проведение анализов данных вручную, что требует большого количества ресурсов и несет с собой множество ошибок из-за человеческого фактора. Например, в базе данных встречались пустые таблицы, дублирующиеся строки. Поэтому поступил запрос на автоматизацию и улучшение данных процессов.

Клиентская часть должна быть реализована в виде веб-приложения, запускаемого в браузере, и представлена в нескольких разделов, отвечающих за определенную функцию. Учетную запись пользователя создает только администратор и передает пользователю по сторонним каналам данные для входа. Доступ к приложению пользователь может получить только после успешной авторизации. После общения с заказчиком был сформирован следующий список функций будущего приложения:

- загрузка файлы реестров счетов формата XML-таблиц и ПРР (Firebird) в базу данных PostgreSQL и получение отчета о загрузке;
- составление наборов правил и их применение к файлам реестров счетов для проверки корректности данных, получение отчета о проверке данных и отметка невалидных данных в базе данных;
- составление отчетов по различным параметрам – обеспеченность лекарствами и оборудованием медицинскими учреждениями;
- просмотр истории проверок данных и составления отчетов;
- авторизация пользователя и изменение профиля пользователя;
- создание пользователей с различными уровнями доступа;
- просмотр и обновление справочников;
- просмотр общей информации по загрузке файлов (дашборд).

Анализ данных – определение распределения услуг между медицинскими учреждениями и определение перемещения пациентов между медицинскими учреждениями.

Была определена ролевая модель – были выделены три типа пользователей:

1. **Обычный пользователь** – это сотрудник регионального медицинского учреждения. Он может только загружать и проверять данные своего региона, он не имеет доступа к другим данным.
2. **Супервизор** – сотрудник НМИЦ им. Петрова. Он может использовать весь функционал приложения (за исключением управления пользователями).
3. **Администратор** – супервизор с функцией управления пользователя. Он может создавать, изменять и удалять пользователей. Для создания пользователя необходимо указать ФИО, медицинское учреждение, должность, логин и пароль.

Для описания поведения системы на уровне пользователей использована UML-диаграмма вариантов использования. На рисунке 1 показана диаграмма использования, на которой четко видно распределение ролей по возможностям работы с приложением, а также общие возможности в приложении.

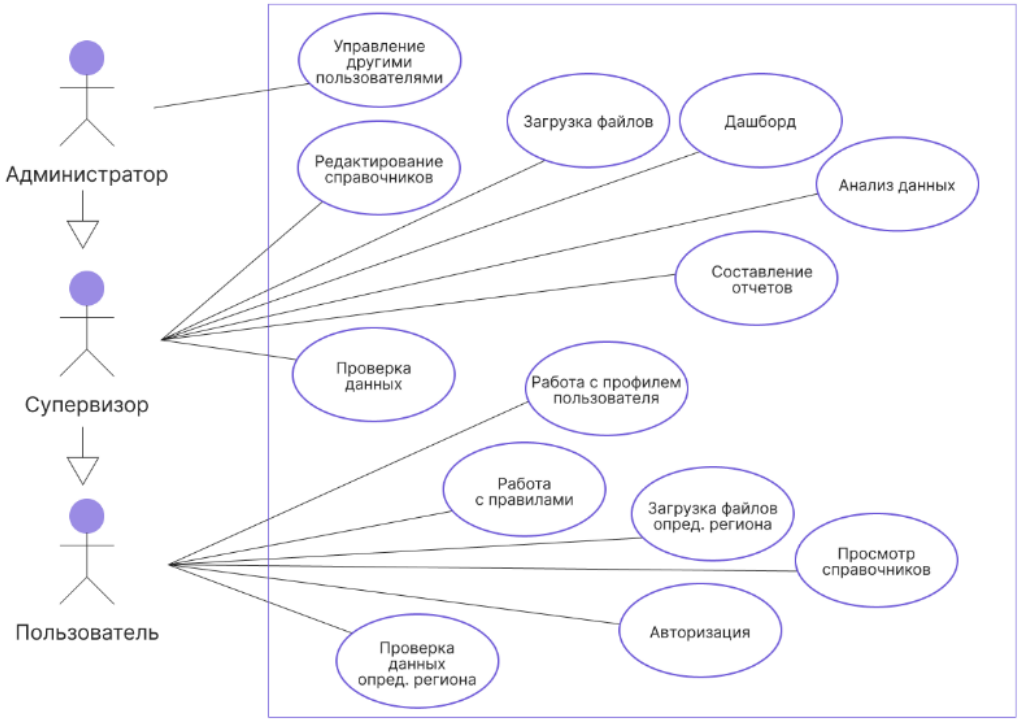


Рис. 1. Диаграмма вариантов использования

Была построена карта приложения (рис. 2), которая отражает наличие всех страниц. На ней четко видна иерархия всех разделов, которая используется в приложении. В разделе История проверок и отчетов будет представлена информация о проведенных проверках и составленных отчетов с возможность скачать отчет. На карте отмечены те разделы, которые пока только находятся в активной разработке (они отмечены бледными областями). Подраздел Неоптимальное распределение услуг наиболее сложный среди представленных в разделе Анализ данных, так как в нем будут использоваться несколько алгоритмов и данных, полученные по результатам выполнения программ из предыдущих подразделов (Перемещение пациентов и Распределение услуг). Составление отчетов (и соответственно просмотр истории отчетов) также находится в активной разработке. В данном разделе будет представлена резюмирующая информация по различным параметрам (обеспеченность лекарствами медицинских учреждений, обеспеченность медицинским оборудованием медицинских учреждений и т.п.).

Значительной частью работы стало составление подробных требований к приложению – как со стороны пользователя, так и со стороны функциональности. Заказчик не имел подобных навыков, поэтому на встречах с заказчиком команда проекта составляла требования к приложению. По требованиям были проработаны основные сценарии использования приложения пользователем и описаны в виде use case.

После проведения исследований и определения сценариев пользователя началась работа над разработкой дизайна интерфейсов [3]. На первом этапе работы были спроектированы экраны с минимальной детализацией для основных экранов (загрузка файлов, наборы правил, настройки и т.п.) – wireframes. Это позволило обсудить с командой общую структуру основных экранов, и внести необходимы изменения в макеты по замечаниям и комментариям. Наброски были достаточно детализированными, это помогло определить дополнительные компоненты, которые в дальнейшем будут использоваться во всем приложении – карточки (для наборов правил, истории проверок и отчетов, справочники), загрузка файлов, пагинация, из чего постепенно вырисовывался общий стиль приложения.

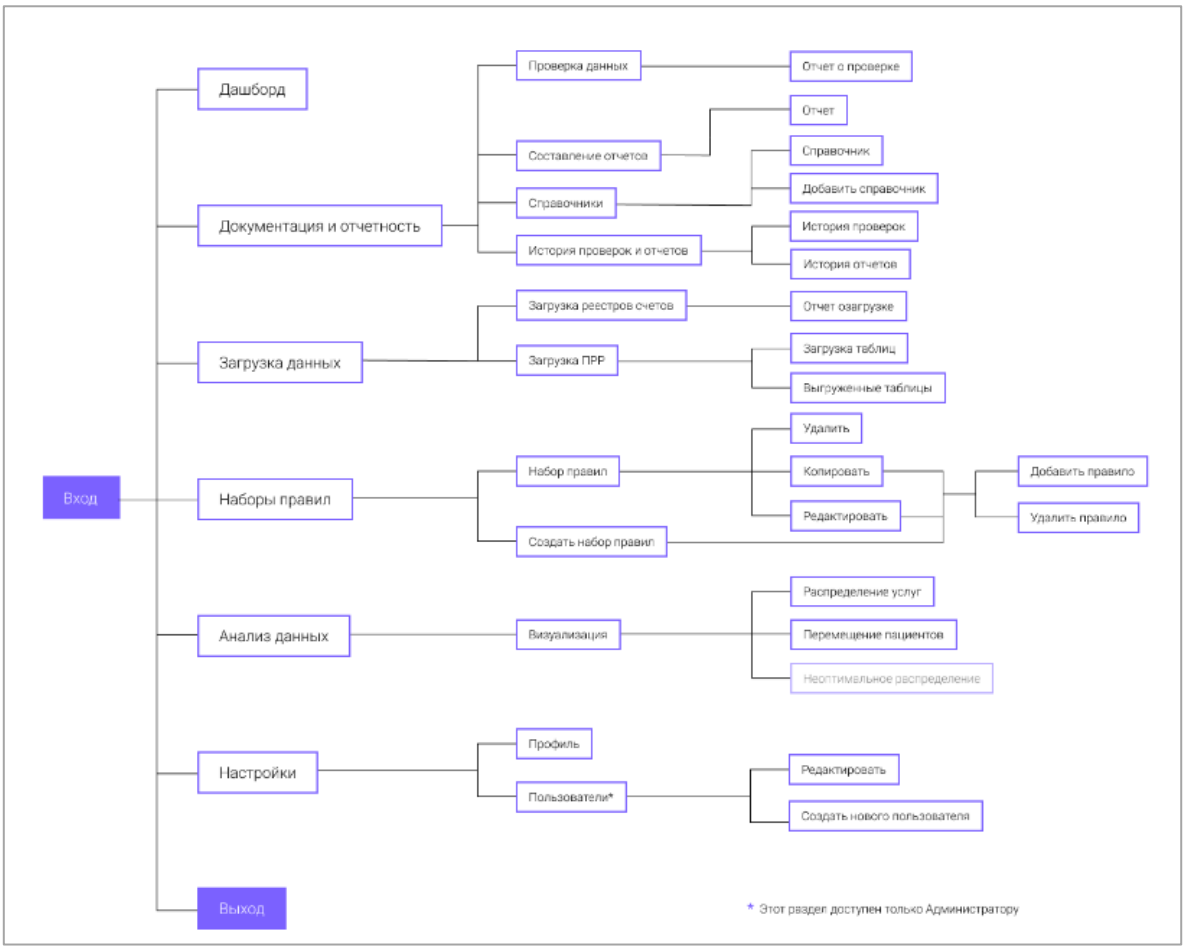


Рис. 2. Карта сайта

Был создан стиль приложения – цветовая палитра, гарнитура, компоненты. Фронтенд-разработчики имеют хороший опыт с фреймворком React и библиотекой Material UI, поэтому для упрощения процесса разработки в дизайне были использованы компоненты из этой библиотеки.

На третьем этапе были детализированы макеты с использованием компонентов системы. Для демонстрации будет показана только часть созданных макетов, в действительности, их было создано около 30 штук. На рисунке 3 представлена страница дашборда (в ОМС информация может быть представлена в видах таблицы и графика), на рисунке 4 – страница загрузки файлов реестра счетов с выбранными для загрузки парами файлов, на рисунке 5 – модуль Распределение услуг между ЛПУ в анализе данных.

Рис. 3. Дашборд

В рамках данной работы была осуществлена разработана клиентская часть модуля лечебно-профилактического учреждения (ЛПУ), состоящая из карточки с краткой информацией (адрес, главный врач, контактная информация) и страница (с информацией с карточки и распределении зарегистрированных пациентов по периодам с 2018 года).

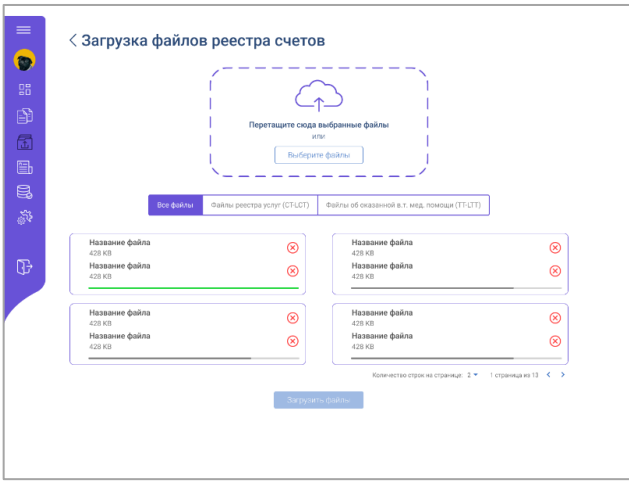


Рис. 4. Загрузка файлов реестра счетов

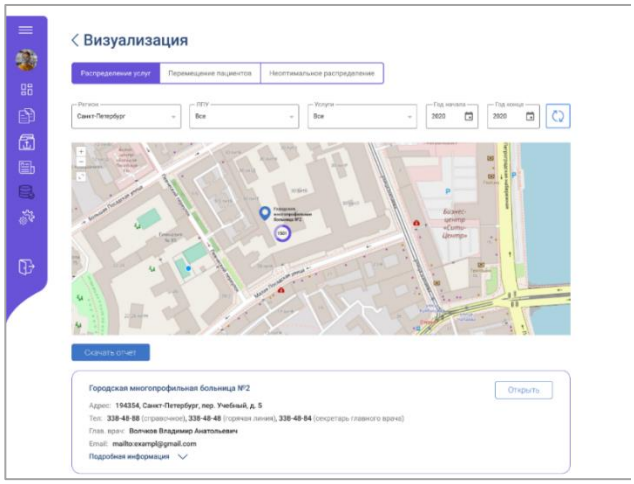


Рис. 5. Распределение услуг в разделе Визуализация

Архитектура фронтед-части приложения написана на фреймворке React.js [5] однонаправленная, начиная с верхнего уровня она является такой: App, Pages, Widjets, Feature, Entities, Shared. Модули не могут влиять на верхние уровни, но могут на нижние. App помогает выстраивать единую точку входа, здесь подключаются api, store, routing, стили. В Entities входят основные бизнес-сущности, такие как пользователь, загрузка файлов, наборы правил. В Pages хранятся шаблоны страниц. Feature отвечает за ui-элементы, контейнеры и хуки, которые не подходят для Enities. Widgets содержит контейнеры обертки страниц. В Shared хранятся все иконки, вспомогательные функции, используемые для работы с массивом и прочее, а также глобальные типы и хуки.

Была спроектирована UML диаграмма последовательности (рис. 6), на которой представлено взаимодействие бекенд, фронтенд и базы данных в данном модуле. После этого был спроектирован модуль ЛПУ и подключен к созданному бекенд-разработчиком API. На рисунке 7 представлен пример полностью работающей страницы ЛПУ.

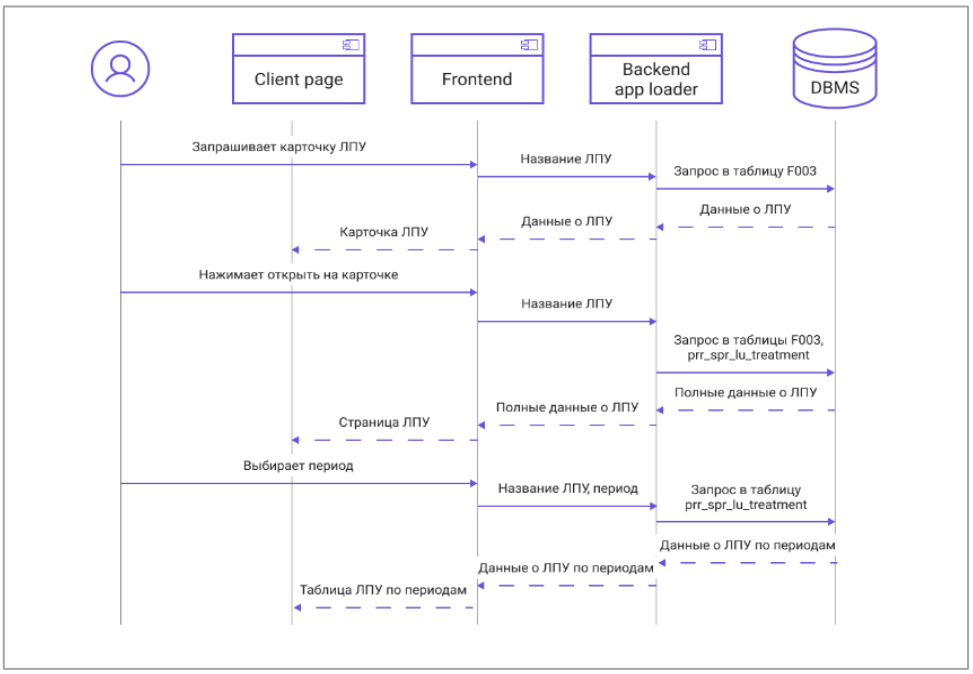


Рис. 6. Uml диаграмма последовательности

В ходе работы была исследована предметная область и сформированы требования к приложению, по полученным данным было спроектировано 30 дизайн-макетов страницы для медицинской системы обработки и анализа статистических медицинских данных и разработана клиентская часть модуля ЛПУ. По спроектированному дизайну была разработана система с внедрением разработанного модуля характеристики ЛПУ.

Данная работа является частью большого проекта для НМИЦ им. Н.Н. Петрова. По спроектированному дизайну был создана клиентская часть приложения и подключена к разработанному бекенду. Было произведено тестирование системы и после всех итераций с исправление ошибок, система была передана заказчику и сейчас он активной ей пользуется. Данная программа получила свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.

В дальнейшем планируется расширить функционал в области проведения анализа данных и составлению различных прогнозов.

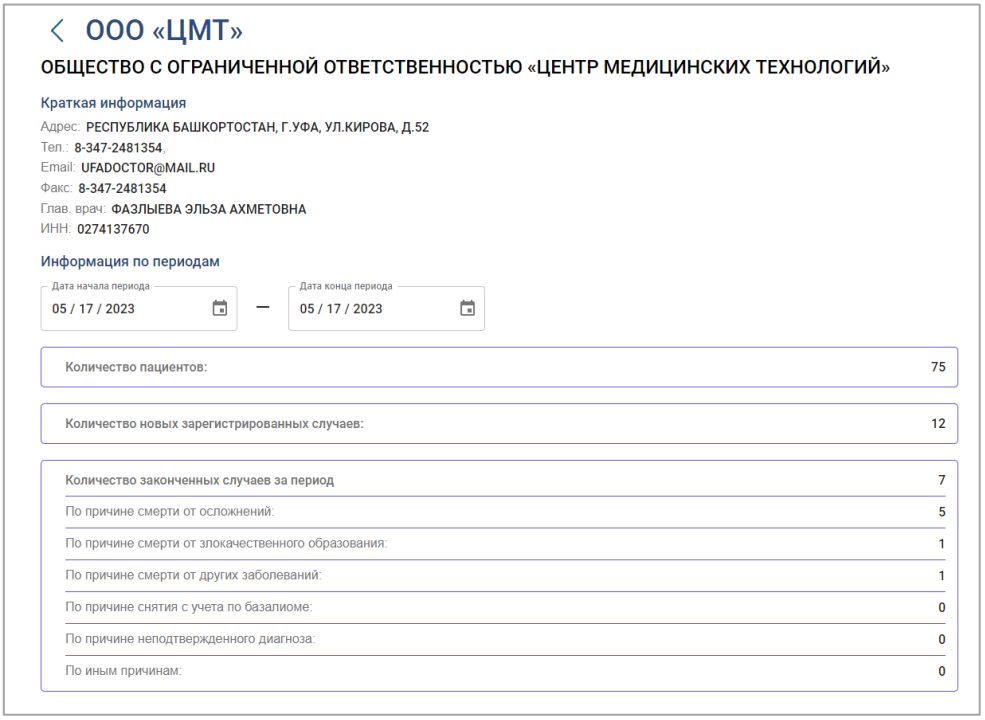


Рис. 7. Готовая страница ЛПУ

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Приказ ФФОМС от 07.04.2011 N 79 (ред. от 15.01.2020) "Об утверждении Общих принципов построения и функционирования информационных систем и порядка информационного взаимодействия в сфере обязательного медицинского страхования". [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_113397/ (дата обращения: 10.09.2022).
2. Приказ от 4 сентября 2015 года N 412 «Об утверждении статистического инструментария для организации министерством здравоохранения российской федерации федерального статистического наблюдения в сфере здравоохранения». [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_186071/ (дата обращения: 10.10.2022).
3. Хоманов К.Э., Гаврилов Э.Л., Короткова А.В., Шевченко Е.А. Основные критерии оценки справочно-информационных приложений в здравоохранении // Журнал Вестник Национального медико-хирургического Центра им. Н.И. Пирогова. 2018. С. 93-95.
4. Библиотека MUI для React.js. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://mui.com/ (дата обращения: 01.11.2022).
5. React – Официальная документация. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ru.reactjs.org (дата обращения: 02.02.2023).

Выпускник
Холошня Вадим Дмитриевич
факультет программной инженерии и компьютерной техники,
Направление подготовки: 09.03.04 – Программная инженерия
e-mail: vdkholoshnia@gmail.com

Научный руководитель
Болдырева Елена Александровна
к.т.н.
e-mail: eaboldyreva@itmo.ru

УДК 004.93

РАЗРАБОТКА ВИРТУАЛЬНОЙ ЛАБОРАТОРИИ АЛГОРИТМОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

Работа выполнена в рамках темы НИР № 620164 «Методы искусственного интеллекта для киберфизических систем».

Исследование рынка труда показало, что в настоящее время растет потребность в высококвалифицированных сотрудниках в области искусственного интеллекта, однако при этом количество стажировок для молодых специалистов уменьшается. Были выделены проблемы, с которыми сталкиваются выпускники при трудоустройстве: неактуальность полученных знаний, невостребованность изученных технологий, слабая связь теоретического и практического обучения. Из полученных данных можно сделать вывод: в настоящее время существует недостаток реальных практических задач при обучении основам искусственного интеллекта. Для того чтобы решить данную проблему, было принято решение использовать проблемно-ориентированный подход (problem-based learning, PBL) [1]. Помимо этого, чтобы увеличить получаемый во время обучения набор теоретических знаний и практических навыков, необходимо предоставить студентам доступ к низкоуровневой части систем искусственного интеллекта. Таким образом, цель работы – повышение практикоориентированности учебных задач в области искусственного интеллекта за счет использования проблемно-ориентированного подхода к обучению. Инструментом для реализации проблемно-ориентированного подхода является виртуальная лаборатория алгоритмов машинного обучения и учебно-методическая документация (УМД).

На сегодняшний день существует несколько виртуальных лабораторий, позволяющих изучать алгоритмы машинного обучения и нейронные сети. Из всех вариантов можно выделить следующие: Виртуальная лаборатория машинного обучения [2], Aiqom AI Lab и Stanford vision and learning lab. Данные виртуальные лаборатории позволяют изучить теоретическую часть, а также приобрести практические навыки при решении определенных задач, однако ни одна из этих платформ не предоставляет доступ к аппаратной части систем искусственного интеллекта. В настоящее время не обнаружено решения, которое позволило бы в полной мере изучить высокоуровневую и низкоуровневую части систем искусственного интеллекта и их связь, а также получить практический опыт разработки. Чтобы преодолеть данную проблему, было решено разработать собственную виртуальную лабораторию алгоритмов машинного обучения. В качестве примера, было решено рассмотреть распознавание объектов на изображении с помощью нейронной сети. Также был разработан план урока с использованием виртуальной лаборатории (рис. 1).

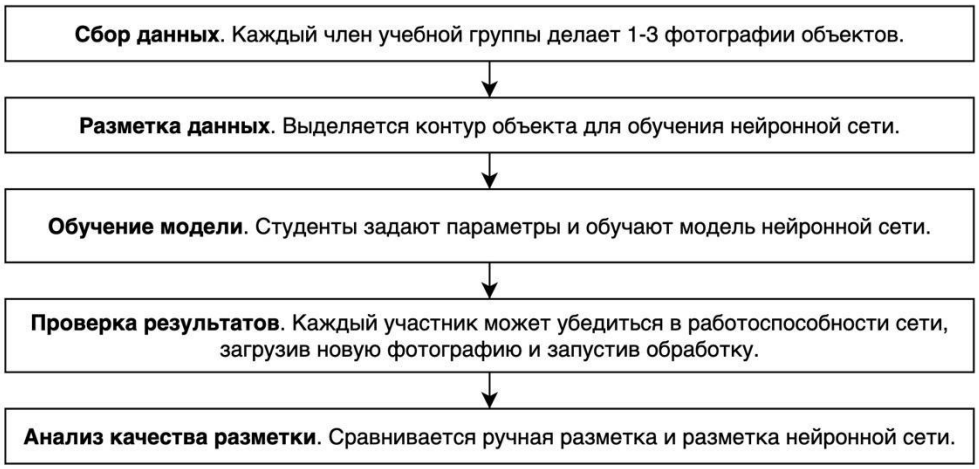


Рис. 1. План урока с использованием разрабатываемой виртуальной лаборатории

Первым этапом разработки является проектирование архитектуры системы. Было решено разбить комплекс на три основные части: низкоуровневая, серверная и клиентская. Данный набор компонентов позволяет построить систему, которая будет предоставлять студенту возможность изучения как программной, так и аппаратной частей систем искусственного интеллекта. Полная архитектура показана на рисунке 2. Дополнительную информацию о веб-приложении можно найти в работе [3].

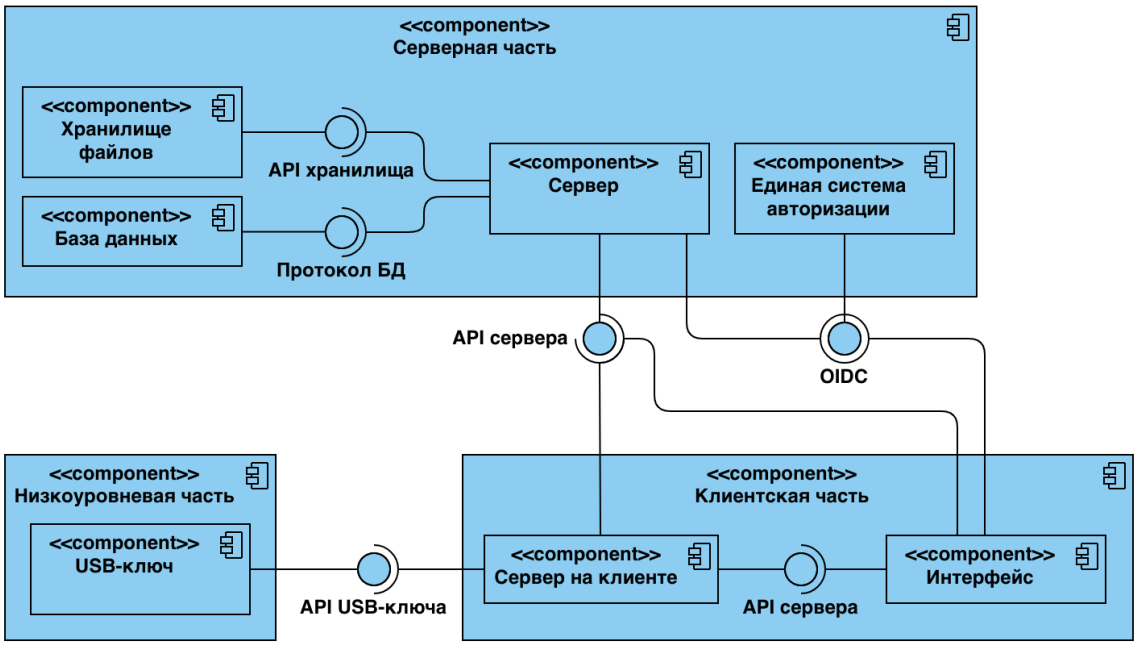


Рис. 2. Архитектура виртуальной лаборатории машинного обучения

Следующим шагом после проработки архитектуры виртуальной лаборатории искусственного интеллекта является выбор прикладных технологий и непосредственная разработка программного кода.

В качестве основы низкоуровневой части был выбран формат USB-ключа. В качестве USB-ключа были выбраны продукты компании Kneron [4] на основе чипов KL520 и KL720. Данные ключи позволяют запускать обработку изображений с помощью нейронных сетей, встроенных в прошивки. Также компания Kneron предоставляет программное обеспечение для эмуляции работы чипа с помощью Docker. В качестве нейронной сети для распознавания объектов на изображении была выбрана модель YOLOv5, так как она позволяет распознавать объекты всего за один проход в реальном времени.

Основными технологиями для разработки основного сервера являются язык программирования Kotlin и фреймворк Spring. В качестве базы данных для хранения информации пользователей был выбран PostgreSQL. Для того, чтобы хранить изображения пользователей, было решено применить файловое хранилище в формате Amazon S3 – MinIO. Чтобы реализовать возможность регистрации, аутентификации и авторизации, был выбран формат единой системы авторизации. Реализацией данной системы является Keycloak. Сервер предоставляет REST API для работы с данными и всеми необходимыми функциями.

Клиентскую часть было решено разбить на две части: сервер на клиенте и интерфейс. Сервер на клиенте позволяет связать USB-ключ и основной сервер с интерфейсом и реализован с помощью языка программирования Python, а также фреймворка FastAPI. Данный сервер предоставляет REST API для взаимодействия с остальными частями системы и связывает их. В качестве основных инструментов для реализации интерфейсов были выбраны язык программирования TypeScript и фреймворк, основанный на React.js – Next.js. Все пакеты интерфейсной части можно разделить на три основные категории: конфигурации, разделяемые библиотеки и приложения. Пакеты конфигурации включают в себя настройки для линтеров кода, инструментов сборки и файлы, необходимые для обработки стилей. Пакеты разделяемых библиотек включают в себя компоненты для интерфейсов, а также общие утилиты. Приложениями являются основной интерфейс виртуальной лаборатории искусственного интеллекта, а также тема для единой системы входа. Реализованная страница для разметки изображений представлена на рисунке 3.

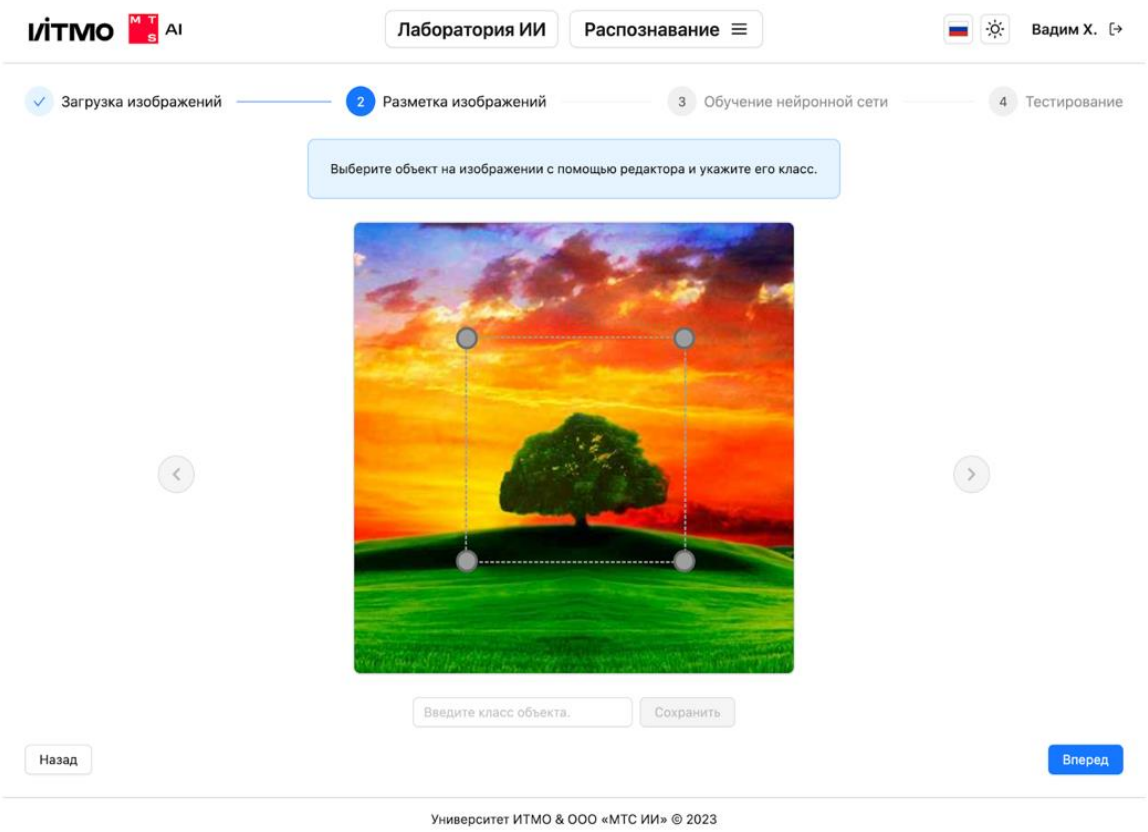


Рис. 3. Страница для разметки изображений

Следующим этапом реализации программно-аппаратного комплекса является интеграция низкоуровневой, серверной и клиентской частей системы и тестирование. Первым делом необходимо интегрировать интерфейсную и серверную части. Интеграция происходила с помощью реализации клиента REST API, работающего с форматом JSON в интерфейсной части. Для запросов были использованы библиотеки Axios и React Query. Также был реализован клиент для сервера на клиенте с помощью тех же технологий. Далее необходимо интегрировать клиентскую часть и сервер на клиенте. Интеграция серверной части и сервера

на клиенте происходила с помощью Python библиотеки – request. После интеграции всех частей было проведено статическое и ручное тестирование работы всех компонентов, а также оптимизация некоторых запросов, связанных с загрузкой файлов.

В результате данной работы была разработана виртуальная лаборатория для изучения искусственного интеллекта на примере распознавания объектов на изображениях с помощью нейронной сети YOLOv5. Получилась расширяемая система, которая позволяет легко добавлять новые режимы и уроки для изучения систем искусственного интеллекта. Разработанная лаборатория искусственного интеллекта в виде программно-аппаратного комплекса с примером урока для изучения распознавания объектов на изображении позволяет студентам в полной мере изучить низкоуровневую и высокоуровневую части систем искусственного интеллекта, а также обеспечивает возможность изучить связь между этими компонентами.

Разработанный программно-аппаратный комплекс будет дополнен учебно-методической документацией и внедрен в образовательную программу Университета ИТМО в дисциплину "Системы искусственного интеллекта". Система позволит увеличить получение практического опыта за счет доступа к низкоуровневой части во время обучения, а также улучшит качество образования за счет использования интерактивной формы образования.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Elaine H.J. Yew, Karen Goh, Problem-Based Learning: An Overview of its Process and Impact on Learning Health Professions Education. №. 2(2). Pp. 75-79.
2. Kholoshnia V.D., Boldyreva E.A. The Virtual Machine Learning Laboratory with Visualization of Algorithms Execution Process // Smart Innovation, Systems and Technologies. 2020. Vol. 188. Pp. 221-230.
3. Холошня В.Д., Болдырева Е.А. Разработка веб-приложения программно-аппаратного комплекса для обучения основам распознавания изображений // Сборник тезисов докладов конгресса молодых ученых. Электронное издание. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: https://kmu.itmo.ru/digests/article/10839 (дата обращения: 27.06.2023).
4. Kneron. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.kneron.com (дата обращения: 27.06.2023).

Выпускник
Шумигай Владимир Сергеевич
научно-образовательный центр фотоники и оптоинформатики
Направление подготовки: 12.03.03 – Фотоника и оптоинформатика
e-mail: vshumigay@itmo.ru

Научный руководитель
Цыпкин Антон Николаевич
д.ф.-м.н.
e-mail: tsypkinan@itmo.ru

УДК 535.421

ПРИМЕНЕНИЕ СПЕКТРАЛЬНОГО СУПЕРКОНТИНУУМА ВИДИМОГО ДИАПАЗОНА ЧАСТОТ ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ ФАНТОМНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Работа выполнена в рамках темы НИР №12439 «Квантовая динамика и корреляционные измерения многомодовых фотонных систем и топологически нетривиальных поляризационных состояний».

Фантомная визуализация (ФВ) – методика получения изображений, основанная на использовании пространственных корреляций пучков света. Информация об исследуемом объекте извлекается из корреляционной функции интенсивности опорного пучка, взаимодействующего с исследуемым объектом, и пространственного распределения интенсивности тестового пучка, не взаимодействующего с исследуемым объектом.

На сегодняшний день методика ФВ находит свое применение во многих областях науки и техники. Так, возможность восстановления изображения при наличии высоких шумов в системе позволяет использовать данную технологию в системах дистанционного зондирования [1] и помехоустойчивых системах передачи информации [2]. А возможность формирования фантомных изображений с использованием излучения различных спектральных диапазонов (ближний инфракрасный и видимый) находит свое применение в микробиологических и медицинских исследованиях [3]. Неинвазивность технологии достигается благодаря тому, что непосредственно с биологическими объектам взаимодействует низкоинтенсивное излучение ближнего ИК диапазона, в то время как восстановление фантомного изображение происходит с использованием видимой части электромагнитного спектра. При этом высококачественное фантомное изображение может быть получено даже в том случае, когда длины волн света, используемого в объекте и опорных лучах, сильно различаются. Кроме того, было обнаружено [4], что как для тепловых, так и для квантовых фантомных изображений разрешение восстановленного изображения ограничено в первую очередь силой пространственной корреляции световых лучей, и в большей степени зависит от длины волны света, освещающего объект, чем от длины волны опорного плеча.

Все эти применения требуют высокой скорости восстановления изображения, ведь одной из ключевых характеристик любой линии связи или системы зондирования является их быстродействие. Биологические же объекты, как правило, отличаются низкой стабильностью, что также задает высокие требования к быстроте их визуализации. Возможность же цветопередачи исследуемых объектов сделает доступной более полную их характеризацию.

Для увеличения скорости восстановления фантомных изображений в данной работе предложено использование спектрального суперконтинуума видимого диапазона в качестве псевдотеплового источника излучения для восстановления вычислительных фантомных изображений. Пространственная когерентность такого излучения позволяет свободно модулировать его с помощью SLM, а широкий спектр дает возможность одновременно использовать множество длин волн для задания уникальных псевдослучайных спекл-структур. Излучение спектрального суперконтинуума было получено при фазовой

самомодуляции в кювете с водой. Центральная длина волны лазера накачки составляла 800 нм, длительность импульсов – 35 фс, частота повторения импульсов – 1 кГц, а средняя мощность – 350 мВт. Это позволило сгенерировать спектральный суперконтинуум диапазоном от 450 до 1200 нм. Мощность его полезной поляризационной компоненты составляла 42,1 мВт со стандартным отклонением 0,4 мВт. Сгенерированный суперконтинуум охватывает диапазон от 450 до 1200 нм, но в настоящей работе он был ограничен 560–680 нм. Данное сужение диапазона связано с тем, что при разделении изначального спектра супероконтинуума на десять каналов, изменение фазовых сдвигов в пределах одного канала должно достигать 16%. Сужение диапазона позволило ограничить фазовый сдвиг одним процентом.

На рисунке 3 приведена схема экспериментальной установки. Спекл-структуры, необходимые для восстановления изображения, были получены с использованием фазового жидкокристаллического пространственного модулятора света HOLOEYE LETO-2. Детектирование же мощности каждой спектральной компоненты выполнено при помощи спектрометра Avesta ASP-75. При этом сигнал спектрометра был разделен на участки, количество которых соответствует количеству одновременно восстанавливаемых фантомных изображений.

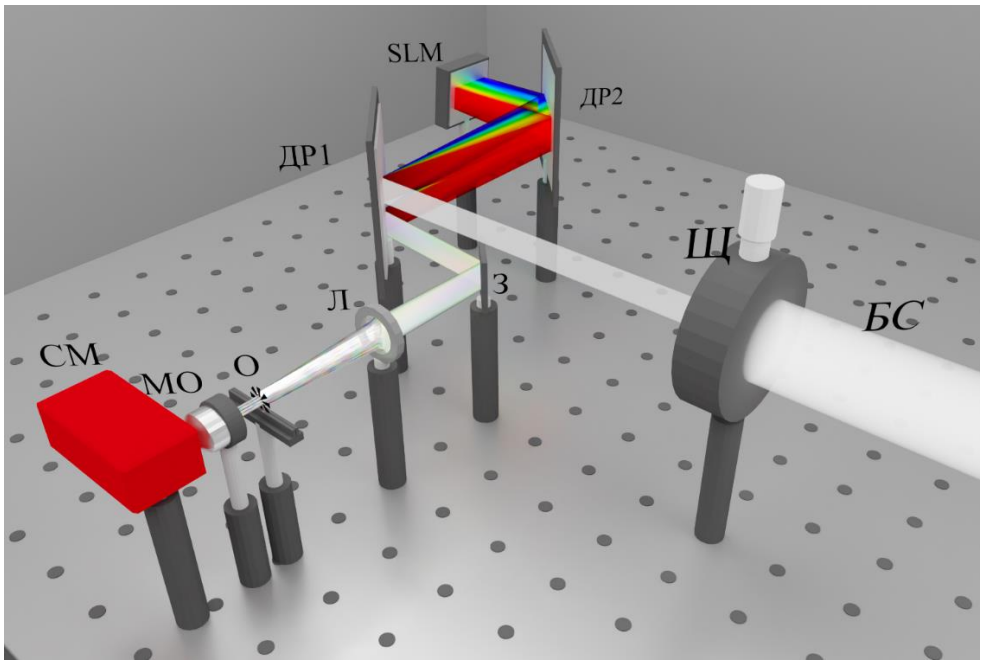


Рис. 1. Экспериментальная установка системы получения фантомных изображений со спектральным ускорением. Белый лазерный свет (БС) от ограничивается щелью (Щ) и распространяется через систему из двух дифракционных решеткок (ДР1 и ДР2) и слегка наклоненный пространственный модулятор света (SLM). Затем модулированный свет отражается от зеркала (З) и фокусируется линзой (Л) на объекте (О). Прошедшее излучение собирается объективом микроскопа (МО) в спектрометр (СМ)

Спектральное распределение, сформированное в плоскости SLM, было разделено на произвольные части, каждая из которых содержала уникальную фазовую маску. Фазовые маски были рассчитаны с использованием алгоритма Герхберга–Сакстона [5] отдельно для каждого спектрального поддиапазона. Далее модулированное излучение проходило по обратному пути через ту же пару дифракционных решеток. Благодаря этому все спектральные компоненты снова были объединены в единый луч, который впоследствии осветил объект.

Как уже было сказано, фазовые маски были рассчитаны с использованием алгоритма Гербера–Сакстона отдельно для каждого спектрального поддиапазона. При взаимодействии излучения с поверхностью жидкокристаллического модулятора света световой пучок дифрагировал таким образом, что излучение каждой спектральной компоненты формировало свое спекл-поле. Однако при дифракции на периодической структуре необходимо учитывать нулевой порядок дифракции. Для этого на фазовые маски каждой длины волны были поданы

дополнительные фазовые сдвиги, которые отклоняли модулированное излучение на 1,5 градуса по вертикали. Сделано это было с целью отвести модулированное излучение от оптической оси, по которой распространялась немодулированная часть излучения спектрального суперконтинуума. Последнее необходимо, чтобы излучение нулевого порядка дифракции не взаимодействовало с исследуемым объектом. Обнаружение модулированного излучения после его взаимодействия с объектом требует повторного разложения на спектр. Это было проведено с использованием спектрометра, построенного по схеме Черни-Тернера. Стандартная входная щель спектрометра была удалена, так как она ограничивала поле зрения и не позволяла получить полное изображение объекта. Его заменили микрообъективом, который собирает все излучение, поступающее от системы визуализации. После многократных отражений излучение поступает на решетку, где различные длины волн снова разлагаются под разными углами дифракции для обнаружения линейным матричным детектором CCD.

За счет мультиплексировании по длине волны спектрального суперконтинуума видимого диапазона восстановление изображений происходило параллельно на каждой спектральной компоненте. В этом случае корреляционная функция представляет собой сумму восстановленных распределений интенсивностей на каждой длине волны (1):

$$GI(x,y) = \sum_{m=1}^{N_\lambda}[\langle B_m I_m(x,y)\rangle - \langle B_m\rangle\langle I_m(x,y)\rangle], \quad (1)$$

где N_λ – количество используемых спектральных диапазонов. Стоит отметить, что для каждого спектрального диапазона должна быть сформирована уникальная спекл-структур. В этом случае время сбора данных сокращается за счет увеличения общего количества псевдослучайных паттернов, детектируемых параллельно.

Для достижения наибольшего качества восстановленного изображения необходимо установить оптимальное разрешение используемых спекл-структур. Для этого была проведена серия экспериментов по восстановлению изображений мишени “Siemens star” с использованием различных наборов спеклов с числом итераций N = 10000. В эксперименте отношение размера элементарной ячейки по одной координате к размеру спекла по той же координате было выбрано равным 2.5%, 3,125%, 5%, 6.25% и 10% при размере объекта 5,85 на 5,85 мм. Результаты эксперимента вместе с кривыми, полученными в результате численного моделирования, показаны на рисунок 2.

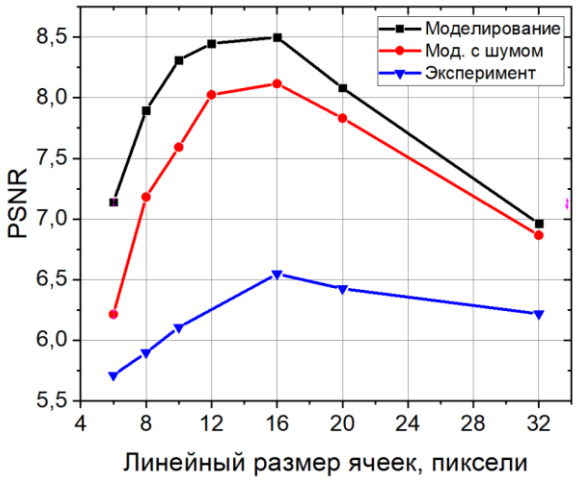
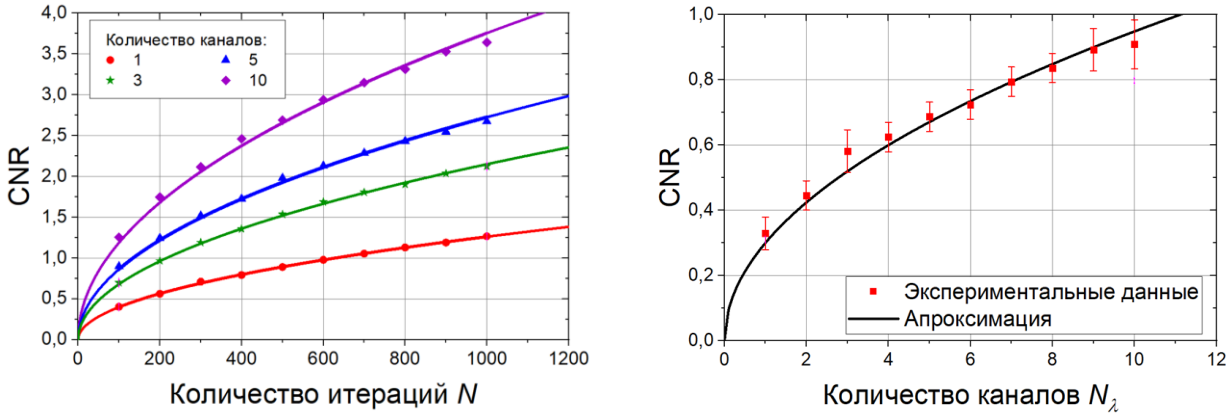


Рис. 2. Зависимость пикового соотношения сигнал-шум от линейного размера элементарной ячейки спекла при восстановлении изображения с 10 000 итераций. Черная кривая соответствует моделированию, красная кривая моделирование с добавлением мультипликативного шума, измеренного в экспериментальной установке, а синяя кривая соответствует эксперименту

Из данных, полученных в ходе численного моделирования, следует, что положение максимума кривой PSNR (16 пикселей) не изменяется при добавлении мультиплексного шума

от спектрометра. В свою очередь, экспериментальные данные также имеют максимальное значение PSNR с линейным размером элементарных ячеек в крапинках, равным 16 пикселям. Уменьшение амплитуды сигнала в эксперименте относительно моделирования может быть объяснено нестационарным изменением амплитуды излучения суперконтинуума, которое регистрируется спектрометром. Аналогичные типы кривых были получены в [6], где было показано, что пиковое отношение сигнал-шум кривой сначала увеличивается с увеличением размера ячейки в крапинках, затем начинает уменьшаться.

После определения оптимальных размеров ячеек в спекл-структурах, чтобы продемонстрировать увеличение скорости восстановления изображения, был проведен эксперимент с использованием нескольких спектральных каналов излучения. На основе данных, полученных в ходе эксперимента, были построены зависимости CNR от количества итераций для разного числа спектральных диапазонов (рис. 3,а). Выбор параметра CNR обусловлен тем, что рост этого параметра определяет скорость сбора данных фантомных изображений.



(а) (б)

Рис. 3. Зависимость CNR от: а) числа итераций для 1, 3, 5 и 10 спектральных составляющих суперконтинуума; б) количества спектральных каналов для фиксированного числа итераций (N = 1000)

Кроме того, была исследована зависимость CNR от количества используемых спектральных полос. По мере увеличения задействованных спектральных диапазонов CNR конечного изображения также должно увеличиваться, поскольку происходит параллельная реконструкция изображения для каждого спектрального компонента суперконтинуума. На рисунке 3,б показаны значения CNR для числа итераций N = 1000 для различного числа длин волн. С большой точностью было обнаружено, что при использовании m спектральных каналов CNR восстановленного изображения увеличивается в $\sqrt{N_\lambda}$ раз.

В результате можно сделать вывод, что использование излучения с несколькими спектральными составляющими приведет к общему эффективному числу измерений, равному произведению числа длин волн на количество итераций. Другими словами, CNR восстановленного изображения будет зависеть от количества спектральных полос по формуле (2):

$$\mathrm{CNR} \sim \sqrt{N_\lambda \cdot N}, \qquad (2)$$

где N_λ – количество длин волн, которые используются для восстановления изображения объекта, N – количество итераций.

Для подтверждения результатов моделирования был проведен эксперимент по восстановлению изображения мишени “Siemens star” при 1000 итерациях для суммы одного, пяти и десяти спектральных каналов. Результаты реконструкции экспериментального изображения представлены на рисунке 4, где аббревиатура CS означает «размер ячейки», а m – «количество спектральных каналов».

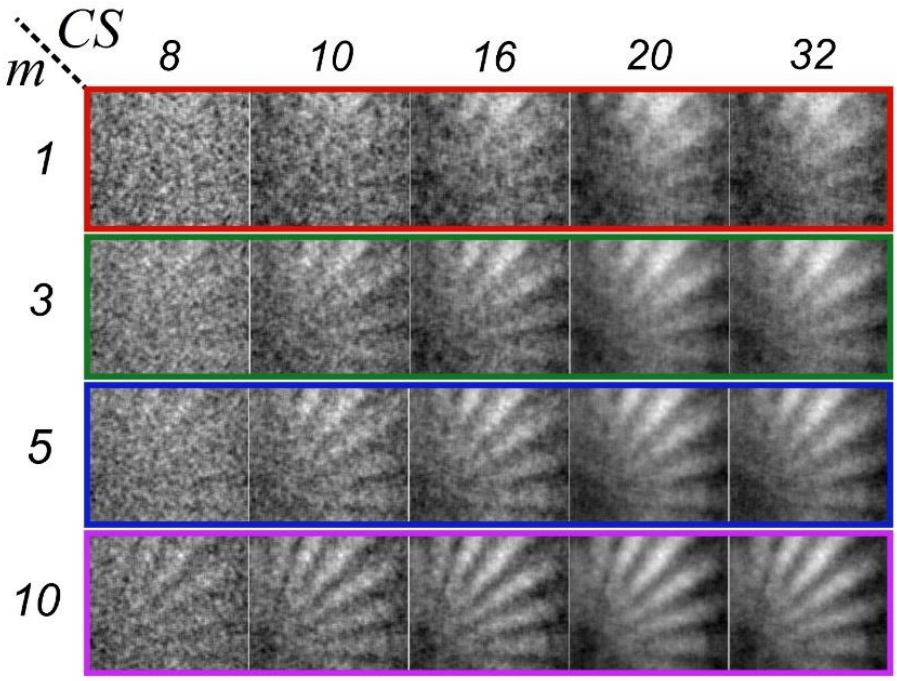


Рис. 4. Зависимость пикового соотношения сигнал-шум от линейного размера элементарной ячейки спекла при восстановлении изображения с 10 000 итераций. Черная кривая соответствует моделированию, красная кривая – моделирование с добавлением мультипликативного шума, измеренного в экспериментальной установке, а синяя кривая соответствует эксперименту

Экспериментальные данные находятся в полном соответствии с построенной теоретической моделью, а также с результатами численного моделирования восстановления фантомных изображений. Так, наибольшее соотношение контраст-шум восстановленного изображения (размером 320 на 320 пикселей) достигается при использовании спекл-структура с размерами ячеек 16 на 16 пикселей. При этом CNR фантомного изображения с заданным набором спеклов для 10 спектральных компонент в $\sqrt{10}$ раз больше значения CNR при работе с монохроматическим излучением

Предложенный подход может быть использован для ускорения измерения ФВ. Например, комбинации метода компрессионного зондирования с мультиплексированием 20 случайных паттернов достаточно для восстановления двоичных изображений с низким разрешением при однократном измерении [7]. В работе [8] впервые было представлено распознавание объекта без визуализации недисперсных объектов с использованием методики ФВ без мультиплексирования спекл-структур. Использование комбинации различных паттернов на каждой длине волны для распознавания цели без визуализации без учета ее спектральных свойств обеспечит линейное увеличение распознавания паттернов. Кроме того, импульсный характер излучения суперконтинуума может быть использован в методе фемтосекундной накачки/зондирования суперконтинуума [9]. Здесь функции ФВ открывают путь для измерений с использованием зонда накачки с полной апертурой объекта с высоким пространственным разрешением, используя предлагаемый подход без растрового сканирования. Предлагаемый метод получения фантомных изображений позволяет восстанавливать карты пропускания для каждого спектрального компонента путем облучения объекта пространственно модулированными спекл-структурами на отдельных спектральных компонентах, тем самым обеспечивая компромисс между спектральным разрешением и необходимостью перемещения образца. В этом случае количество каналов влияет на спектральное разрешение метода.

Полученные результаты позволят продвинуть исследования в области восстановления фантомных изображений, а также сделать их более подходящими для таких требующих высокого быстродействия применений, как помехоустойчивые системы коммуникаций и зондирования.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Gong W. et al. Three-dimensional ghost imaging lidar via sparsity constraint // Scientific reports. 2016. V. 6. №. 1. Pp. 1-6.
2. Clemente P. et al. Optical encryption based on computational ghost imaging // Optics letters. 2010. V. 35. №. 14. Pp. 2391-2393.
3. Karmakar S., Meyers R.E., Shih Y. Noninvasive high resolving power entangled photon quantum microscope // Journal of biomedical optics. 2015. T. 20. №. 1. P. 016008.
4. Chan K.W.C., O'Sullivan M.N., Boyd R.W. Two-color ghost imaging // Physical Review A. 2009. V. 79. №. 3. P. 033808.
5. Gerchberg R.W. A practical algorithm for the determination of phase from image and diffraction plane pictures // Optik. 1972. V. 35. Pp. 237-246.
6. Sun M. J. et al. Infrared single-pixel imaging utilising microscanning // arXiv preprint arXiv:1511.02637. 2015.
7. Deng C. et al. Single-shot thermal ghost imaging using wavelength-division multiplexing // Applied Physics Letters. 2018. V. 112. №. 5. P. 051107. DOI: 10.1063/1.5001750.
8. Hualong Y., Leihong Z., Dawei Z. Non-imaging target recognition algorithm based on projection matrix and image Euclidean distance by computational ghost imaging // Optics & Laser Technology. 2021. V. 137. P. 106779.
9. Dobryakov A.L. et al. Femtosecond pump/supercontinuum-probe spectroscopy: Optimized setup and signal analysis for single-shot spectral referencing // Review of Scientific Instruments. 2010. V. 81. №. 11. P. 113106.

БАКАЛАВРЫ

Лауреаты II степени конкурса на «Лучшую научно-исследовательскую выпускную квалификационную работу бакалавров Университета ИТМО»

Выпускник
Байрамова Хумай Бахруз кызы
факультет программной инженерии и компьютерной техники
Направление подготовки: 09.03.01 – Информатика и вычислительная техника
e-mail: bayramova2502@gmail.com

Научный руководитель
Николаев Владимир Вячеславович
преподаватель
e-mail: vladimir.nikolaev@cs.ifmo.ru

УДК 004.832

НЕЧЕТКИЙ ПОИСК В POSTGRESQL С АДАПТАЦИЕЙ К ИЗМЕНЕНИЯМ СОСТОЯНИЯ БАЗЫ ДАННЫХ

Нечеткий поиск представляет собой метод поиска, который позволяет находить не только точные соответствия заданному образцу, но и близкие к нему значения или совпадения с некоторой степенью подобия. Основная идея нечеткого поиска заключается в том, чтобы учесть варианты с опечатками, пропусками букв или другими небольшими отклонениями во входных данных.

СУБД PostgreSQL в настоящее время имеет ограниченные возможности по реализации нечеткого поиска. Для работы с нечетким поиском в PostgreSQL требуется установка дополнительных модулей, которые реализуют определенные алгоритмы нечеткого поиска. Например, модуль pg_trgm реализует алгоритм на основе триграмм, а модуль fuzzystrmatch предоставляет фонетические алгоритмы. При этом пользователю необходимо самостоятельно определить, какой модуль нечеткого поиска подходит для конкретной ситуации, и использовать выбранный алгоритм. Однако, такой статический подход не учитывает влияние изменения состояния базы данных и другие факторы, которые могут влиять на результаты поиска.

Одним из факторов, влияющих на результаты поиска, является размер словаря. Из рис. 1 видно, как алгоритм А значительно производительнее алгоритма Б.

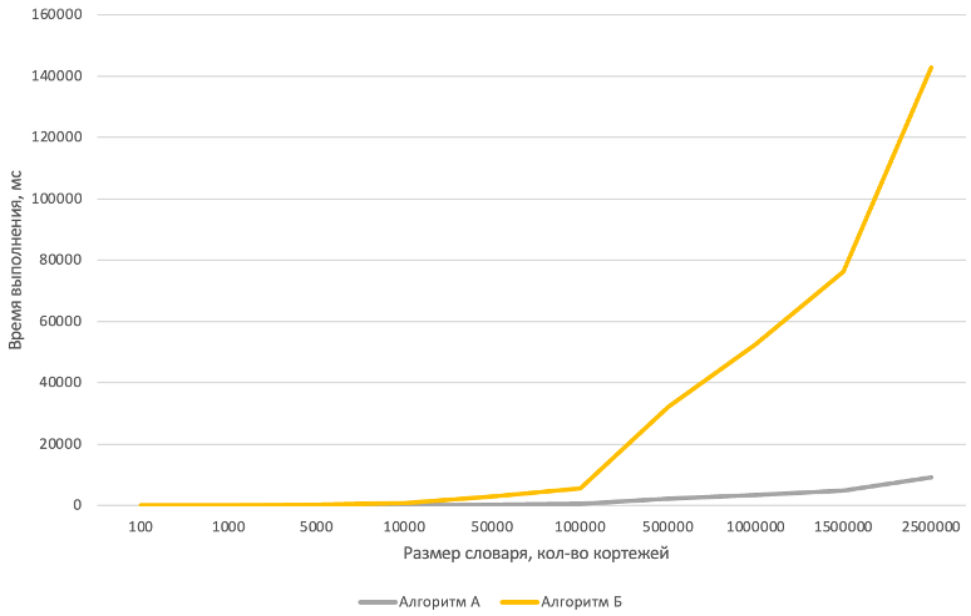


Рис. 1. Зависимость времени выполнения алгоритмов от размера словаря

Однако при добавлении индексов, результаты поиска меняются. Из рисунка 2 видно, что производительность алгоритма Б не только существенно повышается, но и превосходит производительность алгоритма А.

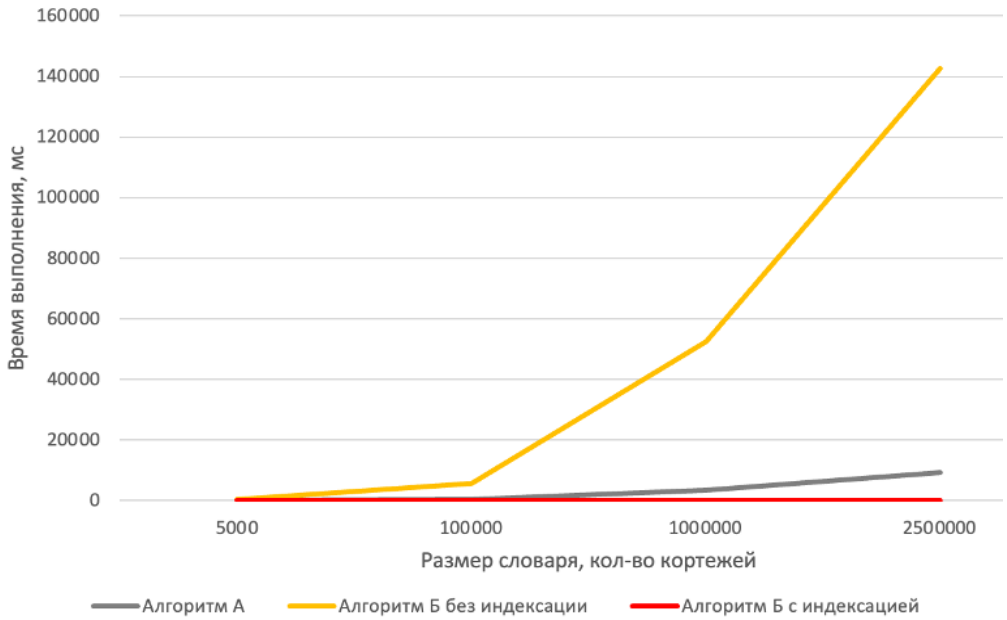


Рис. 2. Зависимость времени выполнения алгоритмов от размера словаря при добавлении индекса

Для достижения поставленной цели по улучшению нечеткого поиска в PostgreSQL за счет динамического выбора алгоритма нечеткого поиска с учетом изменения состояния базы данных был использован алгоритм-диспетчер. Алгоритм анализирует контекст поиска – характеристики экземпляра базы данных и самой базы данных, а также введенное пользователем слово и выбирает наиболее подходящий алгоритм нечеткого поиска.

Для выбора наиболее подходящего алгоритма, помимо анализа состояния базы данных, в работе была рассмотрена категоризация влияния вида опечаток и их количества на результаты нечеткого поиска. Так как некоторые алгоритмы направлены на работу с фонетическими опечатками, другие лучше всего работают с терминами с небольшим количеством опечаток, а третьи позволяют находить много терминов, но с низкой точностью.

Но опечатки в исходном термине тоже необходимо идентифицировать, для этого проводился дополнительный анализ запрашиваемого термина, в результате которого за счет выбора подходящего алгоритма, направленного на работу с конкретным типом опечаток, повышалось качество поиска. Также было оценено соотношение количества гласных и согласных в термине, причисление термина к имени собственному [1] и анализировалось наличие в термине нехарактерных для русского языка буквенных сочетаний. Учитывалась и частота использования термина [2]. Так как при частом использовании термина вероятность возникновения ошибки в нем уменьшается.

Для удобства использования подхода в СУБД был добавлен оператор. Учитывая разные потребности пользователей, была добавлена возможность параметризации оператора. В зависимости от целей поиска – высокая скорость или повышенное качество была предусмотрена возможность установки параметра в соответствующее значение. По умолчанию используется сбалансированный режим.

Нечеткий поиск можно также улучшить с помощью внесения изменений в существующую базу данных, например, за счет добавления разных видов индексов. Для этих целей был предусмотрен параметр, при включении которого диспетчер проверяет наличие индекса на словаре, и в случае его отсутствия предпринимает попытку по его созданию [3].

В результате выполнения работы в СУБД были добавлены реализации алгоритмов нечеткого поиска с последующим анализом их областей применимости. После чего были исследованы инструменты анализа контекста поиска и реализован оператор, осуществляющий динамический выбор алгоритма нечеткого поиска с возможностью параметризации. Разработанное решение позволит пользователям получать улучшенные результаты нечеткого поиска и параметризовать поиск под свои потребности.

В дальнейшей работе по улучшению нечеткого поиска в PostgreSQL планируется внедрение дополнительных алгоритмов нечеткого поиска с анализом их областей применимости и рассмотрение методов кэширования полученных результатов. Также планируется интеграция алгоритма-диспетчера с искусственным интеллектом для лучшей адаптации поиска под состояние базы данных и потребности пользователя.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Маннинг К. Д., Рагхаван П., Шютце Х. Введение в информационный поиск. – Вильямс. 2011. С. 76-84.
2. Postgres Professional, 2019-2022: Оптимизация запросов, статистика. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://edu.postgrespro.ru/qpt-13/qpt_09_statistics.html (дата обращения: 21.04.2023).
3. Schonig H.J. Mastering PostgreSQL 15: Advanced techniques to build and manage scalable, reliable, and fault-tolerant database applications. Packt Publishing Ltd. 2023. 64 c.

Выпускник
Казаков Егор Николаевич
образовательный центр «Энергоэффективные инженерные системы»
Направление подготовки: 16.03.03 – Холодильная, криогенная техника и системы жизнеобеспечения
e-mail: kazackov.egor@gmail.com

Научный руководитель
Апицына Ольга Сергеевна
ассистент
e-mail: apitsyna.olga@yandex.ru

УДК 621.565

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ИНТЕНСИФИЦИРОВАННЫХ ТЕПЛООБМЕННЫХ АППАРАТОВ В ЦИКЛАХ ПАРОКОМПРЕССОРНЫХ ХОЛОДИЛЬНЫХ МАШИН

Работа выполнена в рамках темы НИР № 622295 «Экологически безопасные технологии энергосбережения и повышения эффективности низкотемпературных систем и преобразователей энергии».

Важной и неотъемлемой частью парокомпрессионных холодильных машин являются теплообменные аппараты. Проходя через испаритель и конденсатор, рабочее вещество меняет свое агрегатное состояние получая или отдавая тепловую энергию внешним теплоносителям, что является основой реализации обратных термодинамических циклов на практике. Отдельно следует отметить большое влияние теплообменных устройств на энергетические и массогабаритные показатели холодильных машин, поскольку их доля в общей массе оборудования может достигать 70% [1]. На сегодняшний день рынок теплообменного оборудования имеет широкий ассортимент типов и конструкций, но наиболее распространенными можно считать кожухотрубные теплообменные аппараты. Несмотря на большую распространенность и ряд преимуществ, таких как высокая надежность, стойкость к гидроударам и пониженные требования к чистоте рабочих сред, они обладают относительно низким коэффициентом теплопередачи, что приводит к увеличению габаритов и площадей поверхности теплообмена. В литературе опубликовано множество исследований по темам усовершенствования конструкций за счет изменения и оптимизации геометрических и теплофизических параметров. Один из путей решения данной проблемы – интенсифицирование процессов теплообмена путем использования специальных вставок.

В холодильной технике хорошо себя зарекомендовали два типа: скрученная лента и внутритрубное микрооребрение. Скрученная лента – это спирально витая лента, которая используется для улучшения теплообмена в трубах [2]. Принцип работы подобных вставок основан на создании турбулентного потока внутри трубы, который обеспечивает более эффективный теплообмен. Это происходит за счет изменения направления потока и создания вихрей, что увеличивает площадь контакта между теплоносителем и трубной стенкой. Внутреннее микрооребрение (microfin) – это необычная технология, которая заключается в создании микроребер на внутренней поверхности трубы, что позволяет улучшить теплообмен между рабочей средой и трубой [3].

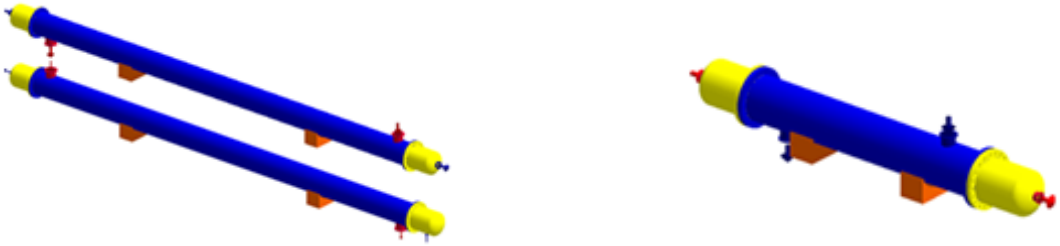
В качестве объекта исследования выбрана одноступенчатая парокомпрессорная холодильная машина с внутритрубным фазовым переходом в аппаратах, холодопроизводительностью Q_0 равной 50 кВт. Рабочим веществом является озонобезопасный фреон R134a. С целью охлаждения хладагента в конденсаторе используется вода. Хладоноситель испарителя – чистый этиленгликоль (рассол). С целью корректного сравнения работы теплообменных аппаратов принимаем решение зафиксировать расход

рабочего вещества в цикле холодильной машины, а также характеристики внешней среды. Перегрев и переохлаждение рабочего вещества осуществляется непосредственно в теплообменных аппаратах без применения дополнительного оборудования. Исходные данные приведены в таблице 1.

Таблица 1. **Характеристики холодильной машины**

Параметр	**Значение**
Холодопроизводительность ХМ Q_0, кВт	50
Рабочее вещество	$R134a$
Массовый расход рабочего вещества G_a, кг/с	0,3
Переохлаждение рабочего вещества после конденсатора ΔT_c, К	3
Температура воды на входе t_{w1}, °С	23
Температура воды на входе t_{w2}, °С	28
Массовый расход воды G_w, кг/с	2,8
Перегрев рабочего вещества после испарителя ΔT_e, К	5
Температура рассола на входе t_{s1}, °С	-3
Температура рассола на входе t_{s2}, °С	-7
Массовый расход рассола G_s, кг/с	6,1

Начальным этапом работы является подбор непосредственно самих теплообменных аппаратов как с гладкими трубами, так и с трубами включающими интенсификаторы. Подбор подходящих геометрических и теплофизических параметров теплообменных аппаратов проводится в программном обеспечении «HTRI», которое хорошо зарекомендовало себя на мировом рынке. Поскольку в работе исследуется именно теплообмен, то геометрические параметры гладкотрубных аппаратов лягут в основу и не будут изменяться в ходе работы. Сами параметры подбираются с учетом цикла холодильной машины. На рисунке 1 представлены 3D модели, полученных теплообменных аппаратов с гладкими трубами, на рисунке 2 – примеры исполнения интенсификаторов.



а б

Рис. 1. 3D модели выбранных теплообменных аппаратов: а) испаритель, б) конденсатор

а б

Рис. 2. 3D модели исполнения интенсификаторов: а) скрученная лента, б) микрооребрение

Результаты расчетов конденсаторов таблице 2.

Таблица 2. **Результаты расчета конденсаторов**

Параметр	Гладкие трубы		Скрученная лента		Микрооребрение	
	Внутри	Снаружи	Внутри	Снаружи	Внутри	Снаружи
Коэффициент теплоотдачи α, $\frac{Вт}{м^2 \cdot К}$	1412,9	3476,7	1997,1	3481,0	3474,2	3874,3
Коэффициент теплопередачи k, $\frac{Вт}{м^2 \cdot К}$	909,68		1159,7		1707,7	
Потери давления ΔP, кПа	1,228	3,487	1,257	3,487	0,7683	3,487
Температура среды на входе $t_{вх}$, °С	53,95	23,00	46,63	23,00	47,02	23,00
Температура среды на выходе $t_{вых}$, °С	31,00	27,00	26,00	27,00	25,85	27,00
Нагрузка на теплообменный аппарат $Q_к$, кВт	89,1		89,3		89,5	
Температурный напор *EMTD*, °С	12,0		9,4		6,5	

Результаты сопоставления показывают наибольший рост коэффициентов теплоотдачи за счет применения микрооребрения, при этом наблюдаются наименьшие потери давления. Это связано с принципом работы данного способа повышения эффективности, при микрооребрении создается большое количество точек образования конденсата.

Обратную ситуацию можно наблюдать при исследовании испарителей (табл. 3). Максимальную теплоотдачу обеспечивает скрученная лента активно турбулизующая поток, что является важным аспектом для интенсивности процесса кипения. При этом лента сильно повышает потери давления в канале, что заметно как в испарителях, так и в конденсаторах.

Таблица 3. **Результаты расчета испарителей**

Параметр	Гладкие трубы		Скрученная лента		Микрооребрение	
	Внутри	Снаружи	Внутри	Снаружи	Внутри	Снаружи
Коэффициент теплоотдачи α, $\frac{Вт}{м^2 \cdot К}$	155,93	433,79	558,70	442,36	264,05	443,21
Коэффициент теплопередачи k, $\frac{Вт}{м^2 \cdot К}$	104,33		232,08		151,81	
Потери давления ΔP, кПа	0,629	29,427	1,239	29,661	0,865	29,469
Температура среды на входе $t_{вх}$, °С	-10,89	-3,00	-8,09	-3,00	-9,26	-3,00
Температура среды на выходе $t_{вых}$, °С	-5,89	-7,00	-3,09	-7,00	-4,26	-7,00
Нагрузка на теплообменный аппарат $Q_и$, кВт	62,2		62,0		62,1	
Температурный напор *EMTD*, °С	5,6		2,5		3,9	

Анализ влияния полученных теплообменных аппаратов на всю систему в целом рассматривается с помощью теплового и эксергетического анализа. Результаты теплового расчета представлены в таблице 4.

Можно заметить, что при использовании скрученной ленты в аппаратах наблюдается самый высокий холодильный коэффициент, несмотря на меньший коэффициент теплоотдачи в конденсаторах на фоне микрооребрения. При этом результаты расчета показывают, что мощность, потребляемая компрессором, в данном случае наименьшая, что говорит о малом влиянии потерь давления в исследуемых аппаратах на эффективность машины в целом.

Таблица 4. **Результаты теплового расчета цикла холодильной машины**

Параметр	Значение параметров		
	Гладкие трубы	Скрученная лента	Микрооребрение
Холодопроизводительность Q_0, кВт	50		
Удельная холодопроизводительность q_0, кВт/кг	152,217	161,158	160,646
Удельная работа компрессора $l_к$, кВт/кг	42,227	35,016	36,175
Мощность, потребляемая компрессором $N_{эл}$, кВт	13,871	10,864	11,259
Тепловая нагрузка на конденсатор $Q_к$, кВт	63,871	60,864	61,259
Холодильный коэффициент ε	3,605	4,602	4,441

Результаты эксергетического анализа согласуются с тепловым (табл. 5). Наибольший эксергетический КПД установки и наименьшие термодинамические потери вновь наблюдаются при использовании скрученной ленты в аппаратах.

Таблица 5. **Результаты теплового расчета цикла холодильной машины**

Параметр	Значение параметров		
	Гладкие трубы	Скрученная лента	Микрооребрение
Поток полезной эксергии $\Delta Ex_{пол}$, кВт	5,59	5,59	5,59
Общая подведенная эксергия $\Delta Ex_{общ}$, кВт	12,00	10,05	10,48
Общие термодинамические потери $DEx_{общ}$, кВт	6,40	4,46	4,88
Эксергетический КПД системы $\eta_{общ} = \frac{\Delta Ex_{пол}}{\Delta Ex_{общ}}$	0,47	0,56	0,53

Можно отметить, что исследования проводились на одинаковом типе интенсифицирующих устройств в рамках холодильной машины. Поскольку результаты анализа конденсатора на микрооребрении показывают наибольшую эффективность теплопередачи, можно предположить, что использование комбинированного варианта: испаритель со скрученной лентой и конденсатор с микрооребрением дадут максимальную эффективность при заданных условиях

Исходя из полученных данных, следует, что использование различных видов интенсификаторов позволяет улучшить работу уже используемого оборудования или же заранее модернизировать конструкцию, тем самым позитивным образом повлиять на работу установки в целом. Безусловно, нельзя не отметить, что интенсификация приводит к повышенным потерям давления, нежели гладкие трубы и как следствие будет оказано негативное влияние на компрессор, заставляющее его сжимать газ сильнее, однако разница небольшая, поэтому преимущество интенсификаторов очевидно. Также стоимость различных усовершенствований может сыграть для производств большую роль, но за несколько лет производительность скажет о себе, а значит окупится очень быстро.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Бараненко А.В., Бухарин Н.Н., Пекарев В.И., Сакун И.А., Тимофеевский Л.С. Холодильные машины. – СПб.: Политехника. 1997. 992 с.
2. Saha S.K. Heat transfer enhancement with twisted tape inserts: A review // International Conference on Ideas, Impact and Innovation in Mechanical Engineering (ICIIIME 2017). 2017. Vol. 5. №. 6. Pp. 425-428.
3. Soleimani S. Multi-objective optimization on fluid flow and heat transfer of 3D micro-fin surfaces: dis. Kansas. 2022. 161 с.

Выпускник
Кокорина Ольга Александровна
факультет технологического менеджмента и инноваций
Направление подготовки: 27.03.05 – Инноватика
e-mail: olga.yanssson@yandex.ru

Научный руководитель
Лебедева Анна Сергеевна
к.э.н., доцент
e-mail: hebo@rambler.ru

УДК 339.1

РАЗРАБОТКА КОНЦЕПЦИИ ИННОВАЦИОННОГО ПРОДУКТА ДЛЯ ФОРМАТИРОВАНИЯ ТЕКСТОВЫХ ДОКУМЕНТОВ

В последние годы наблюдается тенденция активного внедрения электронного документооборота в деятельность организаций различных сфер. Так, согласно исследованию ГК СКБ Контур, за 2022 год объем документооборота вырос на 22% по сравнению с 2021 годом. Все больше представителей малого и среднего бизнеса переходят на сервисы электронного документооборота. Таким образом, за год число пользователей электронных систем выросло на четверть и, согласно прогнозу аналитиков ГК СКБ Контур, темп прироста подключений сохранится на таком же высоком уровне в том числе и в 2023 году [1].

К причинам высокой заинтересованности представителей бизнеса к переходу на электронные системы документооборота в последние годы можно отнести сразу несколько факторов. Так, в виду подорожания стоимости офисной бумаги многие организации стали выбирать электронный документооборот в качестве средства сокращения затрат на канцелярские нужды [2]. Также к факторам, повлиявшим на проявление активного интереса к электронному документообороту, можно отнести фактор государственного регулирования сферы и совершенствования законодательной базы в сфере электронного документооборота [2]. Таким образом, явление замещения бумажной работы электронными документами стало повсеместным, во многом оптимизировав процесс осуществления документооборота организаций. Однако процесс создания и обработки электронных документов также имеет ряд проблем.

Высокая значимость документооборота обуславливает актуальность темы настоящей работы. Целью работы является разработка концепции инновационного продукта для форматирования текстовых документов. Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Исследовать потребность в инновационном решении в сфере документооборота.
2. Проанализировать потенциал коммерциализации инновационного решения для форматирования текстовых документов.
3. Разработать концепцию IT-продукта для форматирования текстовых документов.

Объектом исследования является процесс документооборота в организации.

Предметом исследования являются инновационные технологии оптимизации документооборота.

В работе будут использованы такие методы как сравнительный анализ, обобщение, анализ динамики, декомпозиция, прототипирование, оценка емкости рынка методом chain ratio, качественное исследование целевой аудитории посредством проведения глубинного интервью, количественное исследование целевой аудитории посредством проведения опроса, патентный поиск, комплексная интегральная методика определения конкурентоспособности, построение диаграммы Use Case с элементами нотации UML, построение матрицы решений, прогнозирование объема продаж по методике, основанной на подходах в методе «снизу-вверх», функциональном и пропорциональном методах с учетом изменения во времени

отношения потребителей к инновациям, согласно теории Э. Роджерса, а также метод рентабельности инвестиций и метод удельной цены.

В результате проведенного анализа отечественных и мировых трендов были выделены два тренда сферы документооборота: автоматизация и цифровизация, в рамках которых развиваются такие технологии, как Work-Flow системы, системы делопроизводства, электронная цифровая подпись и другие. Также было выявлено, что тренды на автоматизацию и цифровизацию затрагивают не весь процесс документооборота, а лишь его отдельные этапы, что дало обоснование для поиска проблем и узких мест на других этапах, которые требовали бы разработки решений и внедрения инновационных технологий.

Одним из наиболее уязвимых мест организации документооборота стал этап форматирования документации, что отображено в таблице 1.

Таблица 1. **Анализ возможности устранения узких мест и решения проблем, возникающих на разных этапах, посредством существующих технологий автоматизации и цифровизации**

Этап	**Кол-во видов документа-ции**	**Существующие проблемы и узкие места**	**Существующие решения по автоматизации, цифровизации**
Экспедиционная обработка	1	Несоблюдение сроков обработки документов	Система делопроизводства
Предварительное рассмотрение документов	1	Высокая трудоемкость	Система делопроизводства
Регистрация документов	3	Несоблюдение сроков обработки, высокая трудоемкость	Система делопроизводства
Маршрутизация	3	Несоблюдение сроков обработки, высокая трудоемкость	Система делопроизводства, Work-Flow
Этап	Кол-во видов документации	Существующие проблемы и узкие места	Существующие решения по автоматизации, цифровизации
Подготовка и оформление документов	2	Несоблюдение сроков обработки, высокая трудоемкость	–
Обсуждение и согласование документов	2	Несоблюдение сроков обработки документов	Система делопроизводства, Work-Flow, ЭЦП
Рассмотрение документов руководителем	3	Несоблюдение сроков обработки документов	Система делопроизводства, Work-Flow, ЭЦП
Напоминание о поручениях	2	Высокая трудоемкость	Система делопроизводства, Work-Flow, ECM-система
Направление документов пользователям на ознакомление и исполнение	2	Несоблюдение сроков обработки документов	Система делопроизводства, Work-Flow
Исполнение документов	2	Несоблюдение сроков обработки, высокая трудоемкость	Система делопроизводства, Work-Flow, ECM-система
Контроль исполнения поручений	2	Высокая трудоемкость	Система делопроизводства, Work-Flow, ECM-система
Формирование документов в дела, распределение в места хранения	3	Несоблюдение сроков обработки, высокая трудоемкость	Электронный архив, система делопроизводства

В результате анализа было выявлено, что специалисты организаций различных сфер деятельности тратят временные, умственные и физические ресурсы на то, чтобы оформить документ по требованиям ГОСТ или иным. Таким образом, была выявлена острая потребность в поиске подходящих решений для проблемы форматирования.

В результате анализа существующих инновационных решений, которые автоматизируют этап форматирования документов в рамках осуществления документооборота организации, было выявлено 4 решения и проведена их сравнительная оценка. Было установлено, что ни одно из существующих решений не удовлетворяет потребности в автоматическом форматировании в полной мере, так как не соответствует ключевым требованиям функциональности, безопасности и интуитивности. Таким образом, была сформулирована гипотеза о существовании рыночного окна для создания и вывода на рынок продукта, осуществляющего автоматическое оформление текстовых документов.

Для проверки гипотезы был исследован потенциальный спрос на подобное решение среди целевой аудитории. В ходе проведения исследования была установлена перспективность сегментов образования и издательского дела, подтверждена гипотеза о востребованности инновационного продукта для автоматического форматирования документов для сегментов и подтверждена гипотеза о существующем рыночном окне, что дало обоснование для оценки потенциала коммерциализации решения.

По результатам анализа потенциала коммерциализации, отраженным на рис. 1, было установлено, что рассматриваемый продукт по автоматическому форматированию документов имеет высокий потенциал коммерциализации с точки зрения преодоления существующих рыночных барьеров, уровня конкурентоспособности, осуществимости и масштабируемости, что поспособствовало дальнейшему выбору наиболее перспективного варианта реализации решения.

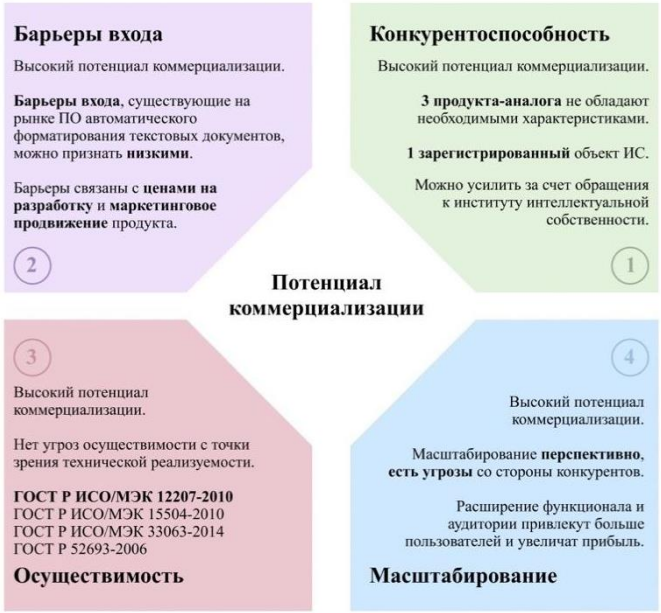


Рис. 1. Оценка потенциала коммерциализации решения по автоматическому форматированию текстовых документов с точки зрения рыночных, технических и правовых ограничений

Далее, с помощью сравнительного анализа был определен наиболее перспективный вариант реализации решения по форматированию документов. Таковым стал самостоятельный инновационный бизнес, который будет развиваться как ООО. С учетом выбранного варианта реализации решения была составлена бизнес-модель по Остервальдеру-Пинье.

После положительных результатов анализа потенциала коммерциализации решения стала возможной разработка концепции продукта по форматированию текстовых документов. Таким образом, было составлено техническое задание, в рамках которого в том числе была построена архитектура приложения, отображенная на рисунке 2, а также прописан алгоритм его работы.

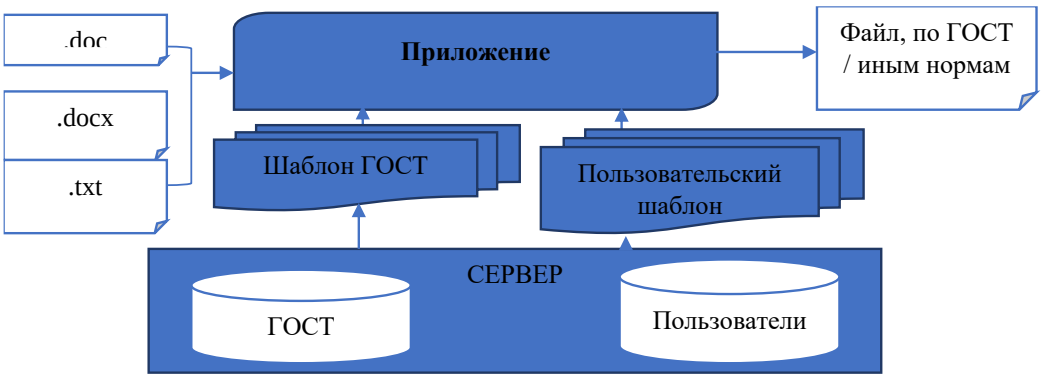


Рис. 2. Архитектура приложения по форматированию текстовых документов

Также в рамках разработки концепции продукта по форматированию текстовых документов была создана стратегия развития продукта и план его продвижения на рынке.

На последнем этапе была составлена финансовая модель [3, 4] и определены риски бизнес-проекта его реализации. В результате проведения анализа было установлено, что инновационный бизнес с точки с зрения финансовых показателей можно назвать целесообразным и привлекательным для реализации, что отображено на рисунке 3.

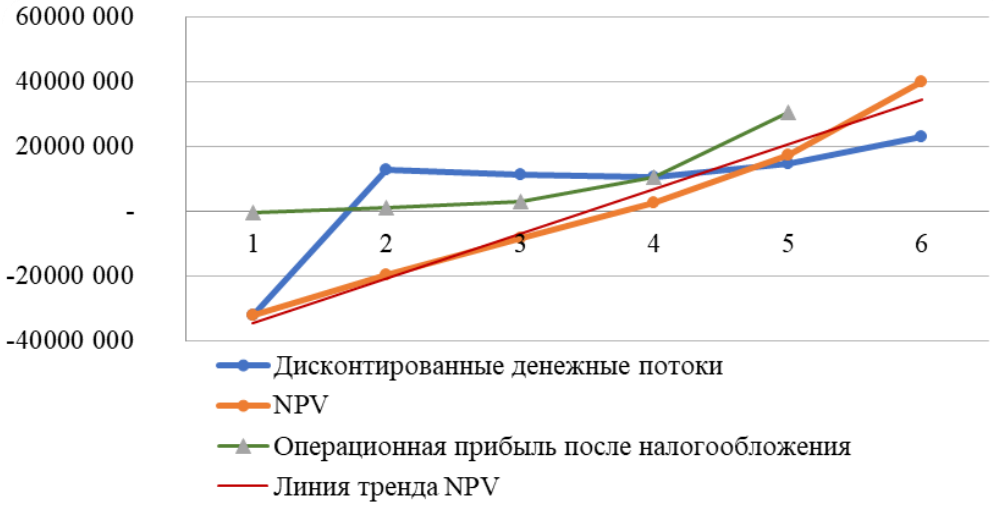


Рис. 3. Операционная прибыль, дисконтированные денежные потоки с учетом фактора риска и инфляции и NPV, руб.

Практические результаты могут быть использованы юридическими лицами, создающими программные решения для сферы документооборота, у которых есть потребность в создании высокоприбыльного инновационного продукта, отвечающего запросам целевой аудитории. Предложенное программное средство может стать решением проблемы ручного форматирования текстовых документов, сократит трудозатраты и оптимизирует бизнес-процессы организации, связанные с документооборотом.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Спрос бизнеса на ЭДО в 2022 году вырос под влиянием трех факторов – эксперт. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://vk.cc/co9JGe (дата обращения: 14.05.2023).
2. Новые причины перейти на ЭДО: преимущества электронного документооборота в ракурсе подорожания бумаги. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://vk.cc/co9JKc (дата обращения: 14.05.2023).
3. Будрина Е.В., Лебедева А.С., Рогавичене Л.И. и др. Методика оценки емкости рынка инноваций // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия Экономика и экологический менеджмент. 2019. №. 3. С. 3-16.
4. Ключевая ставка Банка России и инфляция. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.cbr.ru/hdbase/infl/ (дата обращения: 10.04.2023).

Выпускник
Ли Юньчжэнь
институт международного развития и партнерства
Направление подготовки: 45.03.04 – Интеллектуальные системы в гуманитарной сфере
e-mail: leeyunchzhen@gmail.com

Научный руководитель
Добренко Наталья Викторовна
к.т.н., доцент
e-mail: dobrenkonv@itmo.ru

УДК 004.89

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ПОЖАРНОГО ВИДЕОНАБЛЮДЕНИЯ НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИИ ОБНАРУЖЕНИЯ ОБЪЕКТОВ

Традиционные дымовые извещатели принято делить на четыре типа по разным принципам работы: ионизационные, оптические, аспирационные, линейные [1]. Но их принцип работы объединяет одно: им нужен дым, чтобы попасть в дымовой извещатель. Это делает их обычно развертываемыми только в помещении, так как для срабатывания сигнализации требуется достаточная концентрация дыма или горючих газов. Возьмем в качестве примера оптическую дымовую сигнализацию, дым, образующийся при пожаре, влияет на интенсивность светового луча, проходящего через воздух. Дым может блокировать или заслонять луч. Это также может привести к рассеянию света из-за отражения от частиц дыма. Фотоэлектрические детекторы дыма предназначены для обнаружения дыма, используя эти эффекты дыма на свету [2]. Это означает, что если концентрация дыма недостаточна, рассеяние света невозможно.

В нашем исследовании мы объединяем методы компьютерного зрения, чтобы решить проблему мониторинга дыма и огня с другой точки зрения. Мы обучаем модель yolov5s, чтобы она могла распознавать пожары и факторы, которые могут их вызвать при различных условиях освещения. После того, как модель достигла достаточной точности, мы инкапсулировали ее и использовали в качестве ядра для разработки полной системы видеонаблюдения. В то же время наше исследование имеет два основных новшества по сравнению с существующими аналогичными проектами: во-первых, наш проект может обрабатывать несколько медиапотоков одновременно; во-вторых, наш проект визуализирует риск возникновения пожара в медиапотоках. Кроме того, система использует архитектуру B/S и является хорошо кроссплатформенной.

Сначала мы обучили модель yolov5s, используя около 13 000 изображений. В эти изображения были включены четыре типа объектов: дым, огонь, люди и курение. После 100 эпох модель достигла точности mAP50, равной 0,762. Часть исходного кода yolov5 была затем переписана, чтобы перепаковать огромный detect.py в класс DetectModel, и простая функция detect() – это все, что нужно для выполнения вызовов модели.

Далее, мы экспериментируем с тремя популярными протоколами потокового вещания. Это RTMP, HLS и HTTP-FLV [3]. В таблице 1 представлены экспериментальные результаты по трем потоковым протоколам.

Таблица 1. **Различия между тремя потоковыми протоколами**

Название протокола	Задержка	Кроссплатформенность
RTMP	≈ 2 с	Плохо, зависит от Flashplayer
HLS	≈ 10 с	Хорошо, зависит от HTML5
HTTP-FLV	≈ 2 с	Хорошо, зависит от HTML5

Поэтому мы наконец-то используем в проекте HTTP-FLV, который имеет хорошую задержка и кроссплатформенность.

В системе мы используем DRF для обработки HTTP-запросов, Nginx для распределения медиапотоков и flv.js для их получения клиентом. Как показано на рисунке 1, это архитектура системы.

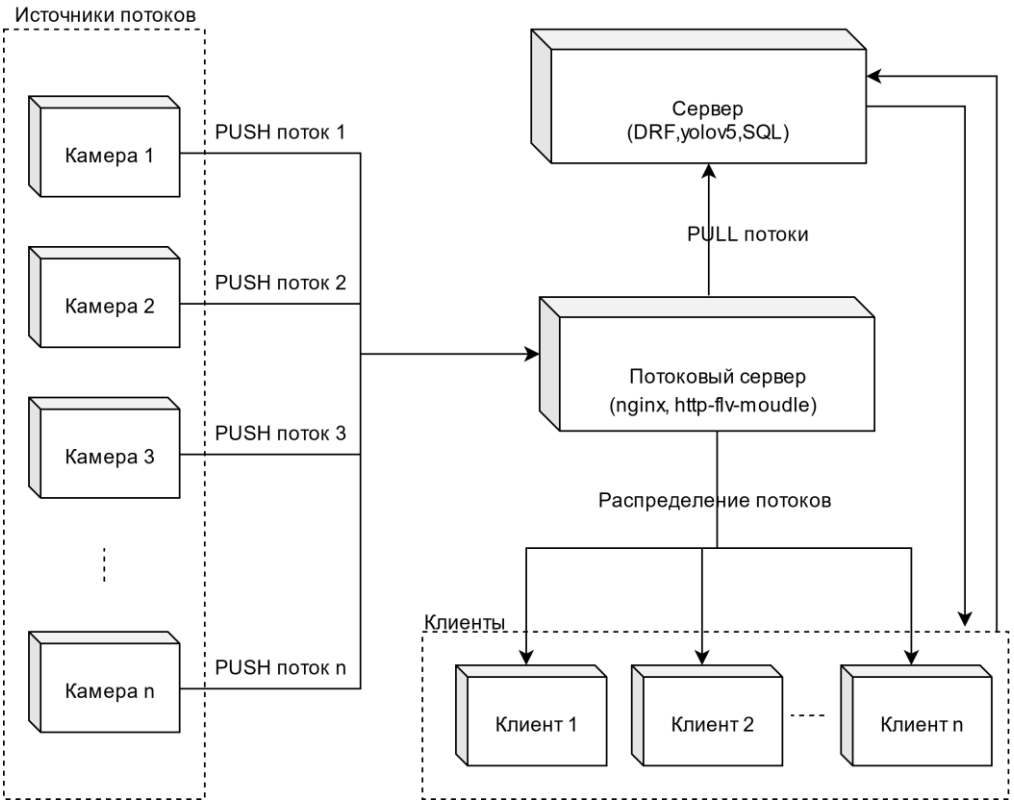


Рис. 1. Архитектура системы видеонаблюдения

Следующие разделы относятся к разработке систем видеонаблюдения. Первый - о том, как рассчитать риск возникновения пожара в данной кадре.

Мы установили вес для каждого типа объектов. В таблице 2 приведены эти веса.

Таблица 2. **Вес объектов**

Тип объекта	Вес
Human	0
Fire	0.05
Smoking	0.01
Smoke	0.03

Далее мы объясним вам это на конкретном примере.

Как показано на рисунке 2, мы используем этот кадр в качестве примера. Риск возникновения пожара Risk в этом каркасе равен:

$$Risk = (S_1 \times 0.03 \times 0.75 \times se) + (S_2 \times 0.05 \times 0.76 \times se), \quad (1)$$

то есть:

$$Risk = \sum_k^n S_k \times w \times c \times se, \quad (2)$$

где S – площадь объекта; w – вес, соответствующий объекту; c – уверенность, которую дает модель; se – регулируемая чувствительность.

Для того чтобы модель обнаруживала видеопоток, а DRF отвечала на HTTP-запрос одновременно, мы используем несколько многопоточных методов. В конечном итоге функция представления работает как с пулом, в котором хранятся объекты WebCemera, используемые для обработки видеопотоков, так и с базой данных. Диаграмма показана на рисунке 3.

Рис. 2. Кадр, предсказанный моделью

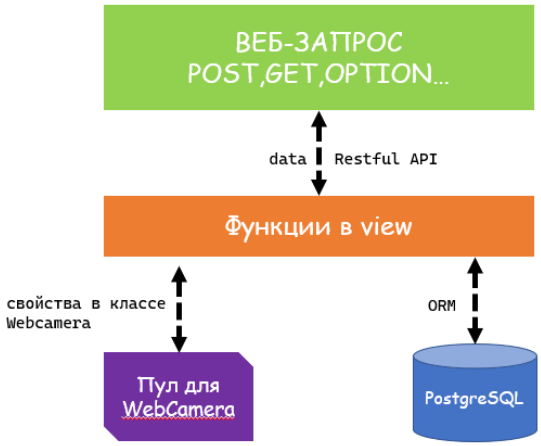


Рис. 3. Режим работы функции представления

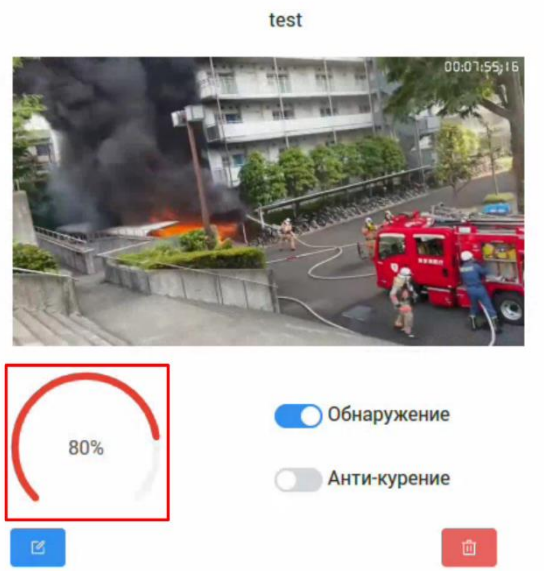


Рис. 4. Интерфейс для одной камеры

Использование Vue3 в качестве фреймворка интерфейса и axios в качестве основного метода коммуникации. Окончательный вариант системы видеонаблюдения показан на рисунке 4.

Значения манометра в красных ячейках на рисунке получены из значений пожарного риска risk, приведенных выше.

В итоге, по результатам тестирования, среднее время отклика системы составило около 0,14 с (включая время обмена данными по локальной сети) при обработке 8 камер одновременно. В среднем каждая камера занимает около 60 Мб памяти, а система занимает 1,1 Гб видеопамяти.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Датчик дыма пожарный: назначение, виды и особенности. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://fireman.club/statyi-polzovateley/datchiki-dyima-naznachenie-vidyi-i-osobennosti (дата обращения: 06.05.2023).
2. Юртаев С.В. Принцип работы извещателей. выбор типа пожарного извещателя // Вестник науки. 2022. №. 2 (47). С. 227-232.
3. nginx-http-flv-module. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://github.com/winshining/nginx-http-flv-module (дата обращения: 24.04.2023).

Выпускник
Ливада Егор Андреевич
факультет безопасности информационных технологий
Направление подготовки: 10.03.01 – Технологии защиты информации
e-mail: livada@itmo.ru

Научный руководитель
Коржук Виктория Михайловна
к.т.н., доцент
e-mail: korzhuk@itmo.ru

УДК 004.056

РАЗРАБОТКА ЗАЩИЩЕННОГО МЕССЕНДЖЕРА ДЛЯ МЕДИЦИНСКОЙ ОРГАНИЗАЦИИ НА ОСНОВЕ СЕРТИФИЦИРОВАННЫХ АЛГОРИТМОВ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ

Работа выполнена в рамках темы НИР №620164 «Методы искусственного интеллекта для киберфизических систем».

Информационные технологии играют большую роль в жизни современного человека и сфера здравоохранения – не исключение. Современные медицинские технологии включают в себя не только новейшее медицинское оборудование, но и программное обеспечение, которое автоматизирует и упрощает рабочие процессы. Большая часть медицинского персонала пользуется системами отправки мгновенных сообщения – мессенджерами, как в личных, так и в рабочих целях [1]. Существующие решения популярные в России (Telegram, Viber) не являются специализированными под нужды врачей и законодательство России. Через мессенджеры могут передаваться личные данные пациентов, в том числе касающиеся их жизни и здоровья, а значит такую информацию нужно соответственно защищать.

В таблице 1 представлено сравнение популярных у врачей мессенджеров.

Таблица 1. **Сравнение наиболее популярных мессенджеров среди врачей**

Платформа	Критерии сравнения			
	Специали-зирован	Сквозное шифрование	Групповые чаты	Поддержка нескольких устройств для синхронизации сообщений
Siilo	Да	Да	Нет	Да
Telegram	Нет	Не везде	Нет	Нет
Viber	Нет	Да	Да	Да
Signal	Нет	Да	Да	Да

Для корректной защиты данных мессенджер необходимо рассматривать как информационную систему персональных данных специальной категории. Криптографическая защита информации в таких системах обеспечивается с помощью сертифицированных криптопримитивов, описанных в государственных стандартах. Для обеспечения конфиденциальности данных используется сквозное шифрование с использованием алгоритма двойного криптографического храповика. Основной концепцией алгоритма двойного криптографического храповика является цепь функции диверсификации ключа – функции, которая принимает в качестве аргумента секретный и случайный ключи вместе с некоторыми входными данными и возвращает выходные данные. Выходные данные являются псевдослучайными. Цепь функции диверсификации ключа обладает криптографическими свойствами устойчивости, секретности в будущем, самоисцеления после взлома [2].

Для достижения как конфиденциальности, так и аутентичности данных используется два различных храповика, сочетающих в себе храповик симметричных ключей шифрования, а также храповик Диффи-Хеллмана, который обновляет ключ цепи на основе входных данных

алгоритма Выработки ключей обмена [3]. Полный шаг храповика Диффи-Хеллмана состоит из двойного обновления корневой цепочки функции диверсификации ключа и использования выходных ключей в качестве новых ключей цепи храповика симметричных ключей шифрования и показан на рисунке 1.

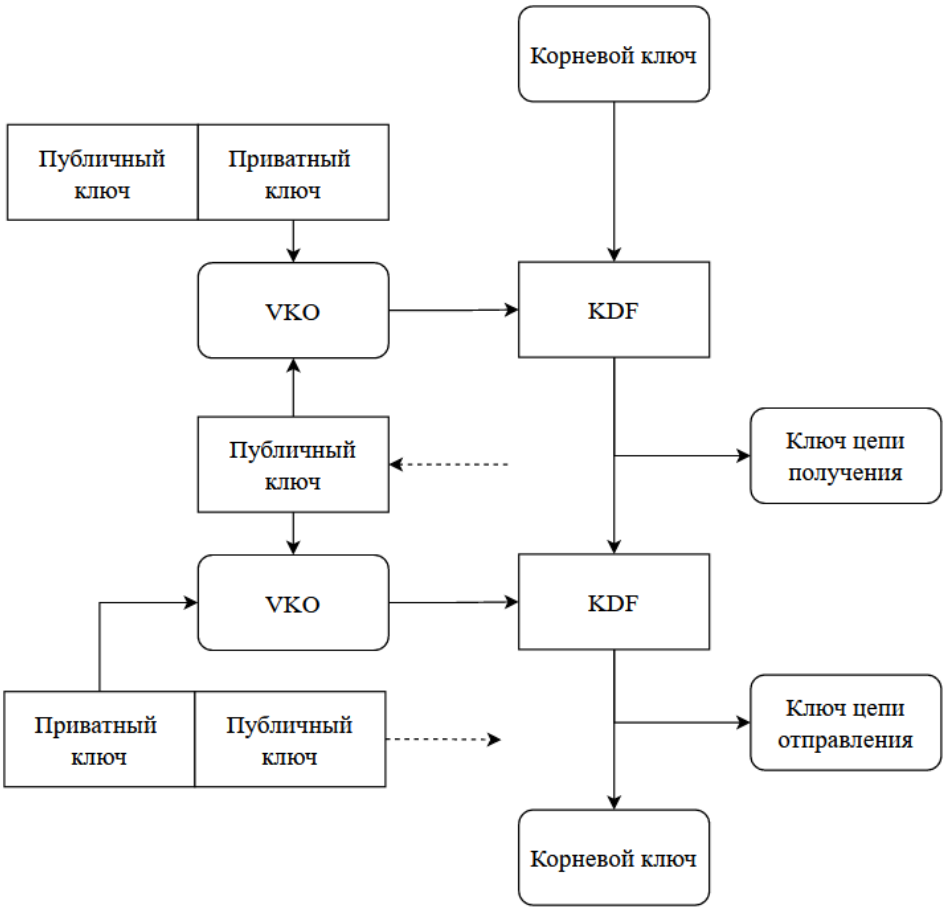


Рис. 1. Полный шаг храповика Диффи-Хеллмана

Алгоритм двойного криптографического храповика используется после первоначального обмена общим секретным ключом, полученного с помощью алгоритма Диффи-Хеллмана на эллиптических кривых. Из общего секретного ключа генерируется «Мастер-ключ», необходимый для запуска механизма храповиков. Для обеспечения дополнительной аутентичности в полный пакет данных, представленный на рисунке 2, входит также имитовставка и другие метки позволяющие идентифицировать корректность полученных данных.

Проведем серию экспериментов, целью которых является установить пропускную способность сервера мессенджера. Для реализации данного эксперимента был реализован скрипт, запускавшийся 5 раз, каждый раз на 60 секунд. Целью скрипта является опрос определенных узлов API от лица заданного количества пользователей. Эмуляция проводилась в режиме 100 активных пользователей, одновременно посылающих запросы к серверу. В таблице 2 представлены усредненные результаты тестирования.

Таблица 2. **Результаты эксперимента**

№	Кол-во пользо-вателей	Запросы	Оши-бки	Среднее (мс.)	Мин. (мс.)	Макс. (мс.)	Средний размер (байт)	Запро-сы/с	Оши-бок/с
1	100	120040	0	43	5	157	554	2003	
2	500	120035	0	254	8	423	554	1999.5	

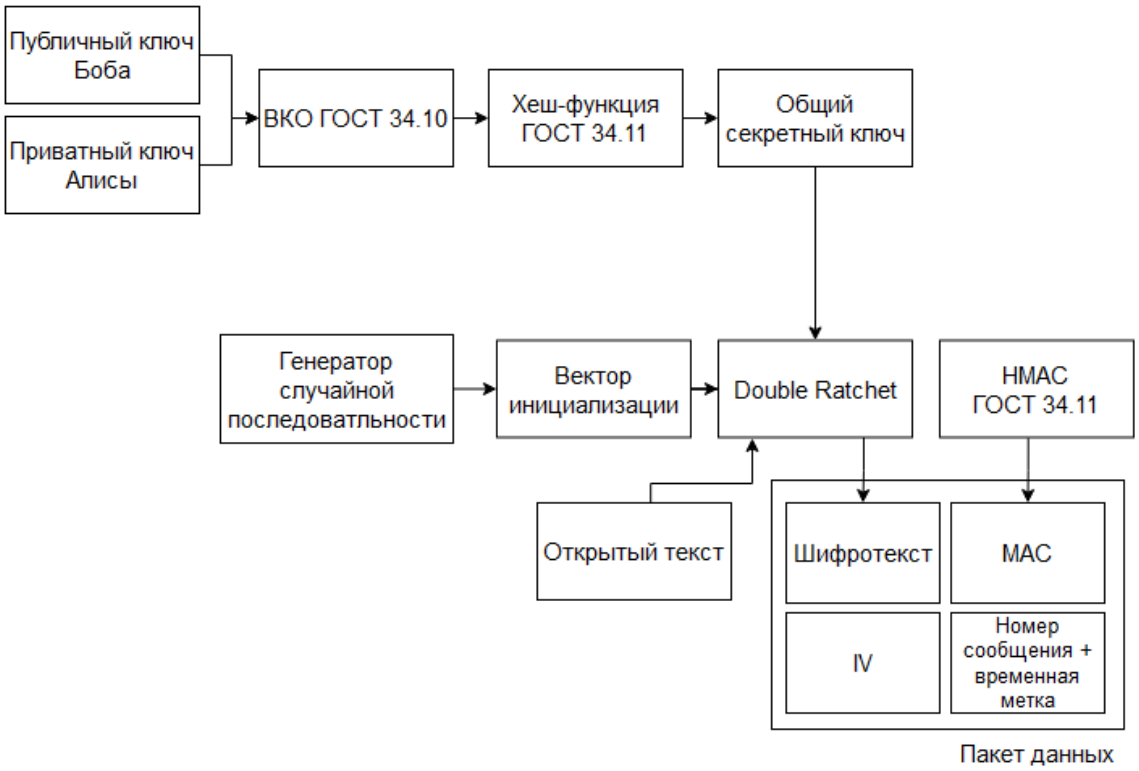


Рис. 2. Схема создания полного пакета данных

Из результатов видно, что с увеличением количества пользователей, одновременно посылающих запрос на сервер, среднее время отклика падает, но количество запросов в секунду, то есть показатель пропускной способности, практически не изменяется.

В ходе работы был разработан мессенджер, специализирующийся на сфере здравоохранения. В разработанной системе используются сертифицированные криптографические средства защиты информации и алгоритмы, которые обеспечивают высокий уровень конфиденциальности и целостности данных. Рассмотренный эксперимент показал, что на текущий момент разработка подходит для небольших команд. Эксперимент проводился с помощью восьмиядерного процессора AMD Ryzen 7 3700.

В дальнейшей работе планируется усовершенствовать программную реализацию с целью снижения времени отклика при повышенном количестве пользователей, а также реализовать пользовательский интерфейс.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Какими мессенджерами пользуются российские врачи и зачем: GxP news. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://gxpnews.net/2021/02/kakimi-messendzherami-polzuyutsya-rossijskie-vrachi-i-zachem/ (дата обращения: 25.03.2023).
2. B. Barak, S. Halevi. A model and architecture for pseudo-random generation with applications to /dev/random // IACR Cryptology ePrint Archive. Сер. 1. 2005. С. 203-2012.
3. Системы обработки информации. Защита криптографическая. Рекомендации по стандартизации. Использование криптографических алгоритмов, сопутствующих применению стандартов ГОСТ Р 34.10-2012 и ГОСТ Р 34.11-2012. Технический комитет 026, 2014. 18 С.

Выпускник
Машарская Александра Алексеевна
центр прикладной оптики
Направление подготовки: 12.03.02 – Оптотехника
e-mail: alex.masharskaya@gmail.com

Научный руководитель
Бахолдин Алексей Валентинович
к.т.н., ведущий профессор, директор ЦПО
e-mail: bakholdin@itmo.ru

УДК 681.7

РАЗРАБОТКА ВЫСОКОАПЕРТУРНОГО ЗЕРКАЛЬНОГО МИКРООБЪЕКТИВА

Работа выполнена в рамках темы НИОКР №422070 «Разработка широкоспектрального высокоапертурного микрообъектива».

Исследование оптических параметров покрытий, плёнок, их толщин и оптических свойств с помощью эллипсометрических методов требует использования высокоапертурных объективов, способных работать в широком спектральном диапазоне и позволяющих изучать состояние поляризации.

Целью работы является разработка высокоапертурного зеркального микрообъектива, удовлетворяющего следующим требованиям:

- спектральный диапазон 0,2–1 мкм;
- основная длина волны 0,54607 мкм;
- фокусное расстояние 5±1 мм;
- числовая апертура в пространстве предметов более 0,6;
- линейное поле в пространстве предметов не менее 0,08 мм.

Для достижения цели необходимо выполнить следующие задачи:

- провести аналитический обзор аналогов и методов расчёта высокоапертурных зеркальных микрообъективов;
- провести габаритный расчет зеркальных микрообъективов и исследование величины экранирования при различных значениях отношений осевых расстояний;
- провести аберрационный расчет и определить радиусы пятен рассеяния вариантов систем с различной степенью асферизации зеркальных поверхностей;
- разработать схему оптическую принципиальную и чертежи оптических элементов зеркального микрообъектива.

В аналитическом обзоре исследованы 22 патента по рентгеновской микроскопии, зеркальным микрообъективам и асферическим зеркалам. Обнаружены осесимметричные системы, близкие по своим конструктивным параметрам к разрабатываемому высокоапертурному микрообъективу.

Выделяют три типа двухзеркальных осесимметричных систем (рис. 1).

Наиболее перспективными являются системы первого типа, позволяющие достичь больших значений входной числовой апертуры при большом переднем отрезке входного зрачка.

Изучены различные методы расчёта зеркальных систем, выполнена математическая модель расчёта зеркальных систем с асферическими поверхностями через углы нулевого луча.

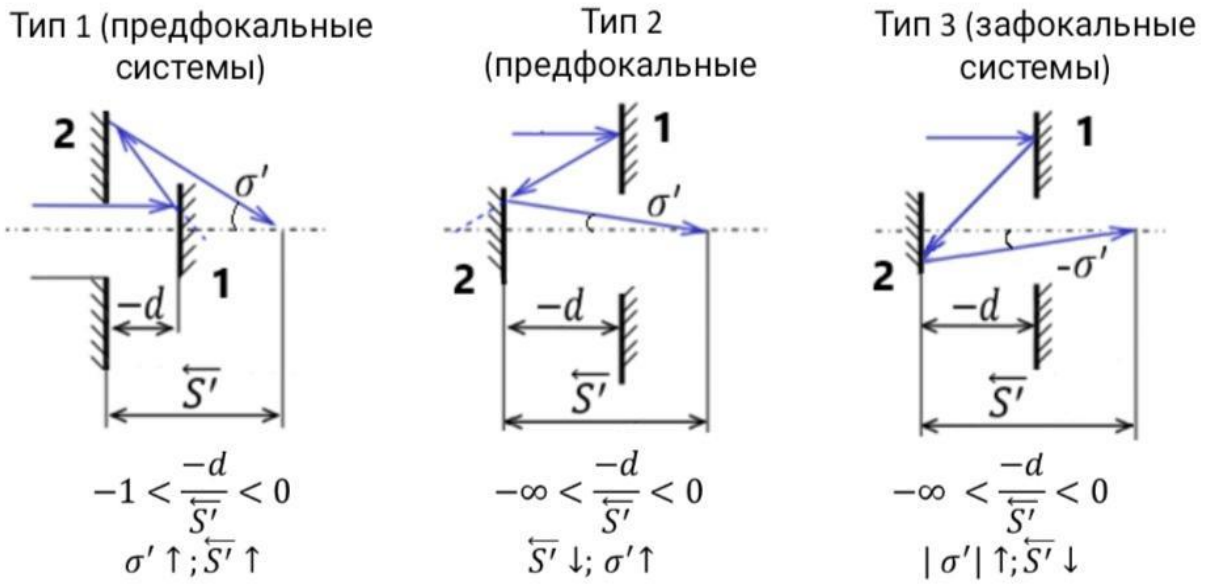


Рис. 1. Типы двухзеркальных систем

На рисунке 2 представлен ход лучей в двухзеркальной системе. Значения h_{21}, h_{11} соответствуют меньшим высотам на втором и первом зеркалах соответственно. Высоты h_1, h_2 ограничивают размеры второго и первого зеркала.

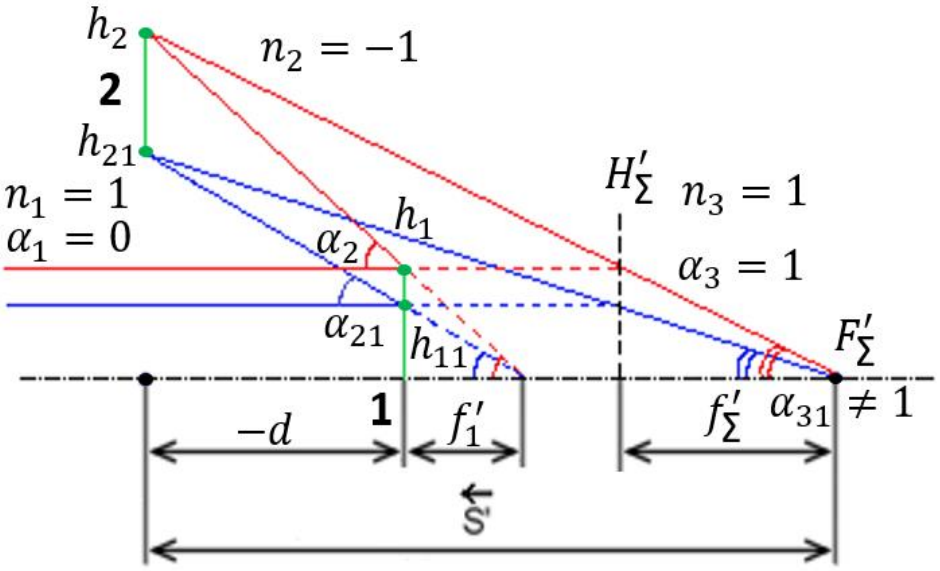


Рис. 2. Ход лучей в оптической системе

Также на рисунке 3 показаны зависимости фокусного расстояния от величины q отношения расстояния между зеркалами и заднего отрезка в обратном ходе лучей.

В процессе габаритного расчёта выведены формулы фокусного расстояния для первого и второго зеркала через величину экранирования и параметр q.

Фокусное расстояние первого зеркала:

$$f'_1 = \frac{q}{1-\eta(1-q)}.$$

Фокусное расстояние второго зеркала:

$$f'_2 = \frac{q}{\eta(1-q)(1+q-\eta(1-q))}.$$

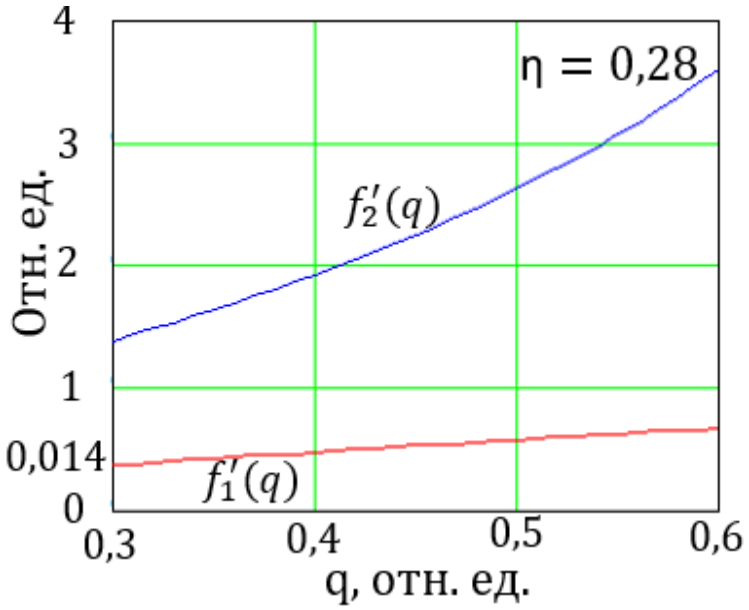


Рис. 3. Зависимости фокусного расстояния от параметра q

Для получения системы с высоким качеством изображения необходимо провести аберрационный расчет, где значение первой суммы Зейделя, отвечающей за сферическую аберрацию, нужно принять за 0.

$$S_I = 0.$$

Также анаберрационное изображение точки можно получить с помощью параболического зеркала, квадрат эксцентриситета которого равен 1.

$$b_2 = -e_2^2 \; b_1 = -e_1^2 = -1.$$

Анаберрационное изображение точки в двухзеркальной системе получается при использовании системы зеркал: первичного параболического и вторичного эллиптического.

На рисунке 4 показаны графические решения для нахождения зависимости оптимального значения эксцентриситета второго зеркала от параметра q и величины экранирования. Пересечения кривых с осями определяют значения эксцентриситетов зеркал.

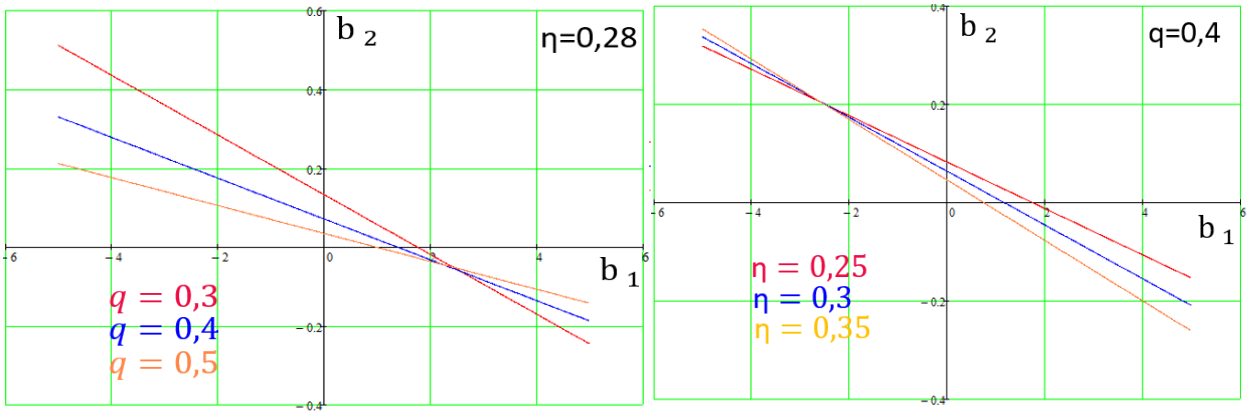


Рис. 4. Зависимость $b_2 = f\,(q, n, b_1)$ от параметра q при постоянной величине экранирования $\eta = 0{,}28$ и от параметра η при постоянной величине экранирования $q = 0{,}4$

В программе Zemax рассчитаны размеры пятен рассеяния и выполнено моделирование оптической системы.

Характеристики оптической системы:

$$f' = 5 \text{ мм}, A' = 0{,}689, 2y' = 0{,}1 \text{ мм}.$$

Также выполнен расчет для нахождения радиусов зеркал и расстояния между зеркалами d [2] и экранирования:

$$\eta = \frac{1}{S\prime - (-d)} = 0{,}3,$$

$$r_1 = h_1 \cdot \frac{n_2 - n_1}{n_2 a_2} \cdot f' = 5{,}4 \text{ мм},$$

$$r_2 = h_2 \cdot \frac{n_3 - n_2}{n_3 - n_2 a_2} \cdot f' = 22{,}8 \text{ мм},$$

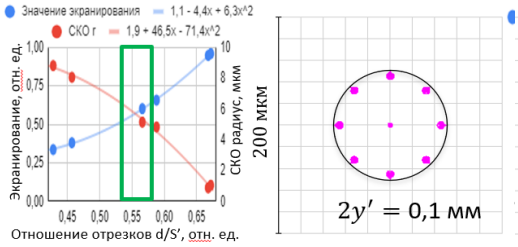
$$d = \frac{(1-h_2)}{a_2} \cdot f' = -14{,}8 \text{ мм},$$

$$e_2^2 = \frac{(\eta(q-1)+1-q)^2}{(\eta(q-1)+1+q)^2} = -0{,}09 \text{ эллипсоид}.$$

В данной оптической системе, состоящей из параболического и эллиптического зеркала, значение комы положительное, кома направлена наружу.

Значения диаметра пятна рассеяния на краю поля не удовлетворяют дифракционному качеству изображения. Так как числовая апертура в пространстве предметов в обратном ходе составляет всего 0,689, необходимо проанализировать другие типы систем для нахождения более высокоапертурных.

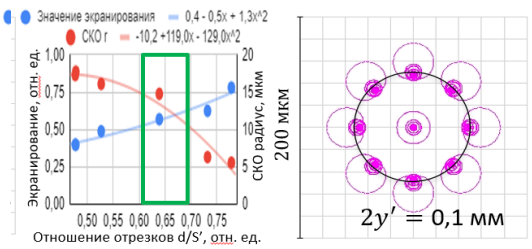
A=0,906



Ø ос.т. = 1,8 мкм Ø вн.т. = 6,2 мкм Ø эри = 0,74 мкм

Радиусы r_i, мм	Осевые расстояния d_i, мм	Квадраты эксцентриситетов e_i^2	Тип поверхности
$r_1 = 9{,}1$	$d = -9{,}9$	$e_1^2 = -2{,}475$	эллипсоид
$r_2 = 14{,}6$		$e_2^2 = -0{,}142$	эллипсоид

A=0,940



Ø ос.т. = 11,1 мкм Ø вн.т. = 12,7 мкм Ø эри = 0,71 мкм

Радиусы r_i, мм	Осевые расстояния d_i, мм	Квадраты эксцентриситетов e_i^2	Тип поверхности
$r_1 = 8{,}2$	$d = -19{,}6$	$e_1^2 = -1{,}672$	эллипсоид
$r_2 = 24{,}4$		$e_2^2 = -0{,}061$	эллипсоид

Рис. 5. Пятна рассеяния при апертуре 0,906 и 0,940 в системах с двумя асферическими зеркалами

На рисунках 5, 6, 7, 8 для каждого типа систем представлены зависимости экранирования и СКО радиуса от величины отношения отрезков d/S' при числовой апертуре 0,906 и 0,940, что соответствует апертурному углу в 65° и 70°.

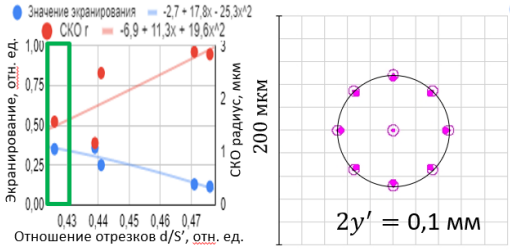
Зелёными рамками отмечены области, в которых могут быть получены системы, обладающие оптимальными параметрами по экранированию и размеру пятен рассеяния.

Система из двух асферических эллиптических зеркал (рис. 5) позволяет получить меньшее значение аберрации кома, чем в случае с параболическим и эллиптическим зеркалом, но при этом величина пятна рассеяния в центре поля становится больше.

При отношении отрезков равном менее 0,43 и менее 0,48 при числовой апертуре 0,906 и 0,940 соответственно, системы (рис. 6) обладают минимальным значением пятна рассеяния и допустимой величиной экранирования. Но на поле равном 100 мкм не удаётся достичь предельных размеров пятен рассеяния.

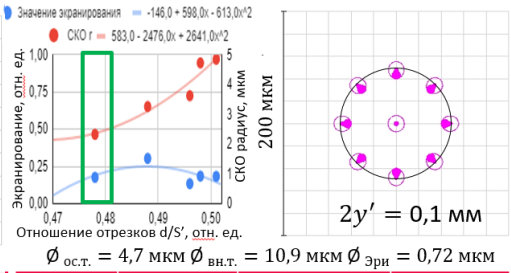
Система с апертурой 0,906, состоящая из асферики четвертого порядка и сферы (рис. 7), позволяет получить размер изображения, удовлетворяющий параметрам линейного поля объектива равного 100 мкм при отношении отрезков не менее 0,58.

A=0,906



$\varnothing_{\text{ос.т.}} = 3{,}2$ мкм $\varnothing_{\text{вн.т.}} = 7{,}1$ мкм $\varnothing_{\text{Эри}} = 0{,}74$ мкм

Радиусы r_i, мм	Осевые расстояния d_i, мм	Квадраты эксцентриситетов e_i^2	Тип поверхности
$r_1 = 5{,}0$	$d = -9{,}9$	$e_1^2 = 0$	сфера
$r_2 = 16{,}1$		$e_2^2 = 0{,}042$	-5.221e-5; 5.876e-8

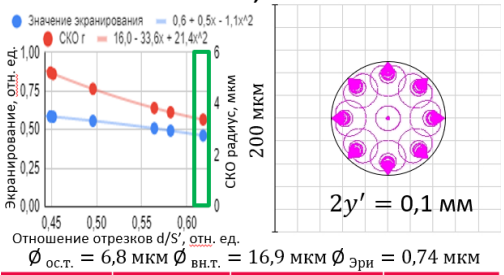


$\varnothing_{\text{ос.т.}} = 4{,}7$ мкм $\varnothing_{\text{вн.т.}} = 10{,}9$ мкм $\varnothing_{\text{Эри}} = 0{,}72$ мкм

Радиусы r_i, мм	Осевые расстояния d_i, мм	Квадраты эксцентриситетов e_i^2	Тип поверхности
$r_1 = 5{,}0$	$d = -24{,}5$	$e_1^2 = 0$	сфера
$r_2 = 35{,}3$		$e_2^2 = 0{,}078$	-3.191e-5; 3.748e-9

Рис. 6. Пятна рассеяния при апертуре 0,906 и 0,940 в системах с первичным сферическим и вторичным асферическим зеркалом

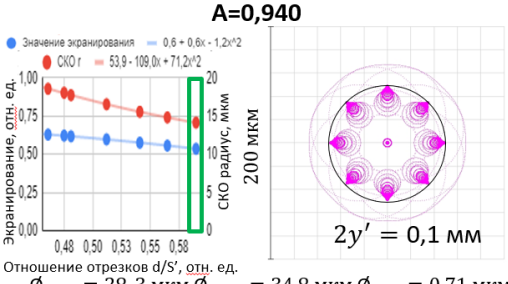
A=0,906



$\varnothing_{\text{ос.т.}} = 6{,}8$ мкм $\varnothing_{\text{вн.т.}} = 16{,}9$ мкм $\varnothing_{\text{Эри}} = 0{,}74$ мкм

Радиусы r_i, мм	Осевые расстояния d_i, мм	Квадраты эксцентриситетов e_i^2	Тип поверхности
$r_1 = 12{,}7$	$d = -29{,}7$	$e_1^2 = -6{,}910$	0,033; 1,255e-4
$r_2 = 39{,}2$		$e_2^2 = 0$	сфера

A=0,940

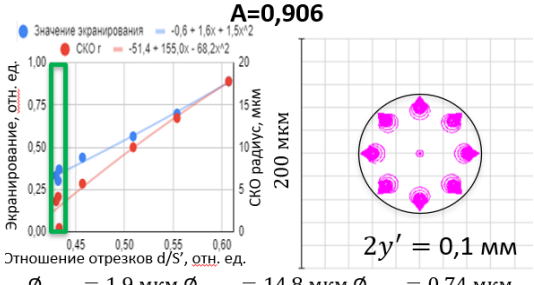


$\varnothing_{\text{ос.т.}} = 28{,}3$ мкм $\varnothing_{\text{вн.т.}} = 34{,}8$ мкм $\varnothing_{\text{Эри}} = 0{,}71$ мкм

Радиусы r_i, мм	Осевые расстояния d_i, мм	Квадраты эксцентриситетов e_i^2	Тип поверхности
$r_1 = 14{,}0$	$d = -24{,}9$	$e_1^2 = -9{,}564$	0,039; 1,832e-4
$r_2 = 33{,}8$		$e_2^2 = 0$	сфера

Рис. 7. Пятна рассеяния при апертуре 0,906 и 0,940 в системах с первичным асферическим и вторичным сферическим зеркалом

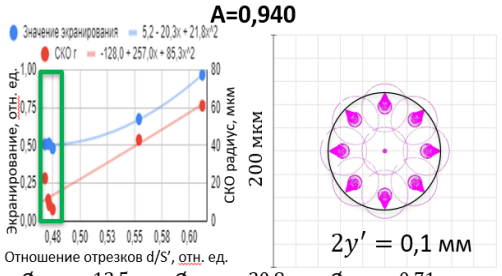
A=0,906



$\varnothing_{\text{ос.т.}} = 1{,}9$ мкм $\varnothing_{\text{вн.т.}} = 14{,}8$ мкм $\varnothing_{\text{Эри}} = 0{,}74$ мкм

Радиусы r_i, мм	Осевые расстояния d_i, мм	Квадраты эксцентриситетов e_i^2	Тип поверхности
$r_1 = 6{,}9$	$d = -9{,}9$	$e_1^2 = -1{,}346$	0,022; -6,283e-5
$r_2 = 16{,}4$		$e_2^2 = 0{,}031$	-6,078e-5; -1,994e-7

A=0,940



$\varnothing_{\text{ос.т.}} = 12{,}5$ мкм $\varnothing_{\text{вн.т.}} = 20{,}8$ мкм $\varnothing_{\text{Эри}} = 0{,}71$ мкм

Радиусы r_i, мм	Осевые расстояния d_i, мм	Квадраты эксцентриситетов e_i^2	Тип поверхности
$r_1 = 6{,}8$	$d = -10{,}0$	$e_1^2 = -1{,}346$	6,707e-3; 4,100e-5
$r_2 = 16{,}0$		$e_2^2 = -0{,}009$	-3,429e-4; 8,370e-8

Рис. 8. Пятна рассеяния при апертуре 0,906 и 0,940 в системах с двумя асферическими зеркалами 4-го порядка

В случае, когда система состоит из двух асферических зеркал 4-го порядка (рис. 8) с числовой апертурой равной 0,906, диаметр её пятна рассеяния в центре поля составляет менее 2 мкм, а кома направлена внутрь, при этом величина изображения соответствует значению линейного поля объектива равного 100 мкм.

Для системы из двух асферических зеркал четвертого порядка с числовой апертурой 0,906 разработана конструкторская документация на два зеркала и выполнена схема оптическая принципиальная (рис. 9) [3].

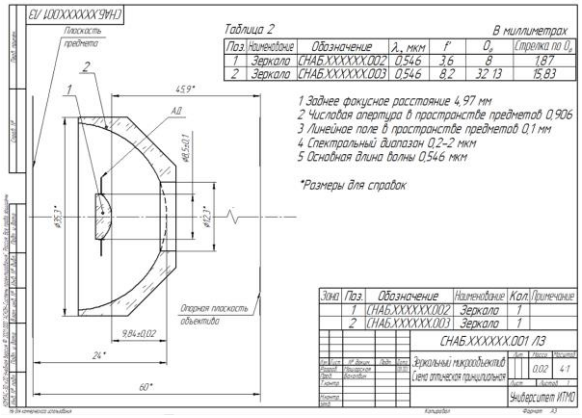


Рис. 9. Схема оптическая принципиальная

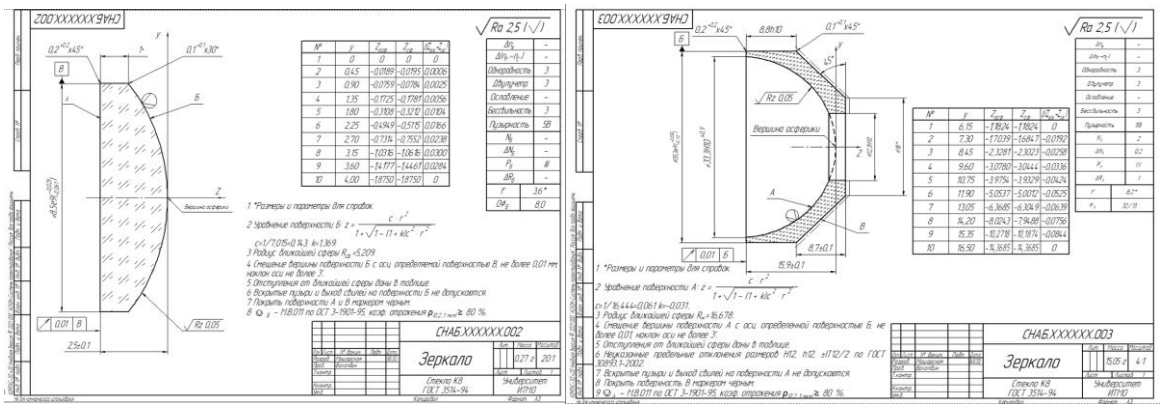


Рис. 10. Чертёж первичного и вторичного зеркала

Для определения параметров асферичности первичного зеркала (рис. 10) была использована трёхточечная модель расчёта отклонения от ближайшей сферы, особенностью которого является построение через края и вершину асферического зеркала. Так как вторичное зеркало имеет отверстие, для определения асферичности необходимо использовать четырёхточечную модель расчёта с использованием точек, определяющих диаметр отверстия и края асферического зеркала.

В ходе выполнения работы разработана конструкторская документация на высокоапертурный зеркальный микрообъектив с числовой апертурой 0,906.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Машарская А.А., Уварова А.В., Бахолдин А.В. Расчёт объектива Шварцшильда // Сборник тезисов докладов конгресса молодых ученых. Электронное издание. — СПб : Университет ИТМО, 2023.
2. Чуриловский В.Н. Теория хроматизма и аберраций третьего порядка. Машиностроение, 1968. 312 с.
3. Цуканова Г.И., Бахолдин А.В. Спецразделы прикладной оптики. Учебно–методическое пособие под редакцией профессора Шехонина А.А. – СПб: СПб ГУИТМО. 2008. 77 с.

Выпускник
Морозова Полина Алексеевна
научно-образовательный центр фотоники и оптоинформатики
Направление подготовки: 12.03.03 – Фотоника и оптоинформатика
e-mail: pamorozova@itmo.ru

Научный руководитель
Наседкин Борис Александрович
н.с.
e-mail: banasedkin@itmo.ru

УДК 535.015

ИССЛЕДОВАНИЕ АТАК НА ЛОКАЛЬНЫЙ ОСЦИЛЛЯТОР СИСТЕМ КВАНТОВОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КЛЮЧА НА НЕПРЕРЫВНЫХ ПЕРЕМЕННЫХ

Работа выполнена в рамках темы НИР № 621317 «Фундаментальные и прикладные вопросы фотоники».

Криптографическая защита данных с открытым ключом сегодня значительно уступает по безопасности технологиям, использующим симметричный ключ, передаваемый по защищённому каналу связи. В 1984 году Чарльзом Беннетом и Жилем Брассаром с первым в истории протоколом квантового распределения ключа BB84 было положено начало эпохи квантовой криптографии [1]. Являясь на сегодняшний день наиболее перспективным методом безопасной передачи данных, квантовое распределение ключей (КРК) позволяет генерировать и передавать ключи шифрования между удаленными сторонами благодаря использованию дополнительного квантового канала.

Обеспечение безопасности передачи ключа шифрования обосновано фундаментальными принципами квантовой механики: принцип неопределённости, теорема о запрете клонирования, явление запутанности. Значительная часть экспериментальных реализаций систем КРК на сегодняшний день опирается на дискретные протоколы, позволяющие обеспечить передачу зашифрованной симметричной последовательности битов с использованием одиночных фотонов в качестве носителей сигнала. С другой стороны, так называемые методы когерентного детектирования, используемые в некоторых системах КРК, не требуют внедрения технически сложных и дорогостоящих детекторов одиночных фотонов. Подобные протоколы КРК основаны на использовании когерентных состояний и когерентного детектирования и называются протоколами КРК на непрерывных переменных (КРКНП) [2]. Принципиальная схема установки КРКНП с блоками Отправитель-Получатель представлена на рисунке 1. Основным компонентом блока когерентного детектирования является балансный детектор, используемый для реализации метода гомодинного детектирования. Сигнальное излучение, содержащее информацию о ключе, интерферирует с излучением локального осциллятора (ЛО), создающего опорную фазу для измерения квадратуры.

Однако квантовые сети подвержены потенциальным атакам на техническую реализацию, которые ставят под угрозу передачу ключа шифрования. Для мониторинга систем КРКНП используется уровень избыточного шума. Снижение величины этого параметра в канале ЛО влечёт его снижение и во всей системе КРКНП. В таком случае, при увеличении избыточного шума в сигнальном канале нарушитель остаётся незамеченным, поскольку изначальный допустимый уровень шума во всей системе сохраняется. В настоящей работе исследованы следующие атаки на локальный осциллятор: атака с ослеплением на различных длинах волн; разбалансирование балансного детектора; атака с использованием коротких импульсов.

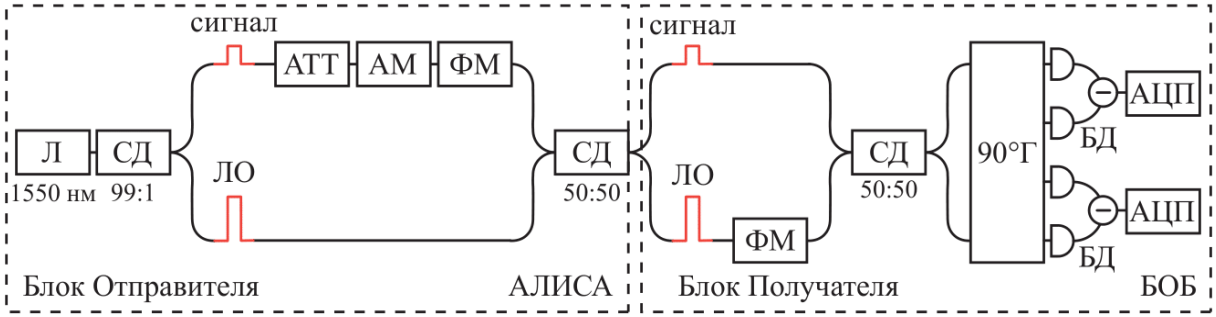


Рис. 1. Принципиальная оптическая схема установки КРКНП с гауссовской модуляцией: Л – лазер, СД – светоделитель с сохранением поляризации, ЛО – локальный осциллятор, АТТ – управляемый оптический аттенюатор, АМ – амплитудный модулятор, ФМ – фазовый модулятор, 90°Г – 90° оптический гибрид, БД – балансный детектор [2]

Цель ВКР состоит в исследовании влияния атак на локальный осциллятор в системах квантового распределения ключей на непрерывных переменных, для чего были решены следующие задачи: рассмотреть влияние полосовой фильтрации на параметры дисперсии вакуумного шума; осуществить экспериментальную апробацию атак на локальный осциллятор; оценить влияние атак на величину вакуумного шума.

В системе КРКНП, использующей протокол с гауссовской модуляцией, гауссовский квантовый канал характеризуется коэффициентом пропускания T и избыточным шумом ξ – дисперсией квадратурных измерений Боба, превышающей дробовой (вакуумный) шум. Избыточный шум может быть вызван несовершенствами устройства, а также действиями нарушителя Евы [3]. Как правило, оценка дисперсии вакуумного шума производится в единицах вакуумного шума, в связи с чем в явном виде была выведена следующая формула:

$$\xi[N_0] = \frac{1}{\eta T}\left(\frac{V_B}{N_0} - \eta T \frac{V_A}{N_0} - 1 - \frac{v_{\text{ele}}}{N_0}\right), \quad (1)$$

где T – пропускание канала, η – коэффициент конечной квантовой эффективности, а v_{ele} – дисперсия электронного шума балансного детектора Боба. V_A, V_B – дисперсия квадратуры сигнала со стороны Алисы и Боба соответственно, N_0 – дисперсия вакуумного шума.

Некорректная оценка N_0 означает, что все компоненты дисперсий квадратур и корреляции могут быть нормализованы неверно, что влечёт за собой ложную оценку скорости передачи ключа и значения взаимной информации [4]. Все атаки на локальный осциллятор так или иначе направлены на манипулирование параметрами шума через канал ЛО. Реализовав атаку, Ева уменьшает параметр избыточного шума, чтобы незаметно проникнуть в сигнальный канал, уже самостоятельно внося дополнительный избыточный шум, однако, общий избыточный шум остается неизменным. На рисунке 2 представлена схема экспериментальной установки для определения характеристик балансного детектора.

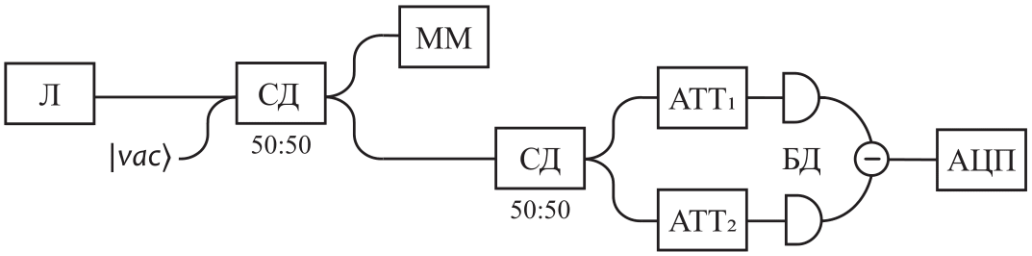


Рис. 2. Схема экспериментальной установки для оценки дисперсии вакуумного шума: Л – лазер Tunable Laser Source (8168F) (ЛО), ИЗО – изолятор, СД – светоделитель с сохранением поляризации, ATT1 и ATT2 – перестраиваемые аттенюаторы, ММ – измеритель мощности Grandway FHP2A04, БД – балансный детектор OEM Balanced Detector (BPD-003), осциллограф R&S®RTM3004

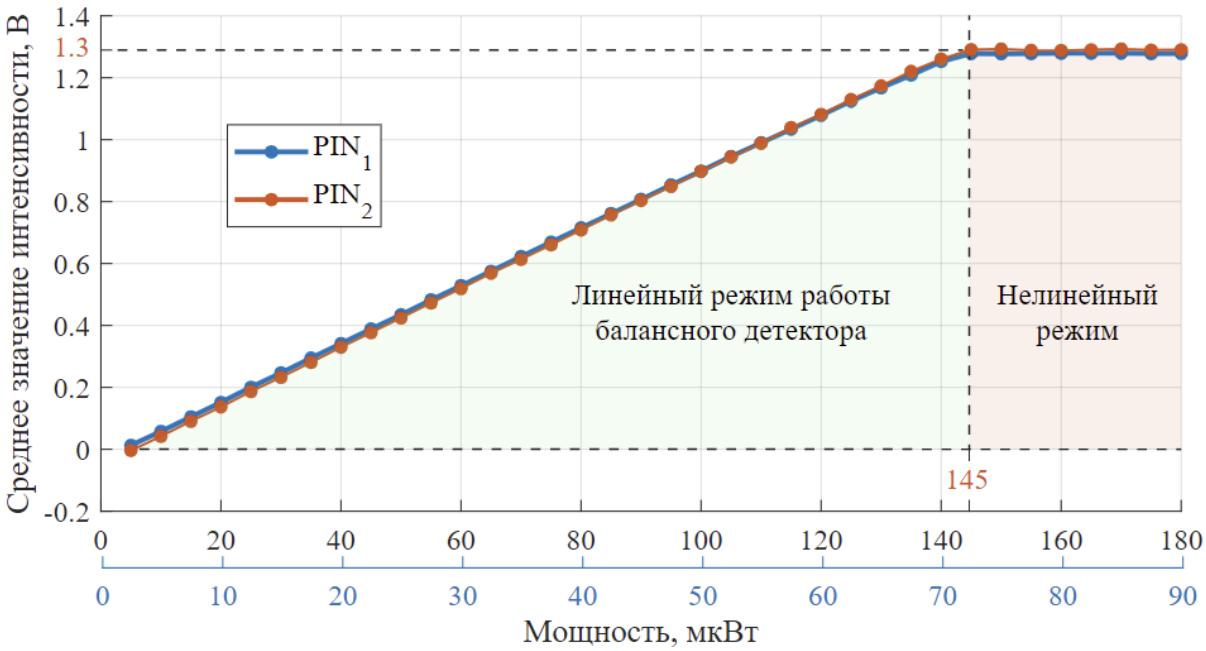


Рис. 3. Зависимости средних значений интенсивности от мощности подаваемого излучения на длине волны 1550 нм для двух PIN-фотодиодов БД

При дальнейшем увеличении мощности в канале происходит ослепление электронных компонентов, что влечет за собой уязвимость балансного детектора, которой может воспользоваться нарушитель. Мониторинг уровня избыточного шума, определяемого параметром дисперсии в канале локального осциллятора, линейно возрастает до определенного момента, за которым следует стремительное падение. Поскольку значение дисперсии после падения соответствует допустимому уровню избыточного шума, легитимные пользователи могут принять ключи, незаметно скомпрометированные нарушителем [5]. Эксперимент был проведен на распространённой для телекоммуникационных сетей длине волны – 1550 нм (рис. 4).

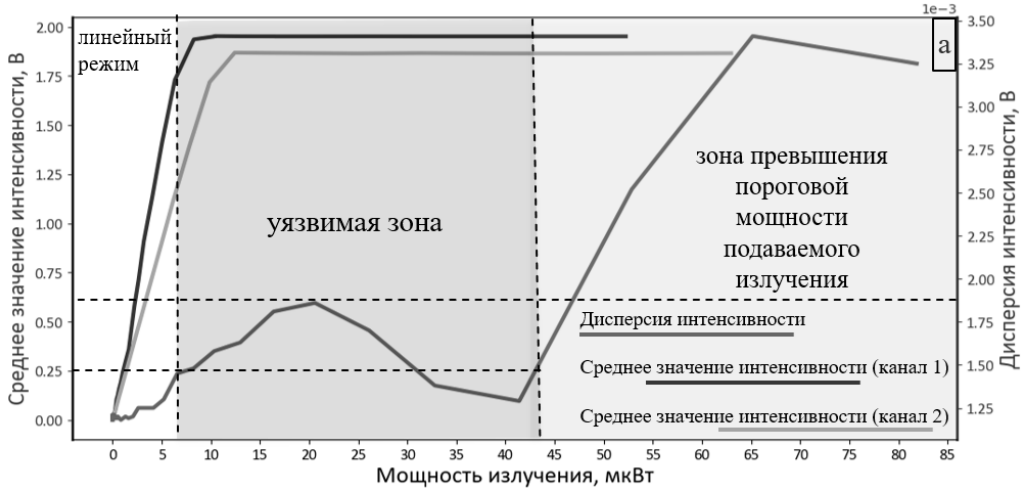


Рис. 4. Зависимости среднего значения интенсивности и дисперсии от мощности подаваемого излучения на длине волны 1550 нм

Возникает вопрос, реализуема ли атака с ослеплением при условии несоответствия длин волн системы и нарушителя. Так, исследование было проведено также для длин волн 1440 нм и 1590 нм (рис. 5). В ходе эксперимента была измерена зависимость средних значений интенсивности в каналах балансный детектор и величины дисперсии (избыточного шума) от принятой мощности.

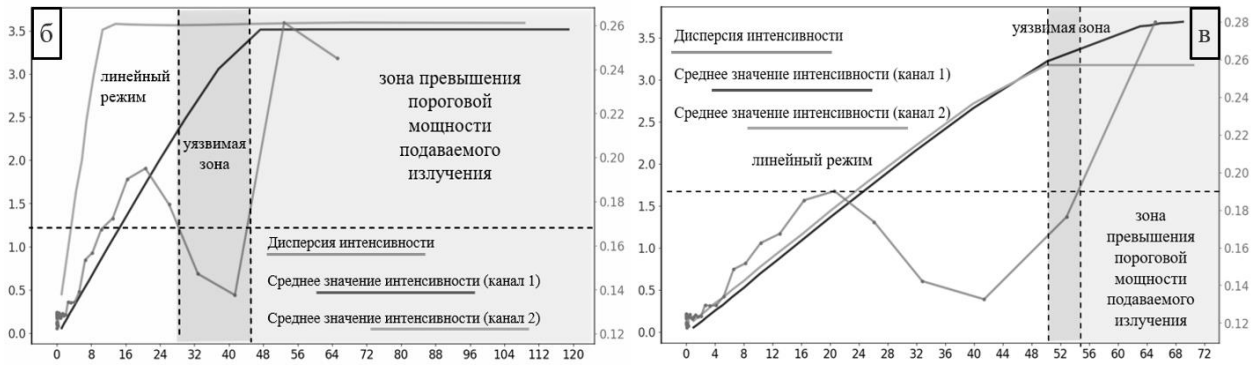


Рис. 5. Зависимости среднего значения интенсивности и дисперсии от мощности подаваемого излучения на длинах волн 1440 нм и 1590 нм

Экспериментально были определены зависимости средних значений интенсивности от мощности излучения для каждого канала балансного детектора, на основании чего определяется порог насыщения балансного детектора, а также зависимость дисперсии от мощности. Полученные результаты помогли в выявлении потенциальной атаки с ослеплением балансного детектора и в разработке стратегии защиты. Предложены контрмеры, предполагающие дополнительный мониторинг системы (например, среднего значения интенсивности в канале), установление пределов детектирования, что при заранее известном уровне насыщения поможет распознать атаку и предотвратить использование украденного ключа.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Bennett C.H., Brassard G. Quantum cryptography: Public key distribution and coin tossing // Theoretical Computer Science. 2014. Vol. 560. Pp. 7-11.
2. Grosshans F., Grangier P. Continuous Variable Quantum Cryptography Using Coherent States // Physical Review Letters. 2002. Vol. 88. N. 5. P. 057902.
3. Qin H., Kumar R., Alléaume R. Quantum hacking: Saturation attack on practical continuous-variable quantum key distribution // Physical Review A. 2016. Vol. 94. N 1. P. 012325.
4. Fossier S. et al. Improvement of continuous-variable quantum key distribution systems by using optical preamplifiers // Journal of Physics B: Atomic, Molecular and Optical Physics. 2009. Vol. 42. N. 11. P. 114014.
5. Tang X., Kumar R., Ren S., Wonfor A., Penty R.V., White I.H. Performance of continuous variable quantum key distribution system at different detector bandwidth // Optics Communications. 2020. №. 471. С. 126034.

Выпускник
Петриков Федор Сергеевич
факультет систем управления и робототехники
Направление подготовки: 13.03.02 – Электроэнергетика и электротехника
e-mail: petrikov@itmo.ru

Научный руководитель
Демидова Галина Львовна
к.т.н., н.с.
e-mail: demidova@itmo.ru

УДК 621.313

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ УПРАВЛЕНИЯ ВЕНТИЛЬНО-ИНДУКТОРНЫМ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ

Не угасающий интерес к вентильно-индукторному двигателю (ВИД) объясняется рядом существенных преимуществ, которые он предоставляет. Прежде всего, ВИД облегчает процесс производства, поскольку не требуется заливка и обмотка ротора. Кроме того, данный тип двигателя обладает высокой надежностью, так как способен сохранять свою работоспособность даже в случае выхода из строя одной из фаз. Благодаря особенностям конструкции ВИД обеспечивает эффективное охлаждение, причем основными источниками тепловыделения являются обмотки статора. Ремонт ВИД также является удобным, поскольку сводится к простой замене ротора и катушек статора. Кроме того, этот тип двигателя обладает преимуществами с точки зрения переработки и утилизации, так как не содержит постоянных магнитов и легко разделяется на компоненты, состоящие из железа и меди. Более того, межфазная магнитная связь в ВИД минимальна. Следует отметить, что для эффективного функционирования ВИД необходимо наличие силовой подсистемы на современных силовых ключах, где важную роль играют алгоритмы управления. Ошибочное управление может нейтрализовать перечисленные выше преимущества ВИД. Кроме того, важно учитывать, что данный тип двигателя характеризуется высоким уровнем акустического шума и пульсацией создаваемого момента, а также требует затрат на приобретение дорогостоящих компонентов силовых ключей при проектировании инвертора.

Для управления ВИД используются следующие методы: использование таблиц соответствий [1], прямое управление моментом [2], адаптивные регуляторы: с нечеткой логикой или нейронной сетью. В данной работе исследуется влияние гистерезисного регулятора, управление при помощи изменения углов включения/ выключения и влияние напряжения в звене постоянного тока [3–5]. В результате исследования строится простейшая замкнутая система управления ВИД.

Для исследования была реализована имитационная модель в среде MatLab/Simulink изображенная на рисунке 1 и параметрами двигателя из таблицы 1. Работа ВИД основана на последовательном включении фазы двигателя к источнику. При заранее заданных углах положения ротора подаются команды на включение и выключение транзисторов, коммутирующих фазу двигателя. При достижении фазой угла Θ_{on} подается команда на включение ток начинает возрастать и двигатель начинает вращение. При достижении фазой угла Θ_{off} подается команда на отключение до наступления нового цикла коммутации. Данный алгоритм обозначен системой управления ключами инвертора и изображен на рисунке 2.

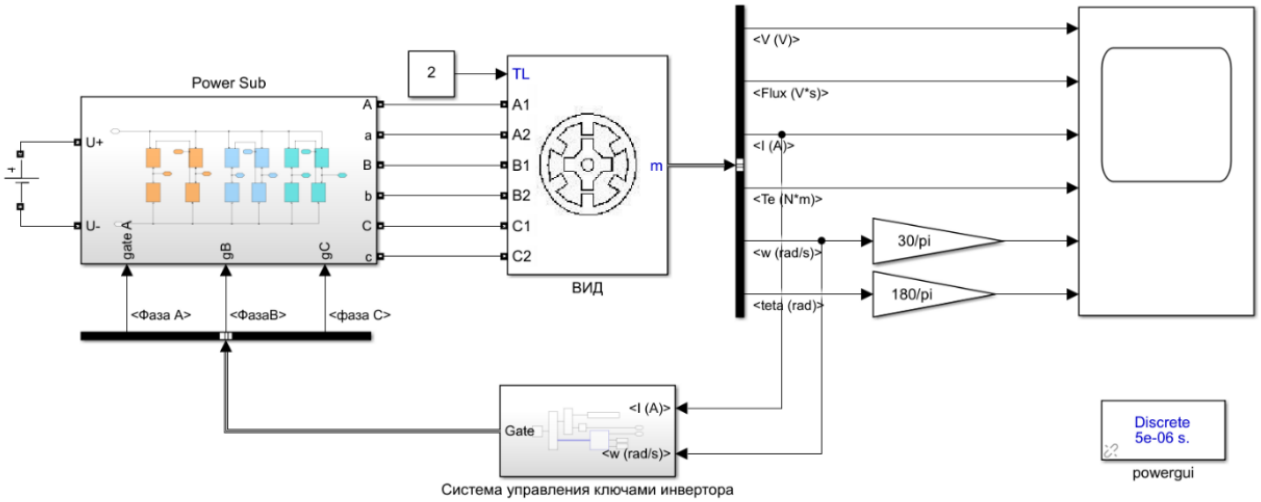


Рис. 1. Имитационная модель в среде MatLab/Simulink

Таблица 1.**Параметры ВИД**

Параметр		**Величина**
Сопротивление обмотки статора		0.01 Ом
Момент инерции		0.0082 кг*м^2
Момент трения		0.01 Н*м*с
Индуктивность	Рассогласованного положения	0.67*10^{-3} Гн
	Согласованного положения	23.6*10^{-3} Гн
	Насыщения	0.15*10^{-3} Гн
Максимальный ток		450 А
Максимальное потокосцепление		0.486 Вб

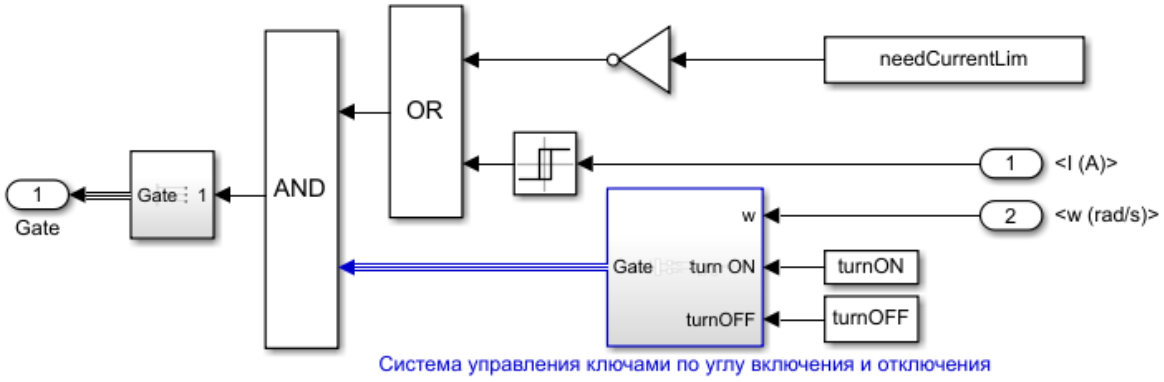


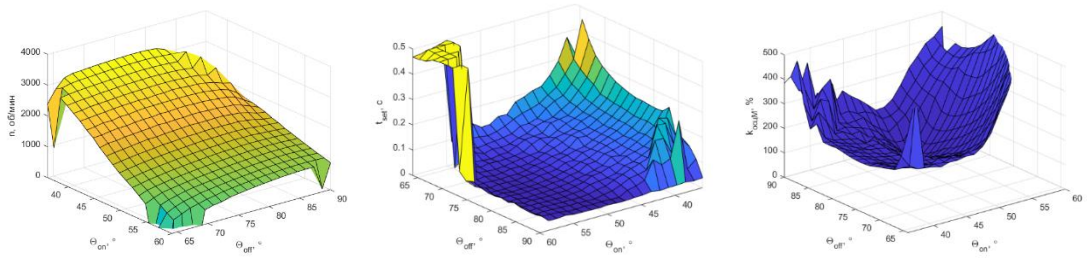
Рис. 2. Система управления ключами инвертора

При отсутствии ограничения тока в одной из фаз протекает ток в 1300 А. Это приводит к высоким значениям в переходном режиме всех параметров: скорости, момента и потока. Добавление **гистерезисного регулятора** решает эту проблему. При превышении тока в 110А на ключи подается команда на отключение, ток начинает уменьшаться, не превышая заданный лимит. В установившемся режиме характер величин аналогичен процессам без добавления гистерезисного регулятора. Время переходного процесса незначительно увеличивается на 13 мс. Результаты введения гистерезисного регулятора при угле включения 50° и выключения 80° отражены в таблице 2.

Таблица 2. **Результаты добавление гистерезисного регулятора**

Параметр		**Модель без регулятора**	**Модель с регулятором**
Максимальное значение в переходном режиме	Потокосцепление	0,66 Вб	0,38 Вб
	Ток	1362,6 А	110 А
	Момент	413,3 Н*м	70 Н*м
	Скорость вращения	1820 об/мин	1450 об/мин
Время переходного процесса		32 мс	19 мс

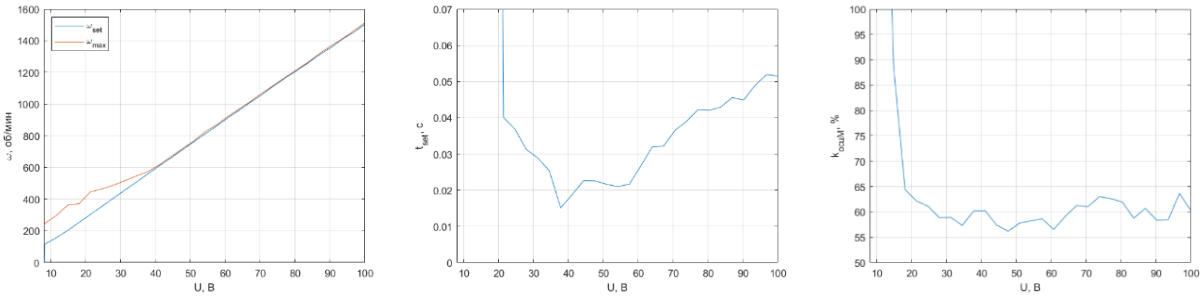
Исследование влияния углов включения/выключения. По результатам серии моделирований построены поверхности влияния углов включения и выключения (изображены на рис. 3) на исследуемые параметры. На установившеюся скорость, в большей степени, влияет угол включения транзистора. Однако при работе с общей продолжительностью включения в 8°, возможна потеря устойчивости и начало движение двигателя в противоположном направлении. Время переходного процесса увеличивается при угле включения меньше 45° и угле выключения меньше 65°. При $\Theta_{on} \approx 50°$ и $70° > \Theta_{off} > 85°$ коэффициент осцилляций момента меньше 200%, а при $\Theta_{on} \approx 50°$ и $\Theta_{off} \approx 83°$ минимален и равен 33%.



а б в

Рис. 3. Поверхности: а) установившегося значения скорости в об/мин; б) времени переходного процесса в с; в) коэффициента осцилляций момента в %

Исследование влияния изменения **напряжения в звене постоянного тока** проводится при идеальном изменений напряжения источника (рис. 4) без использования широтно-импульсной модуляции. Результаты отображены на рис. 4 при $\Theta_{on} = 50°$ и $\Theta_{off} = 80°$ выбраны по результатам предыдущего метода. Регулирование при помощи напряжения в звене постоянного тока позволяет в диапазоне от 150 до 1500 об/мин регулировать скорость вращения ВИД. При этом, коэффициент осцилляций момента составляет 60±5% при перерегулировании меньше 5 процентов. При напряжениях ниже 20 вольт увеличиваются колебания скорости, а при напряжении ниже 8 вольт под действием внешнего момента нагрузки, двигатель начинает движение в противоположном направлении.



а б в

Рис. 4. Влияние напряжение звена постоянного тока:
а) скорость вращения в об/мин ωset – установившаяся скорость вращения, ωmax – максимальная в переходном процессе; б) время переходного процесса в с; в) коэффициента осцилляций момента в %

На основе исследованных методов реализована **замкнутая система управления скоростью ВИД** (рис. 5). Диапазон регулирования скорости от 500 об/мин до 1500 об/мин из-за отсутствия перерегулирования в переходных процессах, рис.4 0 $\Theta_{on} = 50°$ и $\Theta_{off} = 80°$. Для изменения напряжения на фазе двигателя используется широтно-импульсная модуляция с пропорциональным регулятором в контуре тока и пропорционально-интегральным регулятором в контуре скорости. Частота коммутации 5 кГц. Для реализации всех возможных состояний напряжений на фазе двигателя добавлено независимое управления каждым транзистором.

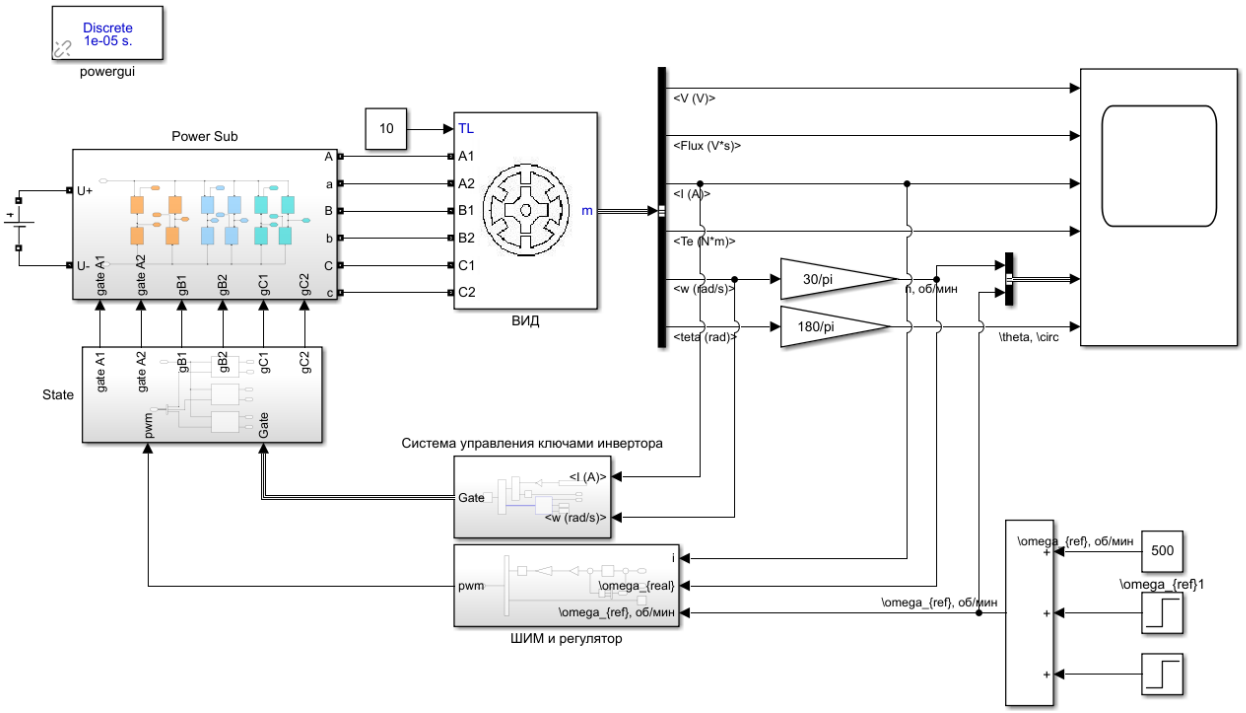
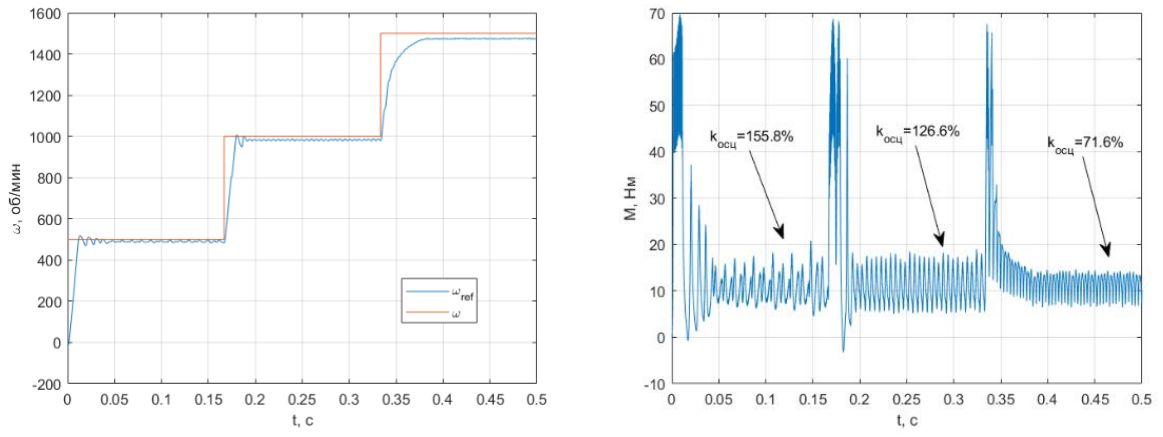


Рис. 5. Модель замкнутой системы управления скоростью ВИД



а б

Рис. 6. Переходные процессы в замкнутой системе: а) скорость вращения; б) момент

В проведенном исследовании были выделены особенности каждого из методов, влияющие на переходные процессы. Они позволяют сократить время разработки системы управления вентильно-индукторной электрической машиной. В результате была реализована замкнутая система управления скоростью с диапазоном регулирования от 500 до 1500 об/мин и коэффициентом осцилляции момента от 71.6 до 155.8% (рис. 6).

В дальнейшем планируется исследование других методов, рассмотренных в ведении к данной работе, практическая реализация на вентильно-индукторной электрической машине.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Prasad N., Jain S. and Gupta S. Review of Linear Switched Reluctance Motor Designs for Linear Propulsion Applications // CES Transactions on Electrical Machines and Systems. 2022. Vol. 6. №. 2. Pp. 179-187. DOI: 10.30941/CESTEMS.2022.00024.
2. Deng X., Mecrow B. A Direct Energy Control Technique for Torque Ripple and DC-link Voltage Ripple Reduction in Switched Reluctance Drive Systems // 2020 International Conference on Electrical Machines (ICEM). 2020. Pp. 2035-2040. DOI: 10.1109/ICEM49940.2020.9270705.
3. Krishnan R. Switched Reluctance Motor Drives: Modeling, Simulation, Analysis, Design, and Applications (1st ed.). CRC Press. 2001. https://doi.org/10.1201/9781420041644.
4. Богданов А.Н. Разработка и исследование системы управления с прогнозированием табличным методом для вентильно-индукторного электропривода как объекта с малым числом переменных состояния: Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. М. 2023. 152 с.
5. Алямкин Д.И. Разработка и исследование двухфазного вентильно – индукторного электропривода насосов горячего водоснабжения: Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. М. 2011. 228 с.

Выпускник
Сидорова Александра Дмитриевна
институт лазерных технологий
Направление подготовки: 12.03.05 – Лазерная техника и лазерные технологии
e-mail: ssidorova_ad@list.ru

Научный руководитель
Синев Дмитрий Андреевич
к.т.н.
e-mail: sinev@itmo.ru

Научный консультант
Егорова Ксения Андреевна
e-mail: x_egorova@itmo.ru

УДК 544.032.65

ОПТИМИЗАЦИЯ МЕТОДИКИ ЛАЗЕРНО-ИНДУЦИРОВАННОГО ПОВЫШЕНИЯ ТВЕРДОСТИ ТИТАНОВЫХ ОБРАЗЦОВ ПРИ МАСШТАБИРОВАНИИ ПОКРЫТИЯ

Работа выполнена при поддержке программы «Приоритет 2030»

Благодаря таким свойствам, как малая плотность в сочетании с высокой прочностью, низкая теплопроводность, а также возможность формирования стабильной и инертной оксидной пленки, обеспечивающей значительную коррозийно- и жаростойкость, титан остается одним из наиболее востребованных материалов в различных отраслях промышленности по всему миру. Однако низкие антифрикционные свойства титана существенно ограничивают его применение, например, в подвижных соединениях по причине налипания материала на поверхность [1]. Неустойчивость титана и его сплавов к истиранию и износу является значительным недостатком, так как снижает срок эксплуатации рабочих поверхностей, увеличивает время простоя и расходы на замену изношенных инструментов, что затрудняет использование титана и титановых изделий. Необходимость увеличения износостойкости приводит к необходимости поиска способов поверхностной модификации материалов с сохранением их повышенных прочностных характеристик.

В то же время использование аддитивных лазерных технологий позволяет проводить гибкую и локальную термообработку, снизить стоимость техпроцесса обработки материалов, повысить производительность и экологичность. Вместе с этим за счет варьируемости параметров обработки возможно создание градиентов увеличения твердости с различной глубиной упрочнения в зависимости от областей применения [2].

Ранее, при работе над проектом по разработке методики повышения твердости поверхностного слоя титанового сплава локальным структурированием с использованием графитового порошка в сжатых условиях, были получены значительные показатели твердости по Виккерсу вплоть до 2000 HV для образцов малых размеров [3]. Однако однородность механических свойств для различных габаритов сформированных покрытий для данной методики до сих пор не была изучена.

Для исследования особенностей методики лазерно-индуцированного повышения твердости при масштабировании было подготовлено несколько структур с одинаковыми параметрами обработки различных размеров и несколько массивов структур с различными параметрами обработки на образцах различной толщины. Структурирование проводилось поверх предварительно сформированных оксидных слоев под слоем графитового порошка, удерживаемого в зоне воздействия предметным стеклом. Равномерное распределение графитового порошка по всей площади обработки обеспечивалось благодаря стальному шаблону. На рисунке 1 представлено схематическое изображение процесса структурирования.

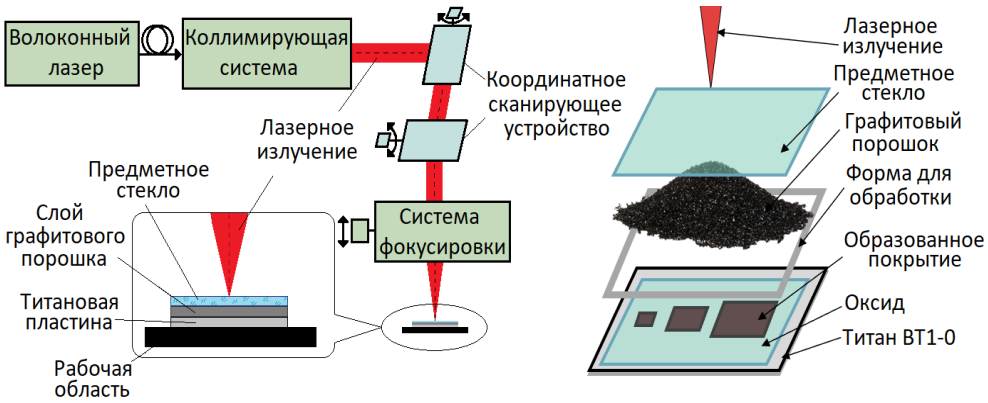


Рис. 1. Схема обработки

Параметры обработки, отображенные в таблице, получены благодаря проведенным ранее исследованиям [3], и позволяют получить качественное функциональное покрытие с наиболее высоким показателем твердости структурированного поверхностного слоя титановой пластины ВТ1-0.

Таблица. **Параметры обработки титана ВТ1-0**

Характеристики лазерного излучения	**Значение**
Частота следования импульсов f, кГц	80
Скорость сканирования v, мм/с	500
Мощность излучения P, Вт	4–16
Количество линий на мм x	20–35
Длительность импульса τ, нс	200
Количество проходов N	2

Измерение значения параметра твердости производилось по методу Виккерса, индентор – четырехгранная алмазная пирамида. Нанесение отпечатков производилось по диагонали каждой из подготовленных структур различной площади. По результатам измерений диагоналей отпечатков от различных нагрузок был составлен график, изображенный на рисунке 2, где каждая точка представляет из себя среднеарифметическое значение от шести отпечатков с нагрузкой 300 г и 500 г.

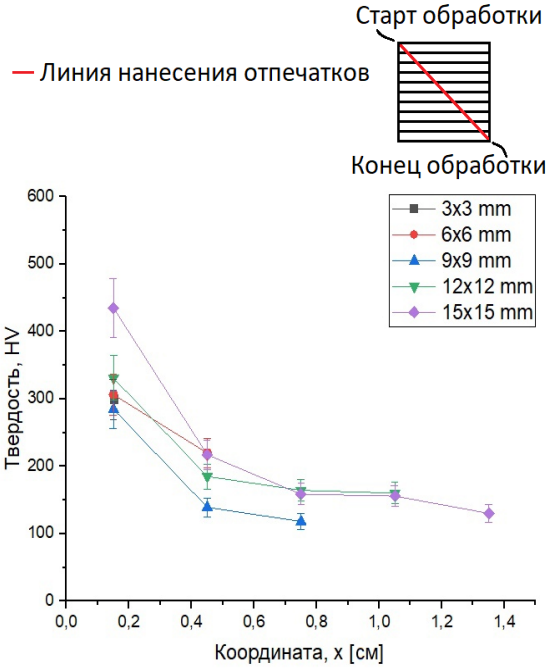


Рис. 2. График зависимости значения параметра твердости в зависимости от координаты при различных площадях структуры

Таким образом, сравнивая минимальную и максимальную области обработки, разность между наибольшим и наименьшим значением параметра твердости составляет порядка 30 HV и 335 HV соответственно, что говорит о наличии неравномерного распределение твердости по структуре при масштабировании площади покрытия. Данное наблюдение объясняется, вероятно, увеличением продолжительности воздействия и возникающим неравномерным распределением температурного поля.

В эксперименте с масштабированием толщины титановых пластин для исключения влияния неравномерного распределения температурного поля время задержки между записью каждой структуры массива составляло порядка 10 секунд, что позволяло образцу остыть до комнатной температуры. Для получения среднего значения твердости по структуре по ходу движения лазерного пучка на каждом из сформированных покрытий было поставлено по три отпечатка с нагрузкой 200 и 300 г. Полученные данные визуализированы на рисунке 3.

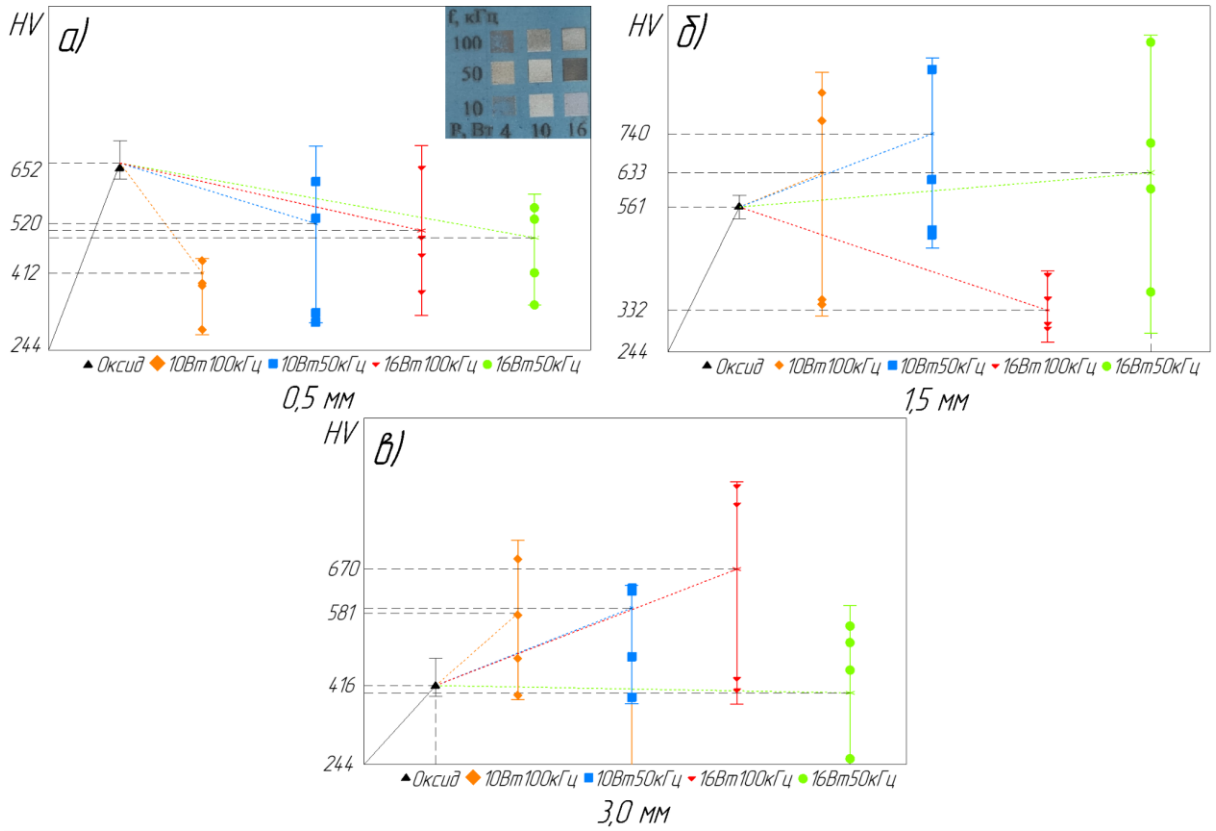


Рис. 3. Графики зависимости твердости образцов в зависимости от толщины обрабатываемого образца: а) 0,5 мм; б) 1,5 мм и в) 3,0 мм

Результаты эксперимента показывают, что при увеличении толщины твердость изменяется в первую очередь из-за зависимости от параметров обработки, что говорит о необходимости рассмотрения данной зависимости для конкретных режимов обработки. Явной зависимости твердости от толщины пластины не прослеживается, однако даже с учетом значительных показателей погрешности прослеживается положительная динамика увеличения твердости при увеличении толщины пластинки.

На основе полученных в работе результатов выдвинута гипотеза о влиянии неравномерного распределения температурного поля на твердость образованного функционального покрытия. Механизм данного процесса представляется следующим образом: на старте обработки образец титана комнатной температуры и структурирование происходит с образованием высоких градиентов температур, образец быстро нагревается и быстро остывает на счет теплоотвода вглубь материала. При дальнейшем воздействии пространственное распределение температурного поля становится всё более неравномерным, средняя температура титанового образца повышается, так как теплоотвода вглубь материала становится недостаточно для охлаждения образца малого и среднего размеров, и твердость

образованной структуры резко падает. Нагревание образца происходит вплоть до некоторой постоянной температуры, при которой повышение температуры происходит уже не так интенсивно, и при продолжении лазерного воздействия резкий спад параметра твердости прекращается, а значения, полученные при дальнейшей обработке, выравниваются.

Выравнивание значения параметра твердости при формировании покрытий значительных размеров позволяет не учитывать обнаруженную зависимость, однако детали и инструменты небольших размеров невозможно обрабатывать без значительных потерь, что вынуждает усложнять данный метод.

Для повышения механических характеристик при структурировании деталей малых и средних размеров предлагается в качестве дополнительной ступени проводить запись структур рандомизированно или с задержкой, позволяющей образцу остыть.

В качестве развития результатов предложено проведение тепловизионной съемки при структурировании и до полного охлаждения образца при повторении экспериментов с масштабированием, а также проведение численного моделирования описанных в настоящей работе экспериментов с применением пакетов компьютерного моделирования COMSOL, Ansys и другие, что позволит верифицировать выдвинутую гипотезу о снижении твердости структуры вследствие отличий в создаваемом температурном поле в зоне лазерного воздействия.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Samsonov G.V. Handbook of the Physicochemical Properties of the Elements. – Springer Science & Business Media. 2012. 942 p.
2. Зленко М.А., Нагайцев М.В., Довбыш В.М. Аддитивные технологии в машиностроении. 2015. 221 с.
3. Егорова К.А., Розанов К.А., Киян А.И., Синев Д.А. Управление твердостью поверхностного слоя титановых образцов за счет аддитивной лазерной обработки // Фотоника [Photonics Russia]. 2023. Т. 17. №. 1. С. 437-445.

Выпускник
Тихонов Лев Алексеевич
факультет инфокоммуникационных технологий
Направление подготовки: 09.03.03 – Мобильные и сетевые технологии
e-mail: tikhonov.lev0@gmail.com

Научный руководитель
Береснев Артем Дмитриевич
старший преподаватель
e-mail: artem.beresnev@itmo.ru

УДК 004.457

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И РЕАЛИЗАЦИЯ ПРОГРАММНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ ДЛЯ ЗАПУСКА ПРИЛОЖЕНИЙ В ОБЛАЧНОЙ СРЕДЕ

Целью данной выпускной квалификационной работы является обеспечение автоматизации процесса развертывания инфраструктуры в облаке. Для достижения данной цели были определены следующие задачи: осуществить обзор области облачных вычислений и выбранных инструментов автоматизации, провести сравнительный анализ инструментов управления инфраструктурой, спроектировать модель инфраструктуры на основе сервисов поставщика облачных услуг и разработать файлы автоматизации создания и настройки инфраструктурных ресурсов в облаке. Практическая значимость работы заключается в том, что разработанные шаблонные файлы можно будет повторно использовать для создания инфраструктурных ресурсов в средах поставщиков облачных услуг. Это позволяет снизить порог вхождения и время разработки.

Модель «инфраструктура как код» [2] использует способ управления инфраструктурными ресурсами, при котором описание этих ресурсов хранится в текстовых файлах в определенном формате. Такие файлы можно использовать для автоматизации создания, обновления или удаления ресурсов путем применения специальных инструментов автоматизации. Также эти файлы можно хранить в системе контроля версий, что позволяет следить за версионированием, делиться этими файлами, а также одновременно работать над инфраструктурой сразу нескольким специалистам.

Применение понятия «инфраструктура как код» для управления инфраструктурными ресурсами обеспечивает больший контроль и прозрачность, чем администрирование ими вручную. Так как всегда есть доступ к полной информации о текущей структуре ресурсов с их параметрами и последовательность сделанных изменений.

Был проведен анализ[1] популярных инструментов автоматизации и облачных провайдеров. В качестве программного обеспечения для реализаций функций развертывания инфраструктуры в облаке был выбран Terraform, так как он взаимодействует с большим количеством провайдеров, прост в использовании и позволяет автоматизировать развертывания инфраструктуры в облаке.

В качестве системы управления конфигураций был выбран Ansible, так как она не требует установки агента на удаленные хосты и способна динамически создавать инвентарные файлы, которые хранят IP адреса развернутых виртуальных машин в облаке.

В качестве облачного провайдера был выбрал Яндекс, так как он предоставляет гарантии безопасности, масштабируемости, надежности разрабатываемой инфраструктуры, имеет большой выбор сервисов для комфортной и эффективной работы.

За автоматизацию конфигурирования YAML файлов будет отвечать язык программирования Python, за счет простого и понятного синтаксиса, скорости разработки и обширной базой библиотек на все случаи жизни.

В итоге после анализа выбранных можно переходить к их использованию и разработке инфраструктуры в облаке.

Чтобы определить каким должен быть конечный продукт, нужно разработать схему использования и схемы развертывания архитектуры. В первую очередь это должен быть вариант использования (рис. 1).

Описание: как инженер, я хочу автоматизировать процесс настройки и развертывания моей инфраструктуры с помощью Python [3], Ansible и Terraform.

Чтобы достичь этого, я разработал скрипт на Python, который запрашивает необходимые параметры, соответствующим образом настраивает файлы Ansible и Terraform и выполняет скрипты Ansible и Terraform для подготовки и настройки инфраструктуры.

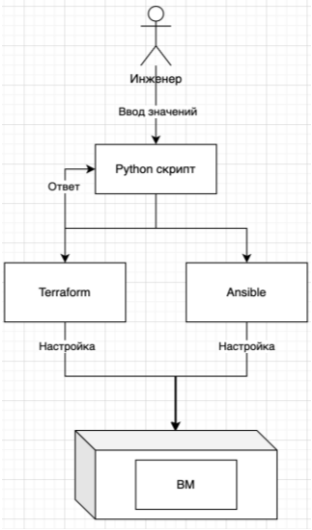


Рис. 1. Use case диаграмма

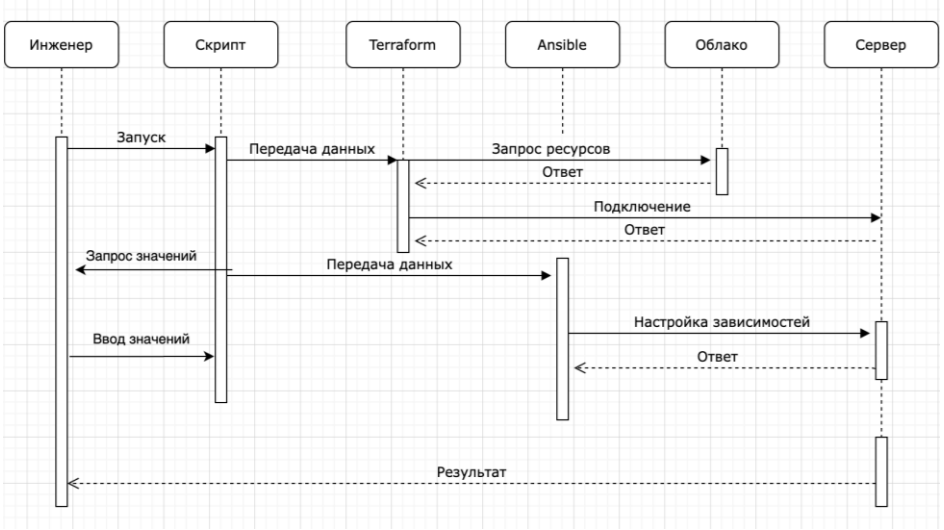


Рис. 2. Диаграмма взаимодействия

Следующим шагом идет диаграмма взаимодействия и разворачивания всех компонентов инфраструктуры.

Далее, для тестирования была разработана архитектура инфраструктуры.

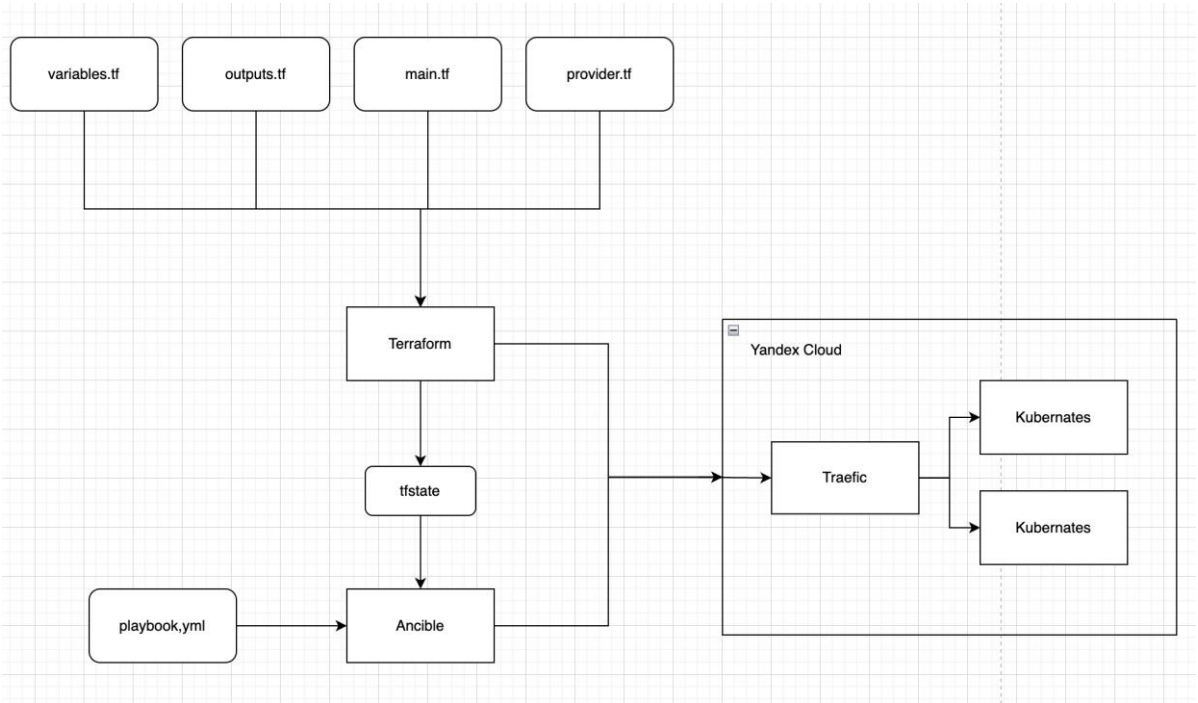


Рис. 3. Схема инфраструктуры с балансировщиком

В результате была произведена разработка схем и диаграмм взаимодействия компонентов реализуемой инфраструктуры. Затем был проведен обзор структур файлов конфигураций YAML и HCL, сервисов облачного провайдера, на основе которых будет развертываться инфраструктура. Далее с помощью средств визуализации были спроектированы отдельные составляющие модели с учетом выбранных сервисов, а по итогу был представлен окончательный вариант модели инфраструктуры с зависимостями между ее компонентами. И в финале была выполнена разработка техническая реализация скриптов автоматизации с использованием языка программирования Python.

В дальнейшем планируется доработать скрипты и добавить GUI интерфейс.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Пять лучших средств автоматизации для среднего бизнеса. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://wiki.merionet.ru/servernyeresheniya/83/5-luchshih-sredstv-avtomatizacii-dlya-srednego-biznesa/ (дата обращения: 19.02.2023).
2. Ian Buchanan How infrastructure as code (IaC) manages complex infrastructures. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.atlassian.com/ru/microservices/cloudcomputing/infrastructure-as-code (дата обращения: 16.04.2023).
3. Документация по Python. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://docs.python.org/3/ (дата обращения: 01.05.2023).

БАКАЛАВРЫ

Лауреаты III степени конкурса на «Лучшую научно-исследовательскую выпускную квалификационную работу бакалавров Университета ИТМО»

Выпускник
Ли Галина
факультет инфокоммуникационных технологий
Направление подготовки: 13.03.02 – Программирование в инфокоммуникационных системах
e-mail: galinaleespb@gmail.com

Научный руководитель
Самохин Никита Юрьевич
инженер
e-mail: samon@itmo.ru

УДК 004.04

РАЗРАБОТКА МОБИЛЬНОГО ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ СИСТЕМЫ ОРГАНИЗАЦИИ ТУРИСТИЧЕСКИХ ПОХОДОВ

Туризм – это не только рекреация и спорт, но и изучение истории и традиций стран, а, с точки зрения государства, туризм позволяет развивать региональные экономики, преображать города, поэтому, безусловно, необходимо популяризировать спортивный туризм повсеместно. На данный момент внутренний туризм в России уверенно растет, факторами роста послужили снятие ковидных ограничений, реализация программы туристического кэшбека, закрытие авиасообщения с рядом стран, уход с рынка некоторых каналов продаж, например, Booking.com. Несмотря на динамическое развитие отрасли, существуют ряд проблем, требующих решения, в том числе и неразвитость информационных ресурсов [1]. Для решения данной проблемы разработано мобильное приложение React Native для системы организации походов.

Подобные системы обладают широким функционалом, например, подбор наиболее удобного маршрута, изучение природы местности, определение текущих погодных условий, описание деталей проведения культурных мероприятий. Более того, данные системы включают разнообразные виртуальные навигаторы и программы для просмотра электронных карт. Некоторые из систем представляют собой мобильные приложения, другие – веб-приложения [2].

Для того чтобы определить необходимые для реализации услуги по организации походов, было проведено исследование целевой аудитории. На основе исследования были сформулированы функциональные требования к системе, которые указаны в таблице.

Таблица. **Функциональные требования к системе**

№	Функциональное требование
1	У пользователя должна быть возможность просматривать в ленте предстоящие походы
2	Пользователь должен иметь возможность стать участником похода
3	Пользователь должен иметь возможность подобрать поход с помощью фильтров, например, по виду похода (водный, наземный)
4	Пользователь должен иметь возможность добавить поход в избранное
5	У пользователя должна быть возможность создать поход, личный или общедоступный
6	При создании похода пользователь должен иметь возможность указать даты походы, уровень сложность, вид, количество участников, необходимые роли в команде (повар, завхоз, завснар), необходимое снаряжение, денежный взнос для участия
7	У пользователя должна быть возможность редактировать свой профиль, в котором указываются не только его контакты, имя, но и разряд, наличие личного оборудование для походов
8	Пользователь должен иметь возможность связываться с другими пользователями
9	Пользователь, являющийся организатором похода, должен иметь возможность создавать чат для общения с участниками похода
10	Пользователь должен иметь возможность оценить совершенный поход и организатора похода
11	Пользователь должен иметь возможность просматривать свою историю походов

Перед созданием прототипа был продуман путь пользователя (рис. 1) от начальных экранов – и до выполнения целевых действий, для того чтобы определить основные экраны, увидеть общую картину путешествия пользователя, повысить удобство интерфейсов. Например, было определено, что после авторизации пользователь попадает на экран с лентой, нижняя навигация позволяет перемещаться между основными разделами: Лента, Избранное, Сообщения или Личный кабинет.

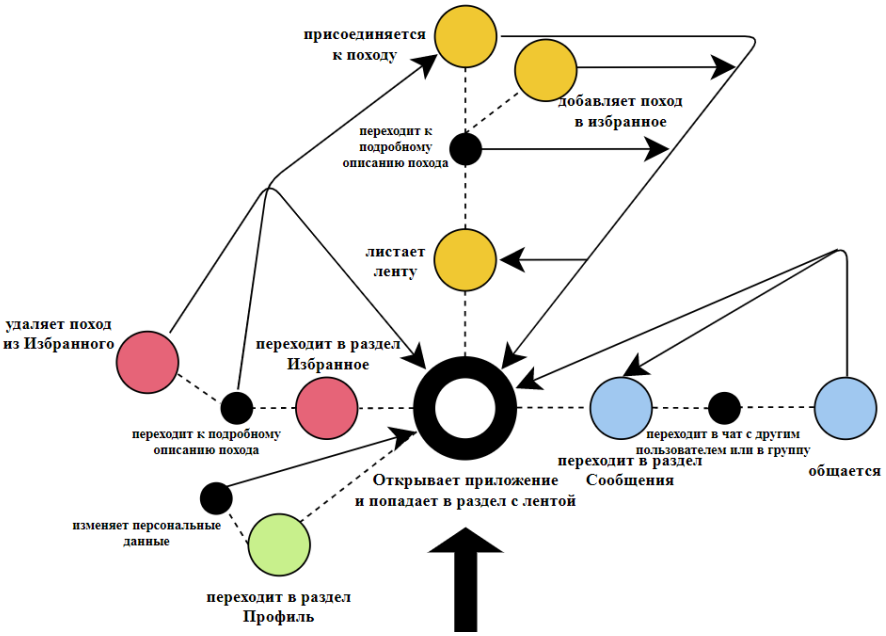


Рис. 1. Путь пользователя

На основе пути пользователя и функциональных требований разработаны прототипы экранов приложения.

При разработке мобильного приложения необходимо было уделить особое внимание его безопасности, поскольку одна из задач разработчика – это защита пользовательских данных. Согласно OWASP, проекту по обеспечению безопасности мобильных приложений, в топ десять уязвимостей мобильных приложений входят уязвимости, связанные с небезопасной аутентификаций, авторизацией, игнорированием общих практик написания кода, с обратным инжинирингом. Последствиями эксплуатирования данных уязвимостей могут быть кража личных данных, мошенничество, выход системы из строя, ущерб репутации [3].

На основе исследования типовых уязвимостей мобильных платформ и приложений, в том числе React Native приложений, были сформулированы рекомендации для обеспечения информационной безопасности мобильного приложения React Native:

- использовать пиннинг SSL сертификатов,
- исключать использование технологии глубинного связывания для передачи конфиденциальных данных,
- избегать случайных глобальных переменных,
- не допускать постоянного увеличения памяти в замыканиях,
- использовать шаблоны проектирования React, которые поддерживают уборку после себя.

Учитывая рассмотренные технологии и сформулированные требования, для разработки мобильного приложения были выбраны следующие технологии, стандарты:

- для того чтобы избежать утечек памяти использован хук useEffect, который способен воссоздать методы componentDidMount, componentWillUnmount, componentDidUpdate,
- для того чтобы обеспечить безопасную авторизацию, использован облачный сервис Firebase, в котором можно настроить многофакторную авторизацию,
- для безопасного хранения переменных окружения, использован react-native-dotenv.

На основе разработанных прототипов были созданы экраны мобильного приложения (рис. 1, 2).

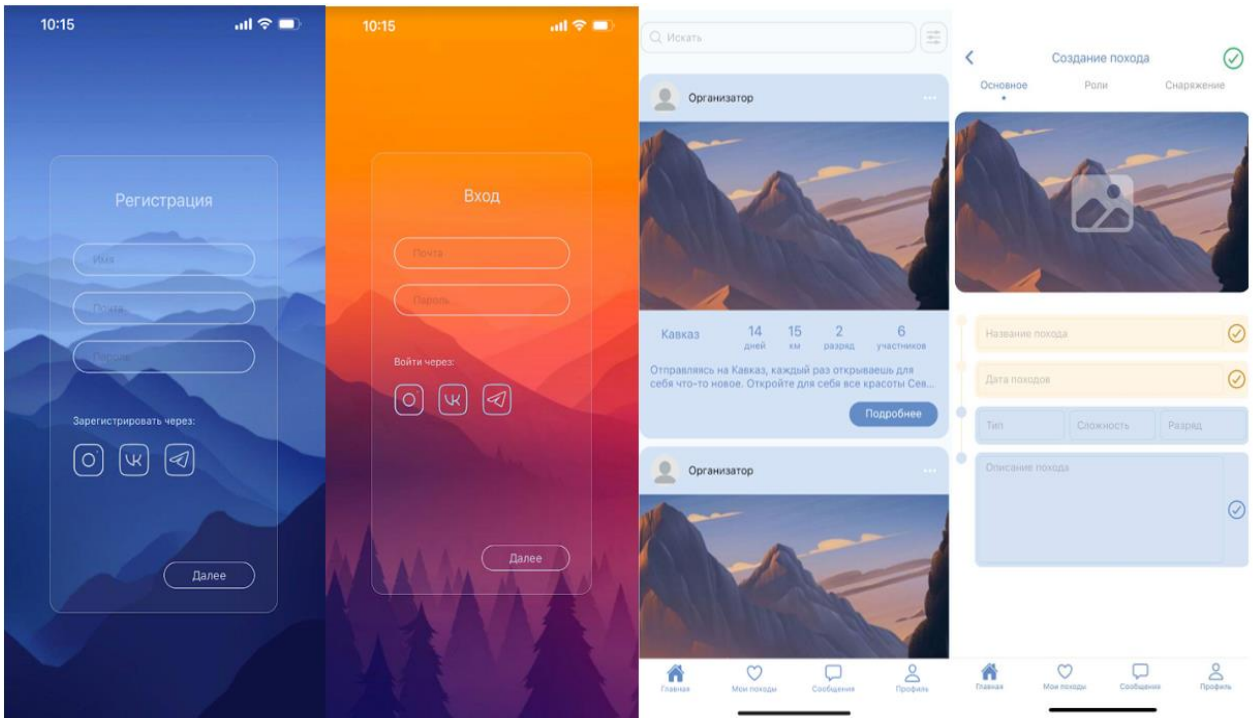


Рис. 2. Экраны вход/регистрации, ленты, создания похода

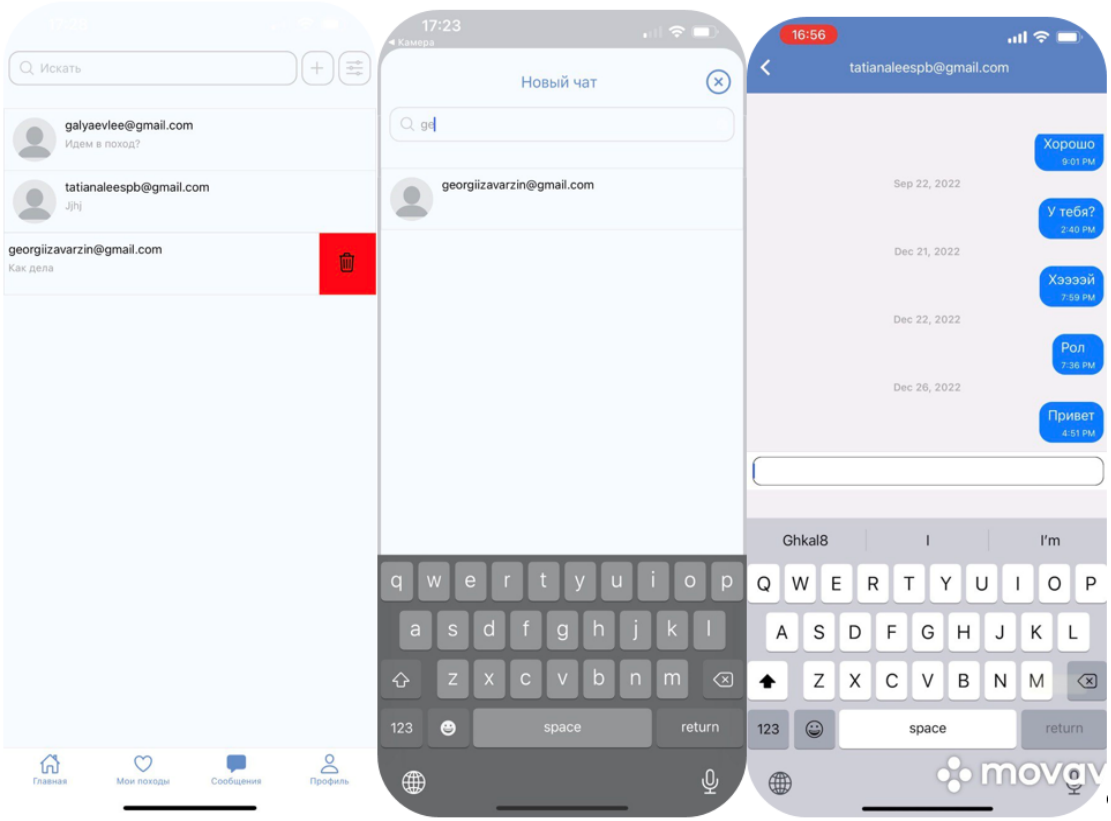


Рис. 3. Экраны со списком чатов, с поиском контакта, с чатом

Для того чтобы пользователь мог свободно передвигаться между экранами мобильного приложения реализована навигация, которая включает навигацию для авторизованных и неавторизованных пользователей.

Для того чтобы безопасно использовать в приложении ключи, переменные для подключения базы данных, создан .env файл, в котором указаны переменные окружения.

В качестве базы данных использована NoSQL Firestore. Для того чтобы подключить клиента к базе данных, на облачной платформе создано приложение, предоставляющее все

необходимые переменные среды, которые необходимо использовать в конфигурационном файле базы данных на клиенте для его успешного подключения к базе данных.

Было выполнено кроссплатформенное тестирование на различных устройствах с операционными системами IOS, Android. Результаты тестирования показали, что на IOS-устройствах все элементы приложения отображаются корректно, на Android-устройствах некоторые элементы искажены, некоторые элементы работают некорректно, поскольку некоторые стили нужно прописывать отдельно для каждой ОС.

Таким образом, в ходе работы были выполнены следующие задачи:

- проанализирована проблематика в сфере туризма;
- проанализированы аналоги системы, которые позволили определить необходимый функционал для разрабатываемой системы;
- разработаны прототипы системы;
- изучены уязвимости мобильных приложений;
- разработаны рекомендации для устранения уязвимостей;
- разработано мобильное приложение в соответствие рекомендациями (https://github.com/Geetork/react-native-app);
- протестировано мобильное приложение.

Дальнейшим этапом жизненного цикла разработанного продукта является ввод его в эксплуатацию, тестирование с помощью членов секции спортивного туризма Университета ИТМО. Более того, разработана дорожная карта системы, которая включает в себя ближнесрочные, среднесрочные и долгосрочные задачи для расширения и оптимизации функционала приложения.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. План мероприятий по развитию туризма в России до 2035 года. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://government.ru/docs/46296/ (дата обращения: 10.09.2022).
2. Программы для путешественников и туристов. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://soft.mydiv.net/win/Puteshestviya/ (дата обращения: 12.09.2022).
3. OWASP Mobile Top 10. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://owasp.org/www-project-mobile-top-10 (дата обращения: 27.02.2023).

Выпускник
Лисицина Василиса Васильевна
факультет программной инженерии и компьютерной техники
Направление подготовки: 09.03.01 – Информатика и вычислительная техника
e-mail: v.lisitsina@gmail.com

Научный руководитель
Николаев Владимир Вячеславович
преподаватель
e-mail: vladimir.nikolaev@cs.ifmo.ru

УДК 004.657

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДЕНОРМАЛИЗОВАННОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЗАПРОСОВ К ДАННЫМ В POSTGRESQL

В современном мире с ростом популярности приложений и увеличением числа пользователей возрастает количество запросов к базам данных. Это приводит к увеличению объема данных, требующих обработки, и усложнению структуры базы данных. Корректное проектирование и уменьшение времени выполнения запросов к базе данных становятся критически важными задачами для обеспечения эффективной работы приложений. Нормализация базы данных является одним из инструментов структурирования данных, который позволяет избавиться от избыточности, дублирования и аномалий [1]. При этом, основным недостатком нормализации является увеличения количества соединений между таблицами, что может негативно сказываться на эффективности выполнения запросов, относящихся к нескольким таблицам.

Обратным процессом нормализации является денормализация. Она предполагает объединение данных из различных таблиц в одну таблицу, тем самым повышая эффективность выполнения некоторых категорий запросов.

Целью работы является повышение эффективности запросов к базе данных за счет денормализации отдельных частей.

Для улучшения производительности запросов к базе данных существует множество алгоритмов и методов оптимизации, которые могут быть применены как на уровне структуры базы данных, так и на уровне обработки запросов или аппаратной составляющей системы.

Один из распространенных способов повышения эффективности запросов – использование промежуточных хранилищ. Обычно он включает в себя кэширование определенных запросов в новую NoSQL базу данных [2]. Но такой способ имеет значительные недостатки, такие как усложнение архитектуры и поддержания системы, а также имеет серьезные проблемы с согласованностью и целостностью данных, так как данные пересылаются между разными базами. Также одним из способов повысить эффективность запросов к отдельным частям базы является материализованное представление. Предварительно вычисленные результаты запросов физически хранятся в материализованных представлениях, что позволяет быстро получать результаты запросов без необходимости повторного выполнения вычислений. Однако материализованные представления не лишены недостатков. Они могут занимать много места в базе данных и требовать больших ресурсов на их обновление.

В данной работе предлагается решение, в котором используется создание дополнительных структур для хранения данных, расположенных в рамках существующей базы и не использующих дополнительных инструментов PostgreSQL [3].

Основной принцип подхода заключается в создании денормализованных таблиц с сохранением изначальной структуры нормализованной модели. Решение реализуется в виде приложения на языке Java, включающего два модуля: PgGateway и PgConfig. На рисунке 1 изображена архитектура приложения.

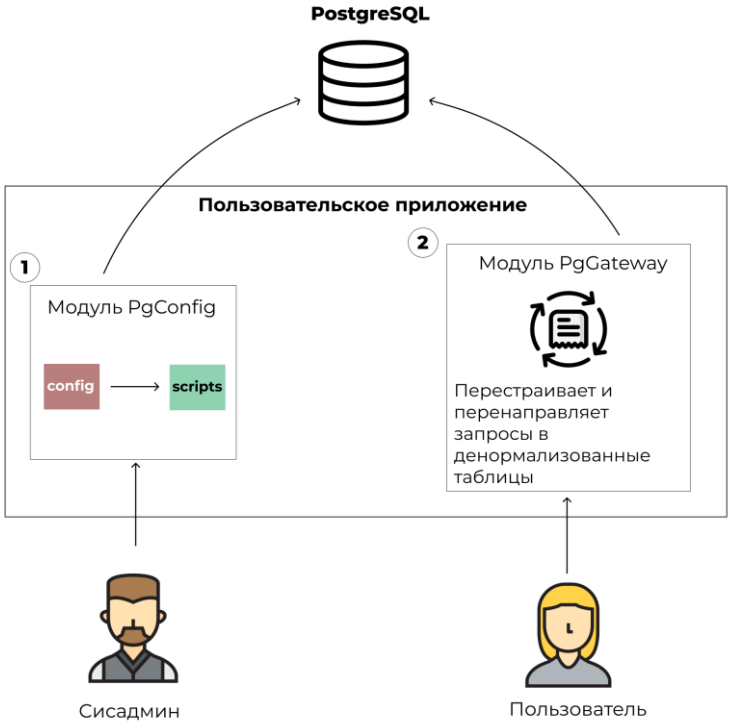


Рис. 1. Архитектура приложения

Модуль «PgConfig» разработан для автоматической генерации скриптов, которые создают денормализованные представления указанных таблиц в базе данных PostgreSQL. Он также создает триггеры, которые отвечают за обновление и создание данных в измененных таблицах. Для настройки модуля пользователь указывает в конфигурационном файле, какие конкретно таблицы должны быть денормализованы.

Модуль «PgGateway» выполняет реконструкцию запросов, которые включают операции соединения и относятся к нескольким таблицам, и перенаправляет их к вспомогательным денормализованным таблицам. Для оценки эффективности разработанного приложения были проведены эксперименты. Анализировалось выполнение запросов, проходящих через новый разработанный модуль, и не перестроенных запросов к нормализованным таблицам. Была произведена оценка времени выполнения запросов, что позволило нам сравнить их эффективность. Результаты сравнения продемонстрированы на рисунке 2.

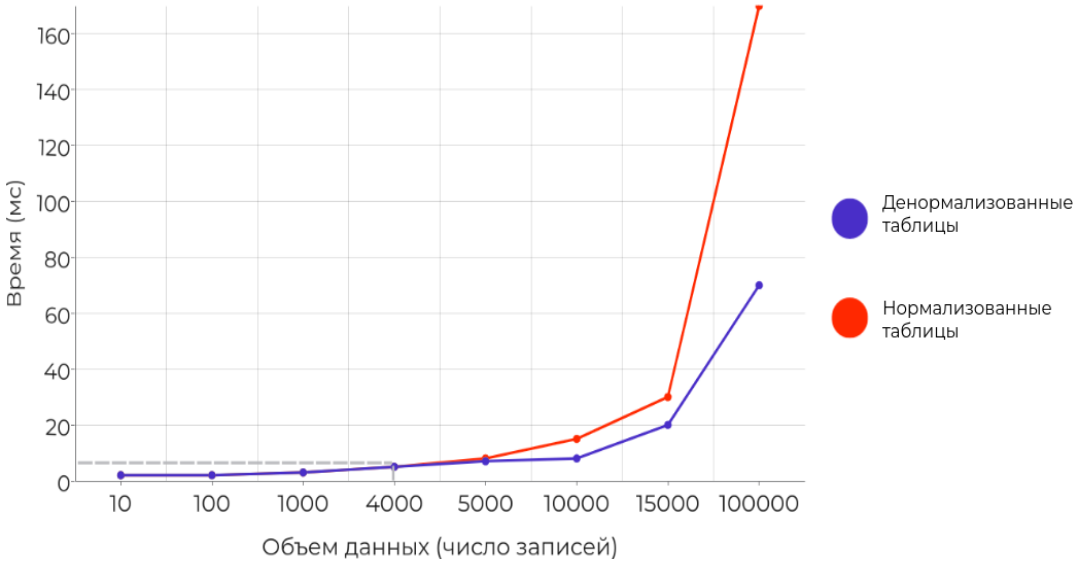


Рис. 2. Результаты выполнения экспериментов

Результаты эксперимента показали, что эффективность использования перестройки запросов зависит от объема данных. При объеме данных до 4000 записей в таблице перестройка запроса не является необходимой, так как время выполнения запросов примерно одинаковое в обоих случаях. Однако, при большом объеме данных перестройка запроса позволяет значительно сократить время выполнения запросов по сравнению с нормализованными таблицами.

Таким образом, результаты эксперимента подтверждают, что разработанное приложение демонстрирует положительное влияние на эффективность запросов к базе данных, особенно при работе с большим объемом данных.

Для дальнейшего развития подхода, одной из идей улучшения приложения является использование логической репликации [4]. Она позволит создать реплику базы данных, содержащую только необходимые денормализованные таблицы. Такой подход снизит нагрузку на основной узел базы данных и обеспечит более эффективную обработку запросов и работы с денормализованными таблицами.

В результате разработанного подхода и реализованного приложения было достигнуто значительное повышение эффективности запросов на чтение к базе данных PostgreSQL за счет денормализации отдельных частей.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Кириллов В.В., Громов Г.Ю. Введение в реляционные базы данных. – СПб.: БХВ-Петербург. 2017. 450 с.
2. Preston-Werner, Tom. Learn PostgreSQL: Build and Manage High. - O'Reilly Media. 2022. 320 с.
3. Шениг Г.Ю. PostgreSQL 11 Мастерство разработки. – М.: ДМК Пресс. 2019. 352 с.
4. Клепман М. Высоконагруженные приложения / М. Клепман. – Санкт-Петербург: Питер. 2022. 625 с.

Выпускник
Мышляев Артем Сергеевич
факультет систем управления и робототехники
Направление подготовки: 15.03.06 – Мехатроника и робототехника
e-mail: myshlyaev05@gmail.com

Научный руководитель
Бобцов Алексей Алексеевич
д.т.н., профессор
e-mail: bobtsov@itmo.ru

УДК 681

РАЗРАБОТКА МЕТОДА УЛУЧШЕНИЯ ТОЧНОСТИ ИДЕНТИФИКАЦИИ ЧАСТОТЫ СИНУСОИДАЛЬНОГО СИГНАЛА В УСЛОВИЯХ ШУМОВ ИЗМЕРЕНИЙ

В последние два десятилетия тема частотной идентификации очень актуальна, как в научной сфере: например, для синтеза адаптивных законов управления, так и в инженерных областях. Оценивание частоты гармонического сигнала:

$$y(t) = A\sin(\omega t + \varphi) + f(t).$$

В реальном времени (англ. online frequency estimation) – это неотъемлемая составляющая систем активного шумоподавления, где требуется определить внешние вибрации и компенсировать их. Необходимость оценивать частоту сигнала возникает и в бездатчиковом определении скорости вращения двигателя, в системах динамического позиционирования судов при наличии волн, ветра и течения.

На текущий момент можно выделить два основных способа решения данной задачи: полосовой фильтр [1] и самый широко используемый фильтр Калмана [2]. Оба этих метода имеют общую идею – уменьшение влияния возмущающего воздействия. Однако, у этих алгоритмов есть существенный недостаток – они требуют информацию о природе возмущения: для полосового фильтра необходимо знать примерную частоту возмущающего воздействия; а для фильтра Калмана – некоторые статистические данные о распределении (математическое ожидание и ковариацию). В данной работе я предлагаю абсолютно новую концепцию решения данной проблемы – применение нелинейного оператора, который будет также уменьшать влияние внешнего возмущения.

Подход, предложенный в данной работе, состоит из трех этапов:

1. Преобразование нелинейного синусоидального сигнала в линейную регрессионную модель

$$q(t) = \phi(t)\theta + \delta(t),$$

где

$$q(t) = \frac{\lambda^3 p^2}{(p+\lambda)^3}\, y, \quad \phi(t) = \frac{\lambda^3}{(p+\lambda)^3}\, y,$$

$$\delta(t) = \omega^2 \frac{\lambda^3}{(p+\lambda)^3} f + \frac{\lambda^3 p^2}{(p+\lambda)^3} f, \quad \theta = -\omega^2,$$

с помощью фильтрации [3].

2. Применение к полученной линейной регрессии нелинейного оператора в результате чего существенно уменьшается влияние возмущения, но увеличивается число неизвестных параметров:

$$\xi(t) = \psi_1\theta + \psi_2\theta^2 + \ldots + \psi_n\theta^n + o(\delta),$$

$$\xi(t) = \psi^T(t)\Theta + o(\delta).$$

3. Оценка неизвестных параметров регрессионной модели (вектор Θ) с помощью стандартных методов (в работе был использован алгоритм DREM и затем градиентный метод):

$$\xi_{f_i} = \psi_{f_i}^{\top}\Theta$$

$$Y(t) = \Psi(t)\Theta, \text{ где } Y := \mathrm{col}(\xi, \xi_{f_1}, \ldots, \xi_{f_{n-1}}), \ \Psi^{\top} := [\psi\ \psi_{f_1} \ldots \psi_{f_{n-1}}]$$

$$m(t) := \det\{\Psi(t)\},$$

$$Y_i(t) := \mathrm{adj}\{\Psi(t)\}Y(t)$$

$$\dot{\Theta}_i = \gamma_i m(Y_i - m\dot{\Theta}_i),\ i = 1..n.$$

Новый метод требует лишь одного допущения: необходимо, чтобы амплитуда возмущающего воздействия δ была существенно меньше амплитуды полезного сигнала.

В работе рассмотрено два нелинейных оператора: возведение в степень и экспоненциальная функция. Отмечу, что по результатам численного моделирования экспонента показала более точные результаты.

После преобразования экспоненты в произведение экспонент

$$x = e^q = e^{\phi\theta+\delta} = e^{\phi\theta}e^{\delta}.$$

Было применено разложение в ряд Тейлора (относительное возмущение δ существенно меньше единицы).

$$e^{\delta} = \sum_{k=0}^{\infty}\frac{\delta^k}{k!} = 1 + \delta + \frac{\delta^2}{2} + \frac{\delta^3}{6} + \ldots.$$

Так как старшие члены разложения довольно малы, можно аппроксимировать экспоненту ограниченным количеством членов (например, двумя, тремя или с помощью четырех членов). В результате чего, как было сказано выше, получилось уменьшить влияние возмущающего воздействия, увеличив при этом число параметров.

Демонстрация алгоритма в симуляторе MATLAB Simulink показала, что:

1) новый метод работает. Было замечено, что с увеличением частоты ухудшается сходимость. Это объясняется возрастанием возмущения δ по отношению к сигналу q из-за наличия в нем частоты ω. Одним из работающих решений, позволяющих справиться с данной проблемой является увеличение коэффициента фильтра λ;
2) разработанный алгоритм точнее аналогов. В работе представлено сравнение с классическим градиентным методом и двумя методами из последних научных статей [4, 5];
3) при увеличении количества членов разложения экспоненты действительно улучшается точность идентификации (рисунок).

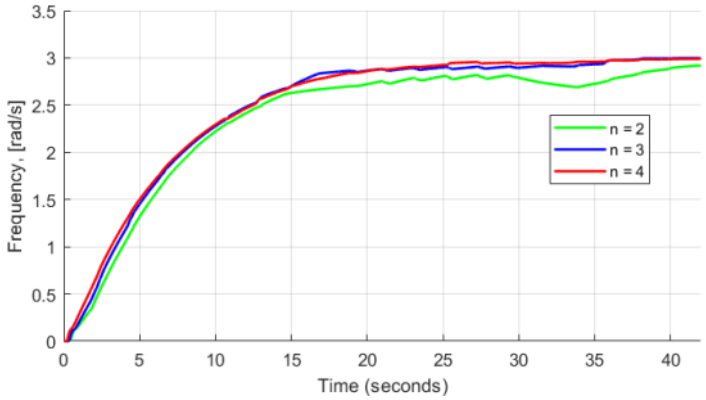


Рисунок. Улучшение точности идентификации при увеличении количества членов разложения

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Ruderman M. One-parameter robust global frequency estimator for slowly varying amplitude and noisy oscillations // Mechanical Systems and Signal Processing. 2022. Vol. 170. P. 108756.
2. Phan A.T., Hermann T.G., Wira P. A new state-space for unbalanced three-phase systems: Application to fundamental frequency tracking with Kalman filtering // 18th Mediterranean Electrotechnical Conference (MELECON). 2016. Pp. 1-6.
3. Bobtsov A.A., Efimov D., Pyrkin A.A., Ali Zolghadri Switched Algorithm for Frequency Estimation with Noise Rejection // IEEE Transactions on Automatic Control. 2012. Vol. 57. №. 9. Pp. 2400-2404.
4. Bobtsov A.A., Vediakoa A.O., Nikolaev N.A., Slita O.V., Pyrkin A.A., Vedyakov A.A. «Finite-time frequency estimator for harmonic signal» // IFAC-PapersOnLine. 2020. Vol. 53. №. 2. Pp. 584-589.
5. Bobtsov A.A. New approach to the problem of globally convergent frequency estimator // International Journal of Adaptive Control and Signal Processing. 2008. Vol. 22. №. 3. Pp. 306-317.

Выпускник
Родионова Алиса Дмитриевна
центр прикладной оптики
Направление подготовки: 16.03.01 – Техническая физика
e-mail: alicerod@yandex.ru

Научный руководитель
Гурович Андрей Маркович
к.т.н., тьютор
e-mail: v-electronics@mail.ru

УДК 681.2

РАЗРАБОТКА СПЕКЛ-КОРРЕЛЯЦИОННОГО ДАТЧИКА ПЕРЕМЕЩЕНИЯ, КОМПЕНСИРУЮЩЕГО ПРОСКАЛЬЗЫВАНИЕ АВТОНОМНЫХ МОБИЛЬНЫХ РОБОТОВ

Для обеспечения безопасной интеграции мобильных роботов в повседневную жизнь человека требуются высокие показатели точности и надёжности их систем навигации. На сегодняшний день существует проблема позиционирования робота внутри помещений, особенно актуальная при использовании высокоманёвренных роботов на роликонесущих колёсах [1–3].

Среди существующих решений этой проблемы можно выделить методы визуальной одометрии, использующие цифровые камеры и свёрточные нейронные сети для выделения фона и определения перемещения робота, однако они требуют больших вычислительных ресурсов и пока не могут быть использованы повсеместно. Также для измерения перемещения используют инерциальные датчики, чаще реализованные на основе микро электромеханических систем, основным недостатком которых является низкая точности позиционирования и необходимость периодической корректировки. Один из наиболее часто встречающихся навигационных приборов – угловой энкодер не может детектировать проскальзывание. Предложенное в работе решение представляет собой оптический датчик, работающий по принципу лазерной компьютерной мыши, имеющий модифицированную оптическую схему для увеличения диапазона высоты установки датчика над напольным покрытием, и позволяющий измерять относительное перемещение робота в условиях проскальзывания [4].

Предложенная оптическая схема представлена на рисунке 1. Она была реализована в лабораторных условиях (рис. 2, а, б). Полученная спекл-картина, по которой определяется смещение, показана на рисунке 2(в).

Для подбора компонентов датчика проведены габаритный и энергетический расчёты, а также моделирование оптической системы в программном пакете Zemax, позволяющем оценить работоспособность системы в разных условиях (переменные коэффициенты отражения напольного покрытия и различные высоты установки). При выборе фотоприёмной матрицы учтены характеристики, влияющие на быстродействие измерения: кадровая частота, наличие аппаратной реализации алгоритмов расчёта смещения по изображению (для интегральных схем).

Для реализации спроектированного прибора был сконструирован и изготовлен макет, в котором предусмотрена возможность юстировки фокусного расстояния, рисунке 3(а), и замены фотоприёмника, рисунке 3(б), а также написаны тексты программ считывания и обработки результатов измерения микроконтроллером atmega168p и визуализации спекл структуры и относительного перемещения на компьютере, рисунке 3(в).

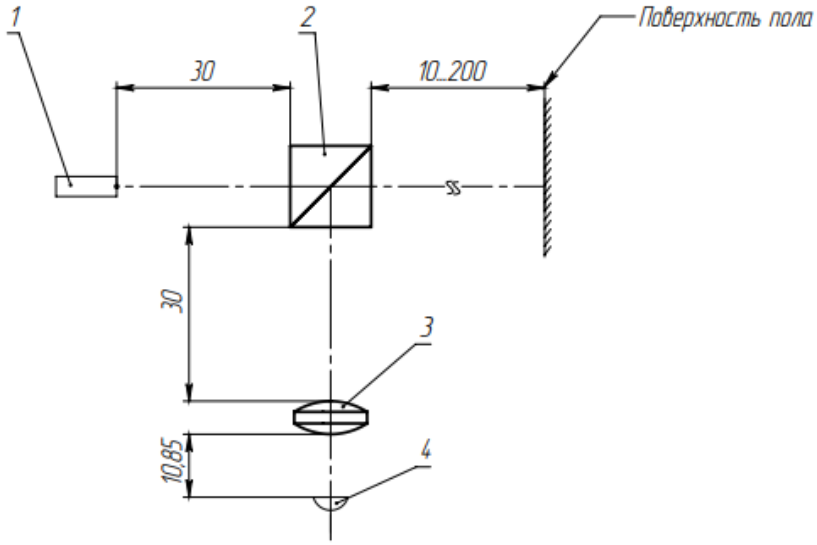


Рис. 1. Схема оптическая структурная: 1 – источник излучения (лазерный диод), 2 – куб светоделительный, 3 – линза собирающая, 4 – приёмник оптического излучения матричный

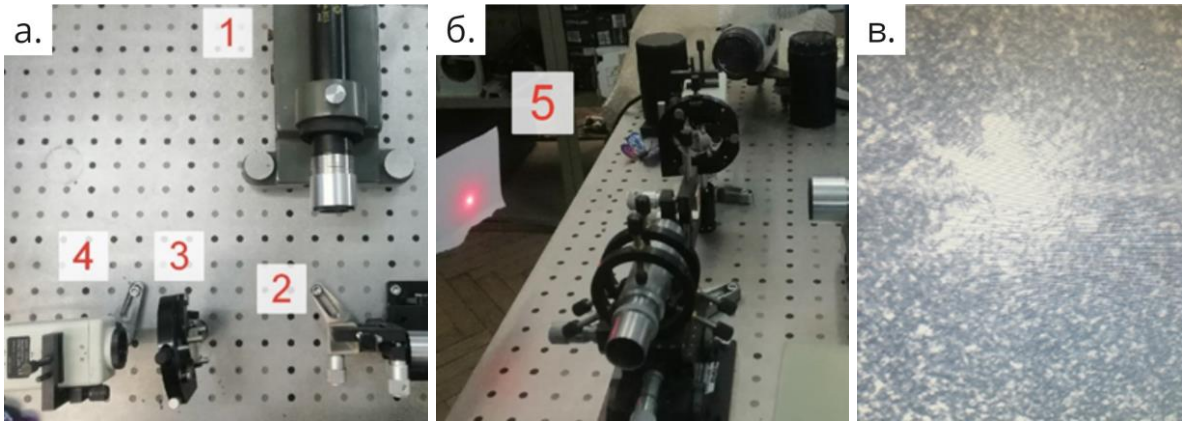


Рис. 2. а-б) Внешний вид экспериментальной установки: 1 – источник излучения He-Ne лазер, 2 – куб светоделительный, 3 – линза собирающая, 4 – фотоприёмник матричный, 5 – поверхность отражающая; в) спекл-структура, регистрируемая на приёмнике

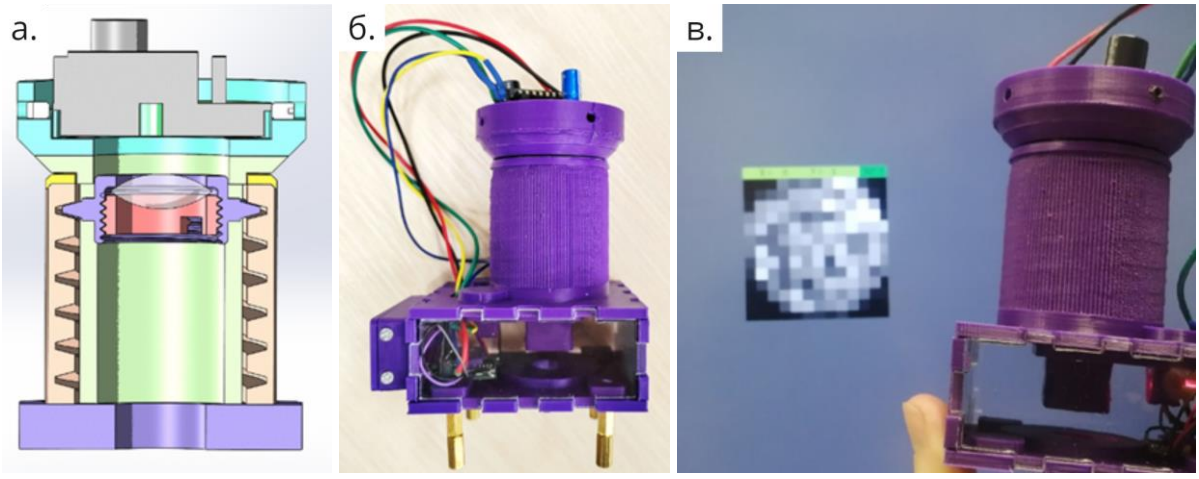


Рис. 3. а) Модуль юстировки в разрезе; б) Собранный макет датчика перемещения; в) Визуализация спекл-структур на компьютере

Также была проведена оценка погрешности измерения перемещения, она представлена в таблице вместе с другими сравнительными характеристиками разработанного датчика и его ближайших аналогов.

Таблица. **Сравнительные характеристики датчиков перемещения, работающих на принципе оптического потока**

Датчик	ADNS-3080	PMW 3901	PAA 5100JE	Спекл- корреляционный датчик перемещения
Рабочая высота, мм	2,3...2,5	> 80	15...35	10...200
Погрешность измерения линейного перемещения, %	-	1,7	0,4...2,8	0,5
Максимальная скорость детектирования перемещения, рад/с	1,17	7,4	1,53	1,42
Максимально допустимая скорость АМР, при установке датчика на рекомендуемую высоту, м/с	1,01	0,74	1,14	1,04

В работе рассмотрены методы оптического потока и датчики перемещения на их основе, разработан макет датчика для измерения перемещения мобильных роботов. Ключевым преимуществом разработанного датчика является большой диапазон рабочих высот. Установка датчика выше дорожного просвета робота позволит сохранить должный уровень его проходимости. При этом, при наезде робота на препятствие/выступ, датчик сможет измерить перемещение, если расстояние от препятствия до датчика будет лежать в диапазоне рабочей высоты.

Для дальнейшего совершенствования макета предложено использование камеры с высокоскоростным интерфейсом и подключением к модулю аппаратной реализации алгоритма расчёта перемещения, выполненным на ПЛИС. Также продолжением работы может быть оценка возможности использования предложенного датчика на улице. Основными проблемами могут быть: высокая погрешность измерения из-за неоднородности дорожного покрытия, загрязнение окна приёмника и чрезмерная засветка в яркий солнечный день. Помимо этого, для использования датчика на улице необходимо будет повысить класс пыле- и влагозащищённости корпуса.

Разработанный датчик актуальнее всего использовать для мобильных роботов, подверженных проскальзыванию: всенаправленных платформ с роликонесущими колёсами, а также в условиях низкого коэффициента сцепления колёс с дорогой, например, на влажных покрытиях.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Mengshen Y. et al. Sensors and Sensor Fusion Methodologies for Indoor Odometry: A Review» // Polymers. 2022. Vol. 14. №. 10. DOI:10.3390/polym14102019.
2. Shuzhan S. et al. Hybrid Navigation System Based Autonomous Positioning and Path Planning for Mobile Robots // Chin. J. Mech. Eng. 2022. Vol. 35. №. 1. Pp. 1-13.
3. Anbalagan L. and Nur Syazreen A. A systematic review on recent advances in autonomous mobile robot navigation // Engineering Science and Technology, an International Journal. 2023. Vol. 40. P. 101343.
4. Joseph W. Goodman Speckle Phenomena in Optics: Theory and Applications // Second Edition // Bellingham, Washington USA, SPIE Press. 2020. DOI:10.1007/s10955-007-9440-8.

Выпускник
Согрин Матвей Александрович
институт лазерных технологий
Направление подготовки: 12.03.05 – Лазерная фотоника и оптоэлектроника
e-mail: matvey.sogrin@metalab.ifmo.ru

Научный руководитель
Маслова Екатерина Эдуардовна
e-mail: ekaterina.maslova@metalab.ifmo.ru

УДК 535.3

ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ОПТИЧЕСКИХ МОД В РЕЗОНАНСНЫХ МЕТАСТРУКТУРАХ

Работа выполнена в рамках темы РНФ 21-19-00677 «Устойчивые к беспорядку диэлектрические материалы метафотоники».

На данный момент свойства фотонных кристаллов и метаматериалов активно исследуются для различных практических применений. При этом структурные элементы диэлектрических метаматериалов обычно представляют собой цилиндры из материалов с высоким значением диэлектрической проницаемости. Насколько нам известно, влияние структурного беспорядка на однородную моду в диэлектрических метаматериалах еще не было исследовано.

В первой части данного исследования производится проверка устойчивости однородной моды в диэлектрическом метаматериале со структурным беспорядком. В данной работе будут рассматриваться структуры, состоящие из диэлектрических стержней, находящихся в узлах квадратной решетки, и условия, при которых в этих структурах достигается однородная мода. Затем в узлы квадратной решетки вносится беспорядок, после чего вычисляется распределение электромагнитного поля, чтобы измерить влияние структурного беспорядка на однородную моду в режиме метаматериала.

В данной работе были исследованы структуры квадратной формы, состоящие из диэлектрических стержней с радиусом $\boldsymbol{r}$ и диэлектрической проницаемостью $\boldsymbol{\varepsilon}$, которые расположены в узлах квадратной решетки; постоянная решетки равна $\boldsymbol{a}$. Рассматриваются два типа структур квадратной формы: равномерно заполненная квадратная структура (здесь и ниже именуемая непрерывной структурой) и квадратная структура со стержнями, удаленными из центра (здесь и ниже именуемая полой структурой). Сплошные структуры состоят примерно из 1600 стержней (фактическое количество стержней зависит от ориентации решетки), а полые структуры состоят примерно из 1300 стержней. В работе рассматривается метаматериал с диэлектрической проницаемостью $\boldsymbol{\varepsilon = 30}$ и коэффициентом заполнения $\boldsymbol{r/a = 0.1}$.

На рисунке 1 показаны зонные диаграммы, построенные методом плоских волн. Вторая ветвь на диаграммах отмечена толстыми линиями. Зеленые линии соответствуют нижней границе второй полосы. В этом случае наблюдается поляритонная особенность (минимум второй ветви в точке $\boldsymbol{X}$) на зонной диаграмме, которая соответствует режиму метаматериала (рис. 1,а). На рисунке 1,б показана зонная диаграмма для фотонного кристалла с диэлектрической проницаемостью $\boldsymbol{\varepsilon = 12}$ и коэффициентом заполнения $\boldsymbol{r/a = 0.1}$. В этом случае минимум ветви дисперсии принадлежит Г-точке. Мы выбираем самую низкую частоту второй ветви как для фотонного кристалла, так и для метаматериала, что соответствует зеленой линии на рисунке 1.

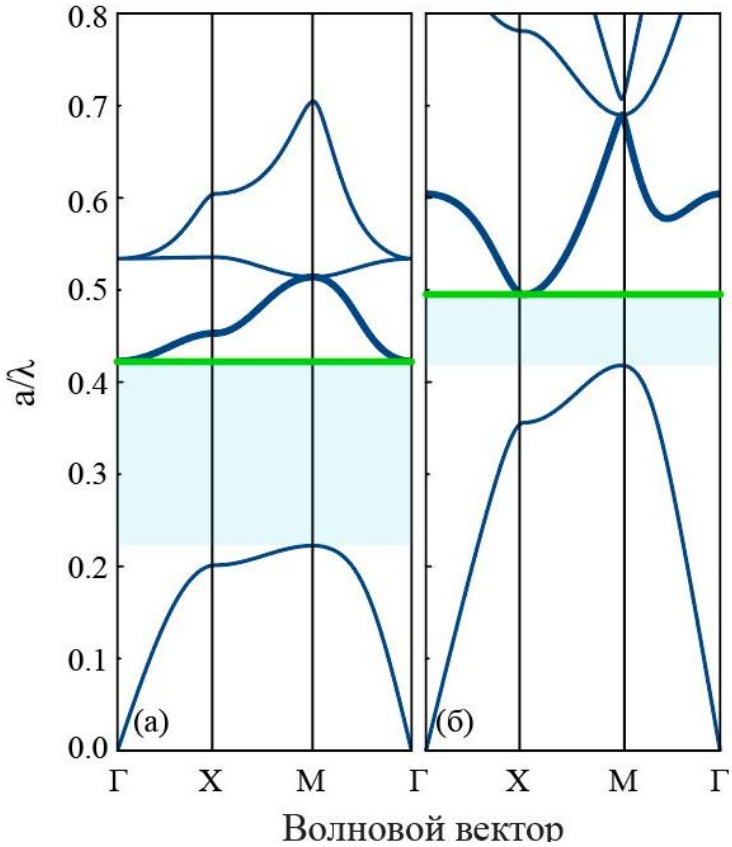


Рис. 1. Зонные диаграммы структуры, состоящей из диэлектрических стержней, расположенных в узлах квадратной решетки, для ТМ-поляризации: а) метаматериал с $\boldsymbol{\varepsilon = 30}$ и $\boldsymbol{r/a = 0.1}$; б) фотонный кристалл с $\boldsymbol{\varepsilon = 12}$ и $\boldsymbol{r/a = 0.1}$

Было проанализировано распределение электромагнитного поля в случае ТМ-поляризации (электрическое поле колеблется вдоль оси стержней). Рисунок 2 демонстрирует распределение электромагнитного поля в диэлектрических структурах при различном наборе параметров на самой низкой частоте второй ветви. Черная стрелка показывает направление гауссова пучка, синяя пунктирная линия – границы структуры. Рисунок 2, а-г демонстрирует распределение электромагнитного поля в режиме метаматериала (диэлектрическая проницаемость стержней $\boldsymbol{\varepsilon = 30}$, коэффициент заполнения $\boldsymbol{r/a = 0.1}$). Как видно из рисунка 2, а и б, однородная мода заполняет весь объем структуры и не зависит от ориентации осей кристаллической решетки. Кроме того, известно, что однородная мода в метаматериалах не зависит от формы [1], что позволяет удалить стержни из центра структуры (радиус полости равен $\boldsymbol{10a}$), чтобы исследовать поведение поля и рассчитать его распределение при $\boldsymbol{\varepsilon}$, близком к нулю. Рисунок 2, в и г демонстрирует, что удаление стержней из центра структуры не влияет на поведение однородной моды в пределах структуры, т.е. однородная мода заполняет весь доступный объем даже при наличии пустого пространства в центре. Рисунок 2, д-з демонстрирует распределение электромагнитного поля в фотонном кристалле с $\boldsymbol{\varepsilon = 30}$ и $\boldsymbol{r/a = 0.07}$. Как и ожидалось, результаты показывают, что в фотонном кристалле поле имеет "полосатую" форму в направлении ГХ, т.е. полосы с отрицательным и положительным значением компоненты E вдоль оси цилиндров чередуют друг друга (рис. 2, д и е), в то время как в направлении ГМ происходит попадание в запрещенную зону, что характерно для этого типа структуры.

Однородная мода может быть использована для усиления поля. Рисунок 3 демонстрирует интенсивность электрического поля как в сплошных, так и в полых структурах. Для расчета интенсивности был использован подход, согласно которому рассчитывается электромагнитное поле в пределах структуры без учета поля в стержнях, которое затем нормируется на электрическое поле в свободном пространстве $\boldsymbol{\frac{I}{I_0}}$.

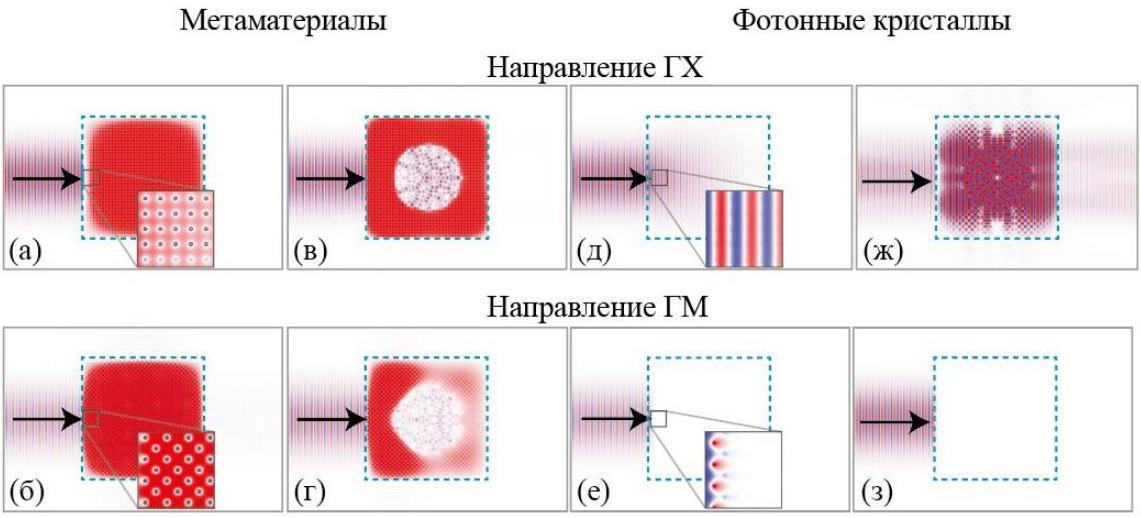


Рис. 2. Распределение электрического поля в структуре, состоящей из диэлектрических стержней с $\boldsymbol{\varepsilon = 30}$, в двух режимах: метаматериал [(а)-(г), $\boldsymbol{r/a = 0.1}$] и фотонный кристалл [(д)-(з), $\boldsymbol{r/a = 0.07}$]

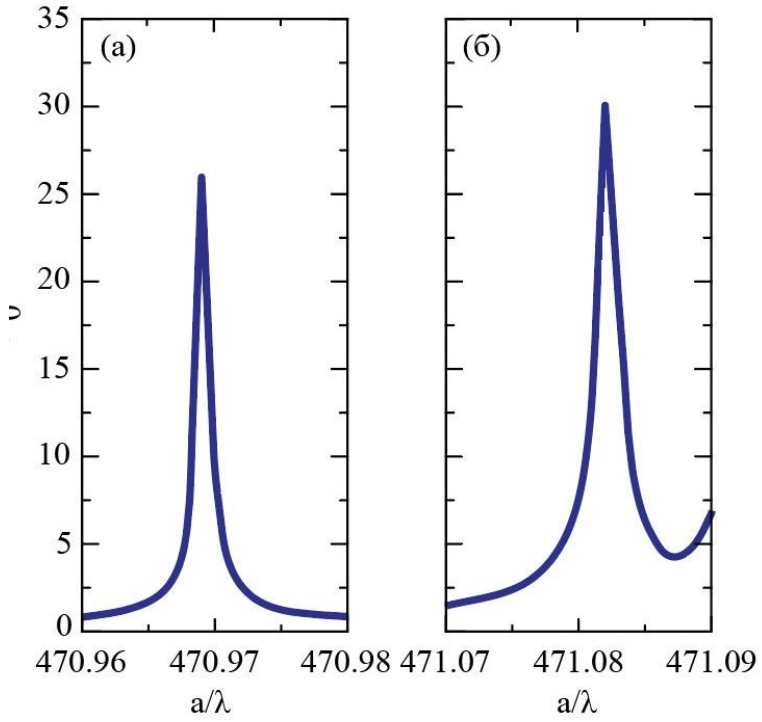


Рис. 3. Интенсивность электрического поля, нормированная к интенсивности в свободном пространстве, без учета поля внутри стержней для режима метаматериала ($\boldsymbol{\varepsilon = 30}$, $\boldsymbol{r/a = 0.1}$): а) непрерывная структура; б) полая структура

Как видно из рисунка 3, максимальная интенсивность поля достигается на частоте, соответствующей однородной моде. Мы получаем более чем 25-кратное увеличение интенсивности $\frac{I}{I_0}$ на частоте $\boldsymbol{a/\lambda = 0.471}$, что соответствует минимуму второй ветви дисперсии в Г-точке. Также стоит отметить, что увеличение интенсивности выше для полой структуры, чем для сплошной.

Как упоминалось ранее, реальные структуры, как правило, имеют определенные дефекты. Следовательно, необходимо имитировать такие дефекты в процессе моделирования. По этой причине в конструкцию был искусственно внесен структурный беспорядок путем добавления значения сдвига $\boldsymbol{\delta t}$ к координатам стержней по оси $\boldsymbol{x}$ и по оси $\boldsymbol{y}$. Сдвиг определяется при помощи уравнения:

$$\boldsymbol{\delta t = R\sigma}, \quad (1)$$

где $\boldsymbol{\sigma}$ - степень беспорядка, а $\boldsymbol{R}$ - случайная величина из диапазона $[\mathbf{-1}; \mathbf{1}]$. Добавляя величину $\boldsymbol{\delta t}$ к координатам по обеим осям, мы можем обеспечить сдвиг в обоих направлениях, а также регулировать степень сдвига путем увеличения или уменьшения $\boldsymbol{\sigma}$.

Рисунок 4 демонстрирует, что однородная мода, наблюдаемая в структуре в отсутствие структурного беспорядка, начинает разрушаться с увеличением $\boldsymbol{\sigma}$. Скорость, с которой происходит данный процесс, варьируется в зависимости от параметров. При рассмотрении структуры с $\boldsymbol{\varepsilon = 30}$ заметно, что однородная мода начинает разрушаться при $\boldsymbol{\sigma = 0.001}$ и полностью разрушается при $\boldsymbol{\sigma = 0.003}$, что является достаточно малым значением. Что касается структуры с $\boldsymbol{\varepsilon = 40}$, то разрушение заметно лишь при $\boldsymbol{\sigma = 0.005}$. Причины этого можно понять, обратившись к фазовой диаграмме перехода от метаматериала к фотонному кристаллу. Как видно, наиболее устойчивая однородная мода наблюдается в структурах, параметры которых наиболее удалены от границы фазового перехода. Диэлектрическая проницаемость $\boldsymbol{\varepsilon = 30}$ близка к границе фазового перехода, следовательно, наблюдается относительно высокая скорость разрушения однородной моды в структуре. Таким образом, скорость разрушения однородной моды ниже при бóльших значениях $\boldsymbol{\varepsilon}$. Как показано в работе [2], для того, чтобы произошел переход от метаматериала к фотонному кристаллу, достаточно изменения коэффициента заполнения на 0.001. Соответственно, можно предположить, что скорость распада однородной моды в режиме метаматериала коррелирует с близостью параметров структуры к границе фазового перехода.

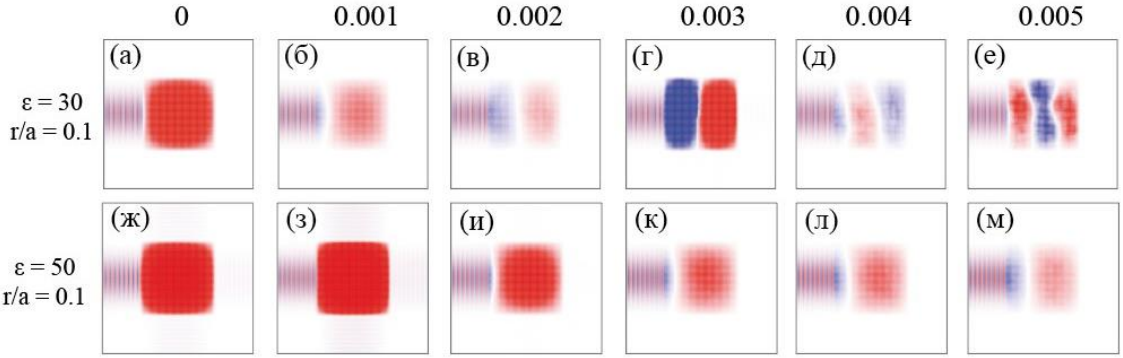


Рис. 4. Распределение электромагнитного поля в режиме метаматериала со структурным беспорядком: (а)-(е) $\boldsymbol{\varepsilon = 30}$, $\boldsymbol{r/a = 0.07}$; (ж)-(м) $\boldsymbol{\varepsilon = 40}$, $\boldsymbol{r/a = 0.1}$

Как упоминалось выше, однородная мода может быть использована для усиления интенсивности электромагнитного поля. Поскольку введение структурного беспорядка разрушает однородную моду, было решено проверить, как изменится интенсивность электромагнитного поля по всему объему структуры в зависимости от степени беспорядка. На рисунке 5 показана зависимость интенсивности электромагнитного поля от степени беспорядка $\boldsymbol{\sigma}$ для структуры с диэлектрической проницаемостью стержней $\boldsymbol{\varepsilon = 30}$ и коэффициентом заполнения $\boldsymbol{r/a = 0.1}$. Заметно, что при увеличении степени беспорядка $\boldsymbol{\sigma}$ интенсивность поля уменьшается.

Частота однородной моды изменяется прямо пропорционально изменению коэффициента заполнения. В то же время структурный беспорядок локально изменяет коэффициент заполнения; таким образом, можно предположить, что частота однородной моды в структуре с беспорядком либо ниже, либо выше, чем частота однородной моды в структуре без беспорядка. Однако, поскольку однородная мода появляется в упорядоченной структуре на самой низкой частоте второй ветви и разрушается при введении структурного беспорядка, можно предположить, что однородная мода может находиться на более низкой частоте в неупорядоченной структуре. Для подтверждения этой теории было рассчитано распределение электромагнитного поля на более низких частотах в структуре с $\boldsymbol{\sigma = 0.003}$, диэлектрической проницаемостью стержней $\boldsymbol{\varepsilon = 30}$ и коэффициентом заполнения $\boldsymbol{r/a = 0.1}$.

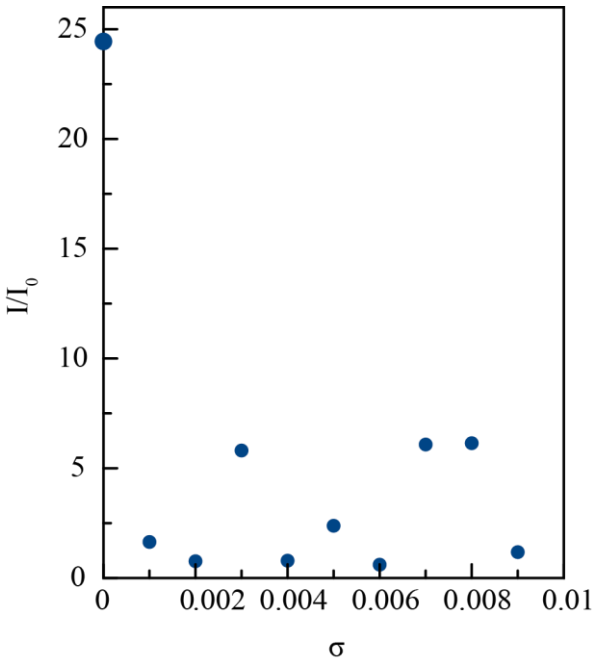


Рис. 5. Зависимость интенсивности электромагнитного поля от степени структурного беспорядка $\boldsymbol{\sigma}$ в режиме метаматериала с диэлектрической проницаемостью $\boldsymbol{\varepsilon = 30}$ и коэффициентом заполнения $\boldsymbol{r/a = 0.1}$

На рисунке 6,а показано распределение электромагнитного поля на самой низкой частоте второй ветви в структуре без беспорядка на частоте однородной моды, при этом поле внутри структуры имеет две противоположные амплитуды. Однако однородная мода появляется с уменьшением частоты (рис. 6,б); таким образом, можно сделать вывод о том, что структура устойчива к внесению беспорядка.

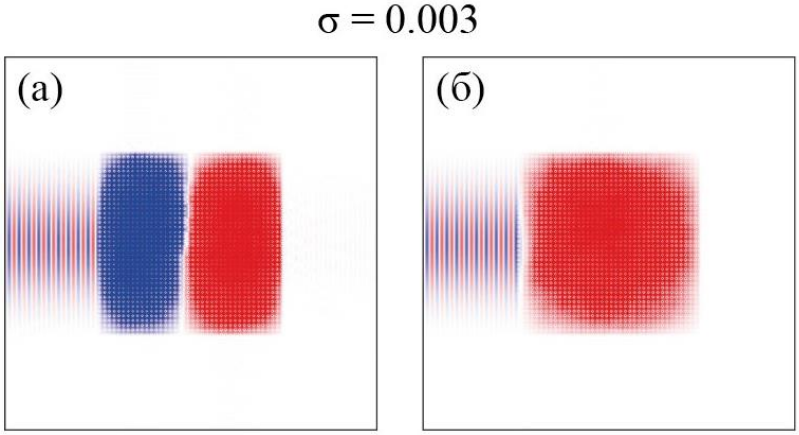


Рис. 6. Распределение электромагнитного поля в режиме метаматериала со внесенным структурным беспорядком, диэлектрической проницаемостью $\boldsymbol{\varepsilon = 30}$, коэффициентом заполнения $\boldsymbol{r/a = 0.1}$ и степенью беспорядка $\boldsymbol{\sigma = 0.003}$: а) частота однородной моды; б) самая низкая частота в структуре с беспорядком

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Maslova E.E., Limonov M.F., Rybin M.V. Dielectric metamaterials with electric response // Optics letters. 2018. Т. 43. №. 22. С. 5516-5519.
2. Li S.V., Kivshar Y.S., Rybin M.V. Toward silicon-based metamaterials // ACS Photonics. 2018. Т. 5. №. 12. С. 4751-4757.

Выпускник
Тупяков Даниил Вадимович
научно-образовательный центр фотоники и оптоинформатики
Направление подготовки: 12.03.03 – Фотоника и оптоинформатика
e-mail: dvtupiakov@itmo.ru

Научный руководитель
Киселев Федор Дмитриевич
к.ф.-м.н., с.н.с.
e-mail: fdkiselev@itmo.ru

УДК 530.145:535.12

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ СИСТЕМ КВАНТОВОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КЛЮЧА НА БОКОВЫХ ЧАСТОТАХ

Работа выполнена в рамках темы НИР №221068 «Разработка методов совместной передачи квантовых и информационных каналов в одном оптическом волокне».

Квантовое распределение ключей (КРК) в настоящее время можно считать одной из самых многообещающих областей квантовых коммуникаций и криптографии в целом [1, 2]. Главным преимуществом КРК перед классическими методами шифрования является то, что безопасность передачи данных основана на фундаментальных принципах квантовой механики [3]. Значительный интерес вызывает возможность внедрения системы КРК в существующую волоконно-оптическую линию связи (ВОЛС) на основе технологии мультиплексирования с разделением по длине волны (WDM), что обусловлено практическим удобством и экономической выгодой. Однако, это достаточно трудная задача. Во-первых, на слабый сигнал квантового канала негативно влияют гораздо более мощные информационные (классические) каналы. В результате чего шумовые сигналы попадают в спектральную полосу квантового канала. К основным причинам их появления относятся такие нелинейные эффекты как: спонтанное комбинационное рассеяние (СКР), четырехволновое смешение (ЧВС) и линейные перекрестные помехи (ЛПМ) [4–6]. Во-вторых, любая действующая система КРК, требует эффективного управления с обратной связью в реальном времени для поддержания стабильности системы при столкновении с помехами из внешней среды, несовершенством внутренних компонент или изменениями конфигурации ВОЛС.

В настоящее время разработано большое множество методов решения первой проблемы, однако решения задач, связанных с динамичностью системы все еще находятся в разработке. В общем случае такую задачу можно свести к оптимизации контролируемых пользователем параметров системы относительно текущего состояния неконтролируемых параметров. Для оценки эффективности сеанса КРКБЧ можно использовать такие характеристики как коэффициент квантовых битовых ошибок QBER, и скорость генерации секретного ключа K. QBER может быть определен по формуле (1) [7]:

$$\mathrm{QBER} = \frac{2\mu\tau\eta(1-\vartheta)\left(1-\cos(\delta\varphi)\right)+\tau\vartheta\mu_0\eta+p_{\mathrm{dark}}+p_{noise}}{4\mu\tau\eta(1-\vartheta)+2\tau\vartheta\mu_0\eta+2p_{\mathrm{dark}}+2p_{\mathrm{noise}}}, \quad (1)$$

где $\eta = \eta_B\eta(L)\eta_D$ – величина суммарного оптического коэффициента пропускания, $\mu = \mu_0 m^2$ – среднее число фотонов на боковых частотах, m – константа модуляции, μ_0 – среднее число фотонов на частоте несущей, $\tau \equiv \Delta t / T$ – временной параметр, η_D – эффективность ДОФ, $p_{dark} = \gamma_{dark} - T$ вероятность темновых отсчетов ДОФ, γ_{dark} – частота темновых отсчетов ДОФ, p_{noise} – вероятность шумовых отсчетов ДОФ, T – временное окно, Δt – время открытия гейта, $\eta(L) = 10^{-0,1\xi L}$ – потери квантового сигнала в волокне, ξ – коэффициент затухания волокна,

η_B – потери в модуле приемника, ϑ – коэффициент экстинкции СФ, δ_φ– фазовый набег, вызванный неидеальностью оборудования. Скорость генерации секретного ключа K может быть определена по формуле (2) [7]:

$$K = \frac{(1-G)\nu_S}{N}\left[1 - h(\mathrm{QBER}) - h\left(\frac{1-e^{-\mu_0 m^2}}{2}\right)\right], \quad (2)$$

где ν_S – частота модуляции, $(1 - G)/N$ – вероятность успешного срабатывания ДОФ в случае угадывания базиса получателем, N – количество базисов, $h(f)$ – функция бинарной энтропии от аргумента f.

На рисунке 1 представлена принципиальная схема системы КРК, интегрированной в ВОЛС, и указаны ее основные параметры.

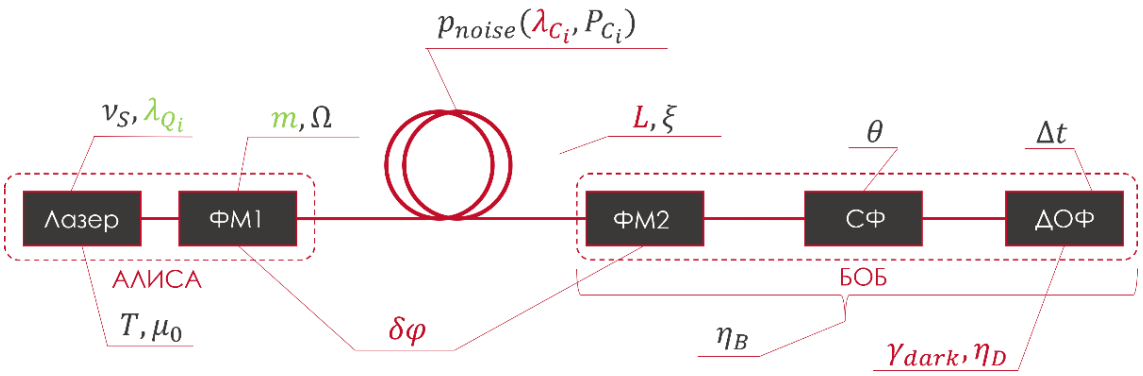


Рис. 1. Принципиальна схема системы КРК, внедренной в ВОЛС. ФМ – фазовый модулятор, СФ – спектральный фильтр, ДОФ – детектор одиночных фотонов. Зеленым цветом отмечены предсказываемые оптимальные параметры, красным – произвольно изменяющиеся параметры, черным – неизменяющиеся параметры

ВОЛС обозначена как оптическое волокно с классическими каналами на длинах волн λ_{C_i} с мощностями P_{C_i}. В работе исследовалось предсказание оптимальных $\mu = \mu_0 m^2$ и $\nu_Q = c / \lambda_Q$, где c – скорость света, с помощью полносвязной нейронной сети (НС) и алгоритма случайного леса (СЛ).

После подготовки обучающих данных, выбора оптимальных конфигураций моделей и их обучения, проводилось сравнение их показателей. На рисунке 2 представлены результаты оценки точности моделей.

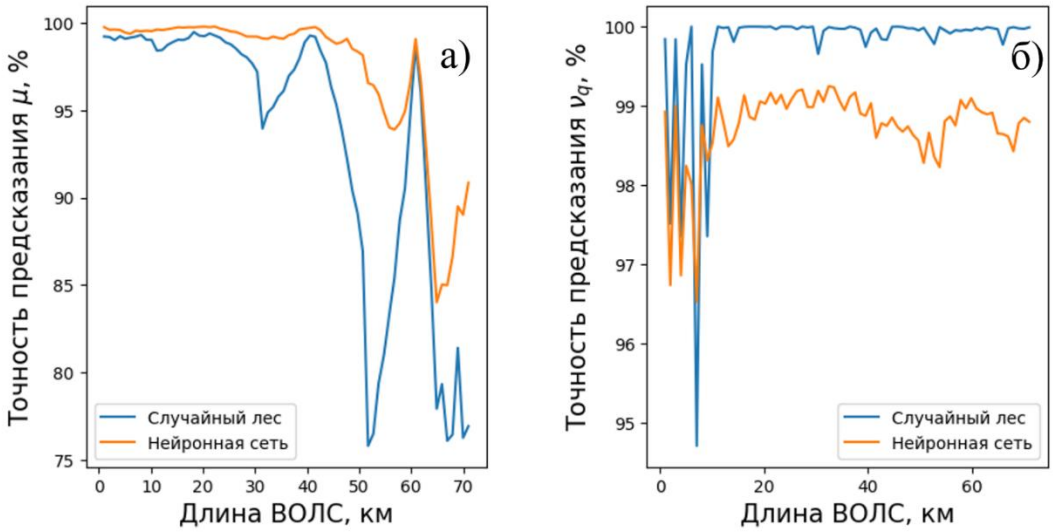


Рис. 2. Зависимость точность предсказания количества фотонов на боковых частотах: а) и частоты квантового канала б) от длины ВОЛС для НС и СЛ

Точность предсказания количества фотонов на боковых частотах в случай НС и СЛ имеет одинаковое поведение. Можно четко выделить спады графика точности в областях тех длин ВОЛС, которые не попали в обучающие данные из-за того, что был выбран большой шаг дискретизации (шаг дискретизации 20 км для интервала от 0 до 80 км). Однако, НС в контексте решения этой задачи обладает большей обобщающей способностью, из-за чего средняя точность предсказания количества фотонов на боковых частотах у НС выше, чем у СЛ, а также падения точности имеют меньшую амплитуду.

Результаты сравнения времени, затрачиваемого на предсказание, и эффективности предсказания представлены на рисунке 3.

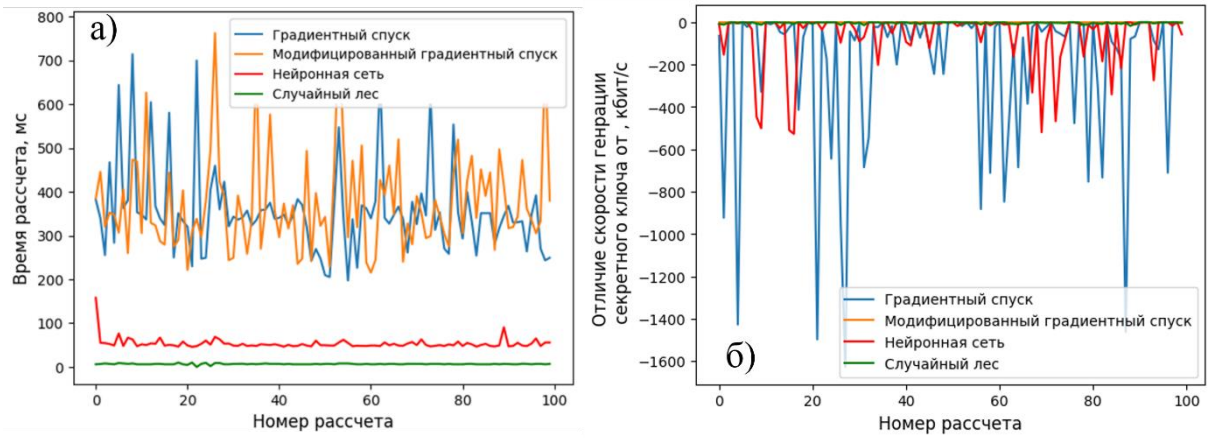


Рис. 3. а) зависимость времени предсказания от номера расчета предсказания для разных методов оптимизации; б) зависимость разницы между скоростями генерации секретного ключа, рассчитанными по предсказанным оптимальным параметрам, и параметрам, определённым с помощью глобального поиска, для разных методов оптимизации

Для наглядности к рассматриваемым моделям добавлены результаты классических методов: алгоритм градиентного спуска (ГС) и модифицированный алгоритм градиентного спуска (МГС), отличающийся от своего предка модификацией, позволяющей определять точку старта таким образом, чтобы не попадать в локальные максимумы.

По рисунку 3,а видно, что метод СЛ обладает самой высокой скоростью (порядка 20 мс на предсказание). Следующая по скорости идет НС, которая затрачивает в среднем 50 мс на предсказание. МГС и ГС обладают самой низкой скоростью (в среднем 400 мс на предсказание). Отчетливо видно, что МГС слегка уступает по скорости ГС, что очевидно, так как МГС затрачивает дополнительное время на поиск оптимальной точки старта, однако, эти затраты полностью окупаются за счет увеличения эффективности поиска глобального максимума, что можно увидеть на рисунке 3,б, который иллюстрирует зависимость отличия скорости генерации секретного ключа, рассчитанной с предсказанными оптимальными параметрами, от эталонной скорости генерации секретного ключа, рассчитанной с реальными оптимальными параметрами (определёнными с помощью глобального поиска). Отличия скоростей, рассчитанных, по предсказанным параметрам отрицательные, так как они меньше эталонной скорости. Видно, что скорость генерации секретного ключа, рассчитанная с оптимальными параметрами, предсказанными с помощью МГС, не отличается от эталонной. Следующим идет метод СЛ, с небольшим отличаем в скоростях, и НС с отличием не более чем в 500 кбит/с. ГС обладает худшими показателями, так как склонен к попаданию в локальные максимумы, значения параметров в которых не являются оптимальными.

Для оценки влияния подстройки на сеанс КРК и определения областей эффективности было проведено моделирование 100 секунд сеанса, в течение которых каждую секунду состояние системы менялось случайным образом, с пятью разными методами адаптации к изменениям. Результаты представлены на рисунке 4.

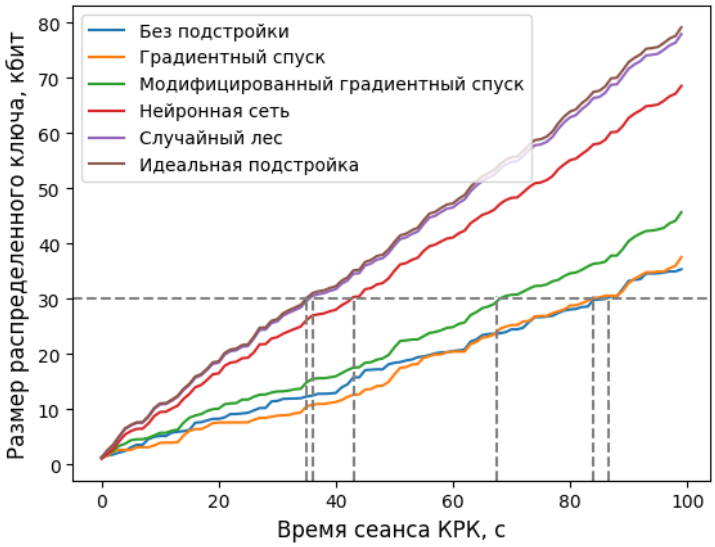


Рис. 4. График зависимости размера распределенного ключа на расстоянии 60 км от времени проведения сеанса КРКБЧ. Пунктирной линией изображен уровень в 30 кбит распределённого секретного ключа и перпендикуляры, опущенные из точек его пересечения с кривыми накопления ключа

Как и было предположено средняя скорость накопления ключа у системы без подстройки наименьшая (355 бит/с). Следующей по скорости (441 бит/с) является система с подстройкой с помощью ГС. Несмотря на то, что ГС определяет точные значения оптимальных параметров, он может попадать в локальные максимумы и время его работы в среднем равняется половине интервала, что приводит к ситуации, в которой система больше половины времени работает в неоптимальном режиме. В случае МГС ситуация улучшается и скорость достигает значения 594 бит/с (так как исключается вероятность неверного определения положения максимума), однако время расчета все еще занимает около 400 мс, из-за чего система около 40% времени работает не в оптимальном режиме. В случае НС потери времени на расчёт намного меньше (50 мс у НС против 400 мс у МГС) благодаря чему система около 95% времени работает в близком к оптимальному режиме, средняя скорость генерации секретного ключа достигает 732 бит/с, что в два раза больше, чем у системы без подстройки.

Наконец, модель СЛ показывает наилучшей результат. Кривая накопления секретного ключа в этом случае на 97% совпадает с кривой идеальной подстройки, а средняя скорость достигает 833 бит/с. Такие выдающиеся результаты модели СЛ с учетом ее высокой скорости и неоднозначных результатов оценки точности позволяют заключить, что именно способность к точному определению оптимальной частоты квантового канала играет ключевую роль в эффективности модели. Другими словами, влияние шумов классических каналов на скорость генерации секретного ключа имеет большее значение нежели изменение числа фотонов на боковых частотах.

Для оценки областей эффективности моделей было проведено описанное выше моделирование сеанса КРК с разыми частотами подстройки и длинами ВОЛС. Результаты представлены в виде картины областей эффективности (рис. 5) того или иного метода (наиболее эффективным считается метод с наибольшей средней скоростью накопления секретного ключа).

Модель СЛ, обученная на тех же данных, оказалась наиболее эффективной практически во всей области частот и длин ВОЛС за исключением длин, для которых у нее характерно падение точности предсказание среднего числа фотонов (рис. 2). В областях, где падение точности не велико (для длин ВОЛС от 1 км до 50 км) наблюдается уменьшение эффективности в области низких частот (до 0.3 Гц). МСГ имеет большую эффективность за счет точности, а скорость СЛ не играет роли, однако общая площадь, на которой эффективность МГС больше невелика. Однако, значительное уменьшение точности предсказания количества фотонов на боковых частотах приводит к уменьшению эффективности, что можно видеть для длин ВОЛС в интервалах

от 53 км до 56 км и от 68 км до 71 км, где модель СЛ крайне неэффективна, и в высокочастотной области НС является наиболее эффективной.

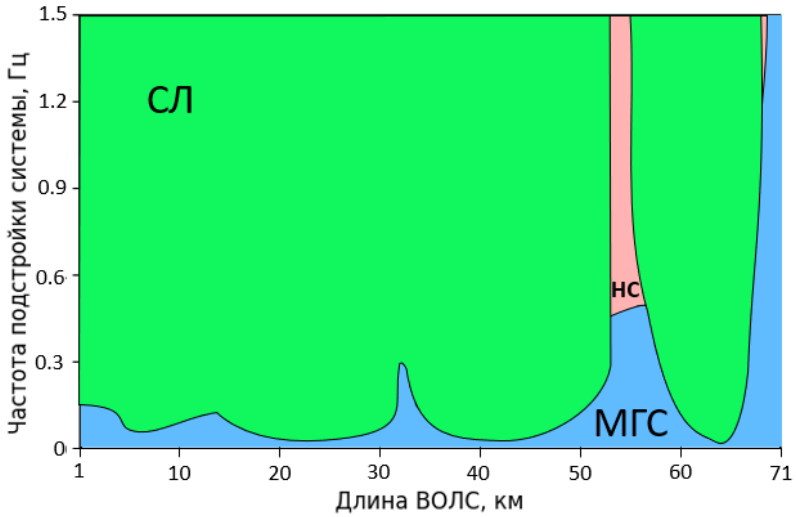


Рис. 5. Итоговая диаграмма эффективности НС, СЛ и МГС в зависимости от длины ВОЛС и частоты подстройки. Красным цветом выделены области эффективности НС, синим – области эффективности МГС, зеленым – области эффективности СЛ

Таким образом, можно заключить, что методы машинного обучения, в частности нейронные сети и алгоритмы случайного леса, обученные с помощью данных, полученных предложенным образом, можно применять для решения задачи оптимизации систем КРКБЧ (определение параметров, обеспечивающих большую скорость генерации секретного ключа) в режиме реального времени (в области больших значений частот подстройки). Причем в контексте поставленной задачи они будут превосходить классические методы оптимизации по эффективности (рис. 5).

Исследованные методики подготовки данных и обученные модели машинного обучения уже сейчас могут быть использованы для решения задачи определения оптимальных параметров системы КРКБЧ при ее внедрении в существующую ВОЛС. Причем рассмотренные методики и модели могут масштабироваться на любое необходимое количество характеристик и параметров, с единственным ограничением, накладываемым вычислительной мощностью используемого оборудования.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Valerio Scarani et al. The security of practical quantum key distribution // Reviews of Modern Physics. 2009. Vol. 81. Pp. 1301-1350.
2. Stefano Pirandola et al. Advances in quantum cryptography // Advances in Optics and Photonics. 2020. Vol. 12. P. 1012.
3. Nicolas Gisin et al. Quantum cryptography // Reviews of modern physics. 2002. Vol. 74. P. 145.
4. Mlejnek M., Kaliteevskiy N., Nolan D. Reducing spontaneous Raman scattering noise in high quantum bit rate QKD systems over optical fiber // arXiv preprint. 2017. arXiv:1712.05891.
5. Jia-Ning Niu et al. Optimized channel allocation scheme for jointly reducing four-wave mixing and Raman scattering in the DWDM-QKD system // Applied Optics. 2018. Vol. 57. P. 7987.
6. Kumar R., Qin H., Alléaume R. Coexistence of continuous variable QKD with intense DWDM classical channels // New Journal of Physics. 2015. Vol. 17. DOI:10.1088/1367-2630/17/4/043027.
7. Kiselev F. et al. A theoretical study of subcarrier-wave quantum key distribution system integration with an optical transport network utilizing dense wavelength division multiplexing // Journal of Physics B: Atomic, Molecular and Optical Physics. 2021. Vol. 54. DOI:10.1088/1361-6455/ac076a.

Выпускник
Удинцев Максим Валерьевич
факультет безопасности информационных технологий
Направление подготовки: 10.03.01 – Информационная безопасность
e-mail: maksim.udincev01@mail.ru

Научный руководитель
Гирик Алексей Валерьевич
к.т.н., доцент
e-mail: avg@itmo.ru

УДК 004.056

РАЗРАБОТКА ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАННОЙ СИСТЕМЫ WEB-АУТЕНТИФИКАЦИИ НА БАЗЕ БЛОКЧЕЙНА

Цифровизация нашей жизни и рост используемости интернета привели к новому набору проблем в области безопасности. Современный интернет-ландшафт предъявляет все более высокие требования к надежности систем аутентификации, ведь текущие централизованные системы аутентификации уязвимы к кибератакам и нарушениям конфиденциальности, что ставит под угрозу личность пользователя и его персональные данные. Децентрализованные технологии предлагают ряд преимуществ для решения этой задачи, поскольку они обеспечивают высокий уровень безопасности, контроля над данными и надежности [1].

Blockstack — это децентрализованная сеть и экосистема, которая предоставляет инфраструктуру для создания безопасных и частных приложений, которые могут быть построены на вершине ее блокчейн- платформы. В центре инфраструктуры Blockstack находится блокчейн, который используется для сохранения и управления цифровыми подписями пользователей и других данных, таких как названия доменов и метаданные. Это позволяет пользователям иметь полный контроль над своими данными, а также обеспечивает высокий уровень безопасности и надежности. Blockstack также имеет собственную распределенную систему хранения данных, называемую Gaia, которая позволяет пользователям сохранять свои данные на собственных серверах или на сторонних серверах, используя протокол IPFS (InterPlanetary File System). Для взаимодействия с блокчейном и Gaia, Blockstack предоставляет набор инструментов для разработчиков, включая SDK, библиотеку JavaScript и множество API. Это позволяет разработчикам создавать безопасные и частные приложения, которые могут быть интегрированы с другими блокчейн-платформами, такими как Bitcoin и Ethereum.

Процесс аутентификации в Blockstack действительно представляет собой инновационный и безопасный подход к идентификации пользователей в децентрализованных системах. Он обеспечивает максимальный контроль пользователей над своими данными, гарантирует их приватность и защищает от многих видов атак. Однако, стоит отметить, что в Blockstack механизм аутентификации изначально разработан с учетом применения в бессерверных приложениях [2]. В результате он имеет некоторые ограничения, особенно при использовании в клиент-серверных приложениях. Разработанная библиотека для серверных .NET приложений позволяет расширить возможности применения блокчейн-аутентификации на основе Blockstack для большого числа разработчиков и организаций, использующих .NET платформу. Создание специализированной библиотеки облегчит интеграцию децентрализованной аутентификации в существующие и будущие .NET проекты, повысив тем самым уровень безопасности и защиты данных пользователей в этих системах.

В разработанной .NET библиотеке для децентрализованной аутентификации на основе Blockstack реализованы следующие функции и возможности (рис. 1):

- генерация и обработка запросов аутентификации (AuthRequest): Библиотека предоставляет функционал для генерации запросов аутентификации и обработки ответов от клиентских приложений [3];

– проверка подлинности и валидация данных пользователя (AuthResponse): Библиотека обеспечивает проверку подлинности и валидацию полученных данных пользователя на стороне сервера, используя криптографические механизмы и соответствующие протоколы;
– управление сессиями пользователя: механизм управления сессиями, который отслеживает активность пользователей и обеспечивает их безопасное завершение сессии.

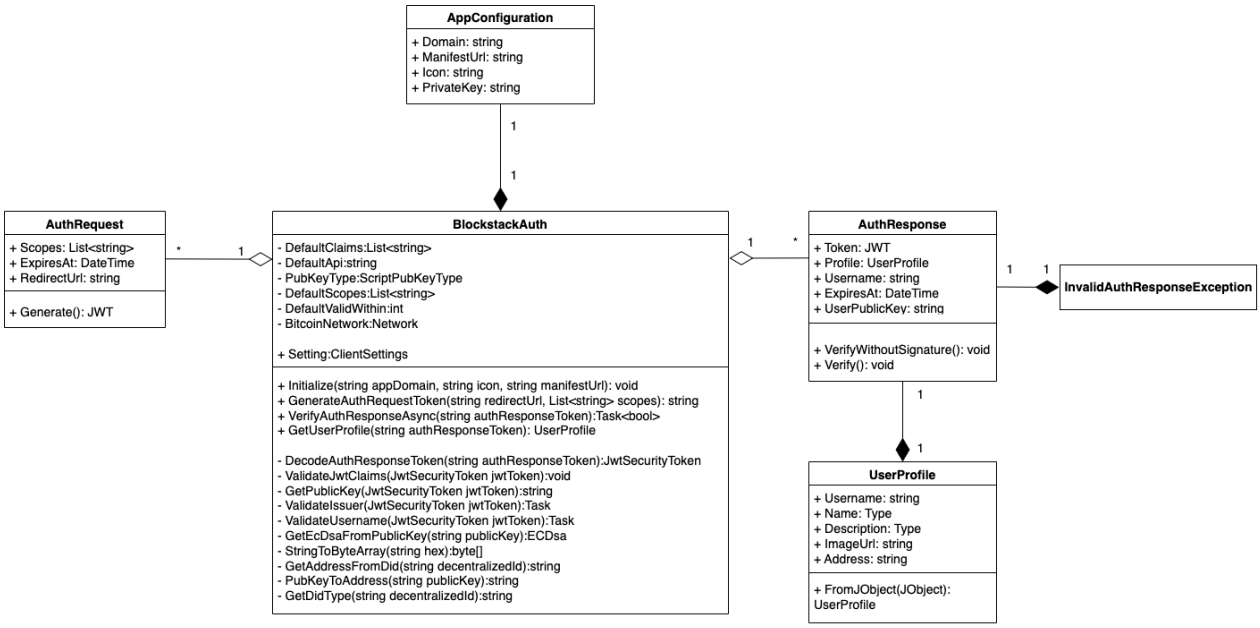


Рис. 1. Упрощенная диаграмма классов разработанной библиотеки

В общих чертах процесс аутентификации с использованием разработанной библиотеки выглядит следующим образом:

1. На сервере приложения с использованием библиотеки создается запрос на аутентификацию (AuthRequest), который включает в себя информацию, необходимую для идентификации приложения.
2. Запрос на аутентификацию передается кошельку Blockstack.
3. Пользователь выбирает идентификатор пользователя и разрешения, которые он хочет предоставить приложению.
4. Кошелек подписывает запрос аутентификации, используя приватный ключ пользователя.
5. Подписанный запрос аутентификации (AuthResponse) передается обратно серверу.
6. Сервер приложения с использованием библиотеки проверяет подпись, используя публичный ключ пользователя, который берет из блокчейна Blockstack, и удостоверяется, что пользователь разрешил доступ к приложению.
7. Если подпись верна и разрешения предоставлены, сервер приложения создает сессию для пользователя и связывает ее с его идентификатором в блокчейне Blockstack.
8. Пользователь получает доступ к приложению, и его идентификатор Blockstack используется для идентификации и предоставления доступа к данным.

На рисунке 2 представлена UML-диаграмма последовательности процесса аутентификации в приложениях с использованием разработанной библиотеки.

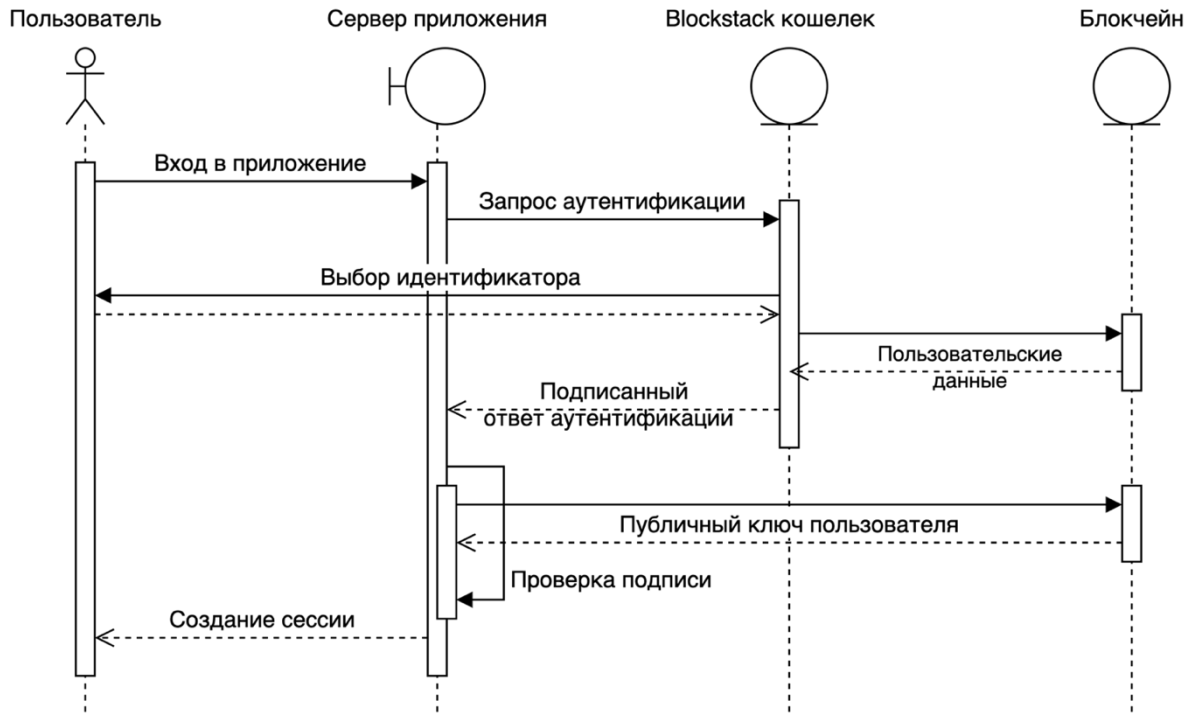


Рис. 2. Процесс аутентификации в разработанной системе

Практическую значимость работы подтверждает прототип серверного .NET приложения, которой успешно использует разработанную библиотеку для реализации аутентификации. Также в рамках анализа была проведена оценка разработанного решения по критериям безопасности персональных данных, в ходе которой доказана эффективность и безопасность данного решения.

Исходный код разработанной библиотеки был передан разработчикам Blockstack. Также разработанную систему удалось успешно внедрить в архитектуру веб-приложений профильной организации, в которой проводилась преддипломная практика. В дальнейшей работе планируется разработка и внедрение безопасных инструментов для хранения, защиты и восстановления приватных ключей пользователей.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Григорьев И.А., Герасимов С.С., Камышанов А.С. Анализ доступности и универсальности методов аутентификации для веб-приложений // Информационная безопасность и защита информации. 2019. №. 3. С. 58-62.
2. Иванов А. Обзор Blockstack: децентрализованная система именования и хранения на базе блокчейна. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://forklog.com/obzor-blockstack-descentralizovannaya-sistema-imenovaniya-i-hraneniya-na-baze-blokchejna/ (дата обращения: 20.06.2023).
3. Documentation. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://docs.stacks.co/ (дата обращения: 21.06.2023).

Выпускник
Чередниченко Екатерина Геннадьевна
факультет информационных технологий и программирования
Направление подготовки: 09.03.02 – Информационные системы и технологии
e-mail: cherednichenko_kate@mail.ru

Научный руководитель
Белых Анастасия Валерьевна
преподаватель
e-mail: anastasia.belykh@nexign.com

УДК 004.4

РАЗРАБОТКА ПРОТОТИПА БЛОКА УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССАМИ ТАРИФИКАЦИИ В БИЛЛИНГОВОЙ СИСТЕМЕ

Автоматизированная обработка данных сотовой связи и тарификация являются одними из важнейших задач в биллинговых системах. Количество данных, которыми обмениваются абоненты сотовой связи, увеличивается, в связи с чем возрастают и требования к биллинговым системам.

На текущий момент, существует риск ухода иностранных производителей программного обеспечения с Российского рынка, в связи с чем операторы связи должны быть готовы к оперативному переходу на другие технологии, в том числе на программное обеспечение с открытым исходным кодом и импортозамещению. Это позволит обеспечить информационную безопасность биллинговой системы, которая поддерживает такую важную критическую инфраструктуру как сотовая связь.

Для большей эффективности и возможности подстраиваться под быстро меняющиеся внешние обстоятельства, существующая ныне большая монолитная биллинговая система требует модернизации и доработок. Для проверки эффективности и осуществимости концепции создается прототип новой системы, поэтому целью выпускной квалификационной работы является проектирование и разработка прототипа для модернизации биллинговой системы и для того, чтобы сделать эту систему более гибкой.

Начинается модернизация с построения прототипа основной части этой системы, которая связана с тарификацией, а именно оценкой трафика.

На основе поставленной задачи и проведенного анализа были составлены следующие функциональные требования к каждому модулю прототипа:

1. Модуль автоматизации процесса занесения данных в НСИ (prefix-maker).
    1) реализация механизма автоматического разбора телефонных номеров на префиксы в виде “толстого” клиента;
    2) возможность запуска из консоли с параметрами и с помощью конфигурационного файла с пользовательскими настройками;
    3) обработка входного файла с условно единым форматом xlsx, xls или csv файла;
    4) реализация алгоритма, формирующего выходной xlsx, xls или csv файл или таблицу / запись в таблице в БД, где будут префиксы (сформированные по полученным из входного файла диапазонам), названия префиксных зон и тарифов;
    5) реализация системы логирования, которая позволяет диагностировать возможные проблемы и содержит:
        - время регистрации события;
        - внутренний идентификатор процесса, зарегистрировавший событие;
        - описание события, которое было зафиксировано.
2. Модуль агрегации данных для оценки трафика (Bis Block Maker).
   Разрабатываемый модуль должен:
    1) обрабатывать и агрегировать BIS-файлы (файлы в формате csv с информацией о

вызовах, которые маршрутизируются по каналам связи между коммутаторами различных операторов связи) из определенного каталога коммутатора пакетами. Для каждого коммутатора в конфигурационном файле задаются параметры для обработки;

2) формировать BIS-блоки (BIS-файлы, содержащие информацию о вызовах только по одной конкретной транковой группе, направлению и дате) по следующей концепции: разделять (распределять по новым директориям) исходные BIS-файлы по транкам и датам с целью обеспечения возможности оперативной точечной переоценки трафика;
3) иметь возможность запуска в несколько процессов, их количество может регулироваться пользователем. Каждый процесс должен иметь свой уникальный идентификатор;
4) иметь конфигурационный файл с такими параметрами для запуска:
   - количество оперативной памяти, которую может использовать процесс;
   - размер выходного файла;
   - максимально время обработки одного пакета в часах;
5) иметь систему логирования, позволяющую диагностировать возможные проблемы. Как минимум, она должна содержать:
   - время регистрации события;
   - внутренний идентификатор процесса, зарегистрировавший событие;
   - описание события, которое было зафиксировано.

3. Модуль оценки трафика (Bis Block Rater).
   Разрабатываемый модуль должен:
   1) производить разбор BIS-блоков (производит оценку трафика) согласно загруженной с помощью prefix-maker нормативно-справочной информации (НСИ);
   2) соотносить каждый вызов из BIS-блока с направлением в НСИ по совпадению префикса. При этом из всех возможных соответствий должен выбираться префикс наибольшей длины;
   3) аккумулировать длительности вызовов по направлениям, и в результате должна получиться заполненная таблица с информацией о накопленных объемах в секундах с округлением результата до минут с разбивкой по направлениям.
4. Модуль генерации тестовых данных.

Генерация BIS-файлов на основе заданных параметров (набор направлений, префиксных зон, соответствующих диапазонов, длительность вызова, количество вызовов в каждом файле, количество файлов).

В результате выполнения выпускной квалификационной работы были выполнены все поставленные задачи:

- исследование существующей биллинговой системы;
- анализ требований;
- проработка архитектуры с учетом особенностей существующей системы;
- разработка спроектированного решения;
- разработан модуль генерации данных для тестирования прототипа и проведено тестирование.

5. Функциональное и модульно тестирование.

Около 70% кода покрыты тестами, для основных функций были написаны автотесты с использованием фреймворка pytest. Он позволяет легко писать тесты и может масштабироваться для сложного функционального тестирования [1]. Разработанные модули соответствуют заданным функциональным и нефункциональным требованиям.

Разработанный прототип решает все поставленные задачи и проблему получения более детальной информации из биллинговой системы и проведения повторной оценки трафика, повышает эффективность задач контроля и сверки данных.

Также было выполнено импортозамещение ПО и переход на программное обеспечение с открытым исходным кодом.

Практическое использование на текущий момент состоит в проведении перетарификации согласно измененной НСИ и сверок с данными контрагентов. Решение внедрено для пользователей из эксплуатации.

Планируется защита прототипа в архитектурном комитете компании для выделения финансирования на дальнейшую разработку.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Pytest: helps you write better programs. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://docs.pytest.org/en/7.3.x/index.html (дата обращения: 13.05.2023).

БАКАЛАВРЫ

Участники конкурса на «Лучшую научно-исследовательскую выпускную квалификационную работу бакалавров Университета ИТМО»

Выпускник
Бакшина Светлана Александровна
факультет безопасности информационных технологий
Направление подготовки: 10.03.01 – Информационная безопасность
e-mail: sveta-bakshina@mail.ru

Научный руководитель
Таранов Сергей Владимирович
к.т.н., доцент ФБИТ
e-mail: serg.tvc@itmo.ru

УДК 004.056.55

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА НА ОСНОВЕ ОДНОРАЗОВОЙ ПОДПИСИ ЛЭМПОРТА ДЛЯ ЗАЩИТЫ ОТ КВАНТОВЫХ АТАК

Работа выполнена в рамках темы НИР № 107824 «Разработка алгоритма на основе одноразовой подписи Лэмпорта для защиты от квантовых атак».

Сейчас идет активное развитие квантовых компьютеров, с помощью которых можно будет провести успешные атаки, использующие квантовые вычисления, на некоторые классические алгоритмы шифрования.

Одним из основных алгоритмов квантовых вычислений, который может быть использован для взлома криптографических алгоритмов, является алгоритм Шора. Данный алгоритм может разложить большое составное число на простые множители за время O(log(n)3), где n – число, которое необходимо факторизовать. На классическом компьютере для решения этой задачи потребуется время O(exp(√(log(n)log(log(n))))), что для больших чисел будет неприемлемо. Этот алгоритм может быть использован для факторизации больших целых чисел, что может привести к раскрытию приватного ключа в асимметричных криптосистемах, таких как RSA (Rivest-Shamir-Adleman) и ECC (Elliptic Curve Cryptography) [1].

Еще одним квантовым алгоритмом является алгоритм Гровера, который может использоваться для взлома криптосистем. Этот алгоритм может быстро найти нужный элемент в неструктурированной базе данных среди N элементов, используя квантовый параллелизм. Алгоритм Гровера может применяться для взлома симметричных криптосистем, таких как AES (Advanced Encryption Standard) и DES (Data Encryption Standard), которые используются для защиты данных в настоящее время. Также данный алгоритм может быть использован для атаки на криптографические хеш-функции, которые широко используются для защиты паролей и цифровых подписей [1]. Классический компьютер требует экспоненциального времени для нахождения входного сообщения по его хеш-значению, но квантовые компьютеры могут справиться с этой задачей гораздо быстрее.

Далее представлен сравнительный анализ криптосистем AES128, AES256, Triple DES, McEliece и RSA, приведенный в таблице 1.

Таблица 1. **Анализ криптосистем**

	Длина ключа, бит	**Скорость**	**Объем необходимой памяти**	**Устойчивость к квантовым атакам**
AES-128	128	Быстрый	Меньше Кбайта	–
AES-256	256	Быстрый	Около Кбайта	+
Triple DES	168	Средний	Меньше Кбайта	–
McEliece	Несколько сотен тысяч	Медленный	Несколько Мбайт	+
RSA	От 1024 до 4096	Медленный	Несколько Мбайт	–

Также для разработки алгоритма был проведен сравнительный анализ подписей Лэмпорта, Винцерта и Меркла, представленный в таблице 2.

Таблица 2. **Анализ подписей**

	Длина ключа, бит	**Скорость**	**Объем необходимой памяти**	**Устойчивость к квантовым атакам**
Подпись Лэмпорта	Зависит от длины сообщения	Средняя	Несколько Кбайта и больше	Зависит от хеш-функции
Подпись Винтерница	Зависит от длины сообщения и блока	Медленная	Несколько Кбайта и больше	Зависит от хеш-функции
Подпись Меркла	Зависит от количества сообщений и уровня безопасности	Средняя	Несколько Кбайта и больше	Зависит от хеш-функции

Разработка алгоритма

Для шифрования/дешифрования данных в алгоритме была взята модифицированная криптосистема AES с длинной ключа равной 512 бит.

Для получения ключа длиной 512 бит генерируется значение равное 256 битам, после чего происходит увеличение ключа до 512 бит с помощью хеш-функции SHA-512. Далее происходит расширение ключа, которое включает в себя 5 раундов.

Процедура расширения ключа в AES-512 состоит из следующих шагов:

1. Первый раундовый ключ совпадает с начальным ключом.
2. Для получения новых раундовых ключей применяется следующий алгоритм:
    1) начальный ключ разбивается на блоки длиной 32 бита и располагается в матрицу 4x16;
    2) происходит применение процедуры подстановки байтов (SubBytes) к последнему столбцу матрицы ключа;
    3) далее с получившимся столбцом производится операция побитовое сложение (XOR) с раундовой константой;
    4) для каждого столбца изначальной матрицы, выполняется процедура XorWords, которая побитово складывает каждое слово в текущем столбце из начальной матрицы с соответствующим словом в предыдущем столбце поучаемой матрицы;
    5) после получения новых четырех столбцов происходит повторение шагов 2-4, пока не получится матрицы 4x16;
    6) затем происходит повтор шагов 2–5 до тех пор, пока не будут сгенерированы все раундовые ключи [3].

В итоге получается матрица 4x96, содержащая раундовые ключи для каждого раунда шифрования.

Алгоритм шифрования/ дешифрования в AES512 выполняется с помощью базовых операций стандарта AES и состоит из 22 раундов.

Программная реализация криптосистемы AES512 представлена на рисунке 1. На вход поступает сообщение, которое необходимо отправить. Создается первоначальный ключ длинной 512 бит. Далее, происходит расширение ключа с помощью функции expand_key(key), используя таблицы Rcon и Sbox. Далее ключ и хешированное сообщение передаются в функцию encrypt_AES(key, hex_message) для шифрования блока данных. Внутри функции в процессе шифрования происходит вызов функции mixColumns(data_block) для проведения операции MixColumns. На выходе получается зашифрованный текст. Для расшифровки полученного текста, он передается в функцию decrypt_AES(key, hex_message), которая в процессе дешифрования обращается к функции inv_mix_columns(data_block) для проведения операции InvMixColumns. Функция decrypt_AES(key, hex_message) возвращает дешифрованное сообщение.

Для подписи данных/проверки целостности данных используется одноразовая подпись Лэмпорта. Для реализации данной подписи была выбрана хеш-функция SHA-512 [2]. Длина закрытого и открытого ключей была выбрана с учетом хеш-функции и составляет 512 пар чисел.

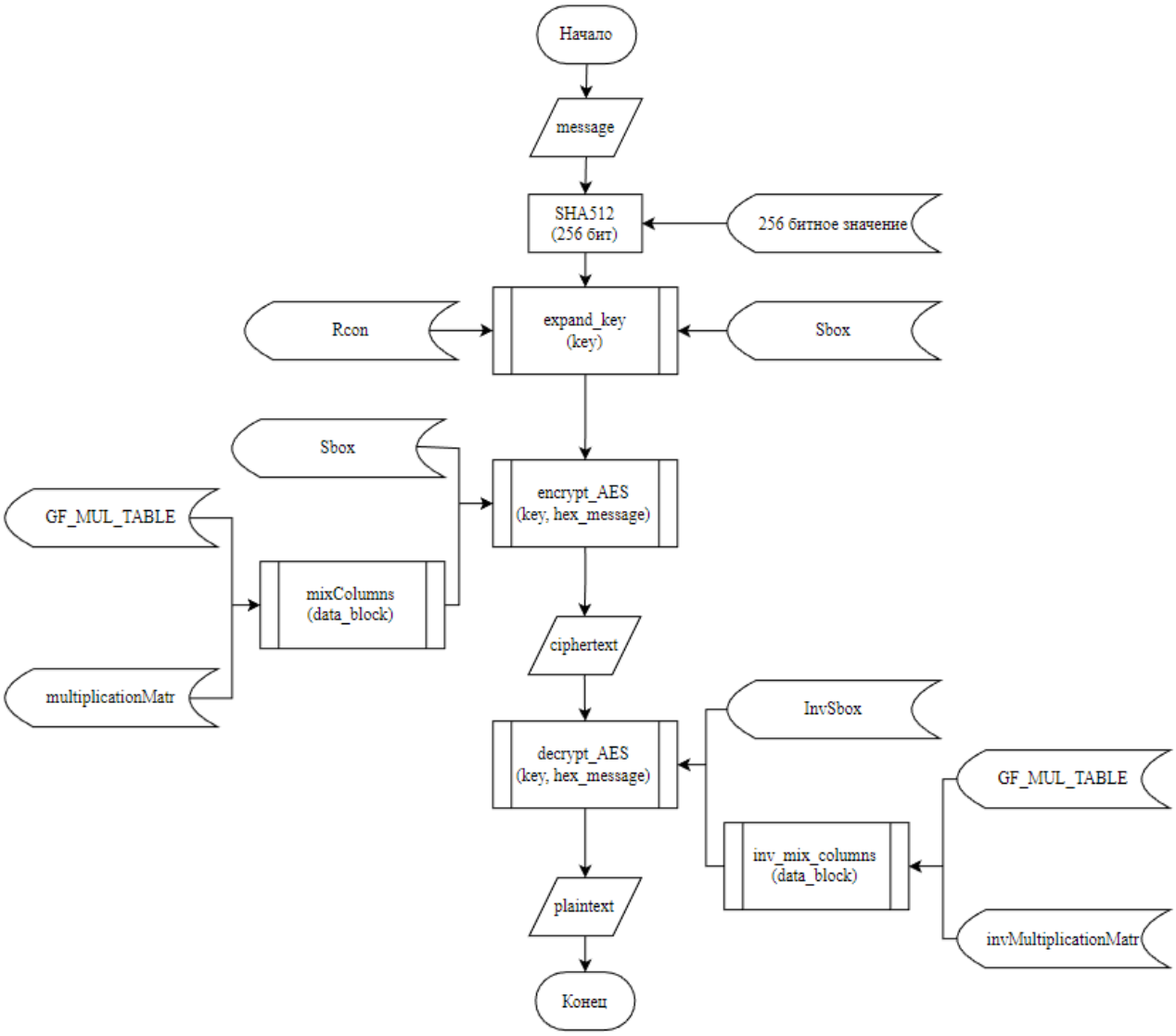


Рис. 1. Блок-схема для реализации криптосистемы AES512

Программная реализация одноразовой подписи Лэмпорта представлена на рисунке 2. Вначале задается значение для определения, сколько пар чисел необходимо будет сгенерировать. Так как необходимо подписать хешированное сообщение, которое состоит из 512 бит, значению было присвоено 512. Далее вызывается функция generate_key_pairs(n) для генерации секретного и открытого ключей, в которую передается переменная n. Она возвращает секретный и открытый ключи. Затем вызывается функция sign_message(private_key, ciphertext) для подписи сообщения. В нее передается зашифрованное сообщение и закрытый ключ. Данная функция возвращает подпись сообщения. Для проверки подписи вызывается функция verify_signature(public_key, message, signature), в которую передается открытый ключ, подпись сообщения и сообщение.

Таким образом, алгоритм работает по следующему принципу: для отправки сообщение шифруется с использование криптосистемы AES с удлиненным ключом, затем зашифрованное данные подписывается с помощью одноразовой подписи Лэмпорти. В результате будет отправлено зашифрованное сообщение, ключ для дешифрования сообщения, подпись сообщения и открытый ключ для проверки подписи. При получении сообщения происходит проверка целостности сообщения при помощи подписи Лэмпорта, то есть подтверждение того, что сообщение не было модифицировано при передаче данных. Далее при успешно пройденной проверки происходит дешифрование сообщения, используя полученный ключ.

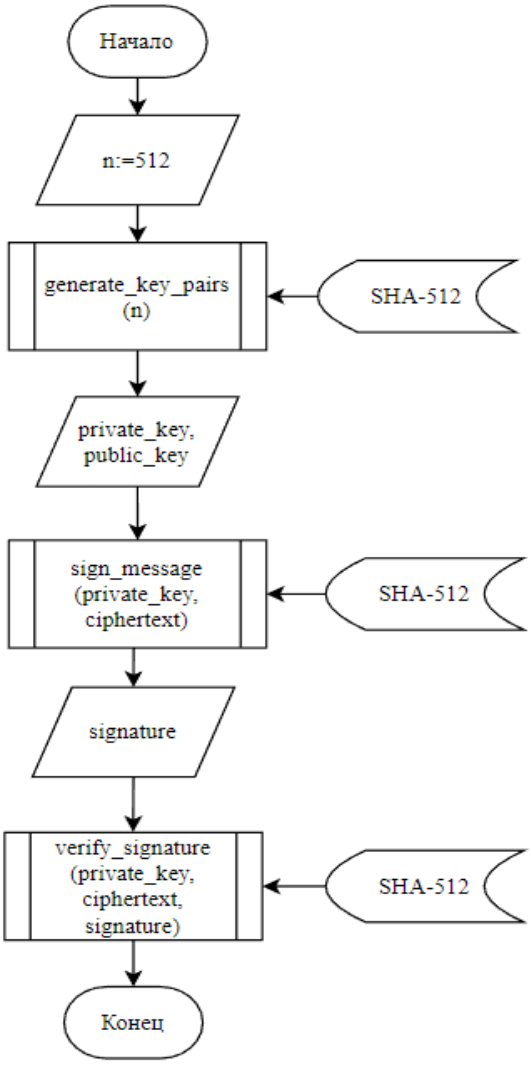


Рис. 2. Блок-схема для реализации подписи Лэмпорта

Безопасность разработанного алгоритма к квантовым атакам

В AES512 используется ключ длиной 512 бит (64 байта). Это означает, что общее число возможных ключей составляет 2^{512}. Для взлома зашифрованного сообщения с помощью AES512 алгоритму Гроверу потребуется 2^{256} операций.

Для подделки подписи Лэмпорта необходимо решить задачу "коллизии хэш-функций" для SHA-512. Алгоритм Гровера ускорит поиск коллизий в два раза, также необходимо учитывать парадокс дней рождения, [4] соответственно для взлома подписи необходимо выполнить 2^{128} операций.

Далее необходимо определить стойкость всего алгоритма к квантовым атакам, для этого была введена следующую формулу:

$$R = n_{AES512} \times n_{SHA512} = 2^{256} \times 2^{128} = 2^{384},$$

где R – стойкость алгоритма к квантовым атакам, n_AES512 и n_SHA512 – количество операций для взлома AES512 и SHA-512.

По данной формуле стойкость всего алгоритма к квантовым атакам равна 2^{384} операций.

Таким образом, разработанный алгоритм имеет высокий уровень стойкости к квантовым атакам, так как в нем не используется факторизация чисел, которую может выполнить алгоритм Шора, а также используются большие ключи, для подбора которых с помощью алгоритма Гровера потребуется провести слишком большое количество операций.

В ходе работе был разработан алгоритм шифрования/дешифрования данных для повышения уровня защиты от квантовых атак, использующих алгоритмы Шора и Гровера, а также создана программная реализация на языке программирования Python.

На основании анализ было решено использовать стандарт AES для шифрования/дешифрования данных. При этом для алгоритма была разработана модифицированная версия AES, имеющая длину ключа равную 512 бит, что повышает уровень безопасности шифрования/дешифрования в два раза по сравнению с AES256.

Разработанный алгоритм позволит защитить передаваемые данные от нарушения целостности и конфиденциальность при появлении мощных квантовых компьютеров.

В дальнейшем возможны доработки данного алгоритма, например, в виде разработки более стойкой хеш-функции.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Ионин И.А., Кочетков А.В. Квантовые вычисления и информационная безопасность. – М.: Физматлит. 2012. 384 с.
2. Lamport L. Constructing digital signatures from a one-way function. – Palo Alto: SRI International. 1979. 18 c.
3. Federal Information Processing Standards Publication 197 – Specification for the ADVANCED ENCRYPTION STANDARD (AES). [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://csrc.nist.gov/csrc/media/publications/fips/197/final/documents/fips-197.pdf (дата обращения: 01.05.2023).
4. Парадокс дней рождения. [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://habr.com/ru/articles/72301/ (дата обращения: 03.05.2023).

Выпускник
Головин Валерий Вячеславович
факультет программной инженерии и компьютерной техники
Направление подготовки: 09.03.04 – Программная инженерия
e-mail: 283909@niuitmo.ru

Научный руководитель
Миронов Андрей Сергеевич
старший преподаватель
e-mail: asmironov@itmo.ru

УДК 004.5

РАЗРАБОТКА ИНСТРУМЕНТАЛЬНОГО СРЕДСТВА ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ВИЗУАЛЬНОГО ВОСПРИЯТИЯ

Работа выполнена в рамках темы НИР №619296 «Исследование и применение методик обработки промышленных данных».

В наше время большинство людей окружает огромное количество медиа-материалов. Среди огромного потока информации, человек должен выделять нужное для себя, поэтому создатели контента пытаются сделать так, чтобы именно их контент был самым запоминающимся. На сегодняшний день, исследования в области мультимедиа стали настолько востребованными, что большое внимание стало уделяться визуальному восприятию. Однако в литературе достаточно редко встречаются работы посвященные изучению визуального восприятия. Одним из психологов, занимавшимся изучением этих вопросов, был Рудольф Арнхейм [2]. Целью выпускной квалификационной работы является создание средств, как для проведения эксперимента, изложенного в книге Рудольфа Арнхейма «Искусство и визуальное восприятие» [1], так и расширение этого эксперимента на группы объектов, составляющих единую уравновешенную композицию. Разработанное средство может позволить уточнить, или расширить гипотезу, выдвинутую Арнхеймом.

Комплекс программ по исследованию визуального восприятия, выполненный в качестве магистерской выпускной квалификационной работы студенткой ИТМО, является основным референсом, взятым за источник для создания данной работы.

В рассматриваемом аналоге можно проводить эксперимент в разных средах, с разными настройками. После его выполнения пользователь получает данные, которые далее должны обрабатываться с помощью Microsoft Excel. Сами результаты эксперимента можно воспроизводить с помощью одной из программ комплекса.

В аналоге также было найдено небольшое количество ошибок в процессе работы программы. Помимо этого, в программе не реализован нужный для исследования функционал. Поэтому, помимо Microsoft Excel, пользователю приходилось пользоваться графическим редактором, чтобы выполнить второй этап тестирования. Анализ данного этапа также проводился в сторонней программе.

На основе актуальности и рассмотренного аналога были сформулированы цели и задачи данной работы. Также были сформулированы функциональные и аппаратные требования.

Исходя из требований, было выбрано программное обеспечение. В ходе анализа требований, было выявлено, что удобнее всего, как для пользователя, так и для разработчика, будет реализация всего функционала в рамках веб-приложения. Данное приложение должно одинаково выполнять свои функции в независимости от наличия подключения к интернету. Также, приложение должно выглядеть одинаково на разных устройствах и в разных браузерах. Таким образом, был сделан выбор в пользу стандартных технологий: HTML + CSS + JS. С помощью данных приложение можно реализовать кроссбраузерное веб-приложение, которое будет отвечать всем требованиям, а также позволит реализовать весь задуманный функционал [3].

После выбора программного обеспечения, был произведен этап проектирования. Прежде всего, было принято решение разделить приложение на четыре самостоятельных, которые будут взаимодействовать друг с другом с помощью файла в формате JSON:

1. Приложение с настройками. Данное приложение помогает настроить среду тестирования. Используется организатором тестирования.
2. Приложение с оценкой состояния композиции (первый этап тестирования). В данном приложении пользователь оценивает напряженность разных композиций. Используется респондентом тестирования.
3. Приложение с построением композиции (второй этап тестирования). В данном приложении пользователь создает уравновешенные композиции из кругов. Используется респондентом тестирования.
4. Приложение для просмотра результатов. В данном приложение можно посмотреть настройки и результаты всех тестирований, а также некоторые дополнительные данные.

После проектирования все приложения были разработаны и протестированы. Во время разработки было решено множество проблем. Например, для минимизации влияния среды тестирования на результаты тестирования было решено добавить новые единицы измерения в настройки, а именно – проценты. С помощью процентов, можно настроить интерфейс более адаптивно, для разных мониторов.

Таким образом, работа была выполнена в полном объеме в соответствии с техническим заданием. Каждое из приложений запускается из браузера и не требует никаких дополнительных файлов (за исключением файла с исходными данными). Помимо этого, приложения были протестированы и переданы для использования в учебном процессе (в рамках дисциплины «Проектирование и разработка компьютерных средств обучения»). Также, планируется продолжить работу с исследованиями Рудольфа Арнхейма, а также с данными инструментальными средствами в рамках магистерской работы.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Арнхейм Р. Искусство и визуальное восприятие / Арнхейм Р.; сокр. пер. с англ. В.Н. Самохина, общ. ред. и вст. ст. В.П. Шестакова. – Москва, “Прогресс”. 1974. 384 с.
2. Арнхейм Р. Новые очерки по психологии искусства / Р. Арнхейм. – Москва. 1994. 352 с.
3. Дунаев В.: HTML, скрипты и стили, - Москва, Издательство: BHV. 2018. 816 с.

Выпускник
Губкин Евгений Сергеевич
факультет систем управления и робототехники
Направление подготовки: 13.03.02 – Электроэнергетика и электротехника
e-mail: evgeniigubkin113@mail.ru

Научный руководитель
Андреев Юрий Сергеевич
доцент, к.т.н.
e-mail: ysandreev@itmo.ru

УДК 658.512.4

РАЗРАБОТКА ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ПРОЦЕССОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА

Для изготовления компанией новой продукции необходимо провести ряд подготовительных работ перед запуском производства. Данные работы включают в себя научную, конструкторскую и технологическую подготовку производства. Технологическая подготовка производства (ТПП) является самым сложным и временно затратным из данных этапов. Из-за возможных временных задержек производства компания будет нести финансовые потери. Поэтому для современных предприятий остро встает вопрос с уменьшением времени на проведение ТПП.

При описании взаимоотношений между различными структурными единицами предприятия используется понятие бизнес-процесс. «Бизнес-процесс – это связанное множество внутренних видов деятельности компании, заканчивающихся созданием продукции или услуги, необходимой потребителю» [1].

Использование бизнес-процессов при описании работы производства позволяет наглядно показать эффективность планируемых изменений, т. к. процессы, в отличии от общей структуры, имеют строго определенные показатели, такие как длительность, качество, стоимость.

Для получения подробной информации о поведении бизнес-процесса используют имитационное моделирование. Сам процесс имитационного моделирования представляет собой замену исходной модели на совокупность различных систем, таких как дифференциальные уравнения, сети Петри, конечные автоматы и многое другое [2]. Для проведения данных замен в программах для имитационного моделирования необходимо описать исходный процесс, используя абстрактное описание, то есть представить существующую модель в виде встроенных компонентов описания – графиков, алгоритмов, таблиц и т. д. При проведении моделирования вычислительная техника воссоздает функционирование описанной модели и осуществляет подсчет выходных параметров для данной системы. Результат моделирования зависит от степени описания исходной модели, а также заложенных исходных данных.

В настоящее время существует множество программного обеспечения для проведение имитационного моделирования бизнес-процессов. Они различаются степенью детализации бизнес-процессов, направленностью процессов, наличием специальных инструментов для визуализации. Моделированием в данных программах занимаются специалисты на предприятии, отвечающие за разработку и внедрение технологической подготовки производства. Главной целью данных специалистов является правильное представление модели бизнес-процесса на программном уровне.

Для проведения имитационного моделирования могут быть использованы следующие программы: DELMIA, Adonis, AnyLogic. Результат сравнительного анализа рассмотренных программ приведен в таблице.

Таблица. **Сравнительный анализ имитационных программ**

Характеристика	DELMIA	AnyLogic	Adonis
Наличие визуализации процесса	1	1	1
Возможность построения графиков по результатам эксперимента	1	1	1
Вариативный экспорт и импорт данных	1	1	1
Возможность моделирования организационных процессов внутри предприятия	1	1	1
Возможность моделирования функциональных процессов внутри предприятия	1	1	1
Использование облачного сервиса для моделирования	0	1	1
Наличие русского языка	0	1	0
Возможность установки пробной/учебной версии	0	1	1
Поддержка операционных систем	Windows, Linux	Windows, Linux, Mac	Windows, Linux

Примечание. Система оценивания производилась по следующему принципу: 0 – программа не удовлетворяет данному критерию; 1 – программа подходит под данную характеристику.

Из рассмотренных программ для проведение дальнейшего моделирования была выбрана среда AnyLogic – из основных ее преимуществ стоит отметить высокую достоверность получаемых данных, благодаря возможности настраивать параметры поведения каждого объекта. Также этот выбор был связан с невозможностью использования программ иностранного происхождения из-за сложившейся геополитической обстановки.

В работе рассмотрен бизнес-процесс, включающий в себя изготовление различных пластиковых изделий для последующего использования в продукции.

В ходе работы был разработан алгоритм обработки нового заказа на предприятии. Данный алгоритм описывает операции, выполняемые внутри предприятия при получении и выполнении заказа.

На базе построенного ранее алгоритма, а также получения экспертных оценок была построена имитационная модель в среде моделирования AnyLogic. На данной модели был проведен ряд экспериментов, благодаря которым возможно провести анализ процессов, протекающих на предприятии.

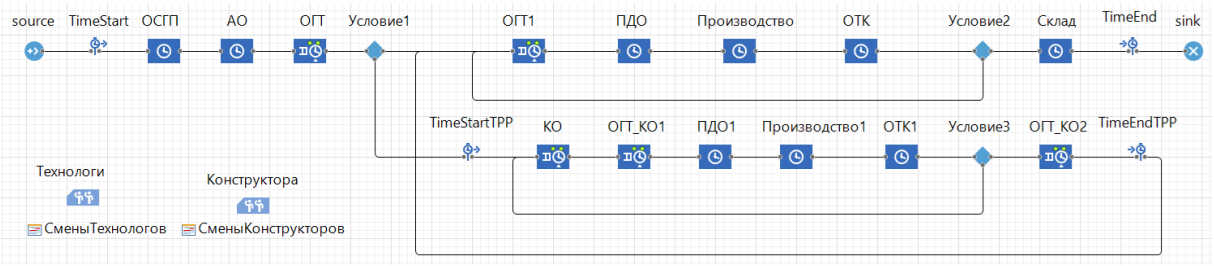


Рисунок. Модель бизнес-процесса в системе AnyLogic

Первый эксперимент был связан с нахождением времени, необходимого для выполнение единичного заказа на предприятии. По полученным данным было выявлено время на выполнение ТПП составляет 53,45 часа, одновременно с этим общее время на выполнение заказа составляет 86.85 часа. Эти значения могут понадобиться на предприятии при поступлении срочного для выполнения заказа, чтобы дать оценку минимально необходимого времени его выполнения.

Второй эксперимент был связан с привлечением различного количества технологов и конструкторов на этапах ТПП, в результате компьютерного моделирования было найдено в

какой степени количество сотрудников данных отделов влияет на время выполнения заказа и работ связанных с проведением ТПП, количество выполненных заказов. После выполнения нескольких моделирований было выявлено, что рационально иметь на предприятии четыре технолога и четыре конструктора.

Третий эксперимент был заключался в проверке на выполнение заказов предприятием при наличии четырех конструкторов и четырех технологов. Для этого было увеличено общее количество заказов дополнительными.

При значении 72 дополнительных заказа время на выполнение ТПП составляет 110 часов, на изготовление продукции 171 час, процент выполненных заказов незначительно уменьшился от общего количества.

При значении больших чем 72 дополнительных заказа происходит резкий скачок данных параметров. Это означает, что на предприятии происходит нехватка сотрудников для выполнения поставленных задач.

Исходя из результатов проведенного исследования, можно сделать вывод, что этап технологической подготовки производства является самым длительным и ответственным этапом, предшествующим началу изготовления на производстве новой продукции. Именно от правильности проведения технологической подготовки зависит конкурентоспособность изделия, поэтому современные предприятия стремятся сократить продолжительность цикла подготовки производства. Для выполнения данной задачи необходимо комплексно рассматривать процессы, происходящие на производстве, поэтому к исследованию принимают весь бизнес-процесс предприятия. Благодаря проведению имитационного моделирования бизнес-процессов возможно получить подробные временные показатели на выполнение каждого из этапов подготовки, провести детальную оценку отдельного процесса внутри предприятия, выявить проблемные зоны и рассмотреть варианты оптимизации производственной структуры.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Лычкина Н.Н. Имитационное моделирование экономических процессов / Учебное пособие. — М.: ИНФРА-М. 2014. 254 с.
2. Медведева С.А. Основы технической подготовки производства / Учебное пособие. – СПб: СПбГУ ИТМО. 2010. 69 с.
3. Яблочников Е.И., Молочник В.И., Фомина Ю.Н. Реинжиниринг бизнес-процессов проектирования и производства / Учебное пособие – СПб: СПбГУИТМО. 2008. 152 с.

Выпускник
Коркунова Анна Александровна
факультет безопасности информационных технологий
Направление подготовки: 10.03.01 – Информационная безопасность
e-mail: annetk192096@gmail.com

Научный руководитель
Воробьева Алиса Андреевна
к.т.н., доцент
e-mail: vorobeva@itmo.ru

УДК 004.056

РАЗРАБОТКА МЕТОДА ДЕТЕКТИРОВАНИЯ СГЕНЕРИРОВАННЫХ ТЕКСТОВ, СОЗДАННЫХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА, ДЛЯ ПРОТИВОДЕЙСТВИЯ ЦЕЛЕНАПРАВЛЕННОМУ ФИШИНГУ

В настоящее время искусственный интеллект продолжает активно развиваться, уже внедрен во множество сфер жизни и информационная безопасность не исключение. Но, безусловно, пользуются его возможностями в том числе и злоумышленники – например для автоматизации атак. В работе рассматриваются фишинг-атаки, так как они занимают лидирующие позиции среди всех реализуемых атак, а также зафиксирована тенденция значительного роста их числа как на мировом уровне [1], так и для России [2]. В качестве представляющих наибольшую угрозу способов автоматизации фишинг-атак было выделено использование искусственного интеллекта для генерации текста и олицетворения. В рамках работы были произведены обзор и анализ существующих в данной области решений, однако всеми была продемонстрирована значительно меньшая эффективность для русскоязычных данных в сравнении с англоязычными (табл. 1). В связи с отсутствием эффективных методов детектирования сгенерированных текстов на русском языке, очевидна необходимость разработки метода, позволяющего повысить точность детектирования таких текстов.

Таблица 1. **Сравнительный анализ существующих решений**

Алгоритм	Английские данные	Русские данные
The AI Classifier by Open AI	26% TP 9% FP	60% FP 40% результат неоднозначный
GPTZero	57% TP 14% FP 28.5% результат неоднозначный	42.8% TP 57% FP
Watermarking	99% TP < 1% FP	67.2% TP 83% FP

Разработанный метод представлен как алгоритм, основанный на проведении контекстуального анализа текста с помощью BERT и дальнейшем анализе полученных по его результатам векторов-эмбэддингов (слов, входящих в текст, и самого текста) с выделением признаков и зависимостей полносвязной нейронной сетью комбинированного типа, реализованной через библиотеку Keras на языке Python. На основе полученных в выходном слое нейронной сети значений вероятностей принадлежности к каждому из двух классов формируется результат – решение о вероятном авторстве текста: искусственный интеллект или человек.

По окончании разработки с целью оценки разработанного метода и его сравнения с существующими в данной области решениями был проведен эксперимент, в ходе которого было выявлено, что разработанный метод превосходит все рассматриваемые аналоги по всем оцениваемым метрикам (табл. 2).

Таблица 2. **Сравнительный анализ существующих решений и разработанного метода**

Метод	Точность (accuracy)	Полнота (recall)	Точность (precision)	F1-мера (F1-score)
The AI Classifier by Open AI	0.520	0.760	0.513	0.612
GPTZero	0.480	0.120	0.429	0.188
Watermarking	0.470	0.870	0.483	0.621
Разработанный метод	0.980	0.985	0.983	0.982

По результатам эксперимента (см. рисунок) можно заключить, что разработанный метод позволяет повысить точность (accuracy) детектирования сгенерированных с использованием методов искусственного интеллекта текстов на русском языке на 46%, полноту (recall) – на 11.5%, точность (precision) – на 47%, F1-меру (F1-score) – на 36.1% относительно наилучших из показателей, продемонстрированных аналогами.

Применение разработанного метода позволяет повысить точность детектирования текстов на русском языке, сгенерированных с использованием методов искусственного интеллекта и используемых для автоматизации фишинг-атак, что дает возможность применять данное решение в том числе и для противодействия целенаправленным фишинг-атакам. Алгоритм также может в дальнейшем быть модифицирован для иных задач, в рамках которых производится классификация текстовых данных.

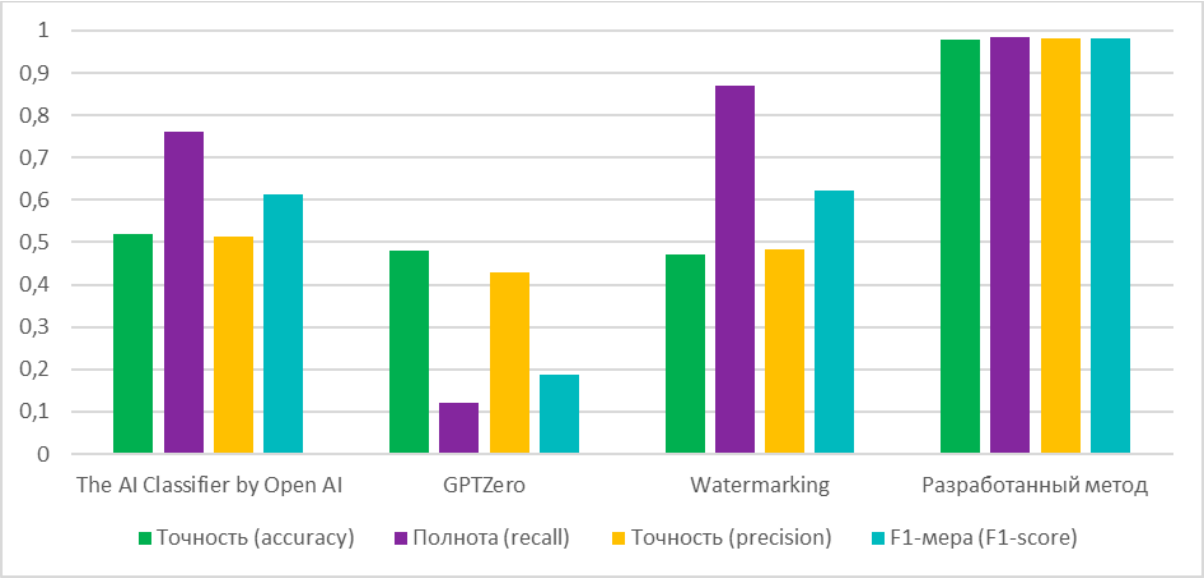


Рисунок. Результаты сравнительного анализа существующих решений и разработанного метода

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Phishing Activity Trends Report. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://docs.apwg.org/reports/apwg_trends_report_q4_2022.pdf (дата обращения: 20.04.2023).
2. Актуальные киберугрозы: итоги 2022 года. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.ptsecurity.com/ru-ru/research/analytics/cybersecurity-threatscape-2022/#id1 (дата обращения: 21.04.2023).

Выпускник
Лакиза Александр Николаевич
факультет инфокоммуникационных технологий
Направление подготовки: 45.03.04 – Интеллектуальные системы в гуманитарной сфере
e-mail: alelakiza@yandex.ru

Научный руководитель
Валитова Юлия Олеговна
к.п.н.
e-mail: julijawal@gmail.com

УДК 004.62

РАЗРАБОТКА ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ АНАЛИЗА И ВИЗУАЛИЗАЦИИ ДАННЫХ О РЕАЛИЗАЦИИ МОЛОДЕЖНОЙ ПОЛИТИКИ В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Молодежная политика является одним из приоритетных направлений внутренней политики Российской Федерации (РФ). Государство ведет активную деятельность по реализации программы молодежной политики, разработанной в середине прошлого десятилетия. О важности молодежной политики заявляет и Президент Российской Федерации Владимир Владимирович Путин [1]. Ежегодно для молодежи проводится множество мероприятий: форумов, хакатонов, конкурсов, премий. Большинство из них проводится федеральным агентством по делам молодежи «Росмолодежь».

В феврале 2023 года «Росмолодежь» проводила хакатон «Молодежный бит», на котором рассказала о том, что собирает множество данных о реализации молодежной политики по субъектам РФ, однако не имеет инструмента для визуализации этих данных, поэтому агентство предложило участникам хакатона разработать подобный инструмент, которым бы пользовались сотрудники «Росмолодежи» в своей рабочей деятельности [2].

Во время хакатона «Росмолодежь» предоставила участникам фрагмент собираемых данных, в котором содержались показатели реализации молодежной политики за 2021 год. Таблицы в исходных данных имели разный формат, поэтому данные требовали предобработки. Были исправлены наименования показателей и регионов, а также был написан скрипт генерации директории с предобработанными датасетами из исходного файла. Данный скрипт приводит все таблицы к одному формату, удобному для автоматизированной работы. В ходе предобработки данных также были сгенерированы искусственные данные за 2019 и 2020 года, чтобы продемонстрировать в инструменте визуализацию изменения показателей в различные года. В открытых источниках были найдены данные о численности разных возрастных категорий субъектов РФ, эти данные также были предобработаны.

Для разработки инструмента было решено использовать библиотеку Streamlit [3]. Данная библиотека позволяет создавать интерактивные веб-приложения без написания backend и frontend частей. Визуализация в инструменте была разработана с помощью библиотеки Plotly, так как она предоставляет пользователю широкий функционал для взаимодействия с графиками [4].

Разработанный инструмент содержит пять страниц, переключаться между которыми можно в боковой панели в левой части интерфейса. На рисунке 1 изображен интерфейс домашней страницы.

На странице «Визуализация показателей» приведены следующие графики, с помощью которых пользователь может оценить состояние молодежной политики в разных регионах РФ: административная карта РФ, на которой регионы окрашены разными цветами согласно значению исследуемого показателя, столбчатые диаграммы, линейные диаграммы, отражающие изменение показателя в различные годы. Также на странице есть таблицы, в которых приведены регионы, в которых произошли наибольшие изменения значения показателя по сравнению с предыдущим годом. На рисунке 2 приведен пример карты РФ на данной странице.

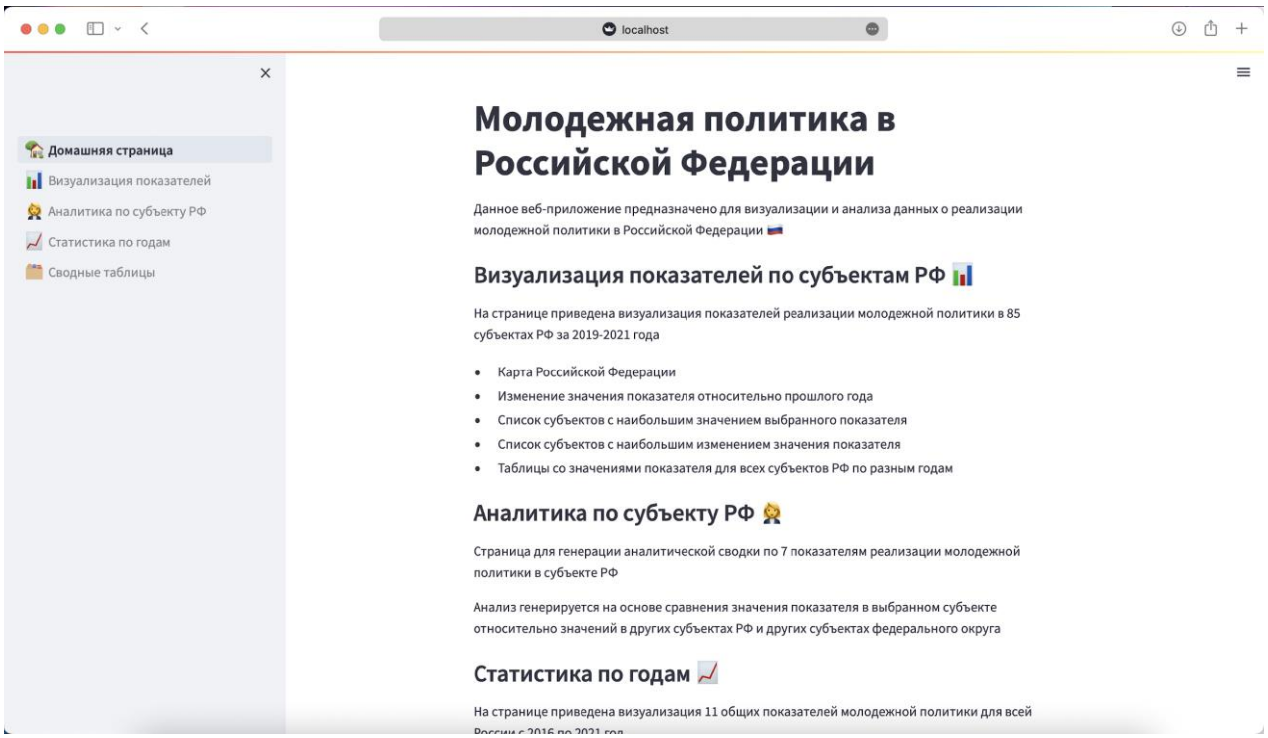


Рис. 1. Интерфейс домашней страницы разработанного инструмента

Рис. 2. Пример административной карты РФ на странице «Визуализация показателей»

На странице «Аналитика по субъекту РФ» пользователь может выбрать регион и получить по нему аналитическую сводку. Аналитическая сводка включает в себя сравнение значения показателей в этом регионе со значениями показателей в других регионах страны и федерального округа. Для каждого показателя генерируется сообщение, цвет и текст которого зависят от результатов сравнения, например, если в регионе очень хорошее значение показателя относительно других регионов, тогда сообщение будет иметь зеленый цвет. Сравнение происходит в соответствии с алгоритмом, лежащим в основе построения коробчатых диаграмм. Было решено использовать этот алгоритм, так как он не зависит от типа распределения данных. На рисунке 3 приведен пример сравнения показателя в Москве с остальными регионами РФ.

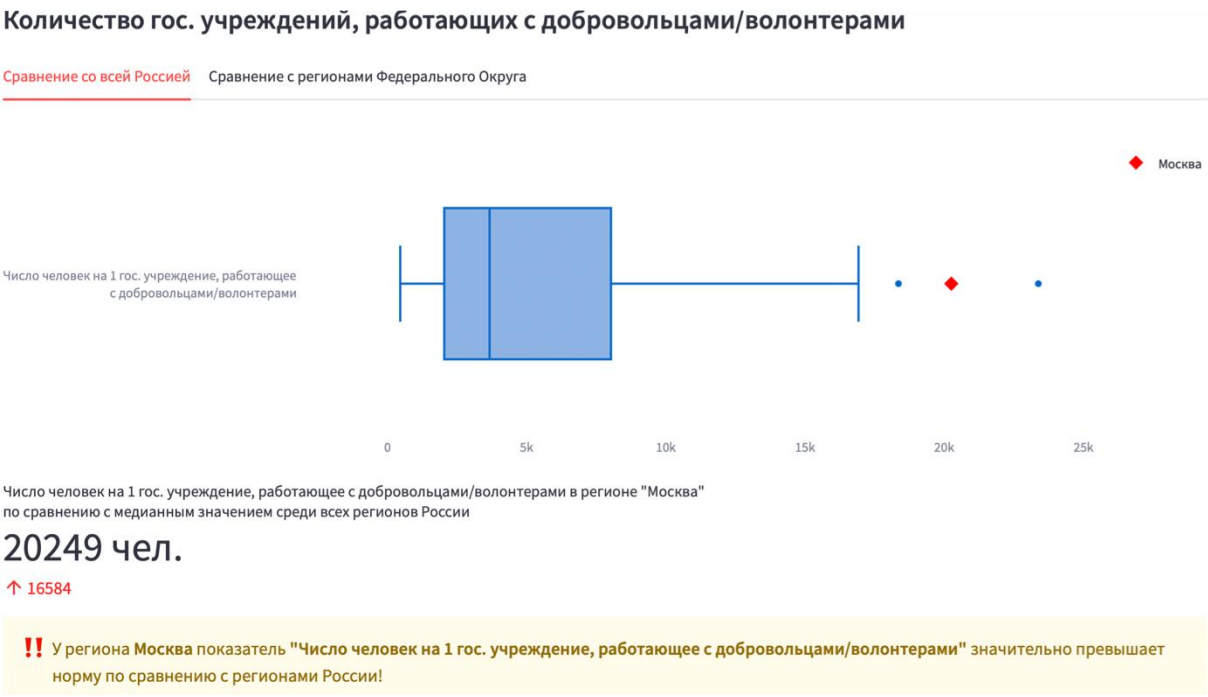


Рис. 3. Пример сравнения показателей на странице «Аналитика по субъекту РФ»

Исходные данные содержали лишь абсолютные показатели, например, «Количество государственных учреждений, работающих с добровольцами/волонтерами». На рис. 3 можно заметить, что происходит сравнение относительных показателей. Именно для этого и были найдены данные о численности населения субъектов РФ, так как сравнивать абсолютные показатели не имеет смысла.

На данной странице также есть визуализация изменения показателя в исследуемом регионе в различные годы.

Также в инструменте есть две страницы: «Статистика по годам» и «Сводные таблицы». На первой из них приведена визуализация 11 общих показателей молодежной политики по всей России за 2016–2021 года. А на второй странице приведены сводные таблицы, благодаря которым пользователь сможет узнать максимальные, средние и суммарные значения показателей как по регионам, так и по федеральным округам.

В ходе работы был разработан интерактивный инструмент для анализа и визуализации данных о реализации молодежной политики в Российской Федерации. Данный инструмент можно использовать для проведения комплексного анализа и мониторинга состояния молодежной политики в стране. Веб-приложение позволит сотрудникам «Росмолодежи» сократить время на анализ данных и принятие бизнес-решений. Также инструмент можно использовать для повышения осведомленности населения о деятельности государства в рамках молодежной политики.

В дальнейшем планируется добавить визуализацию всех показателей и реализовать генерацию анализа не только по регионам РФ, но и по федеральным округам.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Владимир Путин на Госсовете назвал молодежную политику стратегически важной темой. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://spbdnevnik.ru/news/2022-12-22/vladimir-putin-na- gossovete-nazval-molodezhnuyu-politiku-strategicheski-vazhnoy-temoy (дата обращения: 22.04.2023).
2. Молодежный бит. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://youthbit.ru (дата обращения: 18.04.2023).
3. Streamlit documentation. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://streamlit.io (дата обращения: 20.04.2023).
4. Plotly Open Source Graphics Library for Python. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://plotly.com/python (дата обращения: 20.04.2023).

Выпускник
Леко Андрей Алексеевич
центр прикладной оптики
Направление подготовки: 12.03.02 – Оптотехника
e-mail: lekoandrey@gmail.com

Научный руководитель
Мараев Антон Андреевич
к.т.н.
e-mail: aamaraev@itmo.ru

УДК 53.535.8

РАЗРАБОТКА ОПТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПРОСТРАНСТВЕННОГО ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ РАБОЧИХ ЧАСТЕЙ ПОГРУЗОЧНЫХ МАШИН

В настоящее время набирают все большую популярность сервисы для заказа товаров в интернете, в связи с чем увеличивается нагрузка на логистические системы. В связи с этим увеличивается количество складов и пунктов хранения товаров. Склады являются зонами повышенной опасности, где по статистике нередко происходят несчастные случаи.

Основным причинами производственных травм на складах являются недостаточная квалификация персонала, а также нарушение техники безопасности. Большой процент происшествий случается на этапе погрузки и транспортировки грузов [5–9]. На данный момент наиболее распространены вилочные погрузчики, и существует ряд инцидентов, возможных при работе с ними.

На данный момент существуют автоматизированные системы, работающие с беспилотными погрузчиками [10–15]. Однако установка таких систем не всегда экономически целесообразна, поэтому все еще преобладают классические вилочные погрузчики.

Задачи, решаемые в работе:

- анализ существующих решений и методов позиционирования по пассивным меткам,
- выбор структурной схемы системы позиционирования,
- габаритно-энергетический расчет системы,
- выбор оптоэлекторнных компонентов,
- разработка оптической схемы,
- разработка конструкции приемно-передающего блока,
- выбор алгоритма обработки изображения метки,
- расчет погрешности позиционирования.

Вследствие развития технологий изготовления малогабаритных КМОП приемников, увеличения вычислительных мощностей и увеличения скорости передачи данных набирают актуальность цифровые методы обработки изображений.

Один из типов систем пространственного позиционирования, использующих такие методы – это системы с использованием пассивной отражающей метки. Такая система состоит из приемно-передающего устройства и отражающей поверхности (метки) [1–4, 22, 25]. Приемно-передающее устройство состоит из системы подсветки и КМОП камеры или системы камер, по изображениям с которых определяется относительное расположение приемно-передающего блока и метки.

Преимуществом системы позиционирования, основанной на пассивных отражающих метках, является простота их размещения. Такая метка представляет из себя отражающую поверхность, которую легко закрепить практически на любой поверхности, в отличие от активных излучающих меток, требующих дополнительного питания и имеющих большие габариты.

В настоящее время разработано некоторое количество систем позиционирования, использующих отражающую метку, однако они не применимы к вилочным погрузчикам.

Поскольку подобные погрузчики преимущественно используются внутри помещений с искусственным освещением, целесообразно использовать подсветку и камеру, работающие в инфракрасном (ИК) спектре, так как сторонняя засветка от светодиодных светильников, применяемых в промышленных помещениях, как видно из графика выше, будет минимальна.

Подсветка, состоящая из ИК диодов, должна располагаться вокруг объектива камеры и быть направлена по направлению зрения камеры. Их количество необходимо рассчитать исходя из пороговых характеристик камеры и условий контрастности изображения

В качестве пассивной метки предполагается использовать уголковый отражатель, катафот. Такой тип отражателя позволяет заметить его вне зависимости от угла обзора, поскольку за счет двойного отражения луч разворачивается на 180 градусов.

Исходя из конструкции погрузочных вил, а также размеров и форм паллет, перевозимых погрузчиками, в качестве приёмного блока целесообразно использовать систему из двух КМОП камер, расположенных на вилах погрузчика. Данное расположение позволит дать наиболее удобный обзор рабочей области [16–21, 23, 24, 26–30].

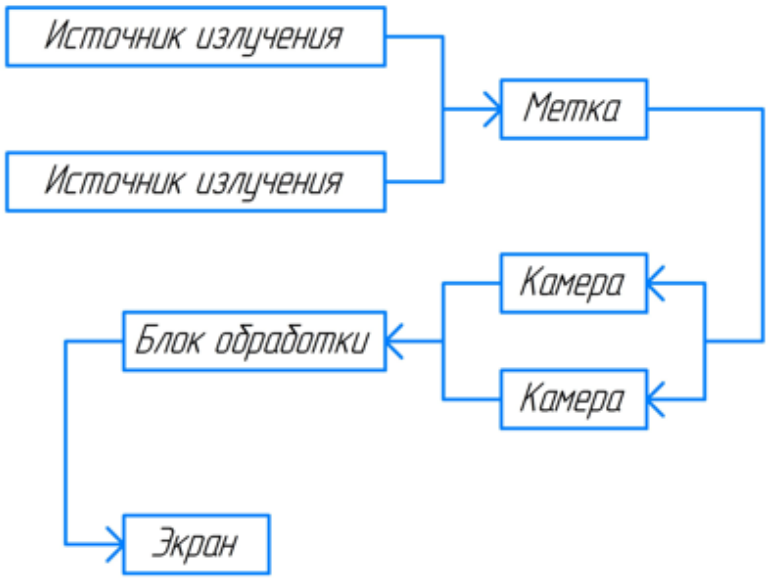


Рисунок. Схема структурная

На рисунке представлена предполагаемая структурная схема прибора. Пара многоэлементных ИК источников излучения освещает область перед вилами погрузчика. Если перед вилами появляется метка, излучение отражается на пару камер, расположенных на вилах погрузчика. Далее блок обработки в режиме реального времени анализирует изображение и рассчитывает положение вил погрузчика относительно метки. Эта информация передается на экран оператору погрузчика, позволяя точно разместить груз в месте хранения.

Разработана оптико-электронная система позиционирования рабочих частей вилочных погрузчиков по пассивным меткам, осуществляющая помощь оператору.

Система состоит из пары камер, работающих в диапазоне длин волн 680–1100 нм, что соответствует инфракрасной части спектра. Камеры закрепляются на внутренней боковой стороне вил погрузчиков на расстоянии 300 мм от концов вил. Система подсветки состоит из восьми излучающих диодов с основной длиной волны 860 нм, расположенных в плоскости объектива вокруг него. Подсветка обеспечивает облученность плоскости приемника после прохождения через оптическую систему, состоящую из отражающей метки, светофильтра и

объектива, равную $1{,}06*10^{-2}$ Вт/м^2 при пороговом значении чувствительности матрицы $1{,}02*10^{-5}$ Вт/м^2. Изображение получается достаточной контрастности для дальнейшего распознавания блоком обработки информации.

Полученные характеристики работы системы:

- рабочее расстояние от камер до пассивной метки составляет от 400 до 5000 миллиметров,
- точность определения положения пассивной метки размером 50х50 мм на максимальном расстоянии ±5,3 мм,
- поперечные габариты крепления на вилы погрузчика 35х35 мм,
- внешний диаметр объектива 30 мм.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Ишанин Г.Г., Челибанов В.П. Приемники оптического излучения: Учебник/Под ред. профессора В.В. Коротаева. — СПб. Издательство «Лань». 2014. 304 с.
2. Ишанин Г.Г., Козлов В.В. Источники оптического излучения: Учебное пособие для студентов оптических специальностей вузов. СПб.: Политехника. 2009. 415 с.
3. Ишанин Г.Г., Мальцева Н.К., Мусяков В.Л. Источники и приемники излучения. Пособие по решению задач по курсу “Источники и приемники излучения”. - СПб.: ИТМО. 2006. С. 86. Режим доступа: https://books.ifmo.ru
4. Мараев А.А. Исследование оптико-электронных систем с полихроматической оптической равносигнальной зоной для контроля смещений: спец. 05.11.07, дис. канд. тех. наук ; Мараев Антон Андреевич ; науч. рук. Тимофеев А.Н. ; Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики — Санкт-Петербург. 2014. 153 с.
5. Статистика травматизма по данным Росстат. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://rosinfostat.ru/travmatizm/ (дата обращения: 17.04.2023).
6. ResearchGate. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.researchgate.net/publication/220805360_A_motion_capture_system_using_passive_markers (дата обращения: 17.04.2023).
7. Hagisonic. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://eng.hagisonic.com/cnt/prod/prod010102.html?uid=11&cateID=2&fieldName=&orderBy= (дата обращения: 17.04.2023).
8. Stabtech. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://stabtech.ru/projects/videonablyudenie/sistema-vizualnogo-pozitsionirovaniya-gruzov-vilochnykh-pogruzchikov-videomobil-forklift/ (дата обращения: 17.04.2023).
9. Международная организация труда, [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.osh.org.il/uploadfiles/cis_rus_j.pdf (дата обращения: 17.04.2023).
10. Чип и Дип. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://static.chipdip.ru/lib/491/DOC014491462.pdf (дата обращения: 17.04.2023).
11. НПК фотоника. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.npk-photonica.ru/product/22913/ (дата обращения: 17.04)
12. Jack forklift. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.jac-forklift.ru (дата обращения: 17.04.2023).
13. Hamamatsu. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.hamamatsu.com/content/dam/hamamatsu-photonics/sites/documents/99_SALES_LIBRARY/ssd/s13101_kmpd1151e.pdf (дата обращения: 17.04.2023).
14. Glassbank. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://glassbank.ifmo.ru (дата обращения: 17.04.2023).
15. Edmundoptics. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.edmundoptics.com/p/675nm-25mm-dia-high-performance-longpass-filter/27816/ (дата обращения: 17.04.2023).
16. Прикладная оптика основы. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://aco.ifmo.ru/el_books/basics_optics/ (дата обращения: 17.04.2023).

17. Каталог запчастей для погрузчиков. [Электронный ресурс]. – Режим доступа https://ndetal.com/catalog/navesnoe-oborudovanie/dlya-vilochnih-pogruzchikov/vily-palletnye/cam_2a_1800_1100_35_100_18 (дата обращения: 17.04.2023).
18. ГОСТ 9078-84 Поддоны плоские. Общие технические условия. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ohranatruda.ru/ot_biblio/standart/170928/#:~:text=ГОСТ%209078-84%20Поддоны%20плоские.%20Общие,ГОСТ%2033757-2016%20Поддоны%20плоские%20деревянные (дата обращения: 17.04.2023).
19. Чип и Дип. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://static.chipdip.ru/lib/251/DOC000251152.pdf\ (дата обращения: 17.04.2023).
20. Каталог источников излучения. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.lighting.su/upload/iblock/110/TL-D%2036W%2033-640%20PHILIPS%20-%20техническое%20описание%20люминесцентной%20лампы.pdf (дата обращения: 17.04.2023).
21. ГОСТ 8639-82 Трубы стальные квадратные. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://docs.cntd.ru/document/1200004717 (дата обращения: 17.04.2023).
22. Система бинокулярного зрения для построения карты помещения и локализации мобильного робота. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://ptsj.ru/articles/405/405.pdf (дата обращения: 17.04.2023).
23. ISO 3676:2012. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.iso.org/standard/50989.html (дата обращения: 17.04.2023).
24. ISO/TC 22. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.iso.org/ru/committee/46706.html (дата обращения: 17.04.2023).
25. Бинокулярная камера. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.anpvizsecurity.com/ru/products-detail-150022 (дата обращения: 17.04.2023).
26. Разработка методов и средств коррекции изображения в системах бинокулярного зрения. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.researchgate.net/publication/333474569 (дата обращения: 17.04.2023).
27. Binocular Stereo Vision. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.researchgate.net/publication/367638492_Binocular_Stereo_Vision (дата обращения: 17.04.2023).
28. Design of Laser Scanning Binocular Stereo Vision Imaging System and Target Measurement. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.researchgate.net/publication/363647744_Design_of_Laser_Scanning_Binocular_Stereo_Vision_Imaging_System_and_Target_Measurement (дата обращения: 17.04.2023).
29. Three-dimensional positioning based on TOA combining acoustic signal and optical signal. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.researchgate.net/publication/369546069_Three-dimensional_positioning_based_on_TOA_combining_acoustic_signal_and_optical_signal (дата обращения: 17.04.2023).
30. The accuracy of determining the coordinates of an unmanned aerial vehicle with a navigation complex integrating an electro-optical positioning system. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.researchgate.net/publication/369125753_The_accuracy_of_determining_the_coordinates_of_an_unmanned_aerial_vehicle_with_a_navigation_complex_integrating_an_electro-optical_positioning_syste (дата обращения: 17.04.2023).

Выпускник
Лудников Глеб Алексеевич
научно-образовательный центр фотоники и оптоинформатики,
Направление подготовки: 12.03.03 – Фотоника и оптоинформатика,
e-mail: gleb142015@gmail.com

Научный руководитель
Петров Виктор Михайлович
д.ф.-м.н., профессор
e-mail: vikpetroff@mail.ru

УДК 535.015

РАЗРАБОТКА ТЕРАГЕРЦОВОЙ НАНОАНТЕННЫ С ДИАГРАМООБРАЗУЮЩИМИ СВОЙСТВАМИ НА ОСНОВЕ КРИСТАЛЛОВ ГРУППЫ СИЛЛЕНИТОВ

Терагерцовые фотоприёмники вызывают большой интерес, как развивающаяся технология в областях медицины, спектроскопии, фотовольтаики, нанофотоники, оптоэлектроники, а также как технология, находящая применение в системах детектирования квантовых вихрей. Научной проблемой, на решение которой направлена данная работа, является разработка нового типа высокоэффективного приёмника электромагнитного излучения в диапазоне 0,1–10 ТГц с диаграммообразующими свойствами на основе кристаллов группы силленитов, которые и будут являться объектом исследования в рамках данной работы. Предлагаемая идея позволит разработать наноантенну, принимающую излучение в ТГц-диапазоне и передающую на расстояние полученный электрический сигнал без использования гальванической связи. Это позволит создавать беспроводные линии передачи связи и энергии. В этом состоит практическая значимость проводимого исследования.

На сегодняшний день наиболее часто используемым материалом в терагерцовых фотоприёмниках являются кремний [1] и арсенид галлия [2]. Главный недостаток наноантенн на основе кремния заключается в ограниченной ширине диапазона рабочих длин волн. Это связано с тем, что кремний обладает относительно низким показателем преломления. Наноантенны, создаваемые на основе GaAs, имеют целый ряд преимуществ: высокая мобильность носителей заряда, широкий диапазон длин волн, устойчивость к окислению и т. п. Однако данный материал является дорогим и труднодоступным, поэтому было принято решение отказаться от его использования.

В рамках данной работы был проведен анализ литературы с целью нахождения альтернативного материала и оригинальной конструкции. Результатом анализа литературы стал выбор кристаллов из группы силленитов в качестве подложки для терагерцовой наноантенны. С высокой долей вероятности можно утверждать, что на сегодня нет предложений по их использованию в данной сфере. В этом плане постановка работы может рассматриваться как новая и оригинальная.

Целью данной работы является поиск среза кристалла $Bi_{12}SiO_{20}$, исследование его ориентационных зависимостей изменения показателя преломления и поиск механизмов формирования оптически-индуцированного напряжения с целью создания фотоприёмника в терагерцовом диапазоне длин волн.

Еще в прошлом веке в кристаллах силленитов была продемонстрирована оптическая запись голограмм с использованием мелких ловушечных уровней [3], располагающихся в диапазоне 0–1.95 эВ от дна зоны проводимости (рис. 1). Это может указывать на возможность использования таких материалов в качестве фотоприёмника. Но ранее никто не предлагал использовать такую фоточувствительность для создания фотоприёмника в терагерцовом диапазоне.

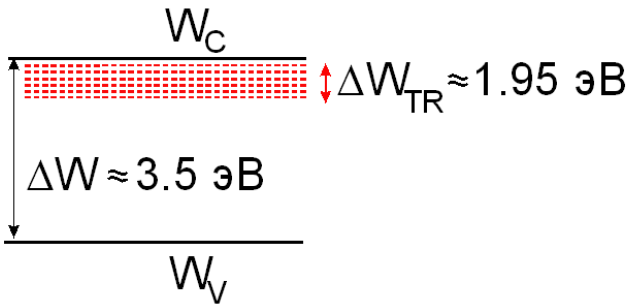


Рис. 1. Схема энергетических зон кристаллов группы силленитов. WV – валентная зона, WC – зона проводимости, ΔW – ширина запрещённой зоны (ΔW≈3.5 эВ), ΔWTR – глубина залегания мелких ловушечных уровней

В работе [4] на основании экспериментальных данных и их экстраполяции была выведена зависимость основных оптических свойств кристаллов группы силленитов от длины волны. Основываясь на этом, в рамках данной работы были найдены значения показателей преломления, поглощения и оптической активности в терагерцовом диапазоне длин волн. В таблице представлены их значения для длины волны 30 мкм, что соответствует частоте 10 ТГц.

Таблица. **Оптические свойства кристаллов группы силленитов на длине волны λ = 30 мкм**

Оптические свойства	**Кристалл**		
	$Bi_{12}SiO_{20}$	**$Bi_{12}TiO_{20}$**	**$Bi_{12}GeO_{20}$**
Показатель преломления, *n*	2,39	2,59	2,41
Поглощение, α, [см$^{-1}$]	2,14	2,81	2,1
Оптическая активность, ρ [град/мм]	16	6	15
Электрооптический коэффициент, r_{41}, [пм/В]	5,0	5,3	1,03
Пьезоэлектрический коэффициент, p_{41} [Кл/Н]	$37{,}8\pm2{,}0\times10^{-12}$	нет данных	нет данных

Механизм создания фотоиндуцированного поля может быть пояснен при помощи следующей модели. При освещении силиката висмута терагерцовым излучением происходит поглощение фотона материалом благодаря наличию мелких ловушечных уровней. При этом происходит возбуждение электронов, которые переходят в зону проводимости. В зоне проводимости фотовозбужденные электроны начинают дрейфовать под действием приложенного поля E_0. Это приводит к пространственному разделению положительных и отрицательных зарядов. Такое «растягивание» зарядов ведет к возникновению электрического поля ΔE, направление которого не совпадает с направлением приложенного поля E_0. Данное направление зависит от выбранного среза кристалла.

В общем случае, при учёте флексоэлектрического эффекта, который определяется как пространственная дисперсия пьезоэлектрических свойств среды, характеризуется тензором четвёртого ранга f_{ijmr}, в разложении для тензора упругих напряжений необходимо принять во внимание и упругую пространственную дисперсию, определяемую тензором γ^E_{ijklr}:

$$T_{ij} = C^E_{ijkl}S_{rl} + \gamma^E_{ijklr}\frac{\partial S_{rl}}{\partial x_r} - e_{m_{ij}}\Delta E_m - f_{ijmr}\frac{\partial \Delta E_m}{\partial x_r}, \quad (1)$$

где ΔE_m – компоненты оптически-индуцированного поля ΔE, C^E_{ijkl} – тензора модуля упругости, $e_{m_{ij}}$ – пьезоэлектрические константы, S_{rl} – тензор механических деформаций, индуцируемых за счёт флексоэлектрического эффекта.

С учётом симметрии тензоров модулей упругости C^E_{ijkl}, пьезоэлектрических констант $e_{m_{ij}}$и тензоров f_{ijmr} и γ^E_{ijklr}, впервые было получено выражение, связывающее упругие деформации в кристалле, диагональные компоненты тензора диэлектрической проницаемости

$\Delta\varepsilon_{ii}$ на частоте терагерцового излучения и пространственные компоненты ΔE_m оптически-индуцированного поля:

$$\Delta\varepsilon_{ii}(x) = -R(x,y)\left(r_{41}^{S} n_0^4 p_i^E \frac{f_{11}}{C_{11}^E}\Delta E_{ii}\right), \quad (2)$$

где $R(x,y)$ – функция, описывающая пространственное распределение мощности падающего пучка терагерцового излучения, r_{41}^{S} – компонента электрооптического тензора зажатого кристалла.

Объемная плотность пространственного заряда описывается выражением (3):

$$\rho(x,y) = \frac{eI_0\tau_{exp}\alpha\beta}{\hbar\omega}, \quad (3)$$

где e – заряд электрона, I_0 – интенсивность излучения, τ_{exp} – время экспозиции, α – показатель поглощения, β – квантовая эффективность переходов, $\hbar\omega$ – энергия кванта падающего света.

В данной работе мы рассматриваем одномерный случай, где поле E0 приложено вдоль оси x, соответственно фотоиндуцированные электроны дрейфуют вдоль это оси. Из уравнений Максвелла можно получить выражение для поля ΔE:

$$\Delta E = -\frac{\rho}{\varepsilon\varepsilon_0} L_D. \quad (4)$$

В исходном состоянии оптическая индикатриса таких кристаллов представляет собой сферу. Оптическая индикатриса – это трехмерная поверхность тензора диэлектрической непроницаемости, полуоси которой равны значениям показателей преломления, измеренных вдоль главных осей кристалла. Уравнение оптической индикатрисы здесь принимает вид, соответствующий выражению 5.

$$\alpha_0(x^2 + y^2 + z^2) + 2r_{ij}\left(E_x yz + E_y xz + E_z xy\right) = 1. \quad (5)$$

Перебором вариантов ориентирования кристалла вдоль кристаллографических осей [001], [111], [100], [110] и т. п. были выявлены две ориентации среза кристалла, подходящие для задачи детектирования терагерцового излучения, то есть дающие максимальную разницу в изменении показателя преломления, а значит и максимальные значения оптически-индуцированного напряжения.

В первом случае уравнение для сечения оптической индикатрисы плоскостью волнового фронта примет следующий вид:

$$\alpha_0(x^2 + y^2) + 2r_{41}E_z xy = 1. \quad (6)$$

В этом случае выражение для показателей преломления примет следующий вид:

$$n_{1,2} = n_0 \pm \frac{r_{41}{n_0}^3}{2} E_z. \quad (7)$$

Рассмотрим вторую ориентацию: свет падает вдоль кристаллографической оси [111]. Уравнение для сечения оптической индикатрисы и выражения для показателей преломления примут следующий вид:

$$\left[\alpha_0 - \frac{r_{41}}{\sqrt{3}}\left(E_z - \sqrt{2}E_y\right)\right]x^2 + \left[\alpha_0 - \frac{r_{41}}{\sqrt{3}}\left(E_z - \sqrt{2}E_y\right)\right]y^2 - 2\sqrt{\frac{2}{3}}r_{41}E_x xy = 1, \quad (8)$$

$$n_{1,2} = n_0 \pm \frac{r_{41}{n_0}^3}{2\sqrt{3}}\Delta E. \quad (9)$$

На рисунке 2 наглядно представлены полученные срезы кристалла (рис. 2).

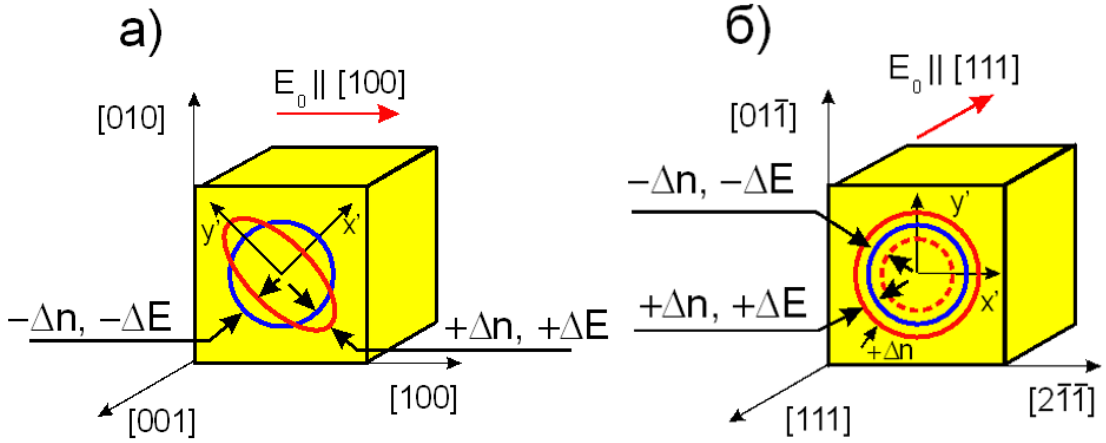


Рис. 2. Оптически-индуцированные изменения показателя преломления Δn и поля ΔE возникают: а) во взаимно-ортогональных направлениях x’ и y’; б) в радиальных направлениях

В первом случае изменения показателя преломления рассчитывается по формуле (10):

$$\Delta n = \frac{r_{41} {n_0}^3}{2} \Delta E. \quad (10)$$

Во втором случае имеем только одно изменение показателя преломления вдоль радиального направления Δn_{rad}:

$$\Delta n_{rad} = \frac{r_{41}\, n_0^3}{2\sqrt{3}} E. \quad (11)$$

В обоих случаях излучение падает по нормали к поверхности кристалла. Излучение, направленное под углом к этим осям, не будет давать вклад в регистрируемый электрический сигнал. В этом и состоят диаграммообразующие свойства разрабатываемой наноантенны.

Абсолютное значение напряжения, которое можно снять с электродов, в значительной мере зависит от их конструкции и площади поверхности кристалла, на которую они нанесены. Проанализировав срезы кристалла, была определена структура оптически индуцированных электрических полей. В соответствии с этим предлагается такая ориентация электродов, которая будет совпадать с ориентацией этих полей. При срезе кристалла «а» вполне электроды необходимо выполнить в виде встречно-штыревого преобразователя (рис. 3, в). При срезе кристалла «б» электрическое поле обладает радиальной симметрией. Соответственно можно использовать систему электродов в виде спирали (рис. 3, г). Стоит отметить, что такая система может быть применена для регистрации пучков с орбитальным угловым моментом.

Характеристики электродов определяются возможностями фотолитографии. Для разрабатываемой наноантенны предъявлялось требование минимизации характерных размеров системы электродов с сохранением высокой точности их нанесения на поверхность кристалла. На сегодняшний день нам доступен 100 нанометровый техпроцесс, который можно успешно реализовать в Санкт-Петербурге. Соответственно, первую систему предлагается выполнить в пропорции 100:100, что означает, что ширина штырей должна составлять 100 нанометров и зазор между ними должен быть также 100 нм. Для второй системы геометрические параметры электродов должны быть аналогичными.

Исследование величины индуцированного напряжения, проведенное с учетом выражений 2 и 4, показало, что для обеих конфигураций оно может принимать значения от 5 до 100 мкВ. Для дальнейшего усиления выходного сигнала электроды предлагается соединять с усилителем напряжения AD620 [5]. Данный усилитель позволяет добиться на выходе значений напряжения приблизительно в U = 2В. Шум в такой системе определяется техническими параметрами системы детектирования. Отношение сигнал/шум для данного усилителя равно 90 дБ.

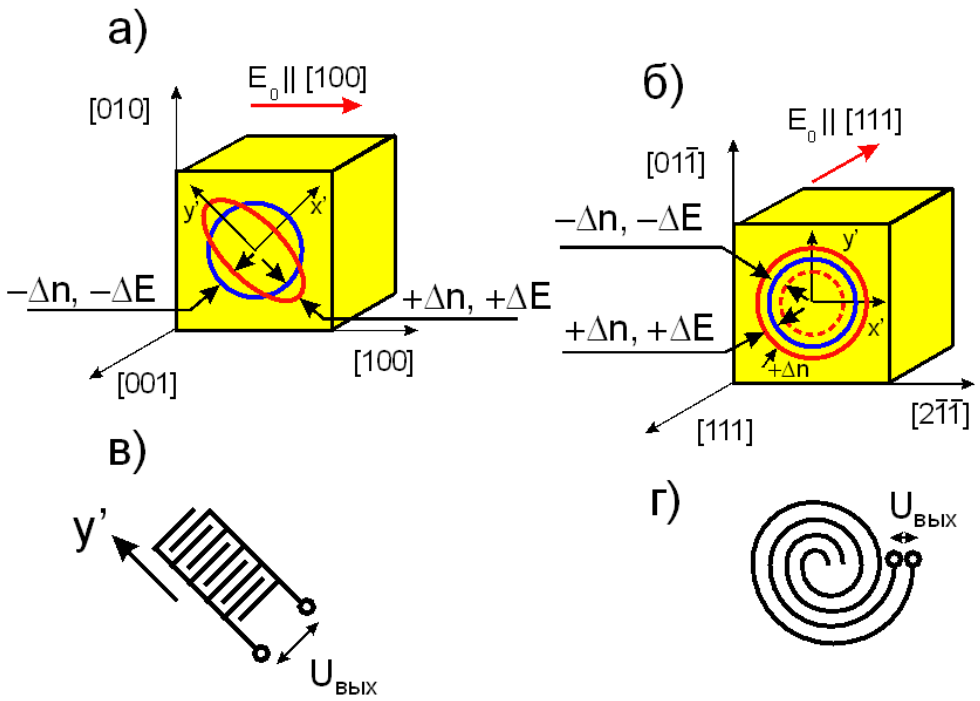


Рис. 3. Конфигурации электродов (в, г) для выбранных срезов кристалла (а, б)

Таким образом, была продемонстрирована возможность использования кристаллов группы силленитов для регистрации излучения терагерцового диапазона длин волн. Фоточувствительность для спектрального диапазона 3-0.03 мм обеспечивается за счёт использования мелких ловушечных уровней. Получены величины показателей преломления и поглощения силиката висмута в терагерцовом диапазоне длин волн. Получено выражение, связывающее упругие деформации в кристалле, изменение тензора диэлектрической проницаемости на частоте терагерцового излучения и пространственные компоненты оптически-индуцированного поля.

Проведено исследование возможных изменений формы оптической индикатрисы для разных срезов $Bi_{12}SiO_{20}$ и выявлено два среза кристалла, в которых наиболее эффективно можно использовать цепочку электрооптический эффект – пьезоэлектрический эффект – оптически-индуцированное электрическое поле ΔE для преобразования терагерцового излучения в напряжение, снимаемое с электродов. Для выбранных срезов получены выражения для расчёта изменения показателя преломления. Предложены типы электродов для выбранных срезов кристалла: встречно-штыревой преобразователь и спираль.

Создаваемые по данной технологии фотоприёмники обладают ярко выраженными диаграмообразующими свойствами по отношению чувствительности к падающему излучению и могут стать высокоэффективной альтернативой существующим приёмникам электромагнитного излучения.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Xu Z., Song W., Crozier K.B. Optical trapping of nanoparticles using all-silicon nanoantennas // ACS Photonics. 2018. Т. 5. №. 12. С. 4993-5001.
2. Xu L. et al. Forward and backward switching of nonlinear unidirectional emission from GaAs nanoantennas // ACS nano. 2019. Т. 14. №. 2. С. 1379-1389.
3. Петров М.П., Шлягин М.Г., Шалаевский Н.О., Петров В.М., Хоменко А.В Новый механизм записи изображений в фоторефрактивных кристаллах // Журнал технической физики. 1995. Т. 55. №. 11. С. 2247-2250.
4. Efremidis A. T. et al. Dispersion of electro-optic coefficients in sillenite crystals //Applied Physics B. 2009. Т. 95. С. 467-473.
5. Ryder K.L. et al. Analog Devices AD620 Instrumentation Amplifier Laser Single-Event Effects Characterization Test Report. 2022. DOI:10.37034/jsisfotek.v4i3.145.

Выпускник
Мартынова Алена Андреевна
факультет систем управления и робототехники
Направление подготовки: 15.03.06 – Мехатроника и робототехника
e-mail: alena.martynova.2001@mail.ru

Научный руководитель
Абрамчук Михаил Владимирович
к.т.н., доцент
e-mail: abramchukmv@itmo.ru

УДК 629.365

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТРАНСПОРТНОГО ПАУКООБРАЗНОГО РОБОТА

Человечество всегда стремилось к усовершенствованию транспортных средств. Это стремление выражалось в улучшении таких характеристик, как скорость и проходимость, а в последнее время к этим характеристикам добавилась автоматизация управления и создание транспортных средств на новых принципах передвижения. Большинство наземных транспортных средств – это колёсный транспорт, предназначенный для передвижения по достаточно ровной поверхности. Транспортных средств, которые могли бы передвигаться в труднопроходимых местах со сложным рельефом (например, территории завалов после чрезвычайных ситуаций или горной местности) достаточно мало. В животном мире хорошие показатели по перемещению в данных условиях показали пауки. Роботов на основе принципа передвижения пауков разрабатывают в разных частях мира. К таким разработкам относятся: робот Mantis [1], робот Stompy [2] и Hyundai Elevate [3].

После проведения анализа характеристик рассмотренных аналогов, было принято решение при проектировании паукообразного транспортного робота взять за основу концепцию «ног» первых двух аналогов, роботов Mantis и Stompy, которые обладают шестью ногами с гидроприводом, добавив к ним мотор-колёса, как у последнего из рассмотренных аналогов, Hyundai Elevate. Использование моторов-колёс позволило избавиться от главного недостатка роботов Mantis и Stompy – от низкой скорости передвижения, при этом использование гидравлических приводов для движения самих ног может помочь уменьшить стоимость разрабатываемого робота. В качестве источника энергии было принято решение использовать аккумуляторную батарею.

После выбора концепции робота был составлен список характеристик, которым должен соответствовать робот:

- высота преодолеваемых препятствий не менее 1 м;
- скорость не менее 10 км/ч;
- грузоподъемность не менее 300 кг;
- габариты кабины не менее 1,5 х 1,5 х 2 м.

Далее, для разрабатываемого робота были рассчитаны и подобраны некоторые компоненты, характеристики которых, используемые при дальнейших расчетах, приведены в таблице.

В качестве источника питания была выбрана батарея от кроссовера GAC Aion LX Plus со следующими характеристиками [4]:

- ёмкость: 144,4 кВт*ч;
- удельная ёмкость: 205 ватт-часов на килограмм.

Вес выбранной батареи был рассчитан на основе известных данных и составил 704,39 кг. Для удобства дальнейшей работы данная величина была округлена до 705 кг.

Таблица. **Характеристики выбранных компонентов**

Наименование	Кол-во, шт	Общая требуемая мощность, кВт	Общий вес, кг
Шестеренный гидронасос	1	–	6,60
Мотор-колесо для гидронасоса	1	12	33
Гидрораспределитель	6	–	83,34
Гидроцилиндр	24	–	88,8
Гидробак	1	–	13,4
Маслоохладитель	1	0,1	10
Гидравлическое масло	–	–	141
Мотор-колёса ProteanDrive Pd16	6	156	168
Диски	6	–	46,2
Шины	6	–	67,2
Подвеска	6	–	48
Общая масса компонентов, кг			705,54
Требуемая мощность, кВт			168,1

Далее, был произведён расчет автономности полученной системы. Количество времени, в течение которого робот сможет работать на одном заряде батареи, рассчитывалось по формуле (1):

$$t = \frac{N_и}{N_{нагр}}, \quad (1)$$

где $N_И$– мощность источника питания, кВт*ч; $N_{НАГР}$ – мощность подобранных компонентов, кВт; t – время автономной работы робота, ч.

Для разрабатываемого робота время автономной работы составило:

$$t = \frac{144{,}4\ кВт \cdot ч}{168{,}1\ кВт} = 0{,}86\ ч = 51{,}5\ мин.$$

Полученное время автономной работы получилось небольшим. Однако в настоящее время идёт активное развитие в области создания более мощных и более легких батарей для электромобилей. Так, производители кроссовера GAC Aion LX Plus заявляют, что планируют увеличить удельную ёмкость своей батареи до 280 ватт-часов на килограмм, что также позволит увеличить её ёмкость при неизменном весе [4].

Далее для разрабатываемого робота в качестве материала, из которого будут сделаны все элементы конструкции, был выбран алюминия 7075-Т6, так как по прочности этот сплав не уступает среднепрочным сталям, предел прочности которых более 520 МПа, но при этом он в три раза легче.

После выбора материала были построены 3D-модели составляющих корпуса и проведены статические исследования ноги робота и сборки корпуса в программе SolidWorks. При выполнении работы статические исследования проводились для определенных моментов походки робота, при которых на исследуемые конструкции ложится максимальная нагрузка.

Разрабатываемый робот может иметь несколько способов передвижения с помощью ног с гидроприводом, и при проведении исследований рассматривалась походка, основанная на походке одного из аналогов, робота Mantis. При используемом виде перемещения, в каждый момент времени робот будет опираться на четыре ноги из шести.

Статическое исследование ноги робота было проведено для момента времени, когда робот опирается на рассматриваемую ногу, и две из шести ног находятся в поднятом состоянии. Таким образом, кроме силы тяжести на ногу в месте её крепления к корпусу робота была приложена сила, равная 9800 Н и соответствующая максимально возможной нагрузке на одну ногу при выбранных компонентах робота. Один из результатов исследования можно увидеть на рисунке 1.

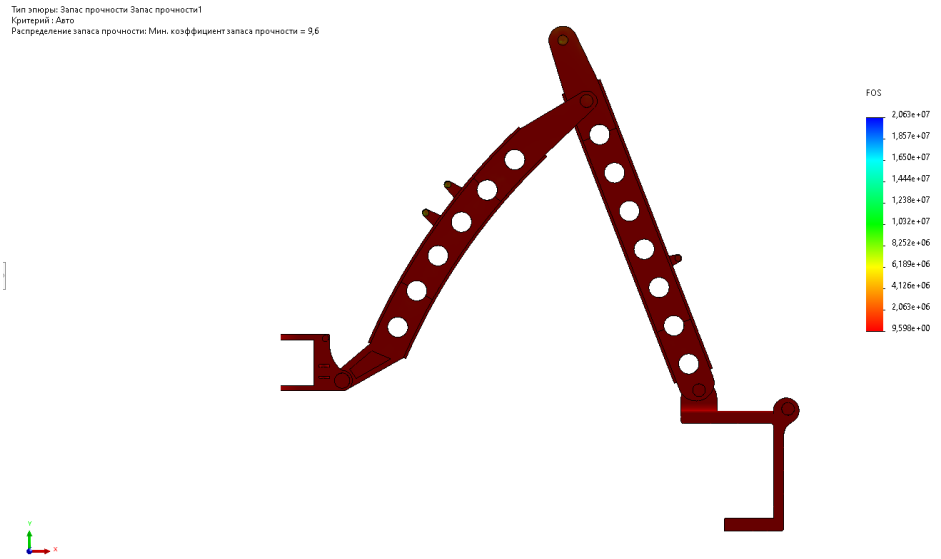


Рис. 1. Результаты статического исследования ноги робота

Статическое исследование показало, что спроектированная нога робота имеет коэффициент запаса прочности 9,6, а величина максимального перемещения элементов ноги составила 0,06 мм. С точки зрения технологичности, данная часть разрабатываемого робота имеет большой коэффициент запаса прочности. Однако, так как нога не являлась конечным результатом проектирования, было принято решение не изменять конструкцию ноги и приступить к проектированию корпуса робота.

Далее было проведено статическое исследование сборки корпуса для момента походки, когда робот опирается на четыре ноги из шести. Также, при моделировании кроме силы тяжести на получившуюся конструкцию воздействовала распределенная масса 1500 кг, приложенная ко дну кузова. Один из результатов исследования можно увидеть на рисунке 2.

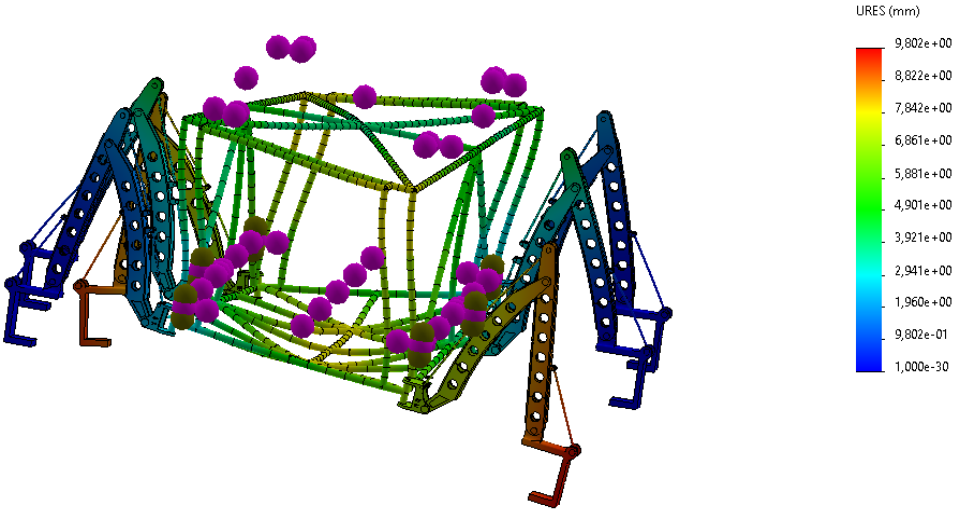


Рис. 2. Результаты статического исследования сборки корпуса

Согласно результатам статического исследования, коэффициент запаса прочности созданной конструкции равен 5,5, что является хорошим показателем. Максимальное перемещение элементов конструкции составило 9,8 мм, что является большим, но приемлемым для разработанной конструкции значением.

Далее в работе была разработана кинематическая схема для ноги робота: были выведены уравнения взаимосвязей обобщённых координат и перемещений штоков гидроцилиндров, были решены прямая и обратная задачи кинематики.

В завершении работы были подробно описаны способы передвижения робота с помощью ног с гидроприводом и с помощью мотор-колёс.

В ходе работы была разработана конструкция робота, построены 3D-модели составляющих корпуса и проведено статическое исследование полученной конструкции в программе SolidWorks, был осуществлён расчёт и подбор компонентов, проведён энергетический расчёт полученной системы, разработана кинематическая схема ноги робота и описаны способы его передвижения.

Некоторые характеристики разработанного робота приведены ниже:

- максимальная скорость равна 70 км/ч;
- грузоподъемность 300 кг;
- габариты кабины 1,72 х 2,03 х 4,015 м;
- высота преодолеваемых препятствий 113,12 см.

При разработке робота, использовались такие современные, развивающиеся технологии, как мотор-колёса и батареи для электроавтомобилей с большой ёмкостью, некоторые характеристики которых ещё не объявляются полностью. Дальнейшее развитие данных инновационных технологий позволит улучшить технические характеристики робота, а именно увеличить скорость передвижения робота с помощью мотор-колёс, увеличить грузоподъёмность и время автономной работы. Также, использование таких элементов, как гидрораспределитель, рассчитанный на большую подачу, изготовленных на заказ, сможет увеличить скорость передвижения робота при ходьбе.

Для создания конечного устройства необходимо спроектировать систему управления, в которую входят электронные компоненты, а также программное обеспечение.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Two-Ton Diesel-Engined Mantis “Spider” Can Go Where No Wheeled Vehicle Can. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.carscoops.com/2013/04/two-ton-diesel-engined-mantis-spider/ (дата обращения: 08.02.2023).
2. Wood Ch. Stompy: 18 foot wide, 6-legged, rideable robot in the works. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://newatlas.com/stompy-giant-robot-project-hexapod/23590/ (дата обращения: 09.02.2023).
3. Ежов А. К апокалипсису готов: Hyundai представила идеальный внедорожник. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://clck.ru/34XzU8 (дата обращения: 10.02.2023).
4. Носаченко А. Электрокроссовер GAC получил продвинутую батарею и запас хода 1000 километров. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://motor.ru/news/gac1000-22-11-2021.htm (дата обращения: 27.03.2023).

Выпускник
Мороз Николай Римович
факультет информационных технологий и программирования
Направление подготовки: 01.03.02 – Прикладная математика и информатика
e-mail: rest.ru.rest@yandex.ru

Научный руководитель
Семёнов Александр Анатольевич
к.т.н., с.н.с.
e-mail: biclop.rambler@yandex.ru

УДК 519.7

ПРИМЕНЕНИЕ АЛГОРИТМОВ МЕТАЭВРИСТИЧЕСКОЙ ОПТИМИЗАЦИИ ДЛЯ ПОИСКА ВЕРОЯТНОСТНЫХ ЛАЗЕЕК В ЗАДАЧАХ ОБРАЩЕНИЯ КРИПТОГРАФИЧЕСКИХ ФУНКЦИЙ

Настоящая работа посвящена исследованию возможностей современных прикладных алгоритмов решения проблемы булевой выполнимости, известных как SAT решатели. SAT решатели применяются в большом числе различных практических областей, среди которых верификация и тестирование программ и дискретных управляющих систем, теория расписаний, проблемы размещения, комбинаторика, криптоанализ. Проблема булевой выполнимости (SAT) для решения которой используются SAT решатели, является NP-трудной и, соответственно, не может быть решена в общем случае за полиномиальное время в предположении, что $P \neq NP$. Однако умение эффективно решать некоторые подклассы SAT или даже конкретные частные случаи этой задачи настолько важно, что разработка эффективных на практике SAT решателей за последние годы стала одним из интенсивно развивающихся разделов теории и практики комбинаторных алгоритмов.

Одним из способов снижения трудности конкретного частного случая SAT является подход на основе т. н. «лазеек». Лазейка (англ. Backdoor) – это такая структура, знание которой существенно снижает сложность рассматриваемой SAT задачи. Обычно лазейка – это некоторое подмножество в множестве переменных рассматриваемой формулы, перебирая все варианты значений которых, можно решить SAT существенно быстрее, чем другими стратегиями (часто даже быстрее, чем это делают лучшие известные SAT решатели). Лазейки интересны тем, что знание любой сильной лазейки дает некоторую верхнюю оценку трудности рассматриваемой формулы, что бывает очень полезным при работе с экстремально трудными комбинаторными задачами, сведенными к SAT. Сильные лазейки, однако, очень трудно искать и, кроме этого, по-настоящему трудные задачи чаще всего не содержат сильных лазеек малого размера. С практических позиций более интересны введенные недавно вероятностные лазейки. Такие лазейки малого размера могут существовать даже для формул, кодирующих экстремально трудные задачи из верификации булевых схем и криптоанализа. Привлекательной стороной вероятностных лазеек является возможность их поиска при помощи весьма эффективных на практике метаэвристических алгоритмов псевдобулевой оптимизации. Негативное свойство вероятностных лазеек состоит в том, что легко построить примеры таких лазеек, которые не будут существенным образом сокращать время решения исходной задачи. Такие лазейки будем называть тривиальными. К сожалению, метаэвристические алгоритмы поиска вероятностных лазеек очень часто строят тривиальные лазейки. Таким образом, актуальной является задача разработки подхода, который позволит исключить построение тривиальных лазеек. Также требуется продемонстрировать работоспособность такого подхода на экстремально трудных примерах задачи SAT из практических областей.

Настоящая работа посвящена решению сформулированной проблемы. Основным результатом является версия эволюционного (1+1) алгоритма, используемая для поиска

вероятностных лазеек, которая обеспечивает нахождение нетривиальных лазеек за счет специально разработанных структур данных, названных «Табу-картами». Также в работе демонстрируется работоспособность предложенных алгоритмов на задачах обращения, Соответствующие задачи являются экстремально трудными и одним из основных практических результатов работы является нахождение предложенными алгоритмами вероятностных лазеек, сокращающих время решения исходных задач в отдельных случаях в несколько раз. Работа организована следующим образом. Первая глава является обзорной и содержит необходимые базовые понятия и результаты. Во второй главе вводится понятие тривиальной лазейки и описывается один вполне конкретный класс таких лазеек, возникающих в формулах, которые строятся по схемам из функциональных элементов. В этой же главе введена новая структура, названная Табу-картой, и описан вариант эволюционного алгоритма, работающего по схеме (1+1), который при поиске лазейки сверяется с «Табу-картой» и пропускает мутации, запрещаемые такой картой. В третьей главе приведены результаты вычислительных экспериментов по построению лазеек при помощи алгоритмов, использующих табу карты. За счет использования таких алгоритмов построены атаки на некоторые криптографические функции, а также получены оценки трудности для экстремально трудных задач проверки эквивалентности логических схем. Полученные оценки эффективности в отдельных случаях лучше аналогичных оценок для стратегий, не использующих нетривиальные лазейки.

В далее приведенных экспериментах в качестве полиномиального алгоритма P было взято правило Unit Propagation в качестве вспомогательного решателя при нахождении ρ-лазеек для определения доли ρ таких $\beta \in B : C[\beta / B] \in S(P)$, где B - рассматриваемая на текущей итерации эволюционного вероятностная лазейка. Для поиска вероятностных лазеек использовался программный фреймворк EvoGuess[1] использующий PySAT для решения SAT-задач при поиске вероятностных лазеек. Была выполнена модификация EvoGuess, в частности эволюционного алгоритма, для поддержки "Табу-карты" и запрета появления тривиальной лазейки в процессе поиска. Для поиска вероятностных лазеек при помощи EvoGuess были использованы ресурсы кластера лаборатории "Компьютерные Технологии" Университета ИТМО. Вычисления происходили на сервере кластера с процессором AMD Opteron 6380 @ 2.5 GHz, 496 GB RAM. Решение SAT-задач происходило на процессоре Apple M1 Pro @ 3.2 GHz, 16 GB RAM. В качестве SAT-решателя при решении SAT-задач использовался Kissat SAT Solver 3.0.0. Результат во всех таблицах представлен в секундах.

Было выполнено сравнение решения задачи с использованием вероятностной лазейки, найденной при помощи ограничений с "Табу-картой", с использованием вероятностной лазейки без "Табу-карты" и без использования вероятностных лазеек. В качестве одной из задач, на которых производилось сравнение, была использована задача верификации двух булевых схем S_g, S_h в формате И-НЕ графа. Схемы были сведены к одной схеме $C_{g \cong h}$ при помощи функционального блока майтер (miter), где $C_{g \cong h}$ имеет решение тогда и только тогда, когда существует набор входных переменных, на которых схемы дадут различный набор выходных переменных.

Из приведенной в таблице 1 информации можно сделать вывод, что наилучшее время решения задачи у ρ-лазейки без применения "Табу-карты" в среднем сопоставимо со временем решением задачи без лазеек. В то же время время решения задачи с применением "Табу-карты" ощутимо меньше остальных, что индицирует повышение эффективности решения задач такого типа.

Таблица 1. **Сравнение техник на верификации схем алгоритмов сортировок, секунды**

Задача	**|B|**	**Без лазеек**	$\boldsymbol{\rho}$ **− лазейка**	$\boldsymbol{\rho}$ **− лазейка(табу)**
Bubble vs Pancake	6	110	130	90
Bubble vs Pancake	7	110	110	75

В этой части приведены результаты сравнения схем, реализующих алгоритмы умножения двух 12-битных неотрицательных целых чисел. Как и в прошлой главе, в качестве результата эксперимента было использовано среднее время решения задачи при помощи четырех лазеек, каждая из которых находится при помощи независимых запусков EvoGuess. В качестве верифицируемых схем в таблице 2 были использованы реализации алгоритмов Wallace, Column, Karatsuba, Dadda.

Таблица 2. **Сравнение техник на верификации схем алгоритмов умножения (12x12, секунды)**

Задача	**Без лазеек**	$\rho -$ лазейка(табу)
Karatsuba vs Wallace	3540	2100
Dadda vs Wallace	7320	2760
Column vs Dadda	1620	1500
Column vs Karatsuba	8520	5040

Верификация схем умножения 12-битных чисел на сегодняшний день является вполне стандартной задачей для SAT-решателя – даже без вероятностных лазеек рассмотренные задачи решаются за несколько часов. Гораздо более сложной задачей является верификация схем умножения 16-битных чисел – такие задачи не решаются даже за месяц, а для большинства подобных задач не существует результатов по времени их решения. Для тестирования действительно сложных задач техники "Табу-карт" в эксперименте в таблице 3 используется интервальная оценка, заключающаяся в разбиении множества входных переменных на равные интервалы, и оценка при помощи разбиения входных данных на пары и связи между собой при помощи функции XOR, что более подробно описано в статье Estimating the hardness of SAT encodings for Logical Equivalence Checking of Boolean circuits [2]. Стоит отметить, что это, конечно же, не полное время, необходимое для решения задачи, а лишь среднее время по 10 подзадачам, приведенное для возможности сравнения возможностей "Табу-карты" для сложных задач.

Таблица 3. **Сравнение техник на задачах верификации схем алгоритмов умножения, интервальная оценка (16x16, секунды)**

Karatsuba vs Wallace	$1\ \rho -$ лазейка	$2\ \rho -$ лазейки	$3\ \rho -$ лазейки
Оценка с Табу-картой	409	369	385
Оценка без лазеек	450	450	450

В первой главе работы уже описывалась практическая польза алгоритма шифрования A5/1. В качестве еще одной задачи для сравнения существующих техник с "Табу-картой" возьмем задачу поиска прообраза для алгоритма шифрования A5/1. Один тест будет заключаться в подборе случайного $\alpha \in \{0,1\}^{64}$, нахождения $\gamma = f(\alpha), f : \{0,1\}^{64} \rightarrow \{0,1\}^{128}$ и поиска выполняющего набора формулы $C_{im} = C_f \wedge C_\gamma$, то есть нахождение прообраза γ. Данная задача также имеет высокую сложность для SAT-решателя, поэтому используется оценка трудности SAT-задачи относительно разбиений на пары. В таблице 4 приведены результаты 10 таких тестов.

Задача разложения больших чисел на двах простых числа – еще один пример сложной для SAT-решателей и актуальной задачи. На основе факторизации построен криптографический алгоритм RSA, на нахождение разложений больших чисел был запущен конкурс RSA Factoring Challenge, но, несмотря на наличие денежных призов за решение, для некоторых чисел разложение не предоставлено до сих пор. В качестве тестовой задачи рассматривается задача разложения 256-битного числа на два простых 128-битных числа при помощи алгоритма умножения Wallace. Это все еще крайне сложная задача для SAT-решателя, поэтому в эксперименте использовалась оценка при помощи разбиения входных данных на пары и связи между собой при помощи функции XOR. В тестах каждая из задач разбивалась на 10 подзадач для оценки, результаты приведены в таблице 5.

Таблица 4. **Сравнение техник на задачах нахождения прообраза алгоритма A5/1, оценка при помощи разбиения входных данных (секунды)**

Номер теста	ρ – лазейка(без "Табу-карты")	ρ – лазейка(с "Табу-карты")
1	2375	1919
2	2362	1876
3	2003	1342
4	2126	1710
5	2215	1850
6	2101	1703
7	2354	1888
8	2249	1901
9	2197	1806
10	2313	1895

Таблица 5. **Сравнение техник на задачах факторизации больших чисел, оценка при помощи разбиения входных данных (16x16, секунды)**

Номер теста	Без лазеек	С применением «Табу-карты»
1	204	98
2	257	113
3	209	97
4	227	106
5	198	93

В работе были рассмотрены подходы к решению SAT-задач через декомпозицию одной задачи на несколько других задач при помощи лазеек. Были рассмотрены преимущества и недостатки различных техник, использующих лазейки. Была приведена и изучена актуальная проблема тривиальных лазеек при использовании вероятностных лазеек, проанализированы причины данной проблемы. Была разработана структура для сбора информации о связи между переменными КНФ "Табу-карта", был разработан и приведен алгоритм для получения информации из булевых схем и последующего преобразования в "Табу-карту". Была выполнена модификация эволюционного алгоритма для поиска вероятностных лазеек, позволяющая использовать "Табу-карту". Также были проведены эксперименты для выяснения эффективности техники применения "Табу-карты" по сравнению с существующими аналогами. Удалось выявить преимущества применения техники "Табу-карты" на различных актуальных задачах, в частности задачах верификации и факторизации. В дальнейшем планируется усовершенствовать технику применения «Табу-карт».

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Pavlenko A. et al. Parallel Framework for Evolutionary Black-box optimization with Application to Algebraic Cryptanalysis // 2019 42nd International Convention on Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics (MIPRO). 2019. С. 1144–1149. DOI: 10.23919/MIPRO.2019.8757214.
2. Semenov A. et al. Estimating the hardness of SAT encodings for Logical Equivalence Checking of Boolean circuits // ArXiv. 2022. Т. abs/2210.01484.

Выпускник
Морозова Екатерина Михайловна
факультет безопасности информационных технологий
Направление подготовки: 11.03.03 – Конструирование и технология электронных средств
e-mail: agent.pi007@gmail.com

Научный руководитель
Донецкая Юлия Валерьевна
к.т.н., доцент
e-mail: donetskaya_julia@mail.ru

УДК 004.021

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ОБРАБОТКИ ДАННЫХ С ТРАНСПОРТНОГО СРЕДТСВА ДЛЯ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ СТОЛКНОВЕНИЙ

Системы контроля и мониторинга транспортных средств решают следующие задачи: определение местоположения, скорости, направления и т. д., сбор статистики движения транспорта и улучшение маршрутизации, а также обеспечение безопасности. В данной работе рассматривается алгоритм обработки данных с ТС для предотвращения столкновений. Основной особенностью разрабатываемого алгоритма является то, что он реализуется по технологии «SaaS» [1]. Во время анализа было найдено 5 существующих решений. Среди них: iOnRoad, Wavyn, Mobileye (как устройство, так и программное решение), eye-net protect. В результате их анализа было выявлено, что основными используемыми метриками являются распознавание дорожной разметки, распознавание дорожных знаков, распознавание ТС, распознавание расстояния до ближайшего впереди автомобиля и определение скорости с помощью GPS. Самым главным недостатком данных решений является отсутствие распознавания в слепых зонах видеокамеры.

Целью данной работы является обеспечение распознавания в слепых зонах алгоритма обработки данных с транспортного средства для предотвращения столкновений. Общий алгоритм работы выстраивается следующим образом: происходит включение записи данных с видеокамеры, так как алгоритм позволяет работать приложению в качестве видеорегистратора. После этого начинается основная работа алгоритма, то есть проверка на создание аварийной ситуации и оповещение водителя в случае положительного результата. На рисунке представлена полная блок-схема разработанного алгоритма.

Для реализации метрик распознавания использовались следующие методы: для реализации распознавания транспортного средства был разработан алгоритм на основании метода Виолы-Джонса. В качестве признаков используются прямоугольные признаки Хаара, в которых присутствует светлая и темная части. Признаки Хаара дают точечное значение перепада яркости по осям. Высокая скорость обработки изображений достигается за счет использования интегрального представления: хранящееся изображение представлено в виде матрицы, где каждый элемент вычисляется как сумма всех элементов выше и левее [2].

Реализация распознавания дорожной разметки заключается в создании бинарного изображения на основании дорожной разметки, кластеризации дороги на дорожные полосы и их объединении [3]. Реализация распознавания дорожных знаков заключается в нахождении контуров на изображении и последующей их классификации [4].

Алгоритм для определения расстояния до ближайшего впереди ТС заключается в определении расстояния до автомобиля с помощью государственного регистрационного знака. Так как размер ГРЗ у всех типов одинаковый, то по коэффициенту сужения пластины можно вычислить расстояние до ТС [5].

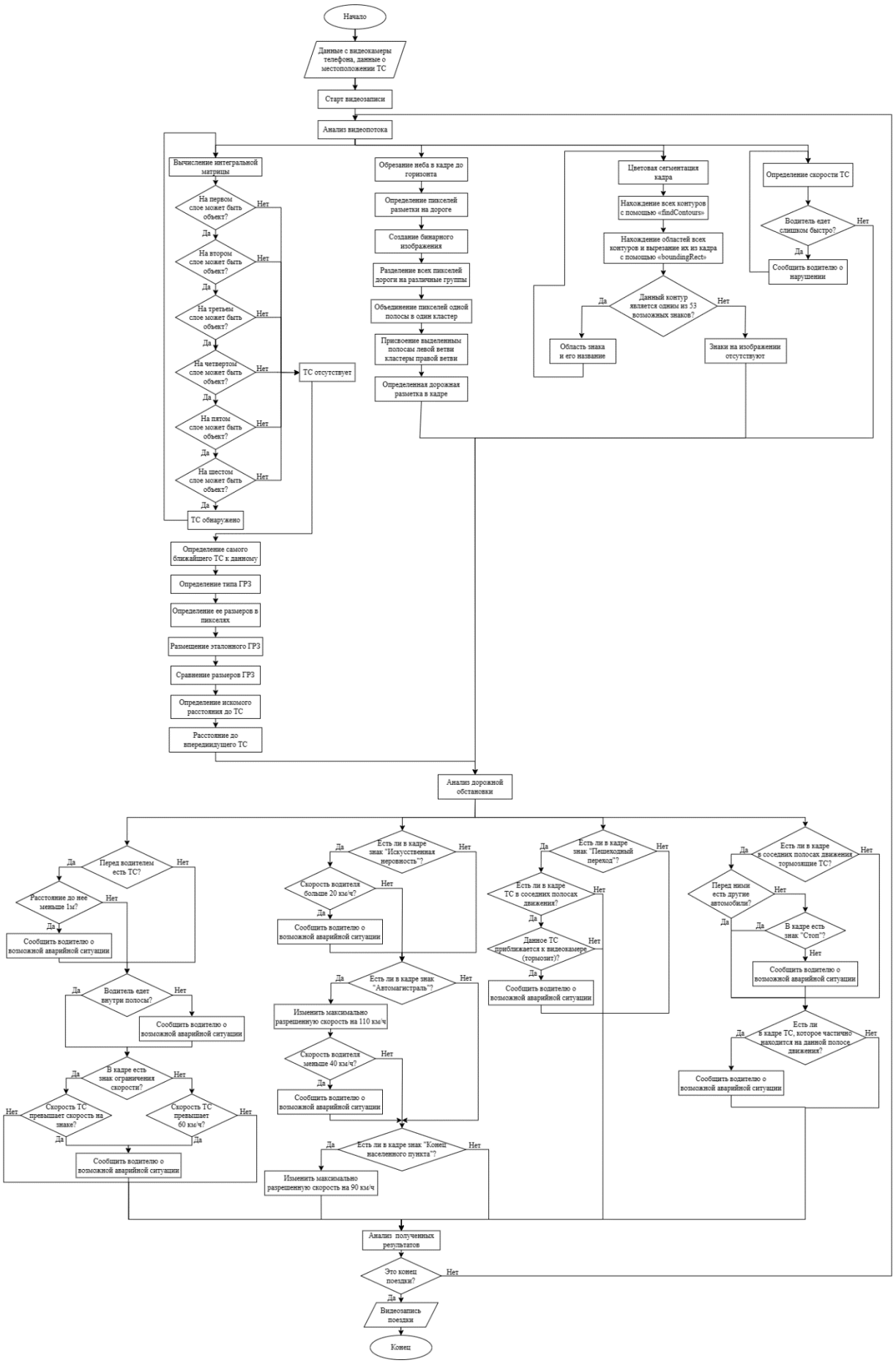


Рисунок. Блок-схема алгоритма обработки данных с транспортного средства для предотвращения столкновений

После определения всех необходимых объектов в кадре происходит анализ дорожной обстановки. В первом блоке рассматриваются ситуации, связанные с расстоянием до ближайшего впереди ТС, нахождения водителя внутри дорожной полосы и соблюдения им скоростного режима. Во втором блоке происходит анализ различных дорожных знаков на предмет того, как может образоваться аварийная ситуация из-за него. У различных знаков свои требования к правилам дорожного движения. В данном алгоритме были рассмотрены знаки «Искусственная неровность», «Автомагистраль» и «Конец населенного пункта».

Далее, рассмотрим распознавание аварийных ситуаций в слепых зонах. В данном случае необходимо предупреждать водителя в случаях повышенной опасности. Например, если водитель приближается к пешеходному переходу и замечает, что в соседней полосе движения ТС остановилось перед ним, то скорее всего в слепой зоне есть пешеход. Данный алгоритм представлен в третьем блоке.

Второй ситуацией, в которой водителю необходимо проявить осторожность, является резкое перестроение автомобиля из соседней полосы перед данным ТС без предупреждения. Для алгоритма можно описать так: если машина в соседнем ряду начинает тормозить без причины, то скорее всего она собирается перестраиваться, то есть сообщить водителю о возможной аварийной ситуации. Алгоритм обработки данного аварийного случая представлен в последнем блоке анализа дорожной обстановки.

В результате разработки получился алгоритм, в котором происходит анализ видеокадров с целью выявления аварийных ситуаций на протяжении всей поездки водителя. В самом алгоритме рассмотрены наиболее вероятные аварийные ситуации, такие как несоблюдение скоростного режима, несоблюдение дистанции с впереди идущим автомобилем, несоблюдение границ дорожной полосы, а также аварийные ситуации, связанные с пешеходами в слепой зоне и с автомобилями, не соблюдающими правила перестроения.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Что такое SaaS? Программное обеспечение как услуга. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://azure.microsoft.com/ru-ru/resources/cloud-computing-dictionary/what-is-saas/ (дата обращения: 28.03.2023).
2. Полищуков Р.М. Распознавание транспортных средств в потоковом видео с машинным обучением // Актуальные исследования. 2020. №. 8(11). С. 20-24.
3. Закревский Н.П., Хмелева А.В. Распознавание дорожной разметки с использованием алгоритмов компьютерного зрения // Инновационные идеи молодых исследователей : сборник научных статей по материалам II Международной научно-практической конференции. 2020. С. 243-244.
4. Смольянинов В.А., Белов Ю.С. Проектирование программного комплекса обнаружения и распознавания дорожных знаков в потоковом виде // Научное обозрение. 2021. №. 4. С. 16-21.
5. Локтев Д.А., Алфимцев А.Н. Измерение расстояния до движущегося объекта с помощью комплексной системы видеомониторинга. Инженерный журнал: наука и инновации. 2013. Вып. 11. С. 20-29.

Выпускник
Нестеренко Евгений Александрович
факультет программной инженерии и компьютерной техники
Направление подготовки: 09.03.04 – Компьютерные технологии в дизайне
e-mail: nesterenko.zexa@mail.ru

Научный руководитель
Безбах Юлия Игоревна
ассистент
e-mail: bezbakh@itmo.ru

УДК 004.92

РАЗРАБОТКА ФИРМЕННОГО СТИЛЯ ЮРИДИЧЕСКОЙ КОМПАНИИ ООО ПРАВОВОЕ БИЗНЕС-БЮРО «ГРАФ МАЕВСКИЙ»

В рамках выпускной квалификационной работы разработан фирменный стиль юридической компании ООО Правовое Бизнес-Бюро «Граф Маевский» с последующим созданием руководства по его использованию. Из-за перенасыщения рынка схожими товарами и услугами для каждого предпринимателя очень важно найти свой способ подчеркнуть свою индивидуальность и быть конкурентоспособным, поддерживать и удерживать интерес к своему делу. Логотип является основой фирменного стиля и применяется на всех коммуникационных материалах, включая упаковку продуктов, веб-сайты, рекламные материалы, социальные медиа и даже внутренние документы компании, он помогает усилить узнаваемость и привлекательность бренда. Консистентность визуальных элементов и стилей облегчает процесс ассоциации с брендом и укрепляет связь между компанией и ее клиентами. К тому же фирменный стиль является одним из инструментов формирования бренда, и одновременно элементом брендинга, а точнее его визуальной составляющей, призванной повысить его узнаваемость и создать впечатление целостности.

Объектом для разработки фирменного стиля в рамках выпускной квалификационной работы являлась юридическая компания ООО Правовое Бизнес-Бюро «Граф Маевский». Для грамотной разработки фирменного стиля было необходимо пройти все этапы от обзора аналогов до создания руководства по использованию фирменного стиля.

Была проведена работа по подбору референсов и аналогов логотипов в сфере юридических услуг. По результатам поиска было отобрано около пятнадцати концепций, из которых для обзора было выбрано три ключевых логотипа следующих компаний. Далее был проведен сравнительный анализ аналогов по критериям Пола Ренда, так как тобы логотип работал на бизнес долгие годы и получился ярким, запоминающимся, он должен соответствовать нескольким ключевым принципам [1].

Ориентируясь на лучшие аналоги и несколько брифингов проведенных с заказчиком во время выполнения работы была составлена общая концепция фирменного стиля. Основным достоинством компании клиент считает качество, деловая этика, конфиденциальность. Сам фирменный стиль должен вызывать ощущение авторитета, надежности, доверия, защищенности. Также, он должен вызывать настроение спокойствия, надежности и уверенности. Фирменный стиль потребитель чаще будет видеть на визитках, папках, конвертах, ручках. Желательно, чтобы логотип был в сдержанных, эстетичных цветах, которые будут вызывать доверие к компании. Возможно, преимущественно темные оттенки (черный, коричневый). Сам логотип, по мнению клиента, должен смотреться лаконично и в то же время вызывать доверие и ощущение надежности. Выглядеть просто и дорого.

И на практическом этапе создания эскизов будущего логотипа получены следующие результаты. Отрисовано порядка 15-20 эскизов логотипов, удовлетворяющих требованиям заказчика. Из них выбрано несколько вариантов, больше всего подходящих под стиль

компании. В основном, варианты лого базируются на первых буквах названия компании «Граф Маевский».

Было решено отрисовать несколько вариантов концепций первого варианта графической части логотипа, немного усовершенствовав эскиз, так как он смотрелся слишком незамысловато и просто. Это монограмма кириллических букв «Г» и «М», которая стилизована под капитель. Были использованы моноширинные линии для построения логотипа, чтобы он выглядел более надежно. Также, каждый вариант можно вписать в квадрат, благодаря чему визуальный символ теперь действительно выглядит легко и пропорционально и будет хорошо смотреться на любых макетах. Подобрано несколько вариантов основных шрифтов и дескрипторов, но большинство из них не были подходящими либо из-за толщины шрифта, либо же из-за стилистического несоответствия части монограммы с буквой «М» и самим шрифтом. В итоге, в качестве основного шрифта в варианте один выбран шрифт a_Alterna начертания Regular. Его ширины была самой оптимальной, для соотношения с толщиной линий графической части логотипа. Также, чтобы начертание буквы «М» соответствовало образу визуального символа, было решено разработать букву «М» в соответствии со шрифтом, что и было сделано. В качестве Шрифта для дескриптора выбран шрифт Inter, начертание также Regular. В данном варианте был исправлен кернинг некоторых пар букв. Также, на слайде представлены охранные поля и пропорционирование товарного знака. Предусмотрены два варианта размещения текстовой части: горизонтальный и вертикальный, представленные на рисунке ниже.

Рис. 1. Вариант логотипа

Вариант два, представленный на рисунке 2, построен на модульной сетке X на X. Вариант представляет собой монограмму латинских букв «M» и «G», построенная из моноширинных линий. Логотип можно вписать в прямоугольник, что положительно влияет на возможность внедрения его на практически любой мокап. Для данного варианта под номером 2 подобрано также несколько вариантов шрифтов, которые на первый взгляд подходили под визуальный символ. Однако, структура шрифта многих из них них не совсем соответствовала графической части логотипа. Для финального варианта выбран как основной шрифт гротеск Oswald в начертании Regular. А для дескриптора тот же, что и в первом варианте шрифт Inter. Предусмотрены два варианта размещения текстовой части: горизонтальный и вертикальный. Размер текстовой части остается неизменным. На рисунке 2 представлены охранные поля и пропорционирование товарного знака.

Рис. 2. Вариант логотипа

Последний вариант эскиза отрисован в векторе в нескольких вариантах. Из всех полученных вариантов, выбран и отрисован по модульной сетке вариант логотипа, представленный на слайде. Чтобы логотип смотрелся органично, в качестве основного шрифта выбран шрифт Philosopher, начертание Regular. Данный вариант подходил больше всего к визаульному символу, так как его засечки отлично дополняли общий вид знака. Для дескриптора был необходим широкий шрифт, который хорошо бы ложился под основную надпись и был не только заметен, но и хорошо читаем в купе с визуальным символом. Для него был выбран гротеск Unbounded с ExtraLight начертанием, для контраста с основным текстом логотипа. Здесь также предусмотрены два варианта размещения текстовой части: горизонтальный и вертикальный. На рисунке 3 представлены охранные поля и пропорционирование товарного знака.

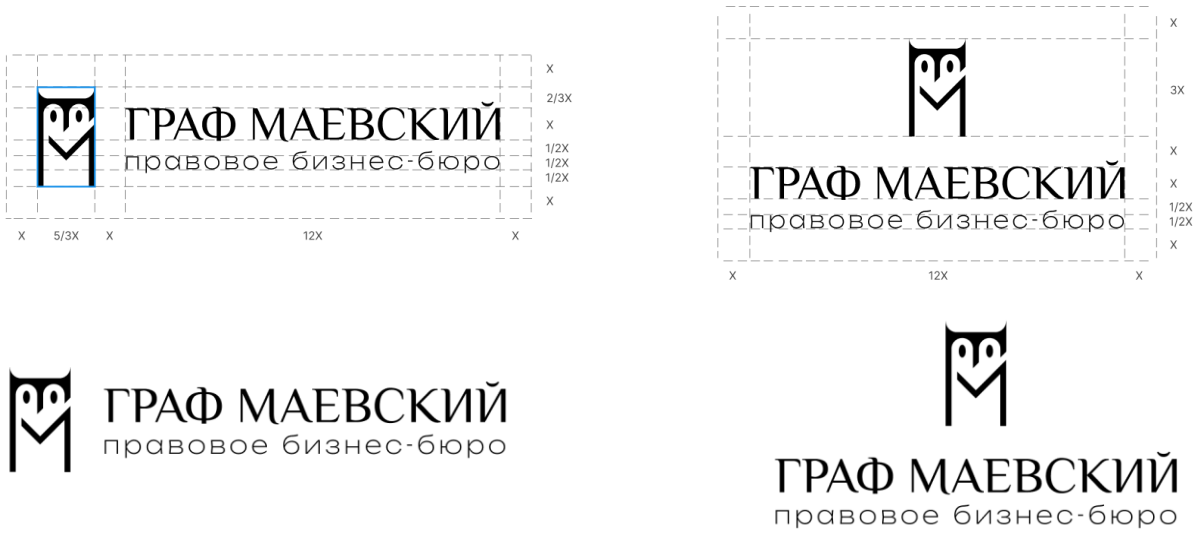


Рис. 3. вариант логотипа

В итоге имелись три готовых варианта логотипа компании, для которого оставалось разработать макеты носителей и создать руководство по его использованию.

На основе референсов и пожеланий заказчика выбраны несколько палитр. Из них качестве основных выбраны 3 основных и 2 дополнительных цвета [2]. При их подборе были использованы работы по психологии восприятия цвета и пожелания заказчика [3]. Темно-синий цвет используется для отражения спокойствия и ответственности. Темно-бежевый и коричневый это символ стабильности и олицетворение уверенности. А светло-серый выражает свободу и успокаивает.

На рисунке 4 представлены черно-белая и полноцветная версии основного варианта логотипа компании, согласованного с заказчиком. В полноцветной версии используются все основные фирменные подобранные цвета.

Рис. 4. Финальный вариант логотипа

В брендбуке также были указаны несколько вариантов графических элементов, применяемых на макетах носителей фирменного стиля. Также, разработаны два варианта фирменных паттернов для поддержания айдентики компании. Первый из них будет использоваться на документации и деловых бумагах компании, второй же на различного рода канцелярии. Также, были разработаны макеты носителей фирменного стиля. А именно: личная и корпоративная визитки компании, макеты деловой документации(блокнот, папка для деловых бумаг, деловые бумаги, конверт для деловых бумаг), макет печати компании, макет вывески перед офисом. Все материалы, макеты и брендбук были переданы компании. В ближайшее время планируется передать их в печать. В качестве благодарности, от руководителя компании мной было получено благодарственное письмо.

В ходе работы был разработан фирменный стиль бренда юридической компании ООО Правовое Бизнес-Бюро «Граф Маевский». В результате руководство с фирменным стилем утверждено заказчиком и активно им используется. Перед передачей заказчику разработанных материалов шаблоны были подготовлены для печати в соответствии с требованиями типографии, где будет произведена печать. Гайдлайн был передан в электронном виде в формате PDF. Все материалы были приняты.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Рэнд П. Дизайн. Форма и хаос / Пер. с англ. Форонов И.В. – М.: Издательство Артемия Лебедева, 2018. 178 с.
2. Сысоева С.В. Использование цвета в рекламе // Сибирский торгово-экономический журнал. 2011. С. 1-3.
3. Маклаков А.Г. Общая психология / А. Г. Маклаков. СПб : Питер, 2001. 592 с.

Выпускник
Пивоварова Анастасия Алексеевна
факультет программной инженерии и компьютерной техники
Направление подготовки: 44.03.04 – Профессиональное обучение
e-mail: 286906@niuitmo.ru

Научный руководитель
Локалов Владимир Анатольевич
к.пед.н., доцент
e-mail: lokalov@itmo.ru

УДК 004.41

РАЗРАБОТКА ИГРОВОГО ПРИЛОЖЕНИЯ С ДОПОЛНЕННОЙ РЕАЛЬНОСТЬЮ ДЛЯ ЛОГОПЕДИЧЕСКОЙ РАБОТЫ С ДЕТЬМИ ДОШКОЛЬНОГО ВОЗРАСТА С ОБЩИМ НЕДОРАЗВИТИЕМ РЕЧИ

Современная логопедическая работа с дошкольниками с общим недоразвитием речи характеризуется постановкой акцента на домашние занятия и широким использованием в практике компьютерных средств обучения. Было доказано, что компьютерные игры и использование дополненной реальности повышают эффективность логопедического воздействия [1, 2]. Группа детей с общим недоразвитием речи неоднородна, и таким образом, коррекция нарушения звукопроизношения при общем недоразвитии речи требует дифференцированного подхода. Логопеды-практики применяют его на повседневной основе, используя карточки с картинками, специально подобранные песни-попевки, игрушки и другие дидактические материалы. В связи с этим была поставлена цель разработать игровое мобильное приложение с дополненной реальностью для логопедической работы с детьми дошкольного возраста с общим недоразвитием речи.

Алгоритм взаимодействия пользователя с приложением следующий: родители получают от своего логопеда карточку с логотипом приложения (рис. 1) и QR-кодом, ведущим на веб-сайт проекта. Дома родитель сканирует QR-код и видит инструкцию по установке и использованию приложения. Родитель устанавливает приложение на своё устройство Android и начинает занятие с ребёнком.

Родитель держит телефон, направляя камеру на логотип приложения. Ребёнок сидит между родителем и телефоном и выполняет задания. Родитель нажимает кнопку «Вперёд» только тогда, когда правильно выполнено задание, и это стимулирует ребёнка. Произнесение звука – элемент игры. Как только звук произнесён правильно, происходит положительное событие: звон «победного» колокольчика, летающее конфетти, аплодисменты.

Рис. 1. Логотип приложения «Логодом AR»

Одной из важнейших составляющих работы с нарушениями звукопроизношения является этап автоматизации поставленного звука. Логопедические упражнения составляют сценарий логопедического занятия по автоматизации звуков. Некоторые логопедические упражнения используют речевой материал – слова, чистоговорки, скороговорки, словосочетания и так далее. С помощью логопедов-практиков образовательного центра «Кидсландия» был составлен типовой сценарий логопедического занятия по автоматизации звука:

1. Приветствие.

Здесь логопед приветствует ребёнка при помощи либо стишка, либо короткой приветственной песенки. Цель этой стадии – подготовить ребёнка к занятию, направить его внимание на то, что делает логопед.

2. Правильная артикуляция и изолированный звук.

На этой стадии логопед напоминает ребёнку, как корректно произносить звук. Часто это сопровождается опять же стишком, который описывает правильное положение элементов речевого аппарата. Заканчивается эта стадия произнесением длинного изолированного звука.

3. Открытые слоги.

На этой стадии ребёнок повторяет за логопедом все открытые слоги на данный звук, где гласная идёт после согласного.

4. Обратные слоги.

На этой стадии ребёнок повторяет за логопедом все обратные слоги на данный звук, где гласная идёт до согласного.

5. Интервокальная позиция.

На этой стадии ребёнок повторяет за логопедом все слоги с интервокальной позицией, то есть, где согласный звук стоит между двумя гласными.

6. Слова на открытые и закрытые слоги и интервокальную позицию.

На этой стадии ребёнок повторяет за логопедом речевой материал по словам. Часто, логопеды используют для этой части картинки.

7. Словосочетания.

На этой стадии ребёнок повторяет за логопедом речевой материал по словосочетаниям. Опять же, тут часто используются картинки.

8. Предложения и чистоговорки.

На этой стадии ребёнок повторяет за логопедом речевой материал по предложениям и чистоговоркам. Здесь картинки тоже нужны: картинный материал помогает ребёнку визуализировать то, что описывается в чистоговорках и предложениях.

9. Текст.

На этой стадии ребёнок повторяет за логопедом текст, предложение за предложением. Тексты обычно очень простые и небольшие, и тоже сопровождаются иллюстрациями.

Этот сценарий является стандартным и используется логопедами в практике. На его основе были написаны сценарии логопедических упражнений для мобильного приложения. В создаваемом приложении представлены эти этапы автоматизации звука именно в такой последовательности.

Также для приложения был предоставлен речевой материал, в котором содержится максимальное количество закрепляемых звуков.

Сценарии упражнений представлены в приложении в виде игровых сцен, которые линейно идут друг за другом. В них преобладают картинки-иллюстрации и звуки, так как предполагается, что занимающийся по приложению ребёнок-логопат не умеет читать.

Ниже представлен список сценариев логопедических упражнений для мобильного приложения, написанных на основе сценария логопедического занятия, предоставленного логопедами-практиками:

1. Вступление.
2. Упражнение на изолированный звук.
3. Упражнение на открытые слоги.
4. Упражнение на слова с открытыми слогами.

5. Упражнение на закрытые слоги.
6. Упражнение на слова с закрытыми слогами.
7. Упражнение на слоги с интервокальной позицией.
8. Упражнение на слова с интервокальной позицией.
9. Упражнение на словосочетания.
10. Упражнение на чистоговорки и предложения.

Оречевление материала осуществляется анимированными трёхмерными персонажами – они помогают логопату проходить длительный этап автоматизации поставленного звука. Данные персонажи являются символами звуков С и Ш по Фомичёвой М.Ф. [3]. Для звука С персонажем является «Насосик» (рис. 2), для звука Ш – «Змейка» (рис. 3). В добавок к речевому материалу, который был подобран для вышеупомянутых упражнений, с участием логопедов-практиков для этих персонажей были написаны реплики, а также небольшие стишки.

Персонажи были реализованы и анимированы в программе Blender. Всего было создано 16 анимаций – 9 для «Насосика» и 7 для «Змейки».

Рис. 2. Трёхмерная модель персонажа «Насосик»

Рис. 3. Трёхмерная модель персонажа «Змейка»

Для упражнений на слова, где персонаж показывает ребёнку карточки, а ребёнок повторяет за персонажем соответствующее слово, было отрисовано 90 авторских иллюстраций – 45 иллюстраций для звука С, и 45 для звука Ш (рис. 3). Иллюстрации были выполнены в стиле наив, с использованием как можно меньшего количества острых углов. Цветовая гамма включает в себя как можно больше синих и голубых тонов и стремится быть как можно проще, то есть, включать в себя как можно меньше цветов.

Рис. 4. Примеры иллюстрации на звук Ш в игре

Озвучка персонажей для данной разработки является авторской. Голос автора был записан при помощи программы Audacity. Затем, с записи был удалён шум на заднем фоне. После этого, при помощи утилиты «Изменение высоты тона» тон голоса был повышен на четыре полутона, чтобы образ персонажа и его голос соответствовали друг другу. В общем сложности было записано 240 файлов озвучки: 120 для звука «С» и 120 для звука «Ш». Эти файлы включают в себя озвучку отдельных слогов, слов, предложений и чистоговорок, а также небольших стишков и прочих реплик, которые произносятся персонажем в начале и в конце упражнений

Сцены были реализованы на движке Unity с использованием инструментов Vuforia и Android. Всего было реализовано 27 сцен (включая 7 префабов), с использованием девяти авторских скриптов. Было реализовано четыре интерфейса: главного меню, меню выбора звука, меню паузы и меню настроек (рис. 5).

Рис. 5. Пример интерфейса (главное меню)

В ходе работы было спроектировано и разработано функционирующее мобильное игровое приложение с дополненной реальностью для логопедической работы с детьми дошкольного возраста с общим недоразвитием речи «Логодом AR». В настоящее время приложение проходит апробацию в образовательном центре «Кидсландия», логопеды-практики которого являлись заказчиками.

В дальнейшем планируется расширение функционала разработки, например добавление звуков Л, Р, З, Ц, Ж, Ч и Щ, а также комплексов артикуляционной гимнастики для свистящих и шипящих. Отдельно планируется добавить общий комплекс артикуляционной гимнастики, направленный на активизацию мышц артикуляционного аппарата, который может выполняться в качестве разминки перед занятием.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Фатихова Л.Ф. Компьютерные игры, построенные с использованием технологии Flash, в процессе подготовки дошкольников с фонетико-фонематическими недоразвитием к обучению грамоте // Образовательные технологии и общество. 2016. Vol. 19. №. 1. С. 525-543.
2. Мальцева А.С. Преимущества применения технологий дополненной реальности для развития детей дошкольного возраста // АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ СОВРЕМЕННОЙ НАУКИ: ВЗГЛЯД МОЛОДЫХ / ред. Д. В. Валько, А. М. Ромодина. – Челябинск : Южно-Уральский технологический университет (Челябинск). 2022. С. 867-876.
3. Фомичева М.Ф. Воспитание у детей правильного звукопроизношения: Практикум по логопедии: Учеб. пособие для учащихся пед. уч-щ по спец. № 03.08 «Дошк. образование» / М.Ф. Фомичева. – М. : Просвещение. 1989. 239 с.

Выпускник
Попов Глеб Дмитриевич
факультет систем управления и робототехники
Направление подготовки: 12.03.01 – Приборостроение
e-mail: mr.glebcha@mail.ru

Научный руководитель
Федоров Алексей Владимирович
д.т.н., профессор
e-mail: avfedorov@itmo.ru

УДК 620.192

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ УЛЬТРАЗВУКОВОГО КОНТРОЛЯ МНОГОСЛОЙНЫХ ПОЛИМЕРНЫХ ПОКРЫТИЙ

Актуальность работы обоснована рядом обстоятельств, и прежде всего постоянной потребностью в применении покрытий в аэрокосмической отрасли. С развитием техники появлялось множество факторов, которые препятствуют безопасной эксплуатации летательных аппаратов, и часть из них целесообразно устранять с помощью нанесения покрытий. С учётом современных подходов к производственным процессам существует спрос на технологии неразрушающего контроля качества покрытий, поскольку в настоящее время контроль адгезии покрытий контролируется методом насечек, либо с помощью испытаний на отрыв – эти методы наносят повреждения или вовсе разрушают покрытия. Требуются поиски новых подходов к оценке адгезионных свойств покрытий.

Многослойные полимерные покрытия имеют следующие свойства: покрытия непрозрачны в видимом спектре, они не имеют магнитных и электропроводящих свойств, не подвержены нарушению однородности теплового поля, при этом их слои имеют толщину порядка десятых долей мм. С учётом этих свойств, среди существующих видов неразрушающего контроля целесообразным является применение акустического контроля [1].

Дефекты несплошности, характерные для многослойных покрытий, имеют горизонтальную ориентацию. Поэтому среди методов акустического контроля подходящим является эхо-импульсный метод контроля. Он заключается в возбуждении ультразвуковых колебаний в объекте контроля с последующим принятием и анализом сигнала, отраженного от дна или от дефектов [2]. Для реализации эхо-метода было принято решение использовать лазерно-ультразвуковой дефектоскоп с оптико-акустическим преобразователем. Эти средства контроля имеют преимущества вследствие использования оптико-акустического эффекта, а именно отсутствие мертвой зоны контроля на небольшой глубине под преобразователем, возможностью возбуждения колебаний в широком спектре частот и наличием большой разрешающей способности [3].

Проведем экспериментальные исследования покрытий. На рисунке 1 представлены развертки сигнала в одной из точек объекта контроля. В результате были выявлены три информативных сигнала:

1) зондирующий сигнал;
2) структурные шумы в слоях покрытия;
3) сигнал на границе между покрытием и подложкой

Характер этих сигналов, а также возникновение какого-либо сигнала другого сигнала может свидетельствовать о наличии дефекта. Вывод о наличии несплошности или недостаточной адгезии можно сделать на основании амплитуды полученных сигналов, при этом по времени возвращения сигнала можно определить глубину залегания дефекта. Если учитывать описания объектов контроля, таким образом можно определить, в каком именно слое покрытия возник дефект.

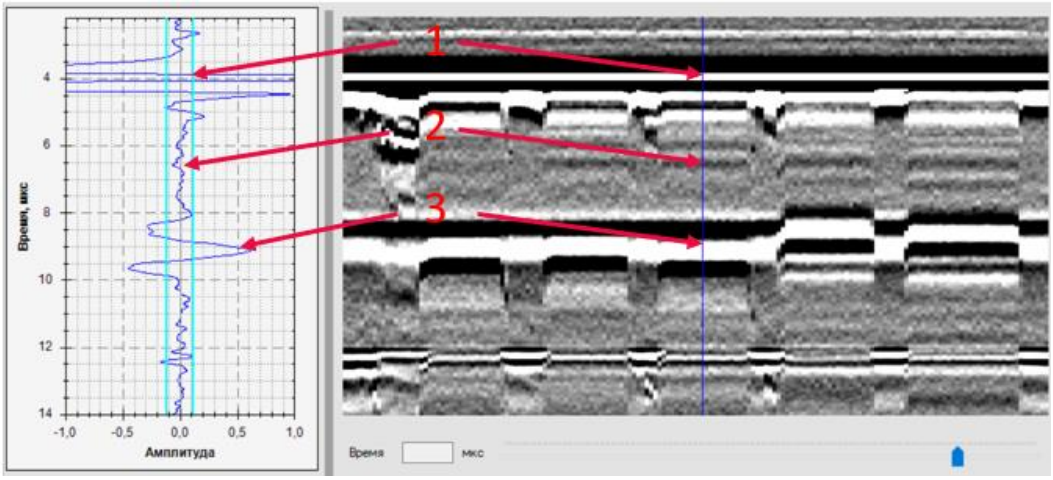


Рис. 1. Скан полученных сигналов в образце покрытия

С учётом выявленных закономерностей, была разработана методика ультразвукового контроля покрытий. Основная последовательность её мероприятий представлена на рисунке 2, и состоит она из трех этапов: подготовка к проведению неразрушающего контроля, проведение неразрушающего контроля и обработка результатов контроля. На первом этапе происходят процедуры сверки перечня средств контроля, инструктаж дефектоскописта, настройка оборудования. На втором этапе происходит разметка объекта контроля в соответствии с размерами рабочей зоны преобразователя таким образом, чтобы обеспечить полное покрытие контрольной зоны, после чего происходит сканирование. На последнем этапе полученные сканы и развертки анализируются, выявляются дефекты, их расположение и размеры, делается заключение о дефектности или бездефектности образца.

Рис. 2. Алгоритм методики неразрушающего контроля покрытий

Методика была экспериментально отработана на объекте контроля, чье описание представлено на рисунке 3. Отработка методики проводилась по методу скрытого теста, вследствие чего описание дефектов объекта контроля не было известно заранее и сопоставлялось с результатами контроля после применения методики.

Сопоставление результатов применения разработанной методики с описанием объекта контроля после нанесения разметки 12x12 клеток представлено на рисунке 4. На разметке с описанием объекта контроля красные клетки обозначают дефектные участки. На разметке с экспериментальной отработкой синим обозначены обнаруженные дефекты, красным – бездефектные участки, принятые за дефект, т.е. участки с ошибочным заключением. Отработка показала, что с помощью методики были выявлены все имеющиеся дефекты. Несмотря на наличие ложно выявленных дефектов, достоверность методики составила 0,88.

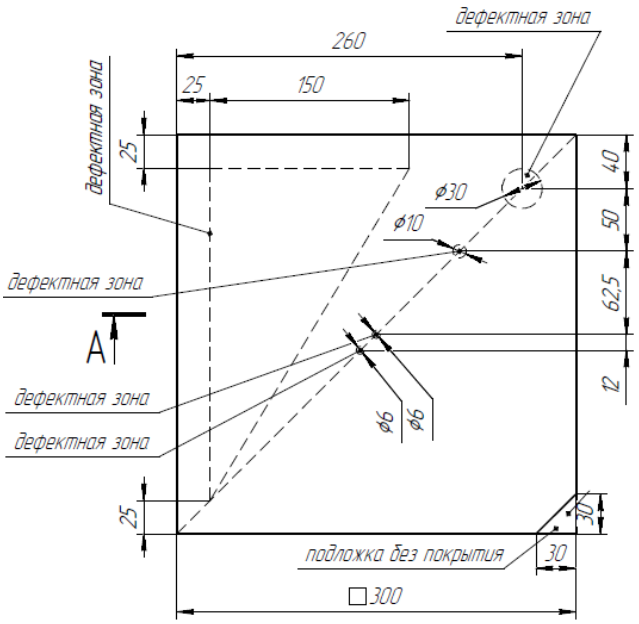


Рис. 3. Эскиз описания дефектов объекта контроля

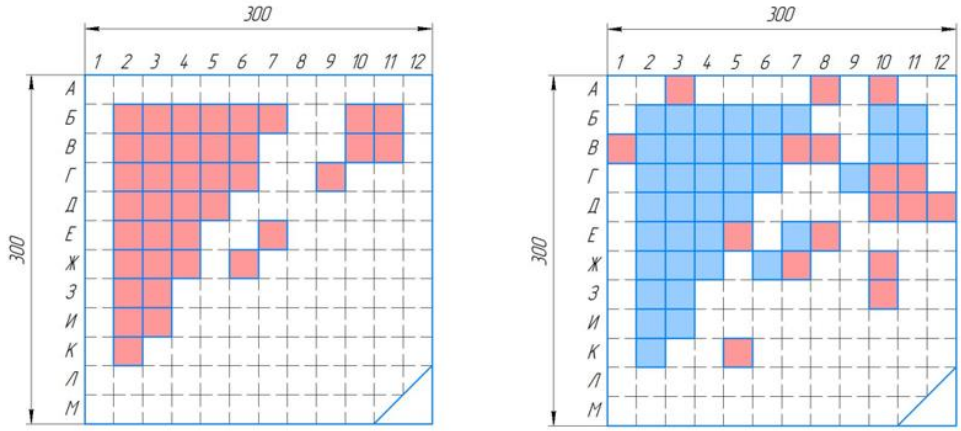


Рис. 4. Сравнение описания объекта контроля (слева) и результатов контроля с применением разработанной методики (справа)

В ходе работы была изучена возможность применения акустического вида контроля с применением оптико-акустического эффекта в целях контроля качества многослойных полимерных покрытий. Рассмотренный эксперимент подтвердил достоверность методики, основанной на эхо-методе ультразвукового контроля, что говорит о наличии корреляционной связи между акустическими характеристиками покрытий и их прочностью при отрыве. Были предприняты попытки оценки адгезионных свойств покрытий с помощью ультразвукового контроля.

В дальнейшей работе планируется исследование новых методов и подходов к оценке адгезионных свойств покрытий с помощью ультразвукового контроля, а также возможность применения методик ультразвукового контроля в устройствах автоматизированного контроля качества многослойных полимерных покрытий.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. ГОСТ Р 56542–2019. Контроль неразрушающий. Классификация видов и методов. Москва, Стандартинформ. 2019.
2. Кретов Е.Ф. Ультразвуковая дефектоскопия в энергомашиностроении. СПб: Издательство «СВЕН». 2014. С. 139-140.
3. Лазерный ультразвуковой дефектоскоп: пат. 2544257 Рос. Федерация №2010140186/28; заявл. 2010.09.30, опубл. 2015.03.20.

Выпускник
Толстухин Никита Александрович
факультет программной инженерии и компьютерной техники
Направление подготовки: 09.03.04 – Компьютерные технологии в дизайне
e-mail: anickt00@gmail.com

Научный руководитель
Лавров Алексей Валерьевич,
старший преподаватель
e-mail: lavrov@itmo.ru

УДК 004.67

РАЗРАБОТКА ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКОГО ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ СТАТИСТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ РЕЗУЛЬТАТОВ ЮЗАБИЛИТИ-ТЕСТИРОВАНИЙ

Центр Юзабилити и Смешанной Реальности, созданный на базе Университета ИТМО с целью объединения образовательной, научно-исследовательской и коммерческой деятельности предоставляет услуги по исследованию интерфейсов в оснащенной юзабилити-лаборатории. Исследователям требовался инструмент, который бы позволили рассчитывать плановый размер выборки на основе пилотных данных. Данная работа посвящена созданию веб-приложения, объединяющего несколько различных статистических методов расчета размера выборки, что должно помочь исследователям Центра Юзабилити и Смешанной Реальности Университета ИТМО с анализом и обработкой данных.

В качестве аналогов были рассмотрены несколько существующих программ статистического анализа. В результате две программы были выбраны, как наиболее подходящие требованиям: JASP и Jamovi [1, 2]. Они обладают удобным интерфейсом, знакомым исследователям, однако не имеют функционала для решения задачи расчета размера выборки. Таким образом, данные программы взяты, как референс для создания макета приложения, но не являются прямыми аналогами.

В работе были использованы языки HTML, CSS, JavaScript. Это стандартные языки для создания веб приложений. Также для CSS применялся препроцессор SASS. В качестве сборщика модулей выбран Webpack, поскольку данный инструмент является популярным решением, активно поддерживается, имеет множество расширений. В качестве среды разработки был использован VS Code, поскольку этот редактор обладает всей необходимой для разработки функциональностью и бесплатен для использования. В качестве браузеров для тестирования были выбраны 4 наиболее популярных браузера на октябрь 2022 года [3]:

1. Google Chrome.
2. Safari.
3. Mozilla Firefox.
4. Microsoft Edge.

Для создания макета приложения использовалось веб-приложение Figma. Этот бесплатный графический редактор доступен онлайн и имеет достаточно функционала для создания интерфейса приложения.

Также был составлен список требований для приложения.

Полный список функциональных требований программы:

1. Пользователи должны иметь возможность загрузить один или несколько файлов формата csv в приложение.
2. Пользователи должны иметь возможность настроить количество строк, которые нужно пропустить при чтении файла, выбрать его кодировку, выбрать разделитель столбцов и разделитель дроби.
3. Для каждого столбца автоматически должен определиться тип его данных:

дихотомический, номинативный, количественный или ранговый. Пользователь должен иметь возможность вручную выбрать тип для столбца. В случае, если тип дихотомический – настроить разделение значений столбца, если ранговый – настроить уровни для значений.

4. Приложение должно предоставить на выбор для исследования восемь методов анализа:
   - тест знаков;
   - тест Уилкоксона;
   - тест Стьюдента для парных выборок;
   - тест Стьюдента для независимых выборок;
   - точный тест Фишера;
   - тест Манна-Уитни;
   - тест линейной корреляции Пирсона;
   - тест ранговой корреляции Спирмена.
5. Пользователи должны иметь возможность добавить одну или несколько гипотез. Каждая гипотеза должна обладать следующими настройками:
   - выбор метода анализа;
   - выбор типа ввода: Ввод по данным и ввод величины эффекта вручную. Для каждого из методов анализа реализация ввода будет отличаться;
   - выбор направления проверки: двусторонняя, правосторонняя или левосторонняя.
6. Пользователь должен также иметь возможность настроить общие параметры для анализа, такие как FWER, выбор основной гипотезы и ее планируемой мощности.
7. Задав все настройки пользователь должен увидеть результаты расчетов, а именно два основных показателя: Величина выборки, которую необходимо взять для получения статистически значимых результатов основной гипотезы с желаемой мощностью, а также, если присутствует больше, чем одна гипотеза – для каждой неосновной гипотезы необходимо получить ее мощность исходя из величины выборки.
8. Также пользователь должен видеть некоторые промежуточные показатели, такие как: уровень значимости, количество проверяемых гипотез, а также некоторые уникальные для методов показатели.
9. У пользователя должна быть возможно переименовывать, удалять, дублировать и скрывать гипотезы.
10. Пользователь должен иметь возможность сохранять результат в формате html, сохранять проект, загружать проект и создавать новый проект.

Также приложение должно соответствовать следующим техническим требованиям:

1. Стабильность – приложение не должно останавливать работу, искажать данные, допускать ошибки в вычислениях в результате любых действий пользователя.
2. Быстродействие – приложение можно считать быстродействующим, если оно способно быстро загружаться и отображать информацию, обеспечивать быстрый отклик на пользовательские действия и минимизировать задержки при выполнении задач и обработке данных.
3. Локальное веб-приложение – клиент взаимодействует с приложением через браузер по сети, однако все вычисления происходят локально, на стороне клиента.
4. Кроссбраузерность – приложение должно функционировать на любом современном браузере.
5. Интуитивность – интерфейс приложения должен быть интуитивно понятен для исследователя центра юзабилити тестирований университета ИТМО.
6. Масштабируемость – архитектура приложения должна позволить добавить новые методы тестирования, не меняя логики других частей приложения.

В соответствии с поставленными требованиями была выбрана цветовая палитра и шрифты, был создан UI-kit и сам макет приложения, часть которого представлена на рисунке.

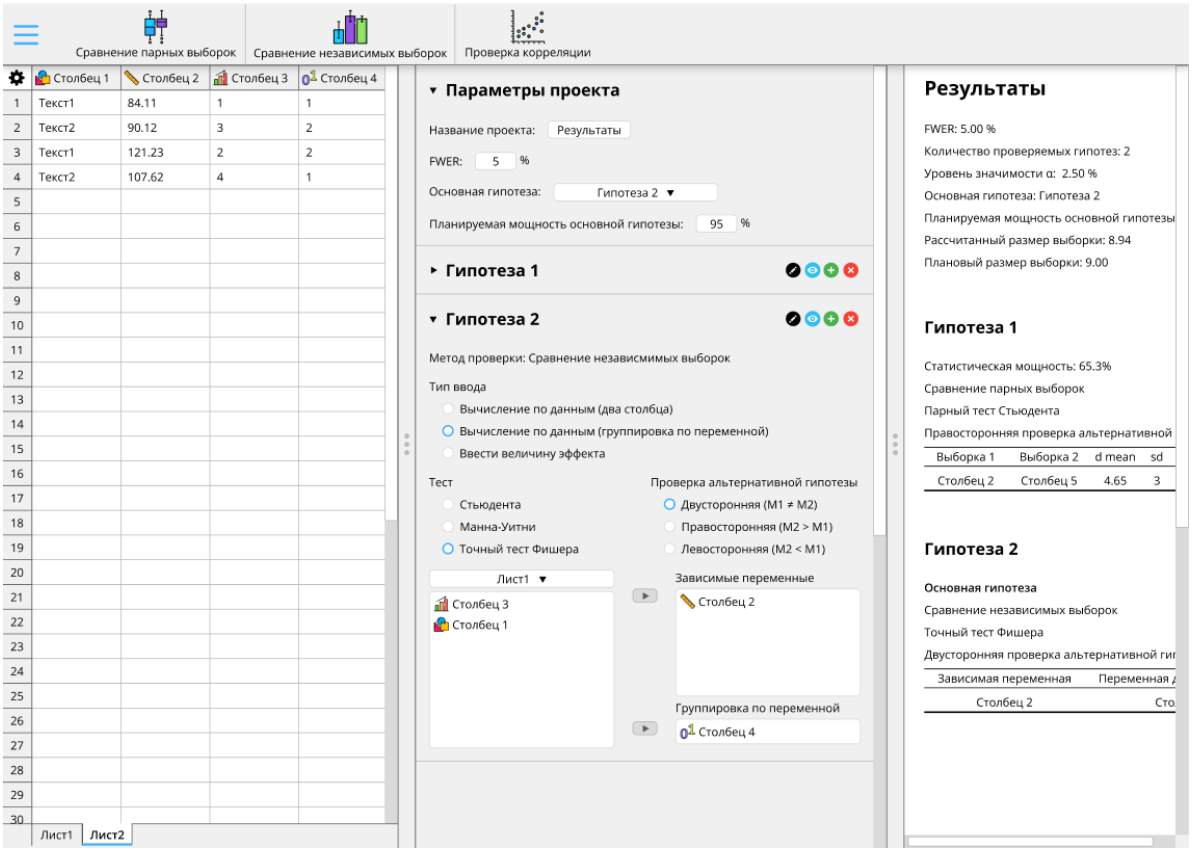


Рисунок. Страница макета, отражающая состояние приложения после добавления второй гипотезы

Далее была продумана архитектура программы, главная идея которой – модульность. Каждый тип проверки гипотезы является отдельным классом, наследуемым от абстрактного класса модуль, и хранится с дополнительными файлами в отдельной папке. Таким образом, при разработке легко интегрировать новые типы проверки, реализовав все методы абстрактного класса. Также были выделены объекты, отвечающие за работу с UI, с листами данных, с интеграцией модулей, и классы листов, переменных и настроек.

Разработка была начата с настроек проекта, сборщика модулей и установки дополнительных пакетов при помощи менеджера пакетов NPM. Дополнительные пакеты были нужны для работы с разными типами файлов, более удобного процесса разработки, а также сжатия кода при сборке проекта. Также была использована библиотека для парсинга csv файлов – papaparse.

Затем приложение было сверстано. В качестве методологии для верстки была применена методология БЭМ (Блок-Элемент-Модификатор), разработанная компанией Яндекс [4]. БЭМ позволяет единообразно и логично давать наименования элементам веб-приложения, что ускоряет верстку и написание стилей. Также следует отметить, что значительная часть разметки добавляется динамически через JS.

Методология БЭМ в связке с SCSS ускоряет написание стилей, так как позволяет легко и быстро создавать компоненты с помощью вложенных правил, переменных, миксинов и т. д.

Также стоит упомянуть, что методология БЭМ подразумевает и определенную файловую иерархию. Было решено воспользоваться схемой Flat, что считается упрощенной схемой организации. Идея в том, что для каждого блока создается свой файл, а затем все используемые блоки импортируются в основной файл.

Написание логики приложения – самый объемный этап работы. Главной задачей тут было – корректно перенести статистические формулы и функции на язык JavaScript. Также большое внимание уделялось работе с отзывчивым, быстродействующим UI, подробному описанию каждого элемента и уведомления для удобства пользования. Также были добавлены различные настройки чтения файла, настройки столбцов, гипотез и разные способы внесения

данных в гипотезу для наиболее комфортной работы исследователей.

Во время работы проводились тестирования каждого алгоритма на наличие ошибок. Также приложение было протестировано в 4-х наиболее популярных браузерах, для достижения кроссбраузерности. В конце приложение было передано исследователям центра юзабилити, протестировано и одобрено.

Таким образом была достигнута поставленная цель – был создан удобный инструмент, объединяющий несколько различных статистических методов расчета размера выборки, и помогающий исследователям Центра Юзабилити и Смешанной Реальности Университета ИТМО с анализом и обработкой данных.

Дальнейший вектор развития приложения – это добавление новых методов анализа, новых способов ввода данных и новых инструментов для настройки чтения, фильтрации и редактирования данных.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. JASP. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://en.wikipedia.org/wiki/JASP (дата обращения: 22.02.2023).
2. Jamovi. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://en.wikipedia.org/wiki/Jamovi (дата обращения: 22.02.2023).
3. Browser Statistics. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.w3schools.com/browsers/ (дата обращения: 24.02.2023).
4. Методология. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ru.bem.info/methodology (дата обращения: 17.04.2023).

Выпускник
Чангалиди Антон Ильич
факультет программной инженерии и компьютерной техники
Направление подготовки: 09.03.04 – Программная инженерия
e-mail: anton.chana@gmail.com

Научный руководитель
Болдырева Елена Александровна
к.т.н.
e-mail: eaboldyreva@itmo.ru

Консультант не из ИТМО
Барбитов Юрий Александрович
к.б.н.
e-mail: barbitoff@bioinf.me

УДК 004.6

РАЗРАБОТКА ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ АНАЛИЗА ОБОГАЩЕНИЙ НАБОРОВ ГЕНОВ В ДАННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПОЛНОГЕНОМНЫХ АССОЦИАЦИЙ

Одним из ключевых вопросов биологии является вопрос о том, как формируются признаки всех организмов (в том числе и человека). С точки зрения генетики на изменения признаков (фенотипа) влияют: изменения в последовательности ДНК (изменения генетической информации), взаимодействие фрагментов этих последовательностей и их продуктов (белков, РНК), а также внешняя среда.

Очень важно изучать взаимосвязь между генетикой и проявлением признака, так как, например, это помогает выявлять тяжелые заболевания на ранних стадиях или даже предсказать высокую вероятность их появления с целью предупреждения [1]. Такие исследования помогают людям болеть меньше, а жить дольше.

Для исследования связи между изменениями в последовательности ДНК и проявлением признаков используют полногеномный поиск ассоциаций (англ. genome-wide association study, GWAS). При разработке инструментов для работы с результатами GWAS, критически важным является доступ к большой выборке данных (наборов генотипированных однонуклеотидных полиморфизмов (англ. single nucleotide polymorphism, или SNP), признаков и значимых ассоциаций между ними). Только при наличии этой информации можно проверить разработанный инструмент на корректность работы, а также статистическую мощность и специфичность инструмента.

Существующие модели симуляции GWAS данных не всегда полностью отражают генетическую структуру и взаимосвязь между генетикой и признаками, а результаты часто лишены биологического смысла. Использование же публично доступных данных порой ограничено из-за их малого объема или дороговизны доступа.

Поэтому была поставлена цель: расширение массива данных для повышения качества оценки алгоритма анализа обогащения наборов локусов.

Для достижения цели, были поставлены следующие задачи:

1. Разработать алгоритм и инструмент генерации реалистичных результатов GWAS анализа по заданному набору параметров и причинных вариантов.
2. Валидировать разработанный инструмент генерации результатов GWAS путем анализа сгенерированных данных.
3. Оценить чувствительность и специфичность существующего метода LSEA с использованием сгенерированных инструментом данных.

В ходе данной ВКР был придуман, реализован и протестирован алгоритм симуляции данных исследований полногеномных ассоциаций (GWAS данных): генотипов, признаков, а также их ассоциаций – результатов GWAS. Кроме того, реализован компонент автоматической визуализация результатов для того, чтобы пользователь мог, не прикладывая больших усилий, оценить адекватность и правильность полученных данных. В ходе разработки были использованы языки программирования Python с библиотеками seaborn [2], matplotlib [3], pandas [4], numpy [5] и R с библиотеками dplyr, ggplot2, CMplot [6], PhenotypeSimulator [7]. Также были использованы биоинформатические инструменты PLINK [8], HAPGEN2 [9], BEDTools [10]. Все программы объединены в единый инструмент с использованием Snakemake [11].

Процесс работы разработанного инструмента представлен на рисунке. В виде облака обозначены данные, скачиваемые из интернета, зеленым обозначены параметры, вводимые пользователем, несколько прямоугольников друг на друге обозначают параллельную обработку группы файлов (например, при разбиении на хромосомы).

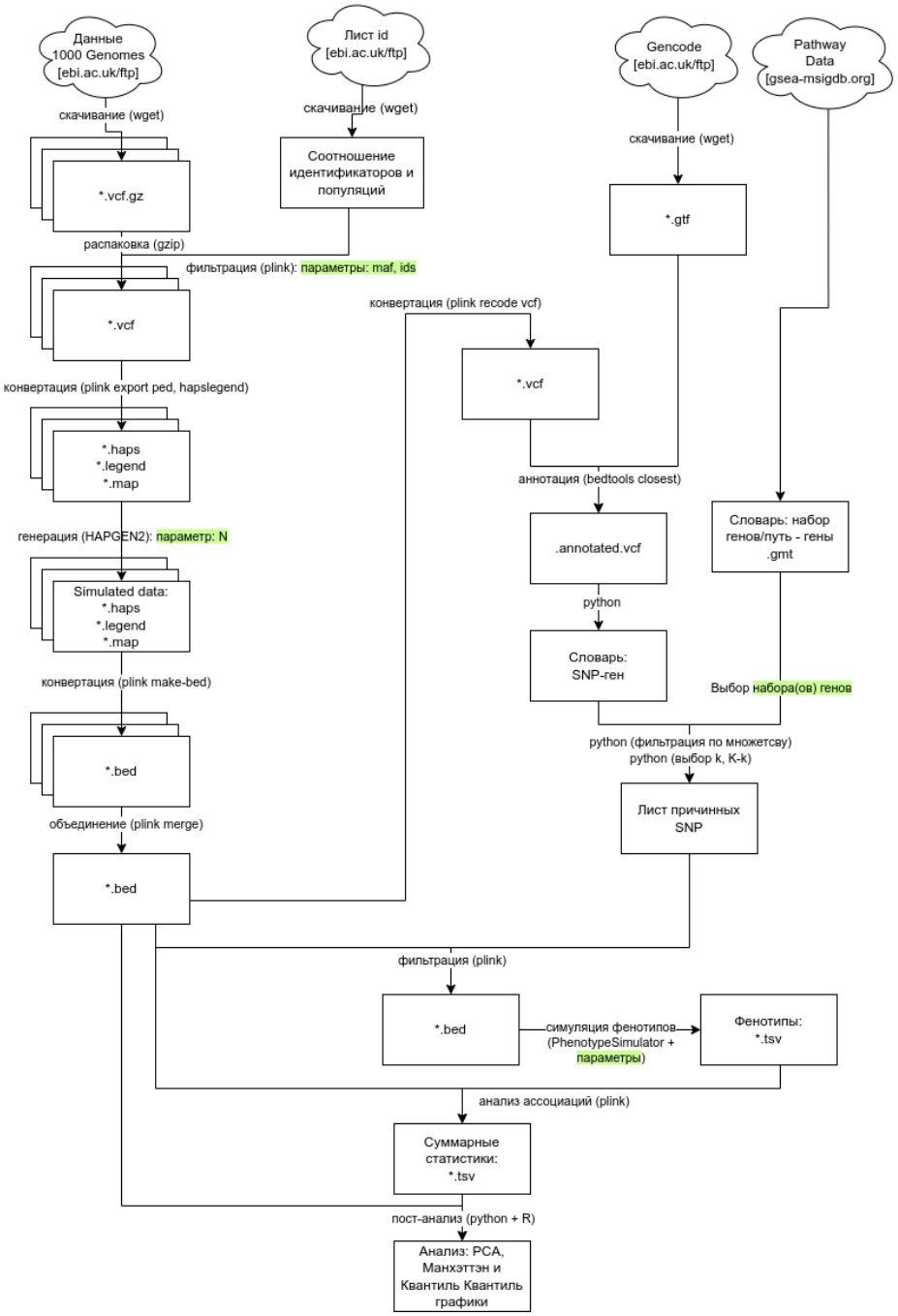


Рисунок. Процесс работы написанного инструмента симуляции GWAS данных

Алгоритм был запущен с широким спектром значений параметров (количества причинных мутаций, среднего размера и стандартного отклонения эффектов мутаций, наследственной изменчивости, и ее долю причинных SNP), а результаты были проанализированы – были подобраны параметры с высокой эффективностью обнаружения заданных причинных мутаций в ходе анализа: K=30, m(beta)=0.5, sd(beta)=0.1, gen_var=0.5, h2s=0.5 соответственно. Были выявлены преимущества разработанного инструмента по сравнению с аналогами (таблица).

Таблица. **Сравнительный анализ алгоритмов симуляции**

Алгоритм	**HAPGEN2 [9]**	**simGWAS [12]**	**Реализованный в ходе данной ВКР алгоритм**
Поставляется в виде	Инструмент командной строки	Пакет R	Инструмент командной строки
Необходимость предварительной подготовки данных	Да, принимает устаревшие форматы данных: необходимо сделать ряд конвертаций	Да. Необходимо произвести ряд манипуляций в виде кода на R	Нет. Принимает активно используемый формат данных (VCF)
Возможность фильтрации генотипов и SNP	Нет (можно вручную, до запуска инструмента)	Да. Необходимо произвести ряд манипуляций в виде кода на R	Да (указывается в виде параметров)
Возможность задания причинных снипов	Нет	Да	Да
Возможность задания причинных биологических путей	Нет	Нет	Да
Возможность генерации изображений	Нет	Нет	Да (PCA генотипов, график квантиль-квантиль, манхэттенский график)

Подобранные параметры были использованы для генерации массива данных (100 симуляций: 50 с причинными SNP из определенного набора генов, 50 со всеми случайными SNP) с целью оценки чувствительности и специфичности существующего метода анализа обогащения наборов локусов (LSEA). Результаты работы алгоритма LSEA статистически значимо (с p-значением = 3.07E-20) различаются от случайного набора при идентификации определенного причинного набора генов, однако алгоритм выдает большое количество ложноположительных результатов. То есть метод LSEA обладает высокой чувствительностью, но низкой специфичностью, что говорит о необходимости его дальнейшей доработки.

Таким образом, в ходе выполнения данной ВКР был расширен массив данных и с помощью него произведена оценка алгоритма анализа обогащения наборов локусов – цель достигнута.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Changalidis A.I., Maksiutenko E.M., Barbitoff Y.A., Tkachenko A.A., Vashukova E.S., Pachuliia O.V., Nasykhova Y.A., Glotov A.S. Aggregation of Genome-Wide Association Data from FinnGen and UK Biobank Replicates Multiple Risk Loci for Pregnancy Complications. // Genes. 2022. №. 13(12). P. 2255. DOI: 10.3390/genes13122255.
2. Waskom M. et al. mwaskom/seaborn: v0.8.1 // Zenodo. 2017. DOI: 10.5281/zenodo.883859.
3. Hunter J.D. Matplotlib: A 2D Graphics Environment. // Computing in Science & Engineering. 2007. Vol. 9. №. 3. Pp. 90-95. DOI: 10.1109/MCSE.2007.55.
4. McKinney Wes. Data Structures for Statistical Computing in Python. 2010. Pp. 56-61. DOI: 10.25080/Majora-92bf1922-00a.
5. Harris C.R., Millman K.J., van der Walt S.J., Gommers R., Virtanen P., Cournapeau D., Wieser E., Taylor J., Berg S., Smith N.J., Kern R., Picus M., Hoyer S., van Kerkwijk M.H., Brett M., Haldane A., Del Río J.F., Wiebe M., Peterson P., Gérard-Marchant P., Oliphant T.E. Array programming with NumPy // Nature. 2020. №. 585(7825). Pp. 357-362. DOI: 10.1038/s41586-020-2649-2.
6. Yin L. et al. rMVP: A Memory-efficient, Visualization-enhanced, and Parallel-accelerated tool for Genome-Wide Association Study // Genomics, Proteomics & Bioinformatics. 2021. DOI: 10.1016/j.gpb.2020.10.007.
7. Meyer H.V., Birney E. PhenotypeSimulator: A comprehensive framework for simulating multi-trait, multi-locus genotype to phenotype relationships. // Bioinformatics (Oxford, England). 2018. №. 34(17). Pp. 2951-2956. DOI: 10.1093/bioinformatics/bty197.
8. Purcell S., Neale B., Todd-Brown K., Thomas L., Ferreira M., Bender D., Maller J., Sklar P., de Bakker P., Daly M.J., Sham P.C. PLINK: A Tool Set for Whole-Genome and Population-Based Linkage Analyses. // American Journal of Human Genetics. 2007. 81 p.
9. Zhan S., Marchini J., Donnelly P. HAPGEN2: simulation of multiple disease SNPs // Bioinformatics. Vol. 27. Iss. 16.t 2011. Pp. 2304-2305. doi.org: 10.1093/bioinformatics/btr341
10. Quinlan A.R., Hall I.M. BEDTools: a flexible suite of utilities for comparing genomic features // Bioinformatics (Oxford, England). 2010. №. 26(6). Pp. 841-842. DOI: 10.1093/bioinformatics/btq033.
11. Mölder F., Jablonski K.P., Letcher B., Hall M.B., Tomkins-Tinch C.H., Sochat V., Forster J., Lee S., Twardziok S.O., Kanitz A., Wilm A., Holtgrewe M., Rahmann S., Nahnsen S., Köster J. Sustainable data analysis with Snakemake. 2021. F1000Res 10. 33 p.
12. Fortune M.D., Wallace C. simGWAS: a fast method for simulation of large scale case–control GWAS summary statistics // Bioinformatics. 2019. Vol. 35. Iss. 11. Pp. 1901-1906. DOI: 10.1093/bioinformatics/bty898.

Выпускник
Шепелев Всеволод Александрович
факультет безопасности информационных технологий
Направление подготовки: 10.03.01 – Информационная безопасность
e-mail: shepva777@gmail.com

Научный руководитель
Таранов Сергей Владимирович
к.т.н., доцент
e-mail: serg.tvc@gmail.com

УДК 004.056.55

РАЗРАБОТКА МЕР ЗАЩИТЫ ПЕРСОНАЛЬНЫХ ДАННЫХ ДЛЯ WEB-ПРИЛОЖЕНИЯ «KRONBARS RUNNING CLUB»

Работа состоит из семи основных разделов. Первый раздел работы посвящен обоснованию актуальности проблемы защиты персональных данных в веб-приложениях, которая подтверждается несколькими факторами. Во-первых, за последние пару лет замечено увеличение роста утечек персональных данных в веб-приложениях. Во-вторых, с активным развитием технологий, растет и количество, и сложность хакерских атак на веб-приложения, поэтому законодательство в области защиты и обработки персональных данных диктует все более и более строгие правила по разработке систем, работающих с чувствительными данными физических лиц. Статистика показывает, что более 76% веб-приложений содержат одну и более уязвимостей [1].

Во втором разделе рассматриваются требования нормативно-правовых актов в области защиты персональных данных, применимых к веб-приложению «Kronbars Running Club». По постановлению Правительства РФ № 1119 «Об утверждении требований к персональным данным при их обработке в информационных системах персональных данных» степень защищенности веб-приложения «Kronbars Running Club» должна соответствовать не ниже третьего уровня защищенности [2].

Третий раздел содержит описание функционала платформы для студентов. «Kronbars Running Club» – это веб-приложение, которое на основании данных, полученных за счет модели машинного обучения, производит прогнозирование усталости спортсмена после его «будущих» тренировок [3]. Приложение также позволяет пользователям добавлять записи о персональных тренировках, читать новости о соревнованиях и совместных тренировках. Приложение ориентировано на любителей бега и активного образа жизни, которые желают улучшать качество своих тренировок за счет предсказания совей усталости, а также быть в курсе новостей о тренировках и соревнованиях, в которых можно попробовать свои силы. К основным функциям веб-приложения относится: прогнозирование усталости от будущих тренировок, ведение журнала тренировок, просмотр ленты новостей, редактирование профиля, рейтинг спортсменов.

Однако один из ключевых аспектов работы состоял не только в реализации мер защиты данных, но и в разработке и применении методов для обучения модели предсказания усталости спортсменов после тренировки. Эти методы позволяют анализировать данные тренировок и предсказывать уровень усталости на основе различных факторов. Для достижения этой цели были использованы методы машинного обучения, в частности алгоритмы регрессии. Регрессия является статистическим методом, позволяющим моделировать связь между зависимой переменной и независимыми переменными. В случае с данной работой – это соответственно уровень усталости и факторы, косвенно влияющие на усталость. Одним из использованных методов регрессии была линейная регрессия. Линейная регрессия моделирует зависимость между переменными с помощью линейной функции. В данном случае модель линейной регрессии предсказывает уровень усталости спортсменов на

основе различных параметров тренировок, таких как длительность тренировки, интенсивность, пройденное расстояние, частота сердечных сокращений и другие.

Кроме линейной регрессии, также была применена регрессия с использованием деревьев решений, позволяющая строить дерево, которое разделяет данные на более узкие группы и делает предсказания на основе среднего значения в каждой группе. Было выделено до 20 групп усталости, в качестве оценки была использована шкала Борга.

Для обучения модели использовались различные наборы данных, содержащие информацию о тренировках и уровне усталости спортсменов. Данные были подвергнуты предварительной обработке, включающей шкалирование, обработку выбросов и заполнение пропущенных значений. Затем данные были разделены на обучающую и тестовую выборки, чтобы оценить эффективность моделей на новых данных. В результате применения методов обучения модели предсказания усталости спортсменов были достигнуты положительные результаты. Модели показали хорошую предсказательную способность и могут применяться для улучшения качества тренировок, а также для предупреждения перенапряжения и травм спортсменов.

Последующие разделы посвящены разработке мер защиты персональных данных для веб-приложения «Kronbars Running Club». В четвертой части представлено описание разработанных мер и подходов, направленных на повышение безопасности приложения, в рамках которой рассматривается выбор механизмов аутентификации и авторизации пользователей, использование SSL/TLS, а также методов контроля доступа к персональным данным. Важным аспектом также является защита от инъекций и применение криптографических методов для шифрования и защиты передаваемой и хранимой информации.

Для реализации хэширования паролей в веб-приложении, реализованном с помощью фреймворка Django, при разработке мер защиты, была использована встроенная функция хеширования паролей [4]. Наиболее криптостойким является алгоритм bcrypt, поэтому он и использовался, однако при этом алгоритм считается более медленным, чем PBKDF2, поэтому необходимо было настроить количество раундов хеширования для обеспечения максимального соотношения между производительностью и криптостойкостью. В функции использован модуль bcrypt для генерации соли и хэширования пароля. В качестве параметров передаются количество раундов для генерации соли, и сама соль. Однако, если соль не была передана в функцию, то она будет сгенерирована автоматически с помощью функции bcrypt.gensalt(). Затем произойдет хеширование пароля при помощи функции bcrypt.hashpw(). В результате выполнения данной функции над паролем будет получен ее хэш.

Для предотвращения атак за счет SQL-инъекций, а также атак с использованием межсайтовых сценариев (XSS-инъекции), в веб-приложении «Kronbars Running Club» для всех полей форм реализована валидация вводимых значений. Проверяя такие данные, веб-приложение гарантирует их правильность и безопасность перед отправкой на сервер для получения необходимой информации.

В веб-приложении реализовано копирование базы данных при помощи PostgreSQL утилиты pg_dump [5], благодаря которой возможно делать копию одной или нескольких таблиц, схем, а также всей базы данных. В результате выполнения копирования базы с помощью pg_dump, формируется файл, представляющий собой текстовый сценарий SQL, который содержит все триггеры и функции SQL, необходимые для восстановления объектов базы данных, таких как таблицы, индексы, представления и т. д. При помощи такого файла, используя PostgreSQL операции можно восстановить все данные в базе в случае их потери.

В пятом разделе работы проводится анализ уязвимостей веб-приложений, связанных с обработкой персональных данных. Здесь, например, рассматриваются различные виды атак, такие как инъекции, межсайтовый скриптинг (XSS), подделка запроса межсайтовой подписи (CSRF) и другие. Для каждого типа атаки описываются и приводятся примеры потенциальных уязвимостей и последствий их эксплуатации, а также инструменты для обнаружения и предотвращения таких уязвимостей.

Эти разделы предоставляют фундаментальные знания о проблеме защиты персональных данных в веб-приложениях, а также о подходах и методах, используемых для обеспечения безопасности. Результаты анализа уязвимостей и разработки мер защиты являются основой для последующих частей работы.

В следующем разделе проводится тестирование разработанных мер защиты и оценка их эффективности. Оценивается эффективность применяемых методов и их способность обеспечить безопасность персональных данных. Тестирование включает проверку функциональности системы аутентификации и авторизации, а также проведение попыток несанкционированного доступа и атак на приложение. Оценка мер защиты состоит из сравнительного анализа результатов тестирования системы до начала выполнения работы с результатами по итогам выполненной работы. На основании таблицы подтверждается факт достижения поставленных целей, эффективность разработанных мер и их соответствие требованиям защиты персональных данных.

Таблица. **Сравнительный анализ эффективности мер**

Оценочная мера	**До разработки**	**С учетом разработанных мер**
Сканирование OWASP ZAP	10 мест для уязвимостей	2 места для уязвимостей
	78 различных уязвимостей	12 различных уязвимостей
Хеширование паролей	Пароли передаются в открытом виде	Пароли хешируются и солятся
Восстановление баз данных	Не было резервирования	Копия БД с триггерами, процедурами
Стойкость к нахождению коллизий в хешах	Без соления: сложность O(N)	С солением: сложность O(N**2)
Шифрование БД	Данные хранятся в открытом виде	Данные шифруются

Защита персональных данных – это важный аспект при разработке информационных систем, обрабатывающих такие данные. Чтобы обеспечить безопасность таких сервисов, как веб-приложения, необходимо применять соответствующие меры защиты данных. К таким мерам относятся криптографические методы защиты, контроль доступа, защита от инъекций и другие. В данном контексте работа на тему «Разработка мер защиты персональных данных для веб-приложения Kronbars Running Club» имеет высокую значимость. Это также связано и с тем, что веб-приложение является платформой для ведения спортивного дневника студентов Университета ИТМО, а также оно позволяет проводить анализ тренировок, предсказывать усталость и формировать индивидуальный план подготовки для улучшения физической формы.

Кроме того, данная работа может служить примером для разработки мер защиты персональных данных для других организаций или разработчиков веб-приложений.

В процессе выполнений работы была пройдена преддипломная практика в ООО «Тинькофф Центр разработки» для изучения мер защиты в веб-приложениях. Эта практика имела своей целью получение практического опыта и углубленного понимания современных методов и подходов к обеспечению безопасности веб-приложений, а также применение полученных знаний в дальнейшей разработке исследуемого проекта.

Основной метод исследования состоял в анализе существующих мер безопасности веб-приложений, оценке их эффективности и применимости в контексте разрабатываемого проекта. Были проанализированы различные инструменты и технологии, включая системы контроля доступа, механизмы шифрования, инструменты обнаружения и предотвращения атак, а также методы аудита безопасности.

Практика в ООО «Тинькофф Центр разработки» и проведенное исследование мер защиты в веб-приложениях позволили получить ценный опыт и знания в области обеспечения безопасности информационных систем. Полученные результаты и рекомендации были учтены при разработке мер защиты персональных данных в рамках выполнения данной работы, что

способствует повышению уровня безопасности и надежности разрабатываемого веб-приложения «Kronbars Running Club».

Выпускная квалификационная работа, представленная в данном исследовании, является комплексным проектом, который включает разработку веб-приложения «Kronbars Running Club», а также разработку мер защиты персональных данных в рамках этого приложения. Однако следует отметить, что работа еще представляет собой незавершенный проект. Но несмотря на такой статус, выполненная работа и ее результаты получили признание и рекомендацию со стороны комиссии государственной экзаменационной комиссии (ГЭК) для дальнейшего внедрения. Это является важным подтверждением значимости исследования, а также его потенциала для практического применения.

Внедрение разработанного веб-приложения «Kronbars Running Club» позволит студентам университета ИТМО и другим пользователям вести спортивный дневник, анализировать тренировки, предсказывать уровень усталости и формировать индивидуальный план подготовки для улучшения физической формы. Это представляет собой ценный инструмент для спортсменов и тренеров, помогая им повысить эффективность тренировок и достичь лучших результатов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Edgescan. 2021 Vulnerability Statistics Report. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://info.edgescan.com/hubfs/Edgescan2021StatsReport.pdf (дата обращения: 21.02.2023).
2. Постановление Правительства РФ от 01.11.2012 N 1119 «Об утверждении требований к защите персональных данных при их обработке в информационных системах персональных данных». Требования к защите персональных данных при их обработке в информационных системах персональных данных. Москва: 2012. 6 с.
3. Шепелев М.А., Шепелев В.А. Прогнозирование функционального состояния легкоатлетов для корректировки тренировочного плана // Сборник трудов XI Конгресса молодых ученых (Санкт-Петербург, 4-8 апреля 2022 г.). 2022. Т. 1. С. 496-501.
4. Django. Документация по фреймворку и библиотекам. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://django.fun/ru/docs/ (дата обращения: 11.10.2022).
5. PostgreSQL. Документация. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.postgresql.org/docs/current/sql.html (дата обращения: 13.11.2022).

Выпускник
Юрин Лев Евгеньевич
институт лазерных технологий
Направление подготовки: 12.03.05 – Лазерная фотоника и оптоэлектроника
e-mail: yurinlev2017@yandex.ru

Научный руководитель
Петров Андрей Анатольевич
доцент, к.т.н.
e-mail: aapetrov@itmo.ru

УДК 535.417:53.082.54:621.373.826

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕРМООПТИЧЕСКИХ ИСКАЖЕНИЙ ВОЛНОВОГО ФРОНТА ЛАЗЕРНОГО ИМПУЛЬСА В СТЕРЖНЕВОМ КВАНТОВОМ УСИЛИТЕЛЕ

Одной из актуальных задач современной лазерной физики является наращивание мощности излучения, которое применяется при решении научных и прикладных задач. В настоящее время наибольшие мощности лазерного излучения достигаются на лазерных системах с ультракороткой длительностью импульса и составляют до нескольких петаватт. Широкое распространение среди таких лазеров получили системы на фосфатном неодимовом стекле, которые способны обеспечивать энергию импульсов до килоджоульного уровня. В то же время, длительность импульсов таких установок ограничена величиной ≈ 0,7 пс. Основная причина данного ограничения – высокий интегральный коэффициент усиления излучения при относительно узкой спектральной полосе усиления активной среды, что приводит к обужению спектра выходного лазерного импульса до ≤ 3 нм.

Одним из известных способов уменьшения длительности импульса на подобных установках (до ~ 0,3 пс) является увеличение ширины спектральной полосы усиления за счёт использования в составе усилительного тракта активных стёкол на фосфатной и силикатной основах.

Вместе с тем, при проектировании подобной системы, важно учитывать не только спектрально-люминесцентные характеристики активной среды, но также термооптические параметры, которые в существенной степени определяют качество волнового фронта усиленного лазерного излучения и, как следствие, влияют на возможность концентрации лазерного пучка в пятно предельно малого размера.

Наиболее полный набор термооптических параметров в справочной литературе приводится для промышленных зарубежных и российских фосфатных стекол, ныне широко применяющихся в лазерных установках [1]. Для силикатных стекол приведен лишь ограниченный ряд параметров, которые в малой степени характеризуют тот или иной вид стекла и едва ли позволяют производить оценочные расчеты, при этом нередко в различных источниках значения ключевых параметров заметно отличаются друг от друга [2]. Достоверность термооптических параметров силикатных стекол из справочников ставит под сомнение также тот факт, что последние, как правило, датированы началом второй половины прошлого века.

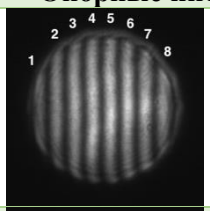
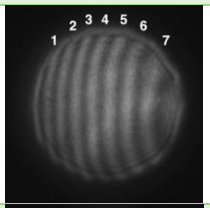
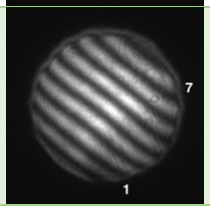
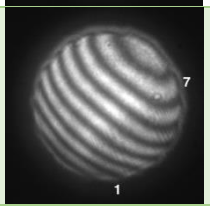
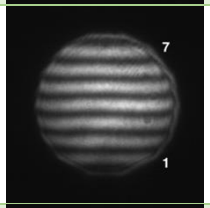
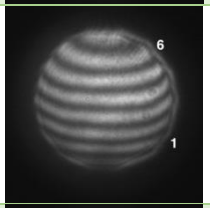
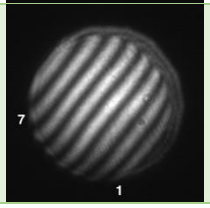
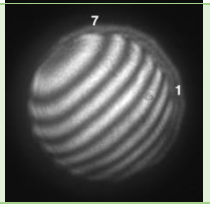
Целью данной работы являлось исследование интерферометрическим методом термооптических искажений волнового фронта усиленного лазерного излучения, вносимых АЭ из силикатного стекла ГЛС-1 при его накачке. Практическая значимость заключается в том, что измеренные значения термооптических искажений позволят скорректировать волновой фронт для достижения максимальной интенсивности ультракороткого лазерного импульса на выходе проектируемой установки.

Актуальность исследования заключается в необходимости получения достоверных данных о термооптических искажениях, вносимых конкретным ОКУ, для проектирования

установки на смешанном стекле. Исследование также может быть полезным в определении условий эксплуатации конкретного АЭ.

Для получения полной информации о виде волнового фронта усиленного лазерного пучка для каждого напряжения накачки снималось восемь интерферограмм: четыре сигнальных и четыре соответствующих им опорных (табл. 1). После чего производилась их обработка на ЯП «Python». Экспериментальные изображения и соответствующие им результаты обработки для напряжения накачки 2500 В представлены ниже. Для определения среднего $\boldsymbol{N_1^{avg}}$ сигнальных интерферограмм задействовалось 2–4 значения $\boldsymbol{N_1}$ полос в центре изображения.

Таблица 1. **Экспериментальные изображения опорных интерферограмм (2500 В)**

Ориентация интерферограммы	**Изображение**	**Результат обработки (значения N_1 указаны в длинах волн)**	**Изображение**	**Результат обработки (значения N_1 указаны в длинах волн)**
	Опорные интерферограммы		**Сигнальные интерферограммы**	
0°		$N_1^4 = 0{,}00$ $N_1^5 = 0{,}10$ $N_1^6 = 0{,}10$ $N_1^{avg} = 0{,}07$		$N_1^3 = 0{,}70$ $N_1^4 = 0{,}90$ $N_1^5 = 0{,}70$ $N_1^{avg} = 0{,}77$
45°		$N_1^3 = 0{,}10$ $N_1^4 = 0{,}10$ $N_1^5 = 0{,}10$ $N_1^{avg} = 0{,}10$		$N_1^3 = 1{,}20$ $N_1^4 = 1{,}10$ $N_1^5 = 1{,}00$ $N_1^{avg} = 1{,}10$
90°		$N_1^3 = 0{,}10$ $N_1^4 = 0{,}00$ $N_1^5 = 0{,}20$ $N_1^{avg} = 0{,}10$		$N_1^3 = 1{,}00$ $N_1^4 = 1{,}00$ $N_1^{avg} = 1{,}00$
135°		$N_1^3 = 0{,}20$ $N_1^4 = 0{,}20$ $N_1^5 = 0{,}20$ $N_1^{avg} = 0{,}20$		$N_1^3 = 1{,}10$ $N_1^4 = 1{,}00$ $N_1^5 = 1{,}00$ $N_1^{avg} = 1{,}03$

Для определения результирующего прогиба волнового фронта необходимо вычитание значений прогибов опорных интерферограмм из значений сигнальных. Среднее значение прогиба волнового фронта (в длинах волн) определялось по формуле (1):

$$\boldsymbol{N_1^{\text{ср}}} = \frac{\sum_1^k \boldsymbol{N_{1_k}}}{\boldsymbol{k}}, \qquad (1)$$

где $\boldsymbol{k}$ – количество измеренных точек. Результаты вычислений для различных напряжений накачки представлены в таблице 2.

Таблица 2. **Результирующий прогиб волнового фронта в четырех направлениях для различных напряжений накачки**

Напряжение накачки, В	Ориентация интерферограммы	$N_1^{сиг}$, дл.волн	$N_1^{оп}$, дл.волн	N_1, дл.волн	$N_1^{ср}$, дл.волн
2500	0°	0,77	0,07	0,70	0,86
	45°	1,10	0,10	1,00	
	90°	1,00	0,10	0,90	
	135°	1,03	0,20	0,83	
2750	0°	0,90	0,07	0,83	0,90
	45°	1,00	0,10	0,90	
	90°	1,17	0,07	1,10	
	135°	0,83	0,07	0,76	
3000	0°	1,07	0,10	0,97	1,12
	45°	1,08	0,03	1,05	
	90°	1,38	0,10	1,28	
	135°	1,33	0,15	1,18	
$N_1^{сиг}$ – среднее значение прогиба сигнальной интерферограммы $N_1^{оп}$ – среднее значение прогиба опорной интерферограммы N_1 – результирующее значение прогиба $N_1^{ср}$ – среднее результирующее значение прогиба волнового фронта					

Разница в значениях прогиба волнового фронта для ортогональных направлений свидетельствует о присутствии астигматизма. Величина аберрации определяется выражением

$$ast\{\lambda\} = \frac{\Delta N_1}{2}, \quad (2)$$

где $ast\{\lambda\}$ – величина астигматизма, ΔN_1 – максимальная разность прогибов интерферограмм ортогональных ориентаций. Зависимость величины астигматизма от напряжения накачки представлена в таблице 3. При напряжении накачки 3000 В аберрация становится наиболее выраженной и принимает значения большие погрешности обработки.

Фокусное расстояние «термолинзы» определялось по формуле (3).

$$f_{тл} = \frac{d^2}{8h_{wf}}, \quad (3)$$

где d – диаметр пучка, h_{wf} – величина прогиба волнового фронта. Результаты вычислений для различных напряжений накачки представлены в таблице 3.

Таблица 3. **Средние значения прогиба волнового фронта, астигматизм и фокусные расстояния «термолинзы» при различных напряжениях накачки**

Напряжение накачки, В	$N_1^{ср}$, дл. волн	h_{wf}, нм	$f_{тл}$, м	Астигматизм, дл.волн
2500	0,86	909,9	35,2	0,10
2750	0,90	952,2	33,6	0,14
3000	1,12	1185,0	27,0	0,16

Общая сферичность волнового фронта нелинейно возрастает с увеличением энергии накачки АЭ. Разница в величинах прогиба полос интерферограмм различной ориентации, относящихся к одной постановке эксперимента, свидетельствует о наличии астигматизма, вносимого АЭ при накачке. Величина астигматизма с увеличением напряжения накачки также возрастает. Аберрация может быть вызвана эффектом двулучепреломления, проявляющимся в результате деполяризации лазерного излучения при усилении.

Экспериментальное изображение, полученное с помощью системы диагностики смещения фокальной плоскости линзы при прохождении пучка в АЭ без накачки, приведено на рисунке 1. Изображения при усилении излучения представлены на рисунках 2–4.

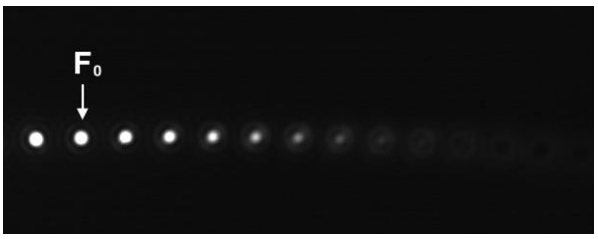


Рис. 1. Переотраженные пучки без усиления (опорное изображение)

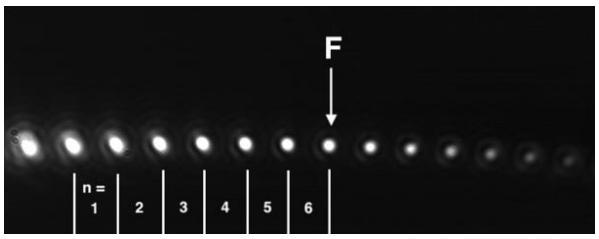


Рис. 2. Переотраженные пучки при усилении (сигнальное изображение, 2500 В)

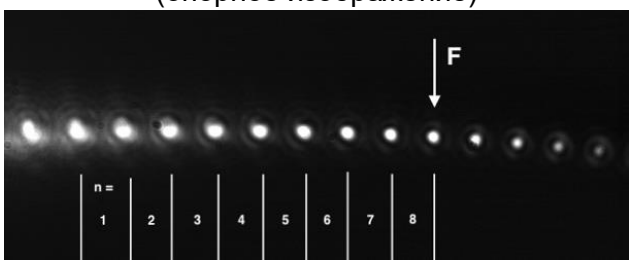


Рис. 3. Переотраженные пучки при усилении (сигнальное изображение, 2750 В)

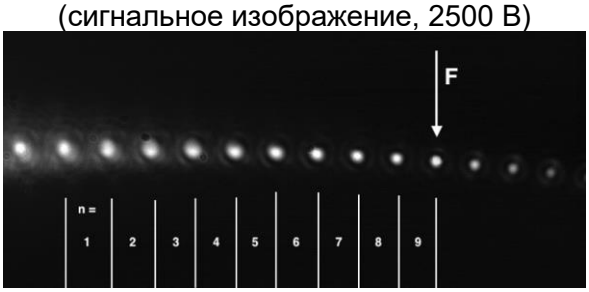


Рис. 4. Переотраженные пучки при усилении (сигнальное изображение, 3000 В)

Величина смещения фокуса, соответствующая единичному сдвигу фокального пятна на матрице камеры в приближении малого угла поворота пластинки, определялась по формуле (4).

$$\Delta \boldsymbol{F}_{\text{ед}} = \frac{\mathbf{4}}{\mathbf{3}}\boldsymbol{d} = \frac{\mathbf{4}}{\mathbf{3}} \cdot \mathbf{4,2} = \mathbf{5,6}\ \text{мм}, \quad (4)$$

где $\boldsymbol{d}$ – толщина пластинки ПЛ3. Полная величина смещения фокуса определялась выражением (5):

$$\Delta \boldsymbol{F}_{\text{полн}} = \boldsymbol{n} \cdot \Delta \boldsymbol{F}_{\text{ед}}, \quad (5)$$

где n – количество единичных отрезков между фокусами на опорном и сигнальном изображениях (номер переотражения относительно опорного, соответствующий новому фокальному пятну) (рис. 2–4). Результаты вычислений смещений фокуса при различных напряжениях накачки представлены в таблице 4.

Таблица 4. **Смещения фокуса при различных напряжениях накачки**

Напряжение накачки, В	**Смещение фокуса $\Delta \boldsymbol{F}_{\text{полн}}$, мм**
2500	33,6
2750	44,8
3000	50,4

Метод определения знака смещения фокуса схематически представлен на рисунке 5.

Смещение фокусного пятна на сигнальном изображении вправо относительно его положения на опорном изображении (рис. 5(а),(б)) соответствует возникновению угловой расходимости пучка, падающего на собирающую линзу (при условии, что опорное изображение получено с колиммированным пучком). Таким образом, АЭ в момент воздействия излучения накачки проявляет свойства отрицательной линзы, что обусловлено возникновением температурного градиента от периферии стержня к его центру.

Фокусное расстояние «термолинзы» определялось по формуле (6) с учетом смещения точки трансляции линзы $\Delta \boldsymbol{F}_{\text{полн}}$.

$$\frac{\mathbf{1}}{\boldsymbol{f}_{\text{тл}}} = \frac{\mathbf{1}}{\boldsymbol{f}_{\text{Л2}}} - \frac{\mathbf{1}}{\boldsymbol{f}_{\text{Л2}} + \Delta \boldsymbol{F}_{\text{полн}}}, \quad (6)$$

где $\boldsymbol{f}_{\text{тл}}$ – фокусное расстояние «термолинзы», $\boldsymbol{f}_{\text{Л2}}$ **= 1218,5 мм** – фокусное расстояние линзы. Результаты вычислений фокусного расстояния «термолинзы» по двум методам для различных напряжений накачки представлены в таблице 5.

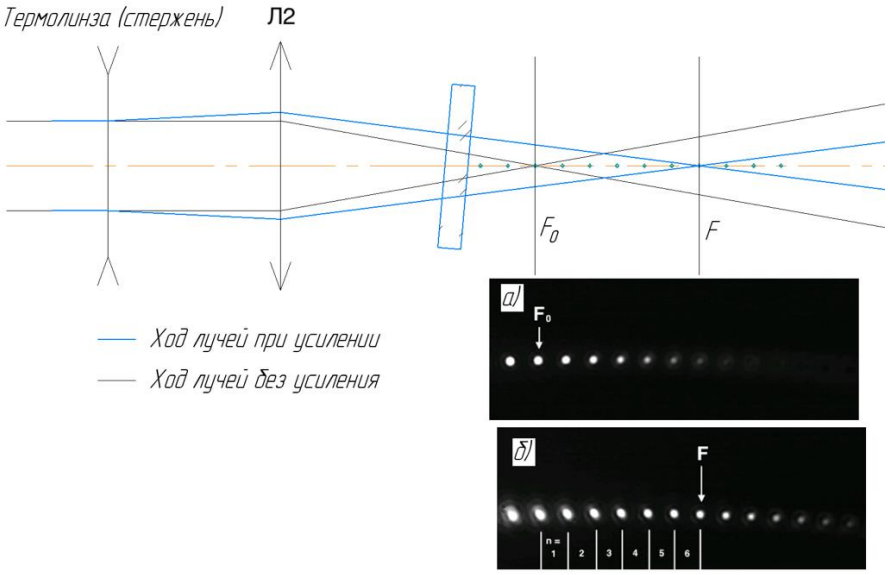


Рис. 5. Определение знака дефокусировки ($\boldsymbol{F_0}$ – положение фокуса в отсутствие усиления, $\boldsymbol{F}$ – положение фокуса при усилении)

Таблица 5. **Фокусные расстояния «термолинзы» для различных напряжений накачки, полученные по двум методам**

Напряжение накачки, В	$\boldsymbol{f}_{\text{тл}}$**, м (интерферометрический метод)**	$\boldsymbol{f}_{\text{тл}}$**, м (система анализа дефокусировки пучка в различных плоскостях)**
2500	$35{,}2^{+5{,}3}_{-4{,}0}$	$45{,}4^{+8{,}8}_{-6{,}3}$
2750	$33{,}6^{+5{,}1}_{-3{,}8}$	$34{,}4^{+4{,}7}_{-3{,}7}$
3000	$27{,}0^{+2{,}6}_{-3{,}1}$	$30{,}7^{+3{,}7}_{-3{,}0}$

АЭ при накачке проявляет свойства отрицательной линзы. Разница в значениях фокуса термолинзы, полученных с использованием различных методов, обусловлена большой погрешностью вычисления фокуса термолинзы при помощи системы анализа дефокусировки пучка в различных плоскостях. Погрешность возникает из-за дискретности значений смещения фокуса $\Delta\boldsymbol{F}_{\text{полн}}$, а также ввиду визуальной оценки положения фокусного пятна на изображении с камеры.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Титаренко Н.Ю., Лобода Е.А., Какшин А.Г. Исследование спектрально-люминесцентных характеристик неодимовых стекол // «Молодежь в науке». Сборник докладов 19-й научно-технической конференции . – Саров : ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ». 2021. С. 350-356.
2. Авакянц Л.И., Бужинский И.М., Корягина Е.И., Суркова В.Ф. Характеристики лазерных стекол (справочный обзор) // Квантовая электроника. 1978. Т. 5. №. 4. С. 725-752.

МАГИСТРЫ

Победители конкурса на «Лучшую научно-исследовательскую выпускную квалификационную работу магистров Университета ИТМО»

Alumnus
Antonova Anastasia Denisovna
department of Biotechnology (FBT)
Academic direction: 19.04.01 – Biotechnology
e-mail: nastya.antonova.99@mail.ru

Scientific supervisor
Naumenko Natalya Vladimirovna
Doctor of Engineering, Associate Professor
e-mail: naumenko_natalya@mail.ru

UDC 664.871.1

STUDY OF THE APPLICABILITY OF VEGETABLE INGREDIENT BASED ON SPROUTED WHEAT GRAIN IN THE TECHNOLOGY OF SOUP FROM FISH BY-PRODUCTS

The work was carried out within the framework of the research subject №1 «Study of the applicability of vegetable ingredient based on sprouted wheat grain in the technology of soup from fish by-products».

In recent decades one of the most promising trends in food production technology has been the combination of various raw materials. This makes it possible to significantly increase the nutritional and biological value of the finished product and makes it possible to create high-quality, varied, complete products.

Whole grain raw materials and products based on them have gained significant popularity in the consumer market due to their high content of components beneficial for human health, such as soluble dietary fibers, vitamins, antioxidants, and other bioactive substances, and are increasingly being used in food industry technologies. Activation of biochemical processes in the grain during germination leads to the accumulation of easily digestible sugars, amino acids, vitamins and minerals, as well as the formation of natural antioxidants, which is very important in the direction chosen by the government on healthy eating people. Analysis of literature, scientific information, and experimental materials by domestic and foreign authors on this issue allows us to say that the development of a unified method for sprouting cereal crops is not feasible. This is a complex multifactorial process that involves the development of individual methods for influencing grain, technological modes, and process parameters. It can be noted that the most promising approach for creating a sprouting process today is the use of physical methods to activate the accumulation of nutrients, with the treatment being carried out under strict temperature control [1].

The main trend in the fishing industry in recent years has been the deep processing of raw fish in order to maximize the extraction of edible parts. Despite the increase in fish production, there is still a problem of obtaining and disposing of a significant amount of secondary raw materials in fish processing [2].

Broths and soups are an integral part of a balanced human diet, serving as a source of basic nutrients (proteins, fats and carbohydrates). The main advantages of fish broths are quick preparation (since fish does not require long cooking) and increased content of high-grade proteins, in particular collagen, macro- and microelements, and vitamins. In the works of E.M. Panchishina and co-authors [3] the technological methods of production of fish broths from secondary fish raw materials using heat and enzymatic treatment and soups on their basis are substantiated. The completeness of the extraction of nutrient components and functional and technological properties of broths affect both the type of raw materials used and the processing modes. The disadvantages of these methods include, for example, the fact that when using collagen-containing raw materials heat treatment leads to a significant decrease in organoleptic properties, the appearance of turbidity due to the formation of glutin, which requires the use of special technological operations for its clarification. When

processing waste bone fillets there remains a significant proportion of components that do not pass into the liquid fraction.

The aim of this work was to determine the most effective technology for obtaining a plant-based ingredient based on sprouted wheat grain and placing it in a food system of broth made from fish by-products.

The analysis of the information obtained allowed us to identify the most important stages of the germination process and its controlled parameters, and during reconnaissance experiments, a variation of technological parameters was established, as shown in Figure 1 (the red colour indicates the parameters to be varied).

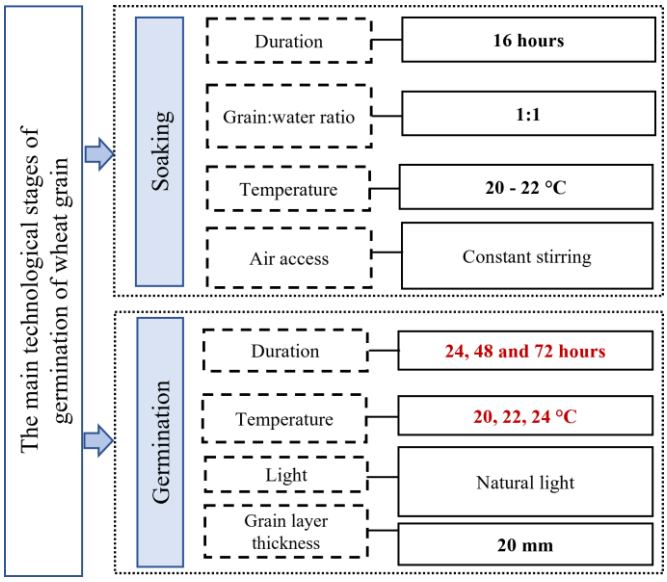


Fig. 1. Experimental diagram of the technological stages of germination of wheat grain samples

All studies were conducted in stages, according to the research design presented (Fig. 2).

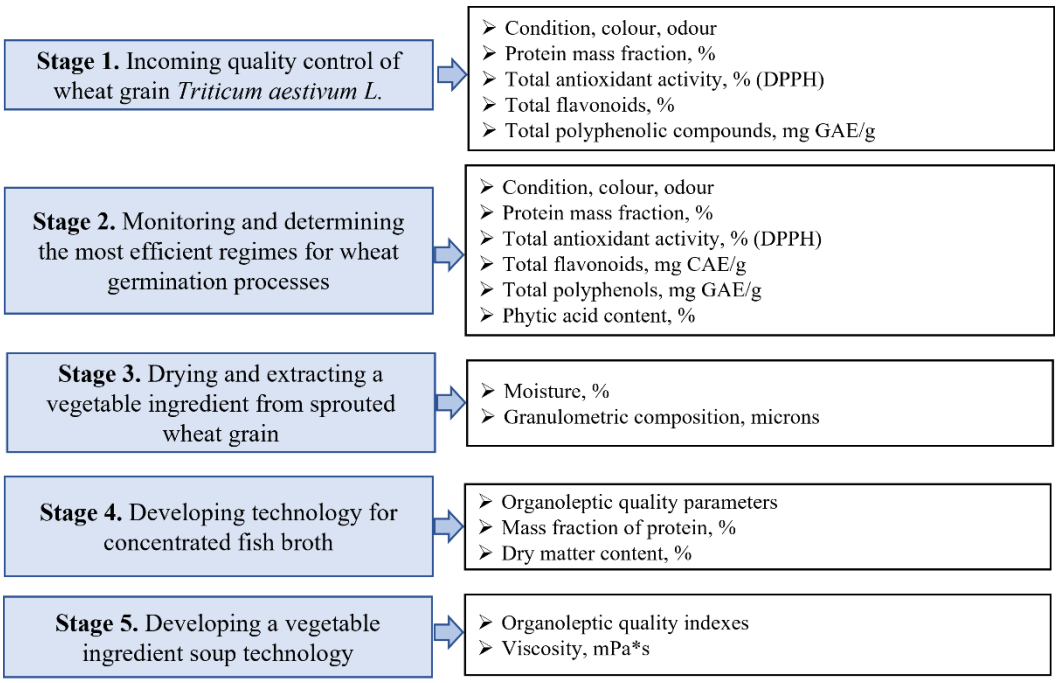


Fig. 2. Study design and indicators to be determined

Two-factor planning was used to identify the most effective germination regimes. System temperature (20, 22, 24%) and germination duration (24, 48, 72 hours) were used as variables. The control variables were: protein mass fraction, antioxidant activity, % (DPPH); flavonoid content, mg

CAE/g and polyphenolic compounds, mg GAE/g. Taking into account the physical meaning of the values to obtain the maximum amount of protein and antioxidant activity of wheat grain after germination, the following regime was determined as rational: germination temperature – 24.2 ± 0.6℃, process duration – 46.7 ± 2.3 hours.

The next step was to determine the parameters of the wheat grain prototype such as grain size distribution, as this parameter significantly affects the incorporation of the plant raw ingredient into the fish broth system.

The fish broth was produced through a controlled process involving heat treatment and targeted proteolysis of fish raw materials, which consisted of the skin, meat cuts, and backbone obtained by precisely sectioning raw cod fish. The developed methods for obtaining fish broth, as outlined in the provided technological scheme, encompass parameters that ensure the production of a fish broth with superior organoleptic characteristics, as well as high nutritional and biological value (Fig. 3).

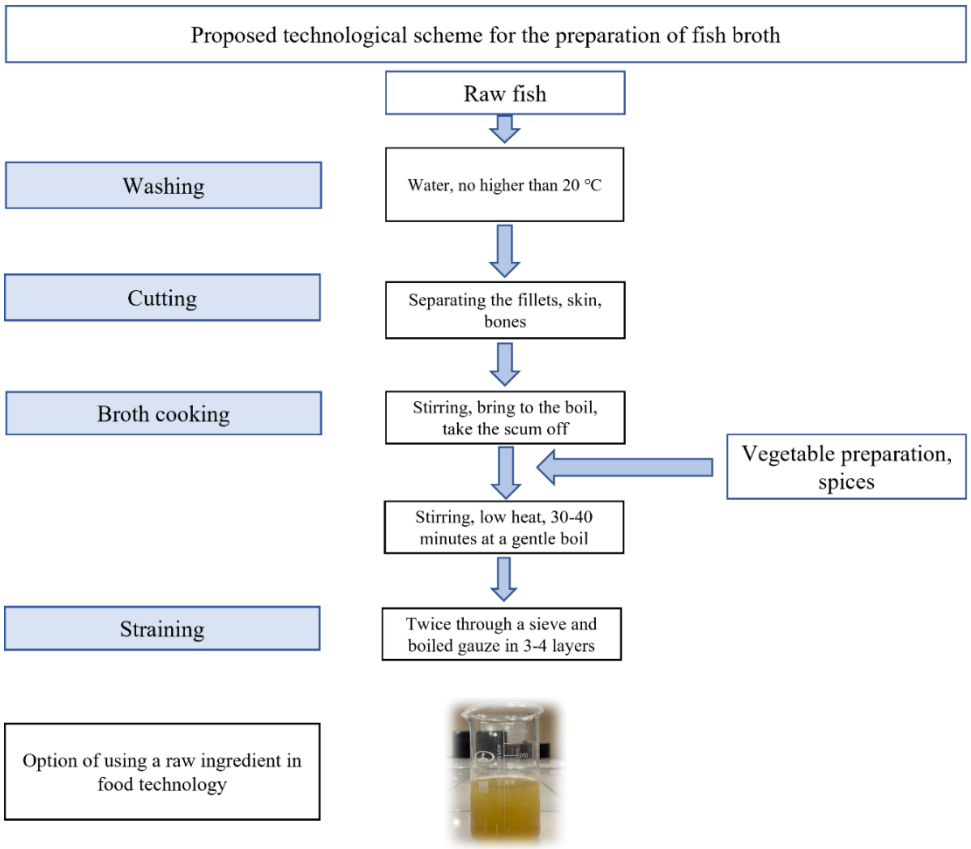


Fig. 3. Technological scheme for the production of fish broth as a ready-made product for active longevity

In order to identify the most effective ratio of the obtained vegetable raw ingredient and used fish broth in the technology of soup production, a variation of parameters was carried out. Dilution of concentrated broth with drinking water in the ratio (1:0; 2:1; 1:1) and percentage of vegetable raw ingredient from sprouted wheat grain (10, 15, 20%) were used as variables.

The results show that adding the raw ingredient to a more diluted system produces a product with low viscosity values and can be consumed "on the run" as a drinking "snack". The use of a concentrated broth with 20% of the raw ingredient based on germinated wheat grains results in a system with the highest viscosity values and a product with a sufficiently concentrated matrix and rich flavour. This spread of index "Viscosity, mPa*s" from 2,63±0,32 to 1,1±0,22 mPa*s would enable each consumer to select individually broth concentration and quantity of introduced raw ingredient in order to obtain organoleptic properties of ready soup from fish subproducts which best correspond to consumer's preferences.

Figure 4 visually represents the sequential steps and relationships involved in the production and integration of the vegetable ingredient, providing a comprehensive overview of the developed process flow diagram for use in further research and industrial applications.

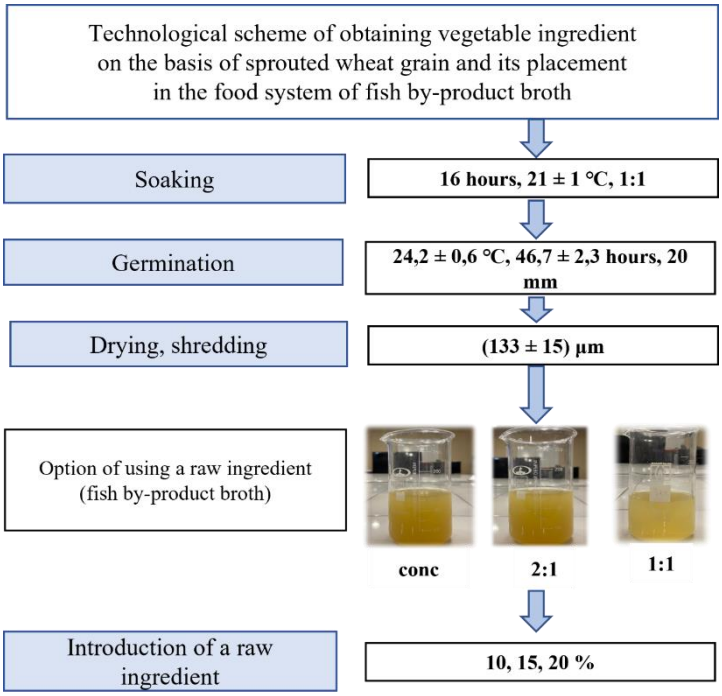


Fig. 4. Technological scheme for obtaining a vegetable ingredient based on sprouted wheat grain and its placement in the food system of fish by-product broth

In the course of the work justification of the use of whole wheat grain by obtaining raw ingredients of high nutritional value and their inclusion in the formulation of food products was carried out. The results of physical and organoleptic indicators of the ingredients and the finished product were obtained, technological methods and techniques were developed and justified. At present the developed technology of concentrated fish broth is already implemented at AGAMA production facilities, the product is being sold in testing mode.

In the future it is planned to scale up technological processes, certify the product and obtain a patent, as well as to expand the range of broths produced by introducing researched and processed vegetable raw materials.

REFERENCES

1. Safronova T.N., Kazina V.V., Safronova K.V. Development of technological parameters of wheat grain germination // Technique and technology of food production. Kemerovo. 2017. №. 1 (44). Pp. 37-43.
2. Coppola D., Palma Esposito F., Riccio G., Rizzo C., D. de Pascale Fish Waste: From Problem to Valuable Resource // Mar Drugs. 2021. №. 19 (2). P. 116.
3. Panchishina E.M., Krashchenko V. Obtaining fish broths based on partial fermentative processing of food waste salmon // Priority directions of science and technology development: reports of IX All-Russian scientific and technical conference / ed. by E.M. Sokolov. – Tula: "Innovation Technologies" Publishing House. 2011. Pp. 173-174.

Выпускник
Гончаров Роман Константинович
научно-образовательный центр фотоники и оптоинформатики
Направление подготовки: 12.04.03 – Фотоника и оптоинформатика
e-mail: rkgoncharov@itmo.ru

Научный руководитель
Киселев Алексей Донославович
д.ф.-м.н., доцент
e-mail: alexei.d.kiselev@gmail.com

УДК 530.145

РАЗРАБОТКА СХЕМЫ КВАНТОВОГО ПОВТОРИТЕЛЯ НА МНОГОМОДОВЫХ КОГЕРЕНТНЫХ СОСТОЯНИЯХ

Работа выполнена в рамках темы НИР № 622287 «Программное обеспечение для решения задач оптимизации систем квантовой криптографии».

Одной из ключевых проблем квантовых коммуникаций является генерация квантовых состояний с большой точностью воспроизведения, запутанных между удалёнными узлами [1]. В большинстве подходов к этой проблеме фотоны являются носителями информации, которые могут функционировать как т.н. «летящие» кубиты (единицы квантовой информации). Основная трудность заключается в том, что фотоны подвержены потерям (оптическому поглощению) и другим вызванным шумом возмущениям, присутствующим в фотонных каналах, таких как оптические волокна и турбулентная атмосфера. Из-за экспоненциальных потерь для фотонов, распространяющихся в оптических волокнах, достижимые расстояния ограничены примерно 200 км и передача запутанности на глобальные расстояния (тысячи километров) становится сложной задачей. Концепция квантовых повторителей (КПв) была предложена в [2] как метод преодоления этого ограничения.

КПв предполагает разделение канала передачи на несколько сегментов (элементарных звеньев). Первый шаг — подготовить запутывание между двумя узлами (на концах) каждого звена. Затем на следующем шаге используется переброс запутанности между соседними звеньями для передачи запутанности на значительные расстояния в целевые точки масштабной квантовой сети.

Среди множества фотонных квантовых состояний, используемых в протоколах КПв, значительное внимание к себе привлекли когерентные состояния [3] как состояния, которые относительно легко приготовить и контролировать.

Многомодовые когерентные состояния также обеспечивают потенциально многообещающий источник многочастной запутанности [4], необходимой для создания разветвлённых квантовых сетей. В основе настощей работы лежит подход к КПв, основанный на таких состояниях. В частности, представлена и теоретически изучена схема КПв, в которой используются многомодовые когерентные состояния, генерируемые электрооптической фазовой модуляцией суперпозиции когерентных состояний (т.н. состояний кота Шрёдингера, далее также — состояния кота). Такой подход, также именуемый методом кодирования на боковых частотах (БЧ), показал свою полезность в однопроходных, plug-and-play (P&P), схемах квантового распределения ключа (КРК), в КРК на непрерывных переменных и в КРК с недоверенным приёмным узлом [5]. Область применения этого метода не ограничивается указанными выше протоколами, и, благодаря его устойчивости к искажениям окружающей среды оптоволоконной линии, схеме без интерферометра и возможности мультиплексирования. Для такого метода, основанного на электрооптической фазовой модуляции, исследуется как генерация объявленной запутанности в элементарных звеньях, так и процедуры переброса запутанности, используемые для создания и распределения

запутанности между широкополосными квантовыми запоминающими устройствами (квантовая память (КПм)).

По сравнению со схемами КПв на основе управляемых светоделителей (см., например, работу [3]), электрооптический фазовый модулятор является более гибким инструментом. В практической реализации использование такого инструмента открывает новые возможности, такие как возможность управления перебросом запутанности путём выбора различных боковых мод и быстрой настройки взаимной фазы между отправителем и получателем. Тем не менее такой подход является конвенциональным в контексте непосредственного обмена информацией. Важной особенностью разрабатываемой схемы КПв является то, что её можно связать с реальной экспериментальной схемой детектирования, и её применимость выходит за рамки протоколов КПв. Таким образом, актуальность работы подтверждается проработанным техническим уровнем различных её аспектов (схемы КПв, КПм и применение многомодовых когерентных состояний), которые далее будут рассмотрены в совокупности. Ещё одним из преимуществ использования запутанных многомодовых состояний является то, что моды, в принципе, могут быть распределены и сохранены в КПм, расположенной в разных узлах квантовой сети топологии «звезда». Поскольку эти моды частотные, можно использовать DWDM демультиплексор для их отправки в различные узлы сети.

Конечной целью настоящей работы является разработка схемы квантового повторителя на многомодовых когерентных состояниях, который может быть интегрирован в современную волоконную инфраструктуру и в существующие университетские, городские и междугородние квантовые сети.

Таким образом, в рамках исследования должны быть решены следующие задачи:

- анализ элементарного звена квантового повторителя с применением метода боковых частот;
- оценка точности воспроизведения квантовых состояний с учётом явления декогеренции квантового канала и неидеальной системы детектирования;
- анализ схемы переброса запутанности;
- оценка области возможного использования результатов работы и возможность их практического применения (степень готовности к внедрению).

Выходными данными являются разработанный и описанный протокол квантового повторителя с учётом технического уровня разработок в области квантовой теории информации и квантовых коммуникаций.

На рисунке 1 представлена оптическая схема элементарного звена, создающего запутанность между двумя удалёнными точками (отправителем и получателем) с применением метода фазовой модуляции.

В этом методе пользователи используют электрооптические фазовые модуляторы для создания локальных многомодовых запутанных состояний путём модуляции суперпозиций одномодовых когерентных состояний, известных как состояния кота Шрёдингера:

$$\left|\Psi_{\pm}^{(A)}(\alpha)\right\rangle = \frac{1}{\sqrt{M_{\pm}(\alpha)}}\left|\alpha^{(\pm)}\right\rangle_A, \quad \left|\Psi_{\pm}^{(B)}(\beta)\right\rangle = \frac{1}{\sqrt{M_{\pm}(\beta)}}\left|\beta^{(\pm)}\right\rangle_B,$$

$$\left|\alpha^{(\pm)}\right\rangle_A = |\alpha\rangle_A \pm |-\alpha\rangle_A, \quad \left|\beta^{(\pm)}\right\rangle_B = |\beta\rangle_B \pm |-\beta\rangle_B,$$

$$M_{\pm}(\boldsymbol{\alpha}) = 2\left(1 \pm \exp\left(-2|\boldsymbol{\alpha}|^2\right)\right), \quad |\boldsymbol{\alpha}|^2 = \sum_{\mu=-S}^{S}\left|\alpha_\mu\right|^2.$$

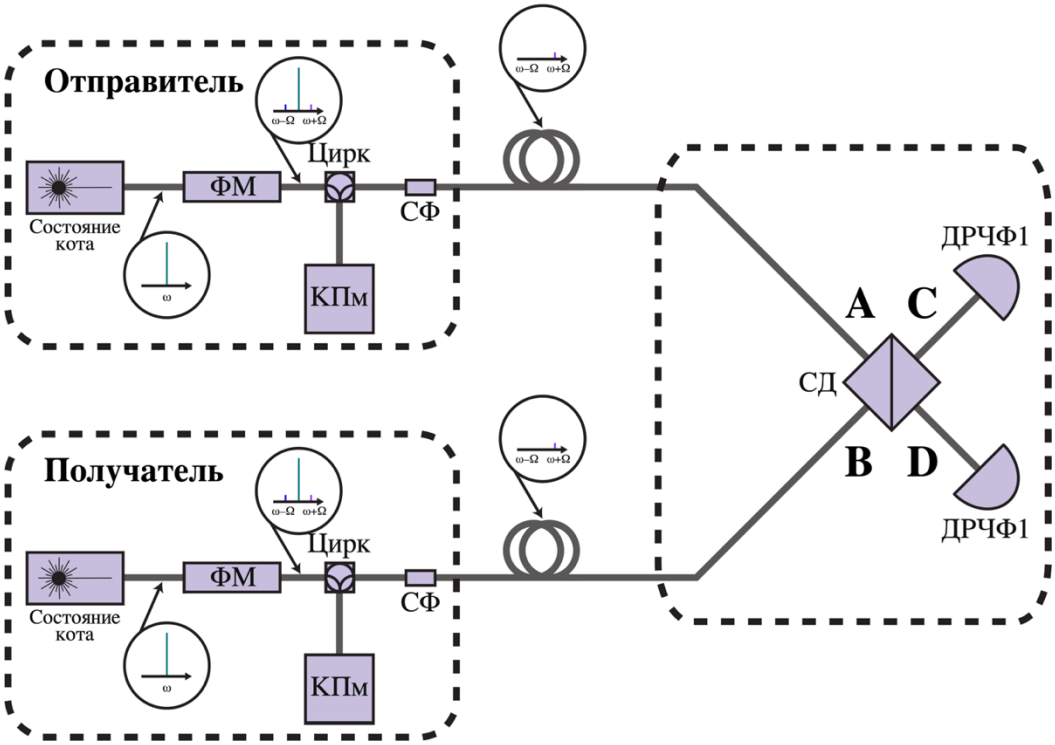


Рис. 1. Оптическая схема элементарного звена КПв на БЧ. Состояние кота — источник состояний кота Шрёдингера, ФМ — электрооптический модулятор, Цирк — циркулятор, СФ — спектральный фильтр, КПм — квантовая память, СД — светоделитель, ДРЧФ — детектор, разрешающий число (чётность) фотонов. На диаграммах в кружках упрощённо показано абсолютное значение спектра сигнала с учётом только боковых полос первого порядка

Важным преимуществом использования быстрых фазовых модуляторов является то, что пользователи могут активно управлять состояниями выхода, изменяя индекс модуляции (долю энергии, переносимую на боковые компоненты) и вносимую фазу.

В данной схеме генерации объявленной запутанности предполагается, что отправитель и получатель посылают часть мод, которые входят в их многомодовые состояния кота, $\left|\Psi_{\nu'}^{(A)}\right\rangle$ и $\left|\Psi_{\nu'}^{(B)}\right\rangle$ (уравнения (1), (2), (3)), на симметричный (50:50) светоделитель и оценивают вероятности $P_{\mu}^{(\nu'\nu)}$ для трёх ортогональных состояний (вакуумного состояния, антисимметричного и модифицированного (т.е. без учёта вакуумной составляющей) симметричного кота на выходных портах светоделителя для различных пар $(\nu'\nu)$ входных состояний кота:

$$P_{\pm}^{(+)} = \tanh^2|\alpha|^2\, P_{\pm}^{(-)},$$

$$P_{-}^{(-)}\left(r_{bs},|\alpha|^2\right) = \frac{\sinh\left(2\left(1-r_{bs}\right)|\alpha|^2\right)\sinh\left(2r_{bs}|\alpha|^2\right)}{4\sinh^2\left(|\alpha|^2\right)},$$

$$P_{+}^{(-)}\left(r_{bs},|\alpha|^2\right) = \frac{\cosh\left(2\left(1-r_{bs}\right)|\alpha|^2\right)\sinh^2\left(r_{bs}|\alpha|^2\right)}{2\sinh^2\left(|\alpha|^2\right)},$$

$$|\alpha|^2 = \left|\boldsymbol{\alpha}_{\mathrm{qm}}\right|^2 + \left|\boldsymbol{\alpha}_{\mathrm{bs}}\right|^2, \quad \left|\boldsymbol{\alpha}_{\mathrm{bs}}\right|^2 = r_{\mathrm{bs}}|\alpha|^2.$$

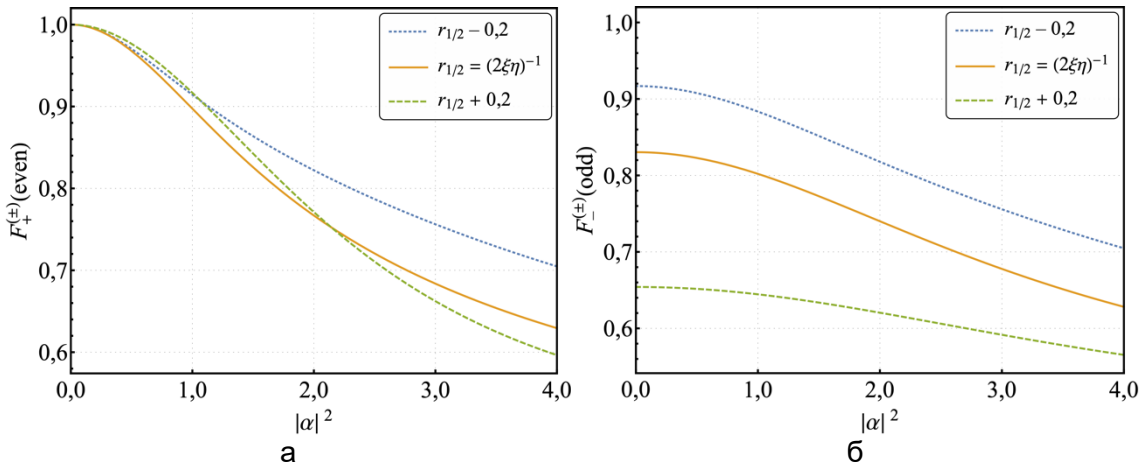
Квантовый канал может быть смоделирован в форме расширения Стайнспринга и соответствует оптическому волокну с коэффициентом пропускания η. Для объявляющих событий, определяемых чётностью фотонов p_c, регистрируемых фотодетектором с эффективностью ξ, установлено, что условные вероятности детектирования $\mathrm{Prob}\left(k|\ \mu,\nu'\nu\right)=P\left(k|\ \mu'\right)$, $(\mu'=\nu'\nu\mu)$ дают вероятности успеха $P_s^{(\nu'\nu)}(p_c)$, выраженные через $P_\mu^{(\nu'\nu)}$ с отношением перенормированного среднего числа фотонов: $\zeta=\xi\eta r_{\mathrm{bs}}$ (выражения (4), (5), (6), (7)).

Исходя из величины точности воспроизведения $F_\mu^{(\nu'\nu)}(p_c)$, может быть сформирована конечная матрица плотности:

$$\hat{\rho}_{AB}\left(p_c|\ \nu'\nu\right)=\sum_{\mu=\pm}F_\mu^{(\nu'\nu)}(p_c)\left|\Psi_\mu^{(AB)}\left(\alpha_{\mathrm{qm}},\alpha_{\mathrm{qm}}\right)\right\rangle\left\langle\Psi_\mu^{(AB)}\left(\alpha_{\mathrm{qm}},\alpha_{\mathrm{qm}}\right)\right|,$$

$$F_\mu^{(\nu'\nu)}(p_c)=\frac{\mathrm{Prob}\left(p_c,\mu|\ \nu'\nu\right)}{P_s^{(\nu'\nu)}(p_c)}.$$

Величины точности воспроизведения, характеризующие качество генерируемой запутанности, являются монотонно убывающими функциями амплитуды $|\alpha|$ (уравнения (8), (9) и рис. 2).



а б

Рис. 2. Величины точности воспроизведения для симметричных (а) и антисимметричных (б) состояний. Параметр $r_{1/2}$ фиксируется как $r_{1/2}\equiv(2\xi\eta)^{-1}$ с η = 0.95, ξ = 0.9. Поведение кривых при изменении параметра также отражено

Из результатов следует, что для создания высококачественных запутанных состояний требуется, чтобы амплитуда когерентного состояния была достаточно малой. В этой области наибольшие значения вероятности успеха соответствуют нечётному числу щелчков либо для двух антисимметричных входных состояний (объявленное состояние кота преимущественно антисимметрично), либо для двух состояний разной симметрии (объявленное состояние кота преимущественно симметрично). Напротив, в области низких амплитуд вероятность успеха для пары входных симметричных состояний кота пренебрежимо мала. Важно, что существует компромисс между вероятностью успеха и точностью воспроизведения, которую необходимо оптимизировать.

Таким образом, проведённый анализ свидетельствует о реализуемости предложенной схемы для антисимметричных состояний кота и относительно коротких расстояний до центрального узла. В общем, подходы к созданию КПв, использующие фазовую модуляцию

для приготовления многомодовых когерентных состояний и манипуляции над ними, могут привести к многообещающим методам генерации и распределения запутанности.

Практическая значимость будущих исследований по тематике может состоять в:

- использовании текущего результата при создании экспериментальных образцов КПв;
- использовании текущего результата при проектировании и построении городских квантовых сетей и междугородних квантовых сетей с доверенными и недоверенными узлами. В частности, результаты могут быть интегрированы в уже существующий пилотный участок квантовой сети «Санкт-Петербург–Москва»;
- расширении возможных топологий квантовых сетей с применением многомодовых состояний;
- использовании текущего результата при реализации схем квантовой телепортации.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Gisin N., Thew R. Quantum communication // Nat. Photonics. 2007. Vol. 1. №. 3. https://doi.org/10.1038/nphoton.2007.22/.
2. Briegel H.-J.H.-J. et al. Quantum repeaters: the role of imperfect local operations in quantum communication // Phys. Rev. Lett. APS. 1998. Vol. 81. №. 26. P. 5932.
3. Sangouard N. et al. Quantum repeaters with entangled coherent states // J. Opt. Soc. Am. B. 2010. Vol. 27. №. 6. P. A137.
4. Ra Y.-S. et al. Non-Gaussian quantum states of a multimode light field // Nat. Phys. Nature Publishing Group. 2020. Vol. 16. №. 2. Pp. 144-147.
5. Chistiakov V. et al. Feasibility of twin-field quantum key distribution based on multi-mode coherent phase-coded states // Opt. Express. Optical Society of America, 2019. Vol. 27. №. 25. Pp. 36551-36561.

Выпускник
Жмудь Кира Викторовна
образовательный центр "Энергоэффективные инженерные системы"
Направление подготовки: 16.04.03 – Холодильная, криогенная техника и системы жизнеобеспечения
e-mail: kzmud@mail.ru

Научный руководитель
Баранов Игорь Владимирович
д.т.н., профессор
e-mail: barigor@mail.ru

Научный консультант
Захарова Виктория Юрьевна
к.т.н., доцент
e-mail: vizakharova@itmo.ru

УДК 697.911

РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ПРИ ЗАРЯДКЕ АККУМУЛЯТОРА ХОЛОДА

Работа выполнена в рамках тем НИР № 622295 «Экологически безопасные технологии энергосбережения и повышения эффективности низкотемпературных систем и преобразователей энергии» и № 620150 «Повышение эффективности энергетических систем путем использования аккумуляторов тепловой энергии».

В связи с растущим спросом на энергию всё более актуальными становятся энергоэффективные технологии, особенно большой потенциал энергоэффективные технологии имеют в сфере отопления, вентиляции и кондиционирования (ОВиК), для которой характерны высокие значения потребляемой энергии. Аккумуляторы холода являются одной из энергоэффективных технологий, которые используются в сфере ОВиК. Также, подобные аккумулятора тепловой энергии помогают решить проблему непостоянства получаемой электроэнергии при использовании возобновляемых источников энергии, таких как ветер и солнце.

В системах хладоснабжения аккумуляторы холода предназначены для поглощения пиковых нагрузок потребления холода. Одним из видов таких аккумуляторов является аккумулятор холода с фазовым переходом: в таких аккумуляторах вещество с фазовым переходом (ВФП) аккумулирует тепловую энергию. Чаще всего используется фазовый переход жидкость-твердое тело: в таком случае в процессе зарядки ВФП замерзает и в процессе разрядки ВФП размораживается. Главное преимущество аккумуляторов скрытой теплоты перед аккумуляторами холода явной теплоты является бóльшее значения плотности аккумулируемой энергии за счёт теплоты фазового перехода ВФП. В одном из видов аккумулятора холода с фазовым переходом ВФП хранится в сферических капсулах – именно такая капсула рассматривается далее в работе.

Подобные аккумуляторы используют в системах ОВиК для повышения эффективности и сокращения потребления электроэнергии и, следовательно, вредоносных выбросов, таких как CO_2. Особенно актуальным считается применение подобных аккумуляторов в системах кондиционирования. ВФП могут быть использованы для поглощения холода хладагента в непиковые часы и выделения его при пике потребления, снижая нагрузку на компрессор и повышая общую эффективность системы. На рисунке 1 показана работа аккумулятора холода за сутки при использовании в системе кондиционирования. В работе особое внимание уделено расчёту времени зарядки аккумулятора, так как системы кондиционирования больших общественных объектов работают ежедневно в заданные часы, и ежедневно на зарядку отводится определенное время, поэтому крайне важно знать эту величину при проектировании системы кондиционирования с аккумулятором.

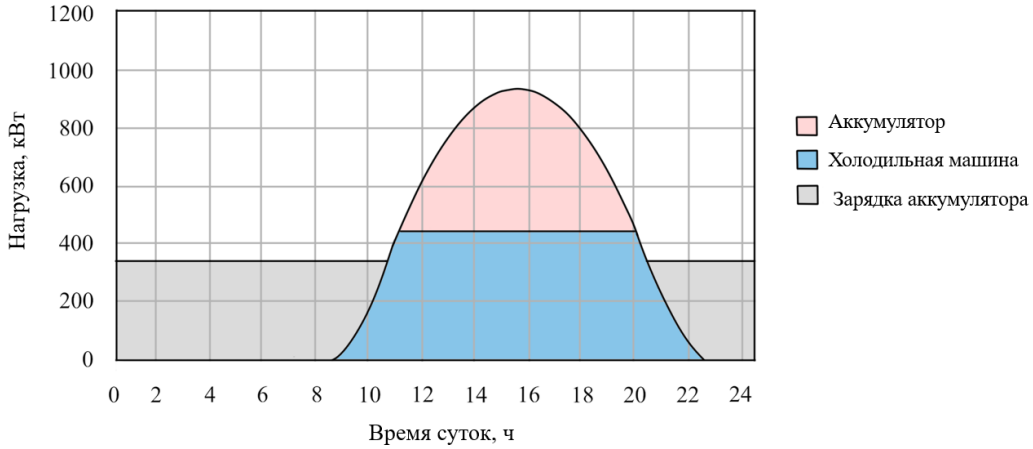


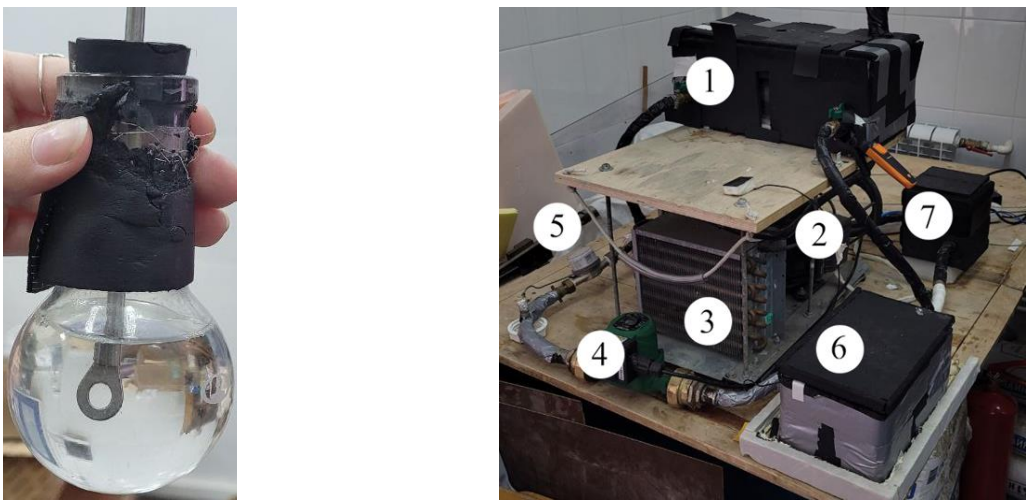
Рис. 1. Профиль нагрузки на систему холодоснабжения системы кондиционирования при использовании аккумулятора холода

Для подбора оптимального аккумулятора холода с ВФП используются математические расчеты и компьютерные модели. Одним из самых используемых программных обеспечений для подобных расчетов является ANSYS Fluent, где можно рассчитывать фазовые переходы со сложной геометрией и граничными условиями. Моделирование фазового перехода в программе ANSYS Fluent освещается в научной литературе, однако с фокусом только на процесс разморозки. На данный момент нет полного подробного описания модели заморозки сферической капсулы с ВФП.

Целью данной работы является поиск адекватной математической модели для расчёта процесса зарядки аккумулятора холода с фазовым переходом с помощью компьютерного и математического моделирования.

Экспериментальное исследование процесса заморозки капсул с н-тетрадеканом

Проведён эксперимент на экспериментальном стенде, созданном для изучения фазового перехода ВФП жидкость-твердое тело. В эксперименте замораживаются в контуре холодильной машины четыре колбы со 100 мл н-тетрадекана в каждой колбе. Н-тетрадекан или $C_{14}H_{30}$ – это парафин, который можно использовать в качестве ВФП в системах кондиционирования, что связано с его теплофизическими свойствами, а в особенности с температурой затвердевания 6,1°C, так как для систем кондиционирования важна температура 5–10°C. В качестве капсулы для ВФП используется стеклянная колба диаметром 64 мм. В качестве хладагента используется водный раствор пропиленгликоля 25%. Исследуемая колба с н-тетрадеканом с термопарой внутри и экспериментальный стенд представлены на рисунке 2.



а б

Рис. 2. а) Колба с н-тетрадеканом; б) Экспериментальный стенд, где 1 – испаритель, 2 – компрессор, 3 – конденсатор, 4 – насос, 5 – расходомер, 6 – ёмкость с капсулами с ВФП, 7 – электрический нагреватель

По результатам эксперимента получены температуры внутри трёх капсул с н-тетрадеканом и время полной заморозки ВФП. Данные экспериментальные результаты используются в дальнейших математических расчётах.

Математическое моделирование процесса зарядки капсулы аккумулятора холода

Также в работе рассмотрены шесть математических моделей времени зарядки из научных статей. В работе рассмотрены аналитические, полуаналитические и численные модели времени заморозки сферической капсулы с ВФП из научных статей 1943–2013 годов.

В таблице 1 приведены исходные данные для расчётов по математическим моделям времени заморозки. Исходные данные включают в себя λ – теплопроводность ВФП, ρ – плотность ВФП, R – радиус сферической капсулы с ВФП, α – коэффициент теплоотдачи между теплоносителем и сферической капсулой, c – теплоёмкость ВФП, $T_{ср}$ – температура теплоносителя, $T_ф$ – температура фазового перехода ВФП, L – теплота фазового перехода ВФП. В процессе расчета колба с н-тетрадеканом упрощена до сферы жидкости, увеличение площади телообмена скомпенсировано уменьшением коэффициента теплопередачи.

Таблица 1. **Исходные данные для расчётов**

λ, Вт/(м·К)	**ρ, кг/м^3**	**R, мм**	**α, Вт/(м^2·К)**	**c, Дж/(кг·К)**	**$T_{ср}$, °C**	**$T_ф$, °C**	**L, кДж/кг**
0,145	762	28	494	2198	-1,6	6,1	215

Компьютерное моделирование процесса зарядки капсулы аккумулятора холода

Для нахождения коэффициента теплоотдачи α используется существующая компьютерная модель бака с четырьмя колбами с н-тетрадеканом [1]. Геометрия модели изменена для работы с экспериментальными данными, геометрия модели представлена на рисунке 3. При создании сетки проведена проверка модели на независимость от сетки, по результатам которой был сделан вывод, что при количестве элементов 2 873 250 сетка не влияет на результаты расчета.

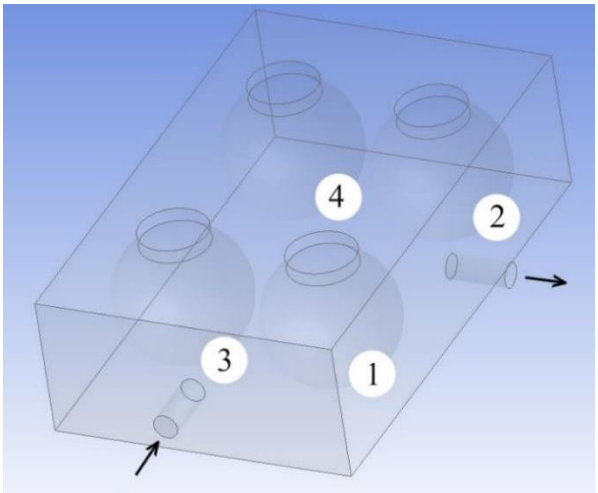


Рис. 3. Геометрия модели теплообмена внутри бака с колбами

Модель бака является стационарной тепловой моделью, где учтена естественная конфекция, так как расчёты показали большое влияние естественной конфекции на результаты моделирования. При моделировании внешние стенки моделируемого бака предполагаются теплоизолированными. Температура стенок колб принимается постоянной и равной температуре плавления ВФП, равной 279,25 К. На входе в бак задаётся температура теплоносителя 271,55 К и скорость на входе и выходе 2,8 л/мин или 0,04807 кг/с.

По данным из 15 научных статей по компьютерным моделям различных фазовых переходом создана компьютерная модель рассматриваемой в эксперименте колбы. При создании сетки проведена проверка модели на независимость от сетки. Для этого проводится моделирование с разными размером сеток и сравниваются результаты по времени заморозки.

Создана структурированная сетка с использованием топологии типа O-H или типа бабочка, популярной для создания сетки окружности. После проверки сетки был сделан вывод, что при количестве элементов 31 773 сетка не влияет на результаты расчета. Конечная структурированная сетка изображена на рисунке 4.

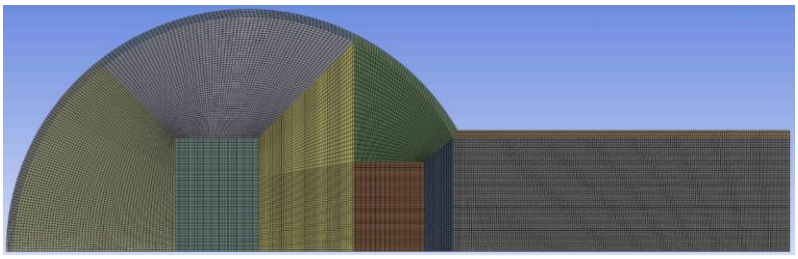


Рис. 4. Сетка осесимметричной модели колбы

В расчётной модели задано граничное условие третьего рода: конвекционный теплообмен между теплоносителем в виде 25% водного раствора пропиленгликоля температурой 271,55 К и стеклянной стенкой колбы с ВФП, погруженной в хладагент, с коэффициентом теплоотдачи, полученным с помощью компьютерного моделирования теплообмена, результаты которого приведены ниже. Также задан конвективный теплообмен при $\alpha = 15$ Вт/(К·м^2) горловины колбы с окружающей средой температурой 293,8 К Начальная температура колбы принята за температуру окружающей среды 293,8 К.

Результаты математического моделирования процесса зарядки

В таблице 2 представлены результаты расчетов времени заморозки сферической капсулы с н-тетрадеканом по шести рассмотренным математическим моделям. Расчёты по большинству моделей показали схожие результаты, среднее относительное отклонение составило 39,7%, что не является оптимальным для расчёта времени зарядки.

Таблица 2. **Сравнение результатов расчётов с экспериментальными данными**

Расчётное время зарядки, мин	Экспериментальное время зарядки, мин	Абсолютное отклонение, мин	Относительное отклонение, %
326,3	240	86,3	35,9
326,3		86,3	35,9
326,3		86,3	35,9
303,2		63,2	26,3
378,7		138,7	57,8
351,9		111,9	46,6

В ходе моделирования стационарного теплообмена между поверхностью колб и хладагентом получены средние по поверхности значения плотности потока, из которых получены значения коэффициента теплоотдачи α (табл. 3). В компьютерных и математических расчётах процесса заморозки используется значение коэффициента теплообмена $\alpha = 534$ Вт/(м^2·К).

Таблица 3. **Результаты моделирования теплообмена в баке**

Капсула	Поверхностный тепловой поток, Вт/м^2	Коэффициент теплообмена, Вт/(м^2·К)
1	2017	284
2	3794	534
3	2156	304
4	3588	505

В результате компьютерного моделирования заморозки сферической капсулы с н-тетрадеканом в программе ANSYS Fluent время полной заморозки составляет 253 минуты, что отличается на 5,4% от экспериментального результата 240 минут. На рисунке 5 также

представлено сравнение расчётных и экспериментальных значений максимальной температуры ВФП в процессе зарядки: в среднем расчётная температура во всем процессе заморозки отличается на 0,6% от экспериментальных данных с максимальным отличием в 4,9% на десятой минуте процесса зарядки.

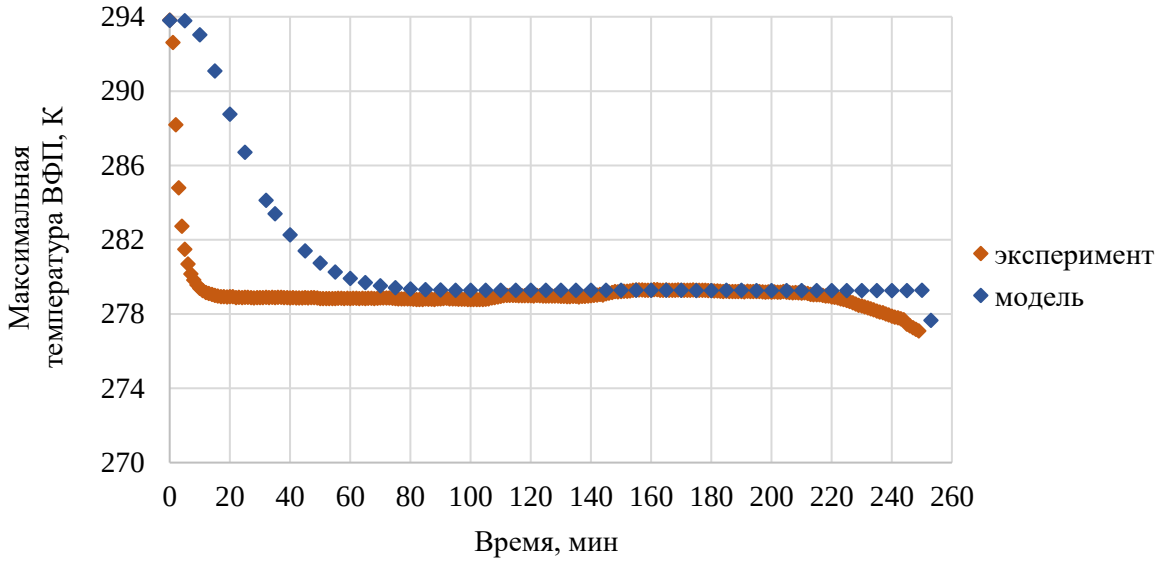


Рис. 5. Изменение максимальной температуры ВФП в процессе заморозки

На рисунке 6 представлен контурный график изменения доли жидкости и температуры в колбе с ВФП в процессе зарядки аккумулятора холода. Характер моделируемого процесса сходится с характером реального процесса, исследуемого в эксперименте, описанном ранее.

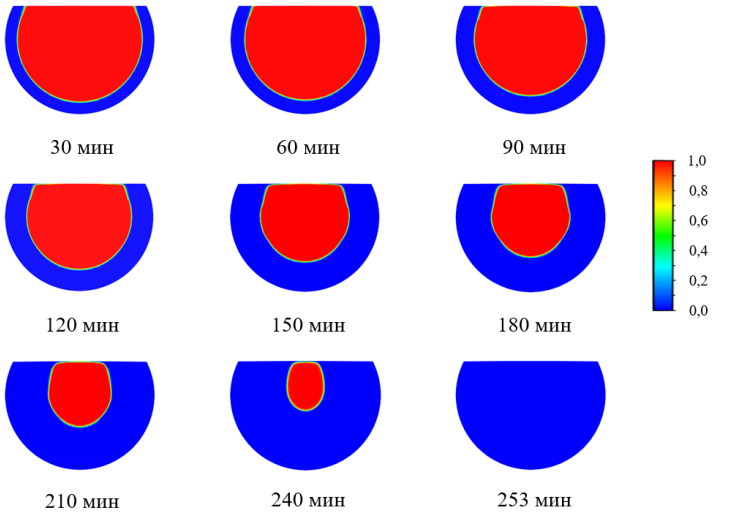


Рис. 6. Контурный график изменения доли жидкости ВФП в процессе зарядки

Существующие математические модели времени заморозки сферической капсулы не показали хорошей сходимости с экспериментальными данными. Для расчёта процесса зарядки оптимально использовать созданную компьютерную модель, описанную в данной работе.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Zakharova V. et al. Experimental and numerical study of non-stationary solid-liquid phase transitions of n-tetradecane // E3S Web of Conferences. EDP Sciences, 2020. Vol. 178. DOI: 10.1051/e3sconf/202017801048.

Выпускник
Кабиев Руслан Аубакирович
институт "Высшая инженерно-техническая школа"
Направление подготовки: 16.04.01 – Техническая физика
e-mail: mega.kabiev@yandex.ru

Научный руководитель
Мирошниченко Георгий Петрович
д.ф.-м.н., профессор
e-mail: gpmirosh@gmail.com

УДК 535.243.25

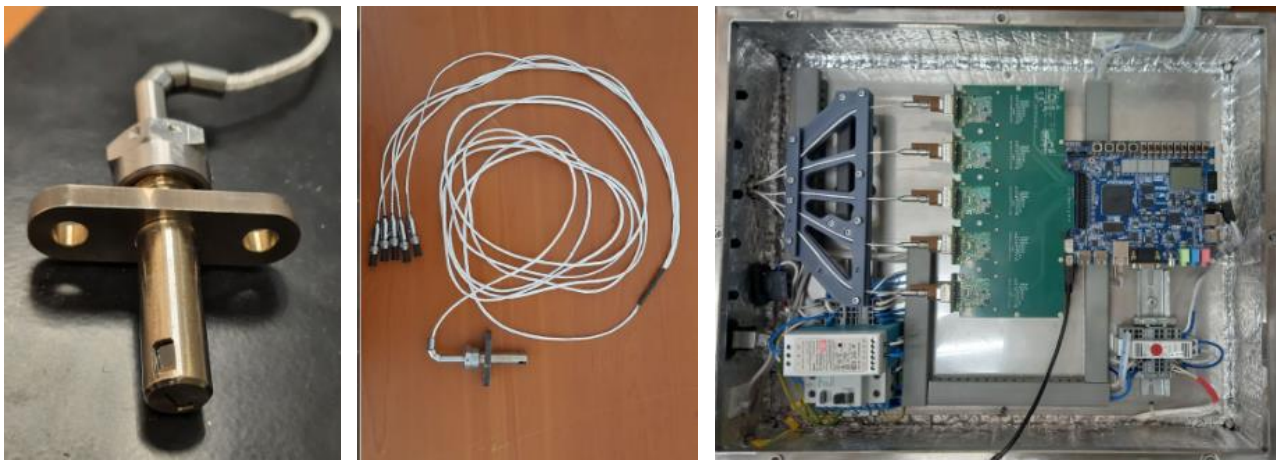
КОМПЕНСАЦИЯ ПРИБОРНЫХ ИСКАЖЕНИЙ И КАЛИБРОВКА ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКОГО ДАТЧИКА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПЛАМЕНИ АВИАЦИОННОГО ДВИГАТЕЛЯ

Температура является мерой теплового состояния системы, определяющая ее возможность передавать тепло и совершать работу над другими системами. В авиационных двигателях температура играет особенно важную роль, так как она определяет производительность двигателя, условия его эксплуатации, срок службы. Превышение допустимых пределов может служить причиной повреждения элементов конструкции, поэтому крайне важно контролировать температуру внутри камеры сгорания и принимать соответствующие меры для ее регулирования.

Особенностью мониторинга тепловых процессов в двигателе являются высокие температуры, превышающие 2000 К. Работа традиционных контактных средств измерения в условиях агрессивной среды ограничена. В процессе длительной эксплуатации термоэлектрического преобразователя происходит неизбежное окисление термоэлектродов, испарение металлов с поверхностей, что приводит к изменению чувствительности термопары.

Описанные ограничения выгодно избегаются применением неинвазивных методов, например, бесконтактной пирометрией. Преимуществом таких подходов является быстрый временной отклик, широкий температурный диапазон, продолжительный срок службы измерительного средства. Стоит также отметить, что бесконтактные методы не порождают погрешностей взаимодействия прибора с исследуемым объектом, а в случае с измерением температуры потока газов не нарушают газодинамические свойства среды внутри камеры сгорания.

Для оценки температуры внутри камеры сгорания газотурбинного двигателя был разработан волоконно-оптический спектральный датчик. Прибор имеет 5 каналов регистрации данных и состоит из трех ключевых частей, которые показаны на рис. 1. Технологическая оснастка предназначена для надежного крепления оптической системы в определенном месте двигателя. Оптическая система внутри оснастки позволяет принимать излучение из выделенных областей внутри камеры сгорания. Область визирования каждого канала имеет конусную форму и расположена в единой плоскости. Волоконно-оптический жгут осуществляет передачу оптического сигнала от технологической оснастки до приемников. Блок приема и обработки сигналов обеспечивает оцифровку оптического сигнала, реализует вычислительную логику и передает обработанные данные на компьютер. В качестве приемников выступают пять мини-спектрометров. Каждый прибор регистрирует сигнал в области 350–850 нм.



а б в

Рис. 1. Фотографическое изображение компонентов датчика: а) технологическая оснастка; б) волоконно-оптический жгут; в) блок приема и обработки сигналов

Сигнал после прохождения через измерительный тракт претерпевает изменения, в результате чего процесс расчета температуры становится некорректным. Жесткое крепление оптических элементов и световодов обеспечивает стабильность приема и передачи излучения из области визирования к входной щели каждого спектрометра. Поэтому основные усилия были направлены на экспериментальное исследование искажений, характерных для спектрометров.

Таким образом, основная **цель исследований** — разработать методику первичной обработки данных, чтобы обеспечить корректную интерпретацию измеряемого сигнала для последующего определения температуры.

Обзор научных публикаций в области измерений с применением матричных спектрометров позволил определить перечень явлений, которые вносят в измеряемый сигнал искажения. Исходя из технических требований и особенностей решаемой задачи, среди всех источников погрешностей были выбраны те, что оказывали существенное влияние на сигнал и требовали рассмотрения в первую очередь. С учетом технического оснащения были подобраны соответствующие методы компенсации наблюдаемых искажений.

Экспериментальные исследования датчика начались с градуировки спектрометров по длинам волн, т. е. сопоставления номера пикселя фотоприемной линейки с центральной длиной волны выделяемой спектральной линии. Для решения данной задачи применялась натриевая дуговая лампа высокого давления. При помощи универсального перестраиваемого спектрометра ASP-150 предварительно был зарегистрирован опорный спектр с разрешением ~0.1 нм. Это позволило выполнить качественную идентификацию спектральных линий лампы при помощи базы данных атомных спектров NIST.

В результате, для каждого измерительного канала был получен полином, описывающий зависимость центральной длины волны от номера пикселя. Пример найденной характеристики продемонстрирован на рисунке 2.

С целью валидации полученных зависимостей было зарегистрировано излучение пропанового пламени с характерными полосами Свана в составе спектра. Для получения спектральных линий натрия и калия на поверхность горелки Мекера-Фишера была добавлена поваренная соль.

Следующие эксперименты были направлены на исследование темнового тока. Он представляет собой электрический сигнал, который генерируется в детекторе при отсутствии света. Корректное устранение данного искажения является крайне важным, так как учет темнового тока является первым шагом при первичной обработке данных. Допущенные ошибки могут оказать негативное влияние при последующей обработке и анализе измеренных сигналов, особенно во время длительной работы прибора.

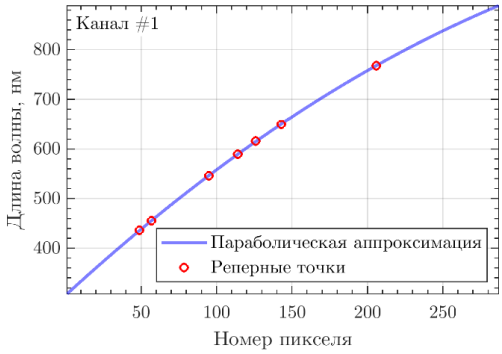


Рис. 2. Пример градуировочной кривой для канала №1

Зарегистрированная в отсутствии света серия спектров в диапазоне времени накопления 0.0108-2070.91 мс позволила определить, что при времени интегрирования 0.0108-3.158 мс уровень темнового тока остается неизменным в пределах флуктуаций шума. Автор статьи [1] объясняет наблюдаемое плато шумом считывания АЦП. Это означает, что во время работы датчика в этом интервале нет необходимости отдельно регистрировать темновой ток, для вычитания может использоваться единый сигнал.

Результаты второго эксперимента имели существенную практическую значимость. В данном случае анализировалась динамика изменения темнового тока после включения прибора. Для этого сигнал при закрытой входной щели непрерывно регистрировался в течение двух часов при выдержке 100 мс. Таким образом, было определено, что система выходит на рабочий режим в течение 20–30 минут. За этот период уровень темнового тока стабилизировался, после чего зарегистрированная характеристика оставалась актуальной в течение продолжительного времени.

Одним из этапов исследования спектрометра является проверка наличия нелинейной реакции приемника на входной сигнал. Нелинейный отклик характеризует разницу между изменениями на входе и выходе спектрометра. В идеальном детекторе величина измеренных отсчетов изменяется пропорционально экспозиции, т. е. падающему на приемник излучению и времени накопления сигнала.

График на рисунке 3 демонстрирует, что используемые детекторы имеют нелинейную зависимость отсчетов АЦП от времени интегрирования. По методике [2] были найдены функции для компенсации нелинейности каждого спектрометра. Коррекция достигалась путем умножения отсчета АЦП на поправочный множитель.

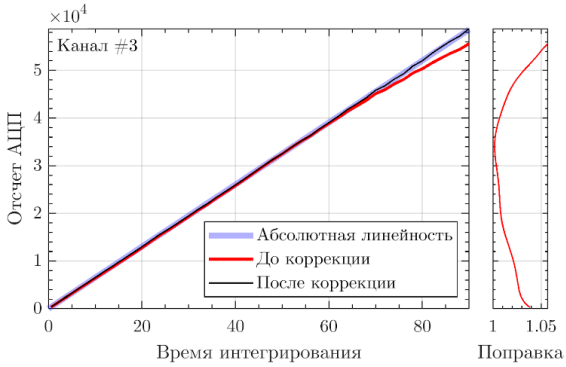


Рис. 3. Демонстрация наличия нелинейности (слева) и функции для ее компенсации (справа)

Наблюдались отклонения сигнала, достигающие 6%. Чтобы уменьшить влияние нелинейности рекомендуется поддерживать уровень расчетной части сигнала не выше 40000 отсчетов.

Каждый оптический элемент датчика имеет индивидуальный спектр пропускания, что вносит дополнительные искажения в исходный сигнал. Калибровка датчика решает проблему

неравномерной спектральной чувствительности. Для этого через всю оптическую систему пропускается излучение с известной формой спектра, после чего рассчитываются поправочные коэффициенты для каждого пикселя путем деления известного значения на зарегистрированное. Калибровка чувствительности данным методом была реализована в ВНИИМ им Д.И. Менделеева, в качестве излучателя использовалась модель абсолютно черного тела (АЧТ), спектр которого зависит от температуры и определяется формулой Планка [3].Пример найденной характеристики показан на рисунке 4.

Данный этап является неотъемлемой частью работы с датчиком, так как процесс расчеты температуры без калибровочной кривой невозможен.

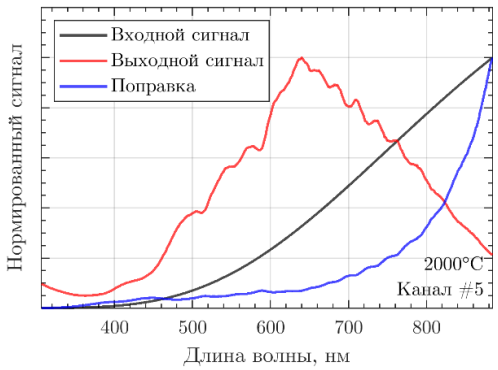


Рис. 4. Калибровка чувствительности при помощи модели абсолютно черного тела

Спектры модели АЧТ были сняты при разных температурах. Это позволило определить рабочий интервал функции коррекции чувствительности путем сравнения отношения двух теоретических спектров с экспериментальными (рис. 5). Так как расчет температуры планировалось производить в интервале 600–700 нм, найденная функция покрывает требуемый интервал длин волн. Причины искажений в диапазоне 350–500 нм рассмотрены далее.

Во время калибровки чувствительности в области коротких длин волн наблюдался посторонний сигнал. Было выдвинуто предположение, что это рассеянный внутри спектрометра свет. Чтобы в этом убедиться проведен дополнительный эксперимент с применением отсекающего фильтра, установленного между технологической оснасткой и галогеновой лампой. Согласно характеристикам фильтра, в области до 600 нм света быть не должно, тем не менее там присутствовал ненулевой сигнал, подтверждающий наличие рассеяний.

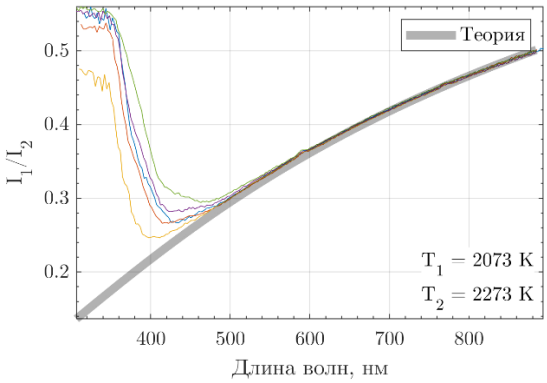


Рис. 5. Оценка рабочего диапазона функции коррекции чувствительности каждого канала

Причиной возникновения рассеянного сигнала являются отражения и рассеяния на оптических элементах и поверхностях внутри спектрометра. Для устранения паразитного сигнала использовалась методика из статьи [4]. Для этого на вход спектрометра нужно подавать узкополосные спектральный линии и измерять отклик системы во всем диапазоне длин волн прибора.

Схема экспериментального стенда показана на рисунке 6. В роли перестраиваемого источника узкополосных спектров был использован двойной монохроматор ДФС-32. Качество выделяемых линий оценивалось путем сравнения со спектрами источников лазерного излучения на длинах волн 405, 532, 632 и 800 нм. Фильтр ЖС-17 использован для отсечения высших порядков дифракции.

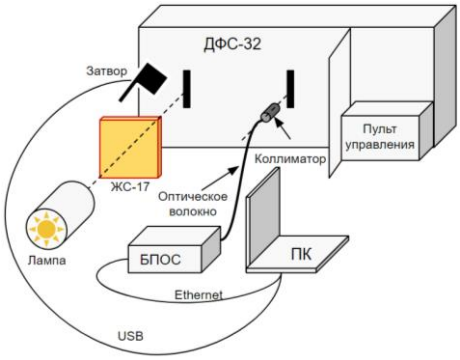


Рис. 6. Схема экспериментального стенда на основе двойного монохроматора ДФС-32 для исследования рассеяния

Как видно на рисунке 7, присутствует внеполосное излучение. При облучении входа датчика светом на длине волны 600 нм, сигнал образуется также и на 830 нм, где его быть не должно. Результаты устранения рассеянного света показаны на рисунке 7.

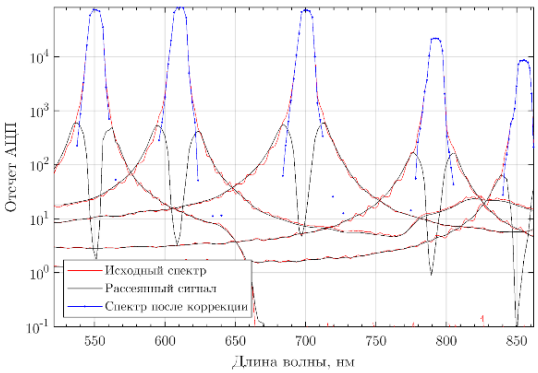


Рис. 7. Оценка эффективности устранения рассеянного света на исходных данных

Было определено, что излучение вне рабочего диапазона спектрометра также вносит искажение в измеряемый спектр (рис. 8), т. е. свет на длине волны 1000 нм прибор не регистрирует напрямую, но регистрирует его паразитный сигнал. Скорректировать такой сигнал описанной методикой нельзя, поэтому в состав оптической системы требуется включение отсекающего фильтра.

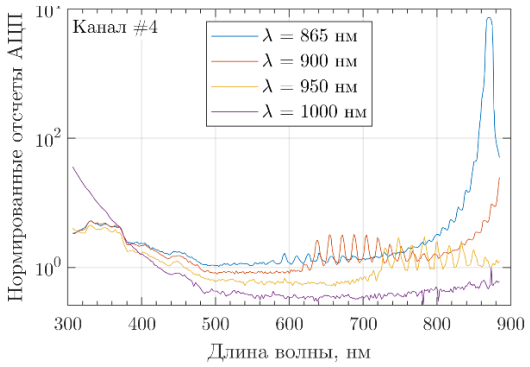


Рис. 8. Экспериментальные отклики спектрометра на излучения вне рабочей области

Результаты исследований и методы коррекции были реализованы в виде алгоритма первичной обработки данных, который состоит из четырех этапов. Исходные отсчеты АЦП и уже обработанные спектры показаны на рисунке 9. Данный алгоритм внедрен в программное обеспечение датчика.

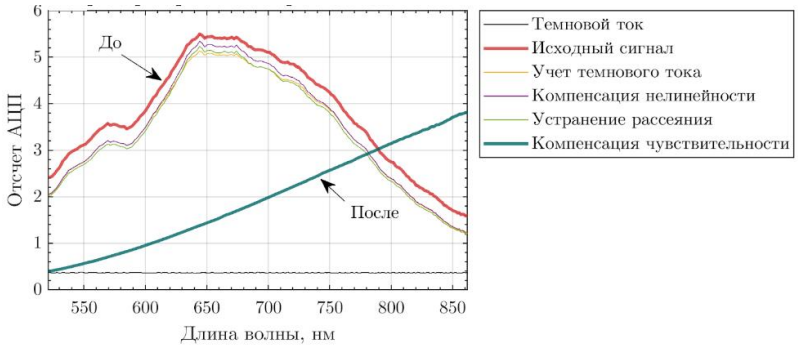


Рис. 9. Пример первичной обработки данных

По результатам исследований была выполнена оценка влияния различных источников искажений на погрешность при расчете температуры путем перевода спектров излучения в координаты Вина [3], отклонения представлены в таблице.

Таблица. **Оценка влияния искажений на погрешность измерений**

Источник погрешности	**Отклонение температуры, К**
Прирост темнового тока на 6%	до 10
Нелинейность детектора	до 60
Рассеянный свет	до 100

Использование разработанной методики первичной обработки данных и учет рекомендаций делают интерпретацию регистрируемого сигнала корректным и позволяют повысить точность измерения температуры на >5% при рабочем интервале 1300-2600 К.

Часть корректирующих процедур были успешно апробированы на экспериментальных стендах. Дальнейшие планы по развитию работы будут направлены на проведение экспериментальных исследований датчика на стенде газотурбинного двигателя, определение пространственного распределения температур в камере сгорания, а также расширение функций прибора за счет определения дополнительных характеристик горения, например, стехиометрического параметра. Планируются исследования следующих источников искажений: пространственная неоднородность визирования, редукция спектров к идеальному прибору, поляризационная чувствительность, влияние геометрических размеров источника. Полученные результаты будут иметь высокую практическую ценность при выполнении высокоточных экспериментов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Davenport J.J. et al. Noise analysis for CCD-based ultraviolet and visible spectrophotometry // Appl Opt. 2015. Vol. 54. №. 27. DOI: 10.1364/AO.54.008135.
2. Xia G. et al. A non-linearity correction method of charge-coupled device array spectrometer // AOPC 2015: Optical Test, Measurement, and Equipment. 2015. Vol. 9677. DOI: 10.1117/12.2197725.
3. Магунов А.Н. Спектральная пирометрия // Приборы и техника эксперимента. 2009. Vol. 4. С. 5.
4. Zong Y. et al. Simple spectral stray light correction method for array spectroradiometers // Appl Opt. 2006. Vol. 45. №. 6. DOI: 10.1364/AO.45.001111.

Выпускник
Каминский Юрий Константинович
факультет цифровых трансформаций
Направление подготовки: 01.04.02 – Прикладная математика и информатика
e-mail: jkaminski@niuitmo.ru

Научный руководитель
Деева Ирина Юрьевна
к.ф.-м.н., ассистент, с.н.с.
e-mail: iriny.deeva@gmail.com

УДК 004.852

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ СТРУКТУРНОГО ОБУЧЕНИЯ БОЛЬШИХ БАЙЕСОВСКИХ СЕТЕЙ

Работа выполнена в рамках темы НИР № 622262 «Разработка виртуальной системы моделирования и аналитики на основе композитных вероятностных моделей».

Байесовские сети – это мощный и универсальный инструмент для моделирования многомерных распределений и генерации синтетических данных, однако структурное обучение больших байесовских сетей является сложной вычислительной задачей, а с ростом количества узлов байесовской сети, количество сетей-кандидатов и границы поиска растут сверхэкспоненциально. Таким образом, существует серьезная необходимость в разработке более быстрых алгоритмов структурного обучения байесовских сетей.

Пакеты Sparsebn R и BiDAG были выбраны в качестве бейзлайна для проведения экспериментов и сравнения с собственными алгоритмами [3, 4]. В данном исследовании структурное обучение байесовских сетей проведено более, чем на десяти различных наборах данных, предназначенных специально для тестирования алгоритмов структурного обучения. Все наборы данные были взяты из репозитория bnlearn [5].

На рисунке 1 представлена схема работы алгоритма BigBraveBN. Наиболее подробно данный алгоритм описан в нашей статье [1]. В вышеупомянутой библиотеке уже реализованы метод Hill Climbing. Но их точность и время выполнения можно значительно улучшить, сузив пространство допустимых решений, для этого и используется коэффициент Браве, который отражает меру взаимной встречаемости объектов в различных наборах групп.

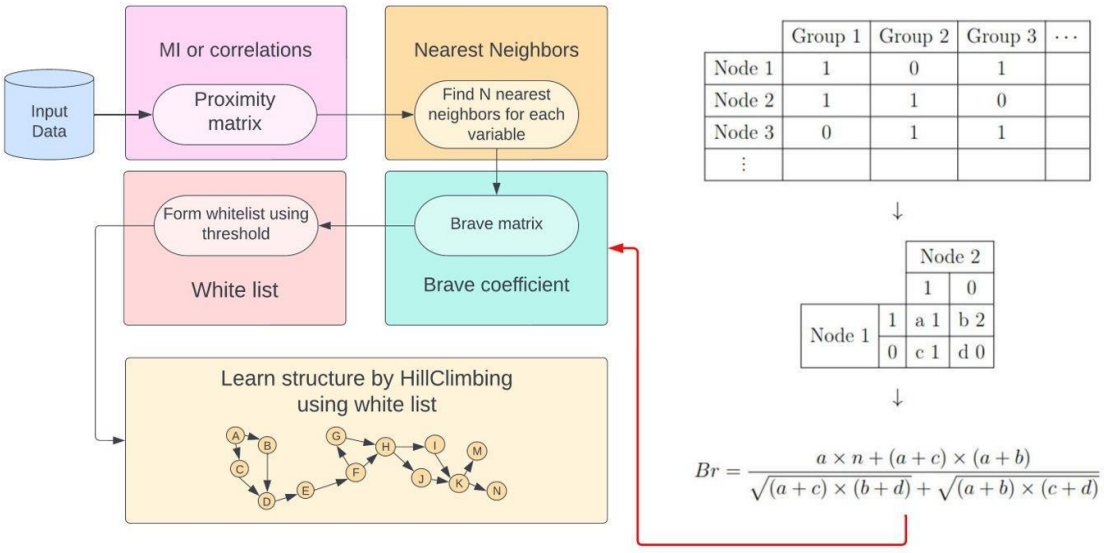


Рис. 1. Упрощенное представление схемы работы алгоритма BigBraveBN

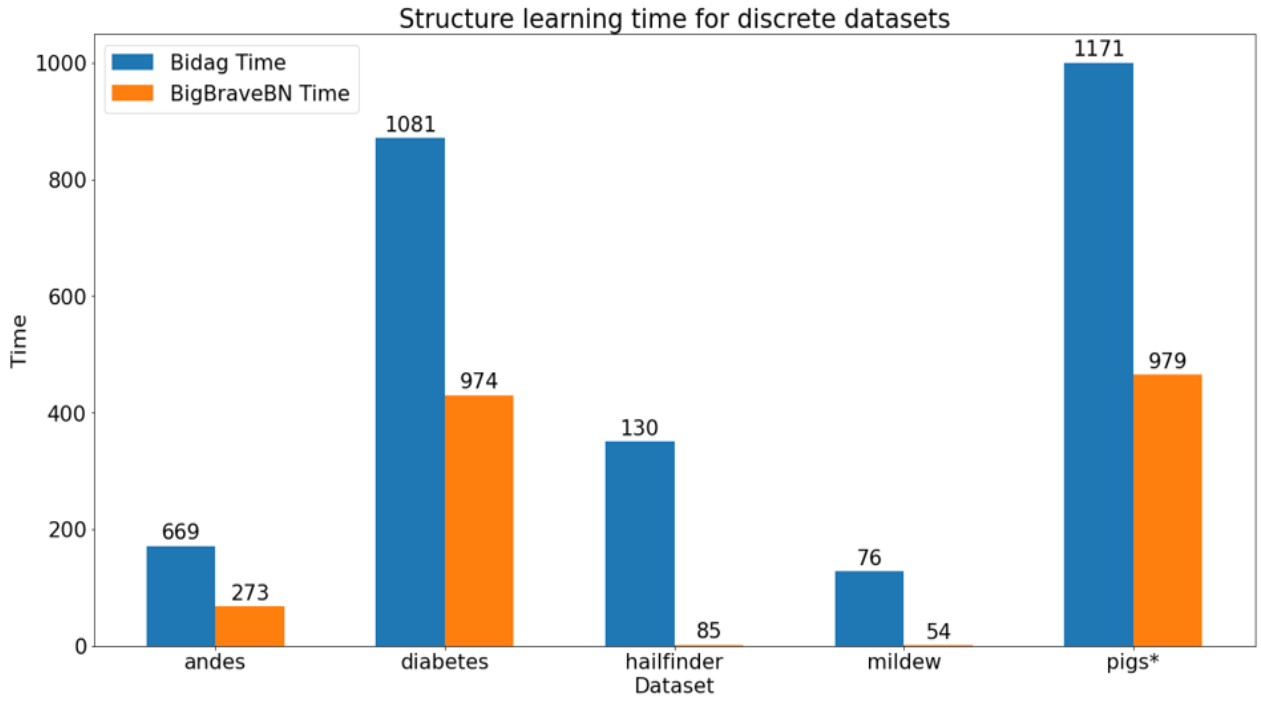


Рис. 2. Сравнение BigBraveBN и BiDAG по времени обучения (в секундах), и по метрике SHD (метрика указана над соответствующими столбцами)

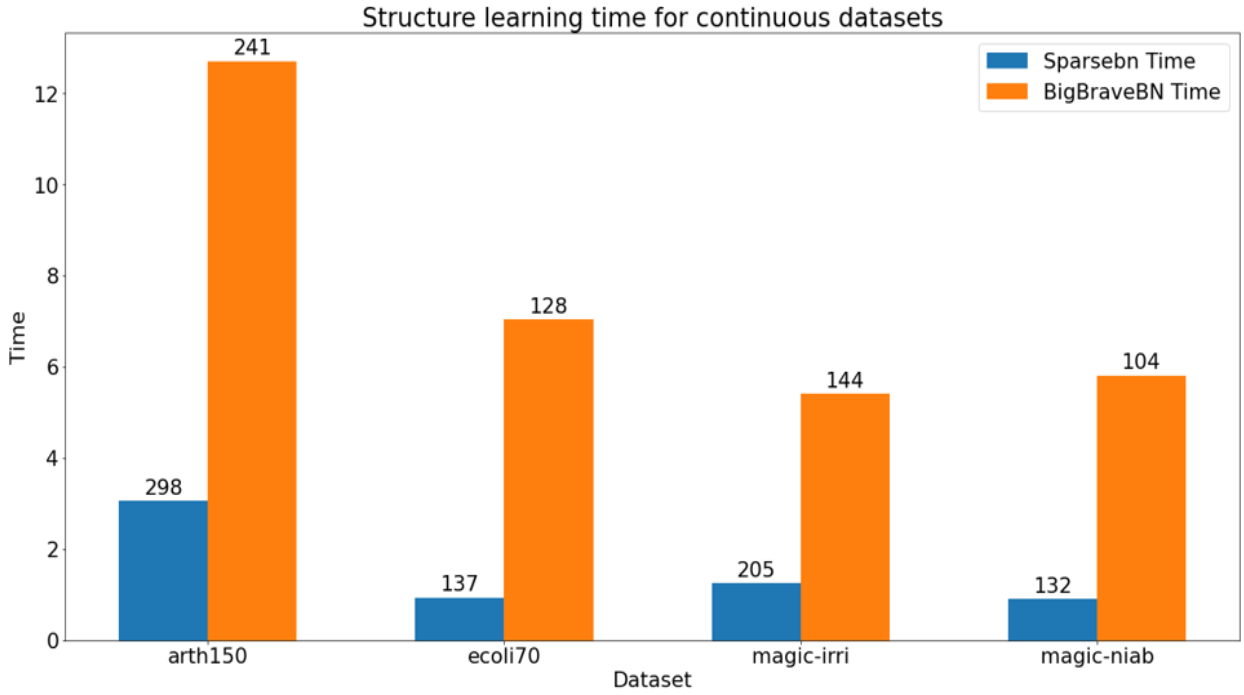


Рис. 3. Сравнение BigBraveBN и sparsebn по времени обучения (в секундах), и по метрике SHD (метрика указана над соответствующими столбцами)

Рисунки 2 и 3 отображают качество и скорость работы нашего алгоритма на основе коэффициента Браве. В большинстве случаев он не только работает быстрее, но и дает значительно более близкую к эталонной структуру Байесовской сети.

Вторым алгоритмом, разработанным нами, является LSevoBN. Он использует локальные структуры и скрытые переменные для изучения структуры больших Байесовских сетей. Рисунок 4 отображает схему взаимодействия различных инструментов, которые используются для построения структуры.

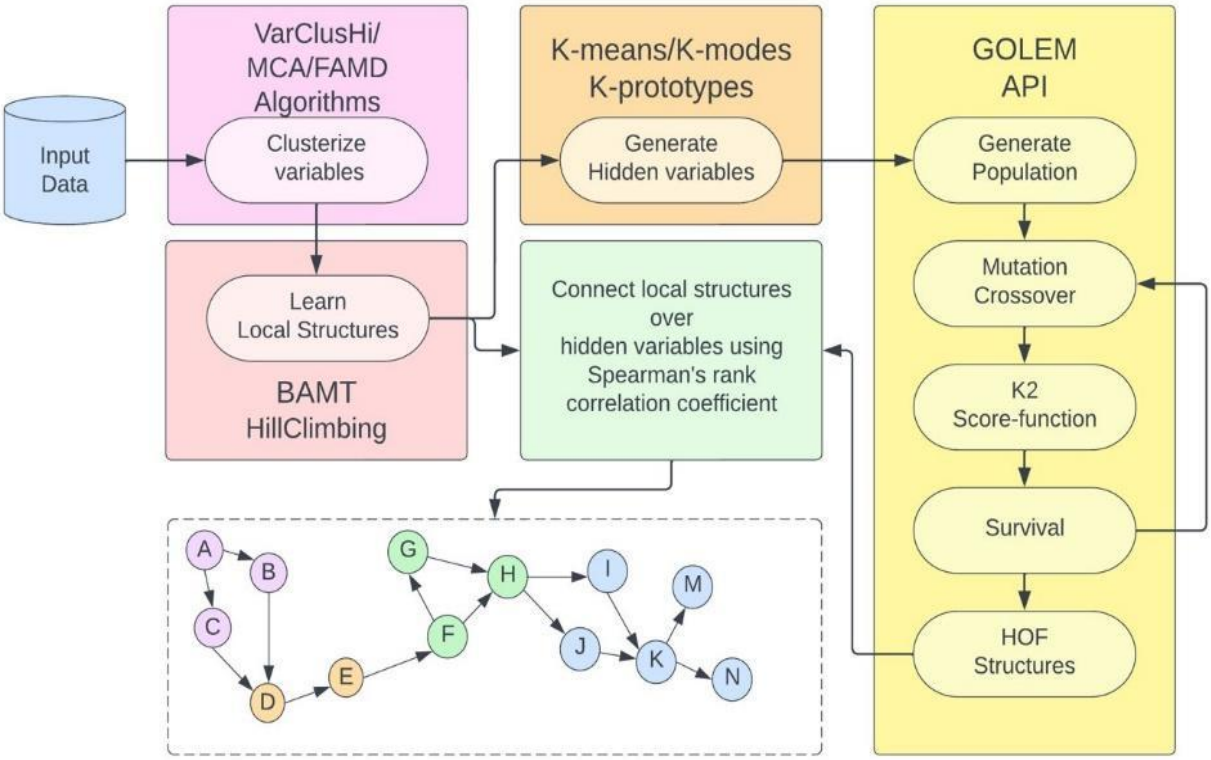


Рис. 4. LSevoBN - взаимодействие инструментов и библиотек

Эксперименты, проведенные в ходе работы над алгоритмом на показали его эффективность и превосходство над некоторыми аналогами не только по времени на структурное обучение, но по качеству выстроенной сети. В ходе исследования были получены границы применимости алгоритма. Алгоритм показывает наилучшие результаты на особенно больших наборах данных (от 100 узлов), однако на наборах данных среднего размера (от 50 до 100 узлов), алгоритмы на основе ограничения пространства поиска часто работают эффективнее и быстрее. Качество сети определялось с помощью специальной метрики – структурное расстояние Хэмминга.

Разделение большого набора данных на локальные структуры даёт возможность значительно ускорить обучение Байесовской сети. А эволюционные алгоритмы позволяют соединить локальные структуры между собой в большую сеть. Наиболее успешным оказалось соединение структур через “скрытые” переменные. “Скрытые” переменные являются результатом кластеризации методом k-средних внутри каждой локальной структуры. Для соединения локальных структур через скрытые переменные используется коэффициент корреляции Спирмена, который позволяет избежать образования большого количества лишних связей.

Мы провели серию экспериментов для количественной оценки структурного расстояния Хэмминга (SHD) и оценки F1 предложенного алгоритма, сопоставив его производительность с существующими методологиями. Результаты вычислений для SHD, F1 и F1 для неориентированных графов показаны на рисунках 5, 6 и 7 соответственно. В большинстве случаев наш алгоритм превосходит sparsebn по SHD или F1.

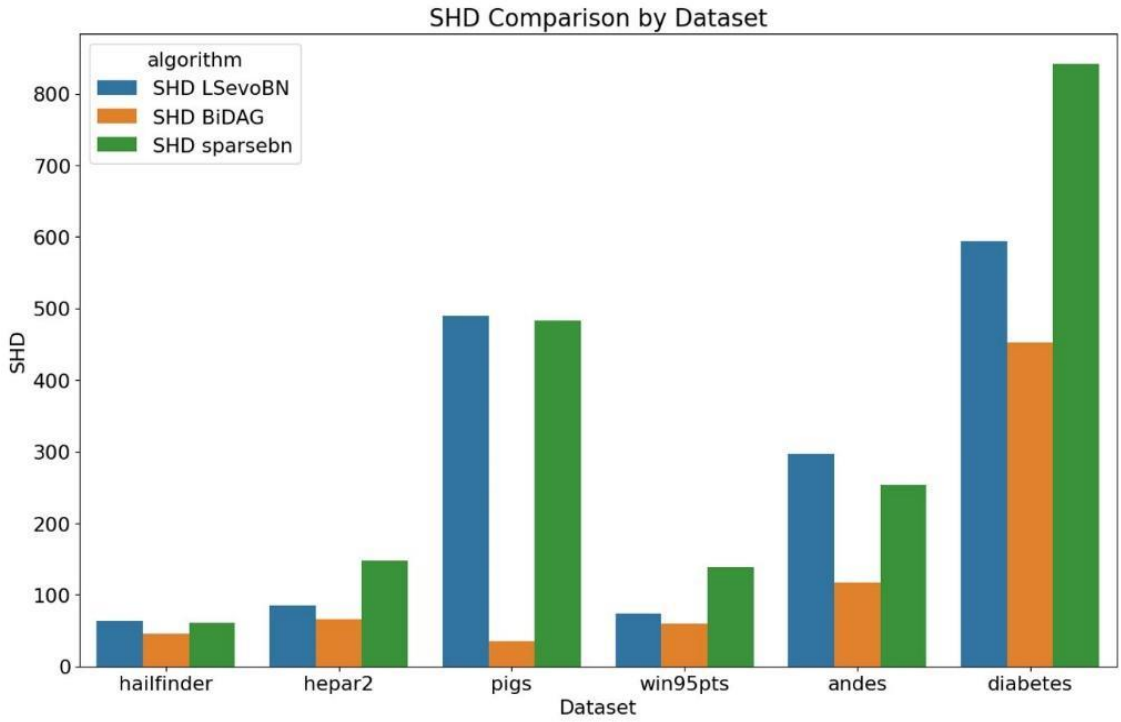


Рис. 5. SHD на разных наборах данных для алгоритмов LSevoBN, BiDAG и sparsebn

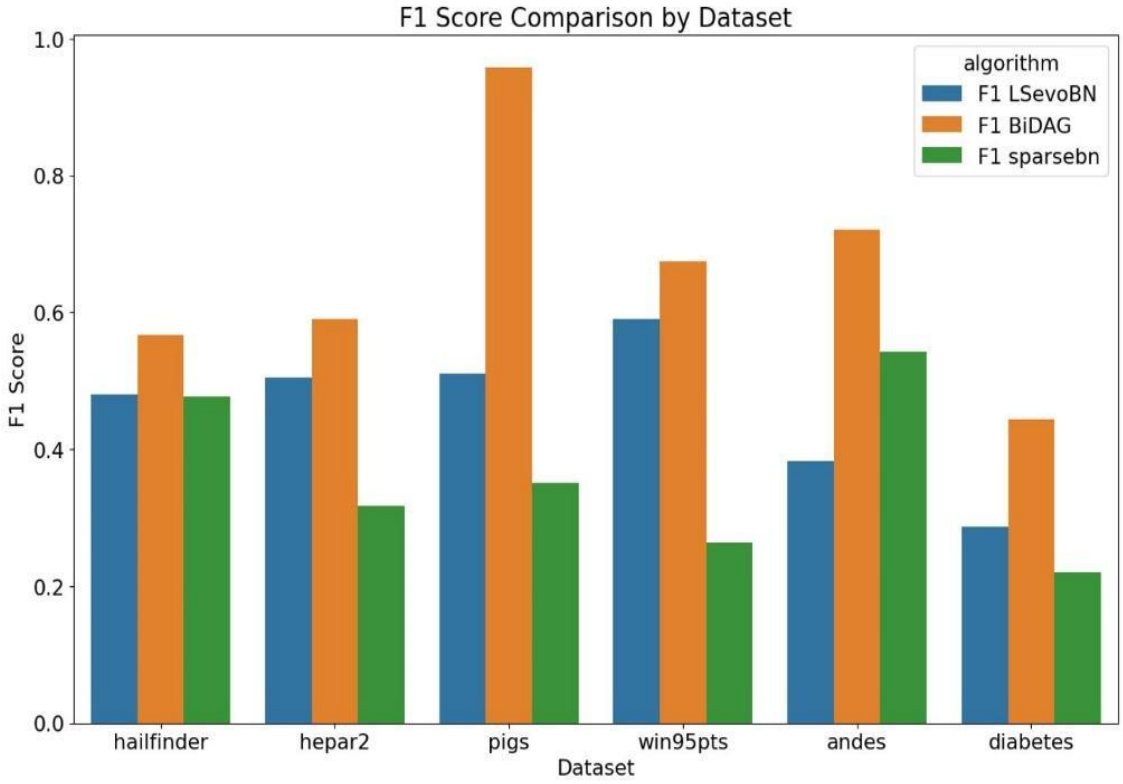


Рис. 6. F1 на разных наборах данных для алгоритмов LSevoBN, BiDAG и sparsebn

Хотя BiDAG часто достигает оценки F1, приближающейся к единице, рисунок 8 показывает, что для достижения этих результатов BiDAG требуется значительно больше времени

Благодаря своим возможностям распараллеливания и интеграции генетического алгоритма в своей основе, алгоритм предлагает существенное преимущество с точки зрения времени выполнения, особенно при обработке больших наборов данных с сотнями признаков. На рисунке 8 показан сравнительный анализ логарифма времени выполнения для разных наборов данных.

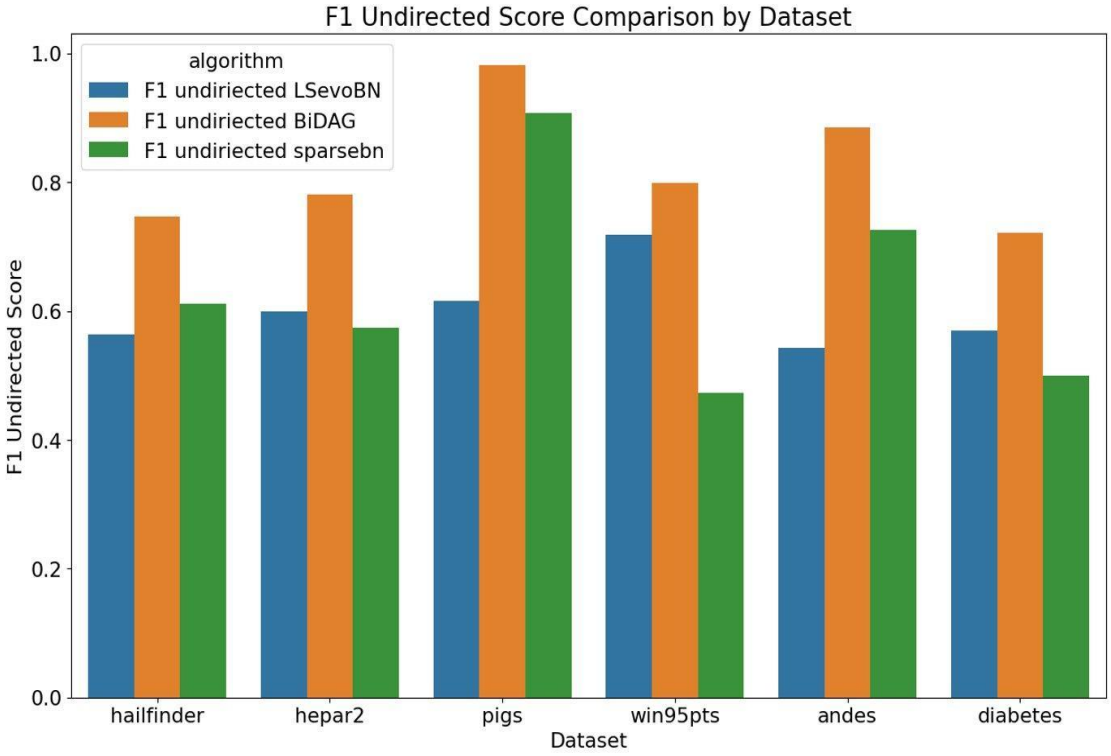


Рис. 7. F1 ненаправленных графов на разных наборах данных для алгоритмов LSevoBN, BiDAG и sparsebn

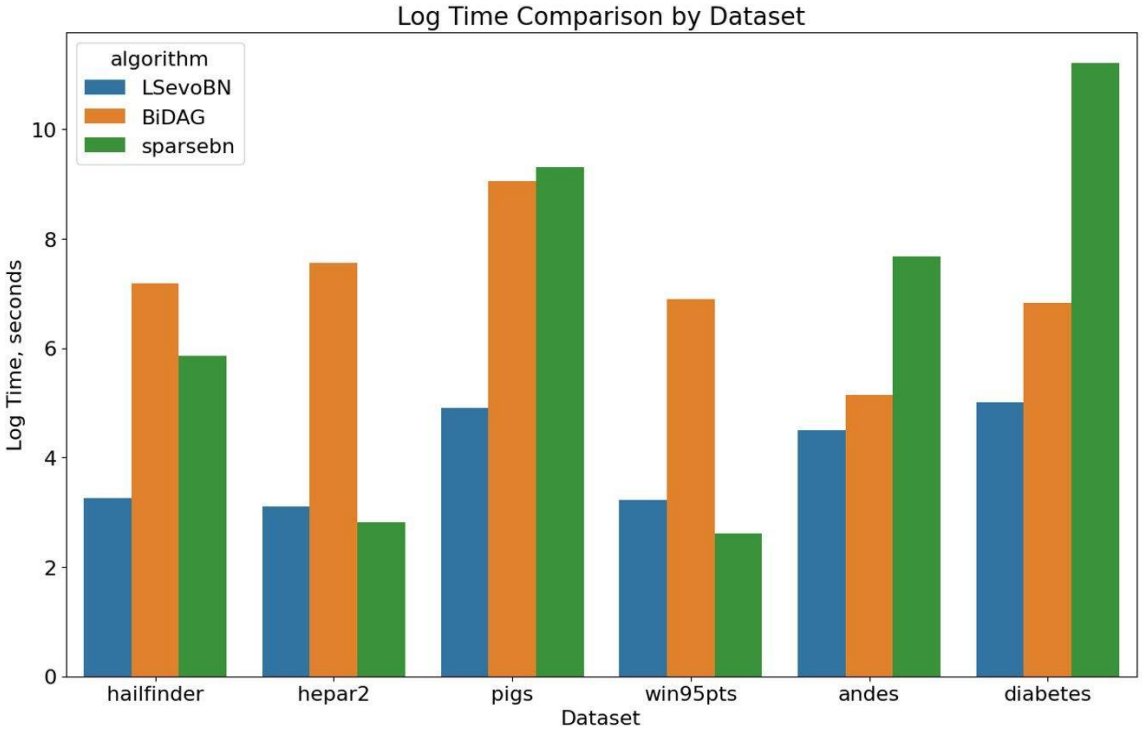


Рис. 8. Логарифмическое время работы алгоритмов LSevoBN, BiDAG и sparsebn

Временная сложность алгоритма LSevoBN в сравнении с BiDAG и на разных вычислительных машинах представлена на рисунке 9.

Было проведено несколько экспериментов для измерения точности и релевантности нового алгоритма на основе коэффициента Браве, сравнение его с бейзлайнами sparsebn и BiDAG [3, 4]. Алгоритм на основе коэффициента Браве оказался значительно эффективнее в плане времени и точности на дискретных данных, однако на непрерывных данных, несмотря на меньший показатель SHD, оказался несколько более затратным по времени, чем sparsebn.

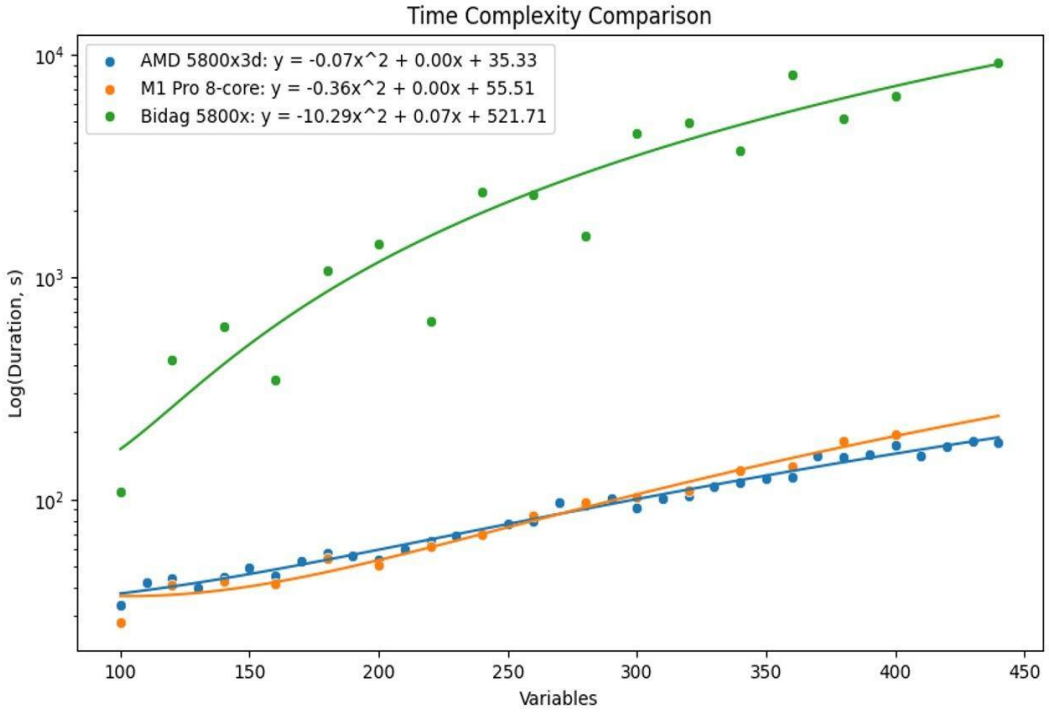


Рис. 9. Логарифмическая временная сложность алгоритма LSevoBN в сравнении с BiDAG

Наши экспериментальные оценки продемонстрировали эффективность предложенного алгоритма LSevoBN с точки зрения показателей SHD и F1 по сравнению с существующими методами, такими как sparsebn и BiDAG [3, 4]. Также заслуживает внимания способность алгоритма LSevoBN идентифицировать определенные связи в неориентированных графах, о чем свидетельствуют баллы F1.

Ключевое преимущество алгоритма LSevoBN заключается в значительном сокращении времени выполнения, особенно для больших наборов данных с сотнями признаков. Сравнительный анализ времени выполнения показывает, что наш алгоритм может работать до сорока раз быстрее на больших наборах данных, таких как анды, диабет или свиньи.

Эти результаты подчеркивают потенциал алгоритма LSevoBN как ценной и эффективной альтернативы существующим методам изучения байесовских сетей, особенно в ситуациях, когда обработка больших наборов данных и минимизация времени выполнения имеют решающее значение.

Все цели научной работы достигнуты, в рамках НИР была опубликована статья для конференции YSC [1]. А также статья о LSevoBN была принята на конференцию GECCO 2023, которая пройдет в июле.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Kaminsky Y., Deeva I. BigBraveBN: algorithm of structural learning for bayesian networks with a large number of nodes // Procedia Computer Science. 2022. Vol. 212. Pp. 191-200.
2. BAMT. Repository experiments and data. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://github.com/aimclub/BAMT (дата обращения: 17.04.2023).
3. Suter P. et al. Bayesian structure learning and sampling of Bayesian networks with the R package BiDAG // arXiv preprint arXiv:2105.00488. 2021.
4. Aragam B., Gu J., Zhou Q. Learning large-scale Bayesian networks with the sparsebn package // arXiv preprint arXiv:1703.04025. 2017.
5. Scutari M., Vitolo C., Tucker A. Learning Bayesian networks from big data with greedy search: computational complexity and efficient implementation // Statistics and Computing. 2019. Vol. 29. №. 5. Pp. 1095-1108.

Выпускник
Назаренко Ульяна Кирилловна
факультет институт международного развития и партнерства
Направление подготовки: 27.04.05 – Инноватика
e-mail: uliana.nazarenko@niuitmo.ru

Научный руководитель
Казаринова Надежда Васильевна
к.ф.н., доцент
e-mail: nvkazarinova@mail.ru

УДК 616.89-008.434.53

АРТ-ПРОЕКТ «ТЕРРИТОРИЯ ДИСЛЕКСИИ»: АУДИОВИЗУАЛЬНАЯ ИНСТАЛЛЯЦИЯ В ИССЛЕДОВАНИИ СТИГМАТИЗАЦИИ ДИСЛЕКСИИ

По данным Международной Ассоциации дислексии (International Dyslexia Association, IDA), в настоящее время порядка 17–23% всего населения Земли имеют отдельные симптомы дислексии и связанных с ней трудностей, таких как медленное чтение, плохое письмо, плохая грамматика [1]. Среди большинства исследователей и практиков признается, что дислексия – это не заболевание, а нейробиологическая особенность, при которой интеллект человека не нарушен, а трудности в обучении связаны вовсе не с ленью или нежеланием учиться [2]. Анализ существующих трендов изучения дислексии, позволяет выделить прежде всего психолого-педагогический (создаются социально-психологические и педагогические условия для успешного развития и обучения каждого обучающегося в процессе обучения) и методико-коррекционный (работа с анализом и синтезом структуры текста, структуры предложения, слоговым и фонематическим анализом и синтезом) [3]. Следует понимать, что в разных странах имеются разные данные о распространенности дислексии. По данным исследователей распространенность дислексии среди младших школьников в Европейских странах колеблется от 2 до 25%. Нейропсихолог и доктор психологических наук Татьяна Ахутина утверждает, что трудности в обучении в связи с дислексией испытывают 7–15% российских школьников [4], при этом две трети россиян (около 61%) ничего не знают о дислексии, что ведет к появлению проблемы стигматизации людей, у которых она проявлена [1]. Преодоление названной стигмы и создание дружественной среды для людей с дислексией как в институтах образования (школах, вузах), так и в обществе в целом, на наш взгляд, является **актуальной социальной задачей**.

В настоящее время, по большей части в зарубежном педагогическом и профессиональном опыте, утверждается установка, ориентированная на то, чтобы «дислексическое мышление» воспринималось как «норма». В январе 2022 г. в международный словарь dictionary.com был включен термин «дислексическое мышление», обозначающий особый подход к решению задач, работе с информацией и обучению, свойственный людям с дислексией [5]. На наш взгляд, **прагматическую ценность** для дестигматизации дислексии имеет коммуникативный «ди»-подход наряду с существующим «дис»-подходом. Одним из инструментов реализации данного подхода могут быть музеи и выставки как площадки с использованием различных технологий (например, автоматической детекции дислексии с помощью алгоритмов машинного обучения, создания пространств, где любой человек мог бы пережить состояние людей с дислексическим мышлением в виртуальной реальности и др.), демонстрирующих возможности современного технологического искусства для реализации просветительской деятельности и эффективной коммуникации. Коммуникативный подход к интерпретации «ди» (взамен «дис») можно обнаружить в практиках обращения к дислексии в современном искусстве или музейных пространствах. Данные практики зарубежного опыта представления дислексии в научных и современных музеях указывают на **актуальность**

создания арт-проектов в области Art&Science, посвященных проблеме дислексии и другим человеческим различиям, в частности создания арт-проектов с использованием технологического искусства, так как подобные работы смогут не только привлечь внимание общества и общественных институтов к проблеме, но и предложить возможное решение.

Среди российских и зарубежных исследователей дислексии отсутствует согласие по вопросам причин возникновения дислексии и других трудностей в обучении, нет договоренности об основаниях статистической оценки числа людей с дислексией, что не может не сказываться на восприятии этой проблемы различными социальными группами. Об этом пишет в своих работах Т.В. Черниговская, заслуженный деятель высшего образования и науки России, попечитель Ассоциации родителей детей с дислексией. В русскоязычных работах «дислексия» рассматривается как специфическое нарушение (расстройство) чтения, которое проявляется в повторяющихся стойких ошибках, которые никак не связаны с какими-либо психическими особенностями, интеллектуальной недостаточностью, нарушениями слуха или зрения. М.Н. Русецкая предлагает определять дислексию как устойчивое расстройство смыслового и технического восприятия навыков чтения, которое возникает в результате недостаточности развития определенных элементов функциональной системы чтения. В зарубежной литературе дислексия трактуется как более широкое, включающее нарушение не только чтения, но и письма и счета. Дислексия часто соотносится с СДВГ/СДВ. Среди исследователей доминирует установка, что дислексия – это не заболевание, но нейробиологическая особенность, при которой интеллект ребенка не нарушен, и трудности в обучении связаны вовсе не с нежеланием учиться или ленью. Поэтому, корректной является формулировка «у него дислексия», а не «он дислексик», что идентифицирует человека с его состоянием.

В рассмотренных работах (Пассе, Риддика и Уиллкатта [6]) было отмечено, что многие люди с дислексическим мышлением ежедневно сталкиваются с дискриминацией, испытывают разочарование и гнев, когда сталкиваются с задачами, которые подчеркивают их неспособность, вызывая стресс и тревогу (страх перед уже пережитым негативным событием или задачей). Выявлено, что что люди с дислексией обычно маскируют свои трудности с помощью стратегий преодоления, стремясь проецировать ощущение нормальности. Однако следует признать нехватку исследований, касающихся дислексии, раскрытия информации, дискриминации и стигмы дислексии.

Проведенный анализ актуализирует поиск нового контекста восприятия дислексии. Мы предложили назвать этот поиск «коммуникативный «ди»-подход в противовес существующему «дис»-подходу». Под коммуникативным «ди»-подходом в данной работе мы понимаем смещение фокуса восприятия дислексии как «неспособности», «болезни», «нарушений», свойственного существующему «дис»-подходу к ее интерпретации как особенности мышления (Пиотровская, Черниговская, Гогуадзе). На наш взгляд, такой сдвиг открывает возможность дестигматизации дислексии, принятию данной особенности, видению многообразия векторов развития, различных особенностей мышления, а также поддержке при обучении и созданию дружественной среды для людей с дислексическим мышлением как в институтах образования, рабочей среде, так и в целом в обществе.

Для проверки исследовательской гипотезы о стигматизации людей с дислексией, выявления трендов концептуализации дислексии, изучения образовательной стигматизации, стигматизации и самостигматизации людей с дислексией, а также сбора данных для создания арт-проекта нами были проведены глубинные полуструктурированные интервью со студентами из Университета ИТМО (3 человека), СПГХПА им. А.Л. Штиглица (2 человека), СПбГЛТУ (1 человек), а также с респондентами, признающими свою с дислексию (дисграфию, дискалькулию) (6 человек). Собранные реальные истории о жизни людей с дислексией позволили определить наиболее распространенные представления, стигматизирующие дислексиков. В их числе: «дислексия – это болезнь, «дислексик – нездоровый человек», «человек с дислексией просто ленится и мало читает», «дислексик просто неспособный, бестолковый» и др. Была получена информация о трудностях, с которыми сталкивались люди с дислексией в период обучения, на работе, о трудностях, с

которыми они сталкиваются сейчас, о поздней диагностике дислексии, буллинге, успешной самореализации и многом другом. Эти материалы стали основным содержательным ресурсом для арт-проекта. Также были проведены опросы, позволяющие провести сравнительный анализ восприятия дислексии людьми из разных стран.

Результаты опросов показали, что около 93% опрошенных знают термин «дислексия» и «дислексик», но не встречали такие понятия, как «дисграфия», «дискалькулия», «дислексическое мышление». Примерно 86% опрошенных считают дислексию болезнью, а человека с дислексией нездоровым. 91% полагают, что при общении с людьми с дислексией могут возникнуть трудности, около 75% считают, что «дислексия – проблема для жизни в современном обществе». Нами также были проведены глубинные полуструктурированные интервью с экспертами-врачами: два врача невролога из Латинской Америки (г. Куэнка, г. Гуаякиль), имеющими стаж работы более 30 лет и два врача – логопед и психотерапевт из России (г. Санкт-Петербург, г. Екатеринбург) со стажем работы более 15 и 18 лет. Фрагменты интервью приведены в тексте работы. Собранные материалы также использовались для создания арт-проекта.

В данной работе предлагаемым решением задачи диагностики (распознавания) дислексии с помощью применения методов машинного обучения является создание классификатора признака наличия дислексии на основе почерка. Согласно поставленной гипотезе, визуальный анализ почерка и выявление устойчивых паттернов характера написания букв, способа организации слов и строк на листе может служить для диагностирования дислексии. В качестве методики проверки гипотезы выбрана разработка алгоритма машинного обучения, принимающего на вход изображение образца почерка и возвращающего бинарный результат, где True – это наличие дислексии у испытуемого и False – её отсутствие. Для проверки гипотезы было предложено использовать алгоритм классификации почерка: если точность (accuracy) модели достигает более 0.6, можно считать установленным, что тексты, написанные людьми с диагностированной дислексией, имеют достаточно общих черт, чтобы быть обобщены между собой и одновременно, уверенно выделить две классифицируемые группы почерков. В качестве дополнительного критерия обоснованности гипотезы можно рассматривать наличие статистически значимых различий между векторами инвариантов получаемыми из энкодера (модуля предварительной обработки изображений) алгоритма машинного обучения при обработке изображений почерков разных детектируемых классов. Для обучения созданной модели классификации были собраны наборы данных русскоговорящих людей как с дислексией, так и без дислексии.

Используя созданную модель классификации дислексии, дисграфии по изображениям написанного текста был создан чат-бот Dyslexia Recognition в мессенджере Telegram (@dyslexia_recognition_bot), с помощью которого можно получить предикт модели (распознавание проявлений дислексии, дисграфии) по изображению письма человека. Бот связан с моделью через API. Пример диалога пользователя с чат-ботом Dyslexia Recognition в мессенджере Telegram представлен на рисунке 1. Программный код модели детекции дислексии по почерку на языке программирования Python и собранные наборы данных представлены в общем доступе в репозитории GitLab [7] с возможностью их использования и создания решений для людей с дислексией, а именно новых алгоритмов машинного обучения по распознаванию дислексии, обучению данных моделей, созданию «умного Т9» и др.

В работе были рассмотрены возможные решения проблем людей с дислексией с использованием технологий виртуальной реальности (Virtual Reality, VR), а именно зарубежные практики создания пространств для повышения осведомленности о дислексии и развития эмпатии учеников в школе разных возрастов, школьных учителей, классов, родителей детей с дислексией, сотрудников, а также возможности изучения проявлений дислексии у школьников и работников компаний, проведения коррекционных занятий для детей и подростков, создания дружественной среды в школах и на рабочих местах и др.

Рассмотренные в работе исследования показывают, что виртуальная реальность играет ключевую роль в разработке новых диагностических инструментов в нейропсихологии и демонстрирует большой коррекционный потенциал для людей с определенными

неврологическими, интеллектуальными и когнитивными нарушениями, в том числе для людей с дислексией, а также для задач развития эмпатии (учителей, родителей детей с дислексией, обучающихся). На наш взгляд, в виртуальной среде можно создать пространства на повышение осведомленности о дислексии, в частности, как у учителей и родителей детей с дислексией, так и самих детей с дислексией, в том числе, в игровом формате могут быть разработаны специальные задачи, которые могут стать частью процесса скрининга или оценки дислексии у школьников или студентов, которые также могут быть даже частью арт-пространства.

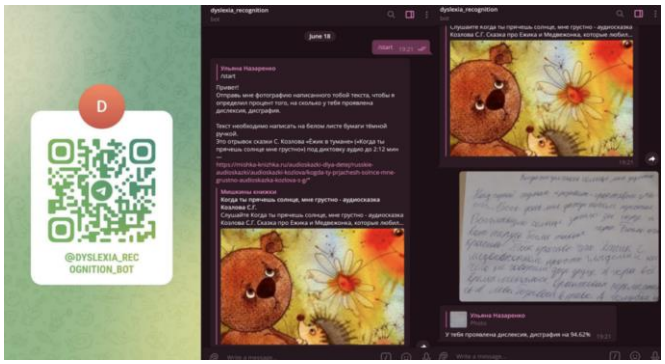


Рис. 1. Пример диалога пользователя с чат-ботом Dyslexia Recognition в мессенджере Telegram

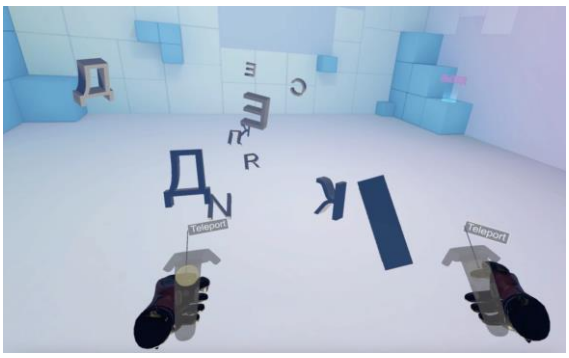


Рис. 2. Пример игры «Преследующие буквы» в пространстве проекта «lex [i] я (лекс и я) | Глазами незнакомца» в виртуальной реальности

В данной работе представлена концепция проекта «lex [i] я (лекс и я) | Глазами незнакомца» (сокращ. «Лекс и Я») с использованием технологий виртуальной реальности с целью создания пространства, вбирающего в себя все рассмотренные тренды, включая и такой, который можно обозначить как инклюзивная среда для человека без дислексии, иначе говоря, среды, в которой любой человек мог бы пережить состояние людей «ди». Замысел арт-проекта – создание трех «дислексийных» пространств в виртуальной реальности, которые позволят зрителю увидеть, как воспринимает мир человек с дислексическим мышлением, а также с помощью взаимодействия с объектами, понять, с какими бытовыми трудностями сталкивается человек с дислексией. Данные пространства нацелены на повышение осведомленности пользователя о том, что такое дислексия, как она проявляется, с какими трудностями сталкиваются люди с дислексическим мышлением, на сбор данных о проявлениях дислексии, а также на возможность реализации образовательных задач. Пример одного из созданных пространств представлен на рисунке 2. В дальнейшем планируется усовершенствовать данный проект и его графику, добавить больше пространств и больше возможностей взаимодействия с объектами, а также провести исследование на оказанное влияние данных пространств виртуальной реальности на пользователей, как с дислексией, так и без.

Проект «Территория дислексии» — аудиовизуальная инсталляция в исследовании стигматизации дислексии. Работа нацелена на прояснение причин и снижение возможной стигматизации людей с дислексией. Данная инсталляция – стремление повысить осведомленность посетителя выставки о дислексии, критически взглянуть на распространенные мифы о дислексии, показать, как проявляется стигма дислексии на примерах из жизни людей с дислексическим мышлением, развить зрительскую эмпатию.

Техническое финальное решение состоит из таких основных составляющих как: аудио представление и визуализация. Аудио-инсталляция проекта содержит озвученные истории людей с дислексическим мышлением. Всего инсталляция состоит из девяти историй. Истории – фрагменты собранных интервью, которые описаны в первой главе выпускной работы. Аудиозаписи воспроизводятся отдельно в разных наушниках. Это личные рассказы о понимании дислексии и ее проявлениях, о трудностях возникших и возникающих из-за дислексии в разных сферах жизни, о насмешках и стигме дислексии, о неудобствах в бытовых вопросах и успешной реализации в профессиональном плане. Также аудио- инсталляция

содержит записи чтения людьми с дислексией (детей и взрослых) отрывка сказки Козлова С. «Ёжик в тумане».

Стена (панно) проекта представляет собой презентацию особенностей дислексического мышления. Это ключевые фразы из собранных интервью со студентами и взрослыми с дислексией (в частности, дисграфией, дискалькулией) и с экспертами-врачами о дислексии.

Рис. 3. Реализованный арт-проект «Территория дислексии»

Размышления людей о своей особенности представлены с учетом оригинальных специфических ошибок при дислексии. Результат инсталлирования – реализованный арт-проект «Территория дислексии» представлен на рисунке 3. Дополнением к этой части проекта является буклет «Территория дислексии», который содержит в себе современное понимание дислексии и продолжения размышлений людей о дислексии. В тексте буклета также сохранены специфические ошибки при дислексии и с помощью различных эффектов (специальных отступов, «плавающих букв», бумаги копирки) предано примерное восприятие текста людьми с дислексическим мышлением.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Статистика. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://dyslexiaida.org (дата обращения: 19.01.2023).
2. Stein J. Theories about developmental dyslexia // Brain Sciences. 2023. Т. 13. №. 2. С. 208.
3. Китаева Н.Н., Николаева И.А. Современный подход к коррекции дислексии у учащихся общеобразовательных школ // Вестник ЛГУ им. А.С. Пушкина. 2015. №. 1. С. 15-22.
4. Величенкова О.А, Ахутина Т.А., Русецкая М.Н., Гусарова З.В. Проблема нарушений письма и чтения у детей: данные Всероссийского опроса // Специальное образование. 2019. №. 3 (55). С. 36-49.
5. Dyslexic thinking. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://dslxcommunity.com/dyslexic-thinking-2022 (дата обращения: 19.01.2023).
6. Alexander-Passe N. Dyslexia and Depression: The Hidden Sorrow. New York: Nova Science Publishers. 2010. 349 p.
7. Назаренко У.К., Емельяненко А. Классификатор признака наличия дислексии на основании примеров почерка. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://gitlab.com/emelyanna_group/dys_project# (дата обращения: 30.05.2023).

Выпускник
Пеньковский Андрей Александрович
факультет систем управления и робототехники
Направление подготовки: 15.04.06 – Мехатроника и робототехника
e-mail: aapenkovskiy@itmo.ru

Научный руководитель
Колюбин Сергей Алексеевич
д.т.н., профессор
e-mail: s.kolyubin@itmo.ru

УДК 629.05

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ РОБАСТНОЙ ВИЗУАЛЬНО-ИНЕРЦИАЛЬНОЙ ОДОМЕТРИИ ДЛЯ НАЗЕМНЫХ МОБИЛЬНЫХ РОБОТОВ

Работа выполнена в рамках темы НИР № 52072 «Развитие моделей и алгоритмов машинного обучения и нелинейного управления для информационно-управляющих систем мобильных сервисных роботов и их формаций».

Визуально-инерциальная одометрия является критически важной технологией для таких сфер, как автономное вождение, робототехника, виртуальная и дополненная реальность. Данная технология обеспечивает оценивание положения робототехнического объекта (далее – агента) в пространстве, построение карты окружения, а также высокоуровневое понимание окружающей среды. Однако в реальных условиях функционирования присутствуют динамические объекты, такие как движущиеся автомобили и люди, что является вызовом для систем визуальной навигации и оказывает влияние на их точность и надёжность. Следовательно, повышение робастности систем визуальной и визуально-инерциальной одометрии по отношению к динамическим объектам является важным для обеспечения работоспособности и расширения границ применимости данных систем.

На сегодняшний день существуют системы визуально-инерциальной одометрии, предназначенные для работы в динамическом окружении. Данные системы могут быть подразделены на два класса: на основе семантической сегментации и на основе детектирования объектов. Первый класс [1] позволяет исключать подвижные визуальные ориентиры по меткам семантических классов, но вычислительно неэффективен. Второй класс решений [2], как правило, основан на использовании дополнительных датчиков глубины, что повышает экономическую стоимость сенсорной установки.

Задача визуально-инерциальной одометрии заключается в оценивании положения агента, обладающего набором датчиков, включающим камеру и инерциальный измерительный блок. Ключевые точки, извлекаемые из изображения, получаемого камерой в момент времени k, составляют набор измерений z_k. К моменту времени k относительно предыдущего кадра поступают данные u_k инерциального измерительного модуля (ИИМ), включающие линейные ускорения и угловые скорости. Классическая постановка задачи визуально-инерциальной одометрии является оптимизационной задачей нахождения вектора состояния агента x_k, характеризующего положение агента относительно опорной системы координат. Целевой функционал, составляется на основе невязок по измерениям камеры и ИИМ:

$$x_k = arg\,min(\sum_{k \in K} C_I^{(k)} + \sum_{k \in K} \sum_{j \in J} C_V^{(k,j)}), \quad (1)$$

где $C_I^{(k)}$ – невязка по набору измерений ИИМ между $k–1$ и k кадрами; $C_V^{(k,j)}$ – невязка по измерению j камеры для кадра k.

С целью повышения робастности в средах с подвижными объектами в данной работе предлагается методология исключения выбросов для расширения стандартного алгоритма оптимизации. Архитектура системы представлена на рисунке.

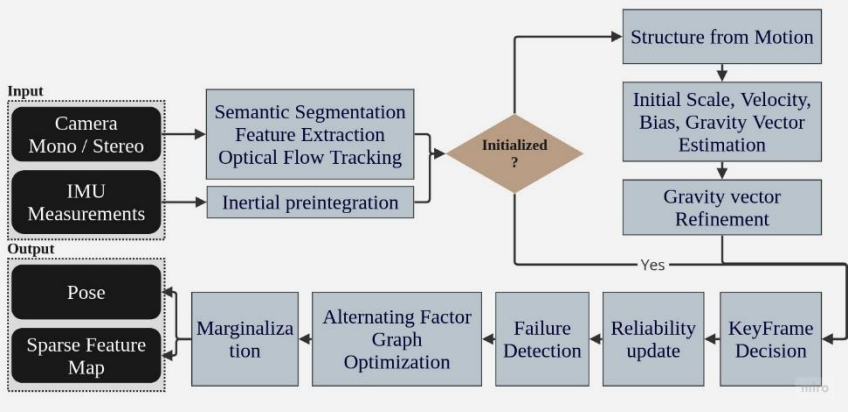


Рисунок. Архитектура системы

В предлагаемой методологии индивидуальная визуальная невязка представляется в форме:

$$C_V^{(k,j)} = \omega_l \cdot \left\| \hat{z}_l^{c_j} - \pi\left(T_{I_j}^{C_j} \cdot T_W^{I_j} \cdot p_l^W \right) \right\|^2 = \omega_l \cdot \left\| e_{jk} \right\|^2, \tag{2}$$

где $\hat{z}_l^{c_j}$ является положением l-й ключевой точки на плоскости изображения; $\pi(\cdot)$ является моделью проецирования камеры, которая отображает 3D точку p_l^W в глобальной системе координат W на плоскость изображения с использованием j-го положения одометрии $T_W^{I_j}$ и внешнего преобразования $T_{I_j}^{C_j}$ из инерциальной системы координат I_j в систему координат камеры C_j; ω_l является весовым коэффициентом, определяемым выражением; $\|\cdot\|^2$ – L2-норма.

Вследствие введения весовых коэффициентов визуальная невязка (2) в общем случае не является выпуклой, а значит, существует риск сходимости алгоритма оптимизации в локальный минимум в зависимости от начальных условий. Это снижает точность оценивания состояния агента.

Следовательно, в предлагаемом подходе устранения выбросов используется постепенная релаксация невыпуклости (GNC), а обновление весовых коэффициентов основано на функции потерь Баррона [3]:

$$\omega_l = \frac{1}{\mu \cdot c^2} \left(\frac{2\left\| e_{jk} \right\|^2}{\mu \cdot c^2 \cdot \left| \alpha - 2 \right|} + 1 \right)^{\alpha/2-1}, \tag{3}$$

где α является параметром формы, c является параметром ширины, μ является параметром контроля для GNC. Параметр формы зафиксирован в постоянное значение, в то время как параметр μ настраивается в ходе чередующейся оптимизации, которая проходит итеративно в две стадии. Сперва минимизируется целевой функционал (1) при фиксированных весовых коэффициентах, составляющих индивидуальную визуальную невязку (2). Далее согласно выражению (3) обновляются значения весовых коэффициентов. Наконец, параметр μ обновляется по правилу $\mu = \mu/\sqrt{2}$. На последней итерации чередующейся оптимизации восстанавливается невыпуклая форма функционала. С целью резкого сокращения весов аномально высоких по значению невязок форма функции Баррона выбрана как $\alpha = -2$.

Для дальнейшего снижения чувствительности по отношению к подвижным объектам в окружении предлагается вероятностная модель надёжности, характеризующая степень подвижности визуального ориентира. При появлении нового визуального ориентира, выполняется инициализация надёжности в семантическую априорную вероятность, которая присваивается на основе семантической метки класса. В процессе отслеживания визуального ориентира в потоке изображений, надёжность R обновляется согласно выражению:

$$R = 1 - \eta \cdot z\left(\lambda_1 \cdot \bar{R} + \lambda_2\left(1 - \bar{R}\right)\right) = 1 - \eta \cdot bel, \tag{4}$$

где z является семантической априорной вероятностью; $\bar{R}$ является предыдущей надёжностью; λ_1 и λ_2 являются постоянными скорости обновления; η является компонентой нормализации. При значении надёжности визуального ориентира ниже 0.25, весовой коэффициент эквивалентен надёжности. Иначе, обновление весовых коэффициентов выполняется с использованием выражения (3).

Разработанная методология реализована в виде программного модуля системы визуально-инерциальной одометрии, и проведена её экспериментальная апробацию на наборах данных, собранных в высокодинамичных средах. Первый набор данных *courier*, состоящий из двух последовательностей, собран на колёсной мобильной платформе с дифференциальным приводом. Платформа оснащена камерой Zed2 с внутренним инерциальным измерительным модулем. Проведена предварительная калибровка внутренних параметров камеры и взаимного расположения сенсоров.

Предлагаемый подход сравнивается по метрике точности Root Mean Square Error (RMSE) от Absolute Trajectory Error (ATE) с системой VINS-Fusion [4]. В таблице 1 представлены результаты тестирования системы на первом наборе данных.

Таблица 1. **Результаты тестирования на наборе данных *courier***

Последовательности	**RMSE, м**	
	VINS-Fusion	***Предлагаемый (без семантической информации)***
courier-1	0.46	**0.15**
courier-2	0.42	**0.17**

Как видно из таблице 1, предложенный подход позволяет повысить точность оценивания положения агента в динамической среде на наземных мобильных роботах более, чем в два раза.

Второй набор данных *metro* собран в среде метрополитена и содержит четыре последовательности. Сцены характеризуются высокой степенью динамичности за счёт интенсивного потока людей. В качестве сенсорной установке используется камера Zed2 с внутренним инерциальным измерительным модулем. В качестве метрики точности используется накопленная ошибка оценивания движения на последовательности. Для расчёта ошибки применяется внешний статический ARUCO-маркер.

Подход сравнивается с системой VINS-Fusion и его расширением алгоритмом отражения выбросов с применением семантической фильтрации. Результаты тестирования представлены в таблице 2.

Как следует из таблицы 2, стандартная система визуально-инерциальной одометрии VINS-Fusion в основном демонстрирует нестабильную работоспособность. VINS-Fusion с применением семантической фильтрацией демонстрирует более высокое качество работы на *metro1* и *metro3*. Метод устранения выбросов без применения семантической априорной информации показывает лучшую работоспособность относительно VINS-Fusion с применением семантической фильтрацией. Наконец, дополнение вероятностной моделью надёжности позволяет достичь лучшей точности оценивания положения агента, что валидирует робастность предлагаемого подхода в высокодинамичных средах.

Таблица 2. **Результаты тестирования на наборе данных *metro***

Последователь-ности	**Накопленная ошибка линейного перемещения, м**			
	VINS-Fusion (стандарт)	***VINS-Fusion (семантический)***	***Предлагаемый (с семантической информацией)***	***Предлагаемый (без семантической информации)***
metro1	Сбой	0.35	0.17	**0.06**
metro2	0.20	0.37	0.26	**0.10**
metro3	0.10	0.99	0.17	**0.05**
metro4	2.90	1.37	0.44	**0.10**

Таким образом, в данной работе разработана методология робастной нелинейной оптимизации для агентов, функционирующих в средах с подвижными объектами, и выполнена её реализация в виде программного модуля. Выполнена экспериментальная апробация итоговой системы на широком объёме данных, включая синтетические и реальные массивы измерений, как на носимых устройствах, так и на наземных мобильных роботах. Практическая ценность работы заключается в разработанном программном обеспечении, позволяющем развёртывать алгоритм робастной визуально-инерциальной одометрии на мобильных роботах с применением операционной системы ROS. Разработанная система может быть применена в задачах навигации робототехнических платформ внутри помещений с сокращёнными вычислительными ресурсами и дешёвым набором датчиков

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Bescos B., Fácil J., Civera J., Neira J. DynaSLAM: Tracking, Mapping, and Inpainting in Dynamic Scenes // IEEE Robotics and Automation Letters. 2018. №. 3(4). Pp. 4076-4083.
2. Zhong F., Wang S., Zhang Z., Chen C., Wang Y. Detect-SLAM: Making Object Detection and SLAM Mutually Beneficial // IEEE Winter Conference on Applications of Computer Vision (WACV). 2018. Pp. 1001-1010.
3. Barron J. A General and Adaptive Robust Loss Function // IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). 2019. Pp. 4326-4334.
4. Qin T., Pan J., Cao S., Shen S. A General Optimization-based Framework for Local Odometry Estimation with Multiple Sensors. 2019. ArXiv, abs/1901.03638.

Выпускник
Савельев Александр Геннадьевич
высшая школа цифровой культуры
Направление подготовки: 01.04.02 – Прикладная математика и информатика
e-mail: algsavelev@gmai.com

Научный руководитель
Самарин Алексей Владимирович
преподаватель (квалификационная категория «преподаватель»)
e-mail: aleksei.v.samarin@gmail.com

УДК 005

АДАПТАЦИЯ МЕХАНИЗМА ВНИМАНИЯ ДЛЯ АНАЛИЗА ТРАЕКТОРИЙ АГЕНТОВ ПРИ ПОСТРОЕНИИ СПЕЦИАЛЬНЫХ ДЕСКРИПТОРОВ ИЗОБРАЖЕНИЙ ОБЛАСТЕЙ С ТЕКСТОМ

В последнее время общие нейросетевые архитектуры в компьютерном зрении достигли невероятных успехов в задачах классификации изображений [1]. Однако существуют задачи компьютерного зрения, где общие методы классификации не показывают такого хорошего результата, как нейросетевые архитектуры, которые специально предназначены для решения этих задач. Примером такой задачи является классификация фотографий фасадов коммерческих зданий по видам оказываемых услуг. Стоит отметить, что описанная проблема является чрезвычайно сложной задачей в контексте ее решения технологиями компьютерного зрения. Среди различных факторов, усложняющих задачу классификации, можно выделить следующие: фон текстовой области рассматриваемой таблички может содержать элементы неправильной формы и часто имеет неоднородную цветовую гамму; текст рекламных вывесок на фасадах часто содержит большое разнообразие шрифтов и цветов. Помимо чисто визуальной составляющей, для принятия целевого решения можно использовать семантическую составляющую, извлеченную из текста, представленного на плакате. Оптическое распознавание символов делается с помощью специальных движков, но к сожалению, нельзя не отметить низкую точность распознавания текста в контексте рассматриваемой проблемы. Это связано с различными формами, размерами, углами съемки рекламного плаката, а также с собственными параметрами калибровки камеры и искажениями различной природы. Более того, сама классификация текста не показывает высоких результатов в определении типа услуг из-за отсутствия достаточного контекста и неточностей в процессе распознавания текста. Для успешного решения данной задачи была успешно апробирована комбинированная нейросетевая архитектура [2], которая имеет ключевую особенность – способность улавливать визуальную составляющую изображения и передавать стиль области с текстом на рекламной вывеске. Это стало возможным благодаря созданию специального вида дескриптора, который формируется за счет движения специальных агентов по изображению. Данный модуль в составе комбинированной архитектуры позволил значительно улучшить качество классификации по сравнению с общими нейросетевыми методами. Однако, данный подход имеет недостаток - выбор движения агентов ориентируется только на локальную связь между небольшими группами элементов данных и не учитывает глобальный контекст изображения в целом.

Таким образом, целью данной работы является адаптация механизма внимания для анализа траекторий агентов при построении специальных дескрипторов изображений областей с текстом для задачи классификации фасадов коммерческих зданий по типу предоставляемых услуг. Для достижения поставленной цели были сформулированы следующие задачи:

1. Осуществить обзор существующих дескрипторов для изображений.
2. Доработать комбинированную нейросетевую архитектуру для формирования

траекторий движения агентов с помощью механизма внимания.

3. Исследовать эффективность полученных модулей в составе комбинированного нейросетевого классификатора.

В связи со спецификой задачи классификации фасадов коммерческих зданий по типу предоставляемых услуг, упомянутая комбинированная нейросетевая архитектура включает в себя несколько видов дескрипторов для более полного охвата происходящего на сцене.

На рисунке 1 визуализирована данная архитектура.

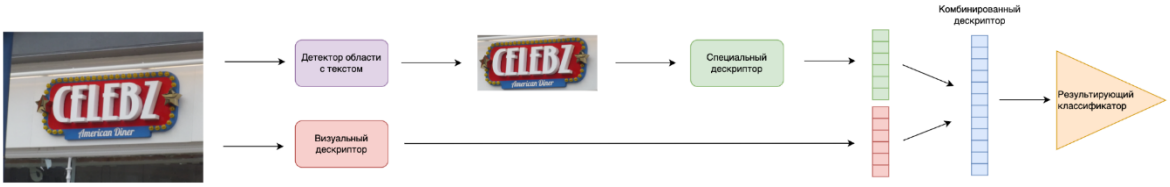


Рис. 1. Комбинированная нейросетевая архитектура

Модуль извлечения визуальный дескриптор используется для создания визуальных признаков из исходного изображения, который реализуется с помощью сверточной нейросетевой архитектуры MobileNet. Так как в предыдущих работах модули для оптического распознавания символов показали плохое качество работы из-за упомянутых проблем, было принято решение использовать двухступенчатый нейросетевой кодировщик для учета области, содержащей текст. Для обнаружения областей с текстом на входном изображении используется архитектура на основе сверточной нейронной сети EAST. На основе результатов первой стадии начинает работать специальный дескриптор изображений, передающий особенности стиля рассматриваемой вывески.

Специальные дескрипторы основаны на идее получения максимальной информации от взаимного расположения областей с максимальным изменением яркости из разных мест области, содержащей текст. Процедура вычисления данных дескрипторов естественным образом распараллеливается и не требует значительных вычислительных ресурсов. Таким образом, дескрипторы изображений можно рассматривать как следы движения определенного числа агентов из заданных начальных позиций на изображении по заданным стратегиям. Модуль специального дескриптора для изображений имеет несколько реализаций [3]. Основные их отличия состоят в разной стратегии выбора направления агента на текущем шаге. В специальных дескрипторах типа A, B и C данное правило задается аналитическим путем, и оно анализирует небольшие окрестности относительно текущего местоположения агента. Другие виды специального дескриптора типа D, E и E* основаны на обучаемой процедуре на основе небольших сверточных кодировщиков, в отличие от предыдущих реализаций. Несмотря на высокую эффективность, которую показали все перечисленные дескрипторы в составе комбинированного классификатора, они содержат идеологический недостаток. Он заключается в том, что все они прогнозируют следующий шаг движения агента, основываясь лишь на локальных частях задетектированной области с текстом, и никак не учитывают глобальный контекст вывески целиком. То же самое касается и модуля визуального дескриптора, который использует чисто сверточный кодировщик для выделения визуальных признаков из исходного изображения.

Для решения поставленной проблемы в данной работе было предложено использовать механизм внимания. В отличие от чисто сверточных кодировщиков, которые являются локальными дескрипторами и получают глобальный контекст об изображении благодаря различным агрегирующим операциям, механизм внимания извлекает глобальную картину о сцене напрямую из-за особенности своей архитектуры, которая заключается в выделении важности областей изображения относительно других.

В компьютерном зрении выделяют три вида реализации механизма внимания: channel attention, spatial attention и их объединение [4]. Так как применение механизма внимания напрямую для анализа изображений является дорогой операцией с точки зрения вычислений,

большинство архитектур используют данный механизм в связке со сверточными кодировщиками. Примерами таких моделей являются SENet, GENet и CoAtNet.

Для тренировки моделей их последующей валидации использовались два набора данных: Google Street View (GSV) и Signboard Classification Dataset (SCD). Все изображения из обоих наборах данных сгруппированы в 4 класса в соответствии с типом предоставляемых услуг: отели, магазины, рестораны и “другие”.Таким образом в данной работе решалась задача многоклассовый классификации. Для оценки качества классификации использовалась макро-усредненная метрика F1-score.

Первые эксперименты коснулись модуля для извлечения визуального дескриптора. Вместо упомянутой архитектуры MobileNet в данной работе было принято решение использовать модели, реализующие концепцию механизма внимания, а именно SENet, GENet и CoAtNet. Так как они способны учитывать как глобальный, так и локальный контекст изображений благодаря своей архитектуре.

На рисунке 2 визуализирована данная архитектура.

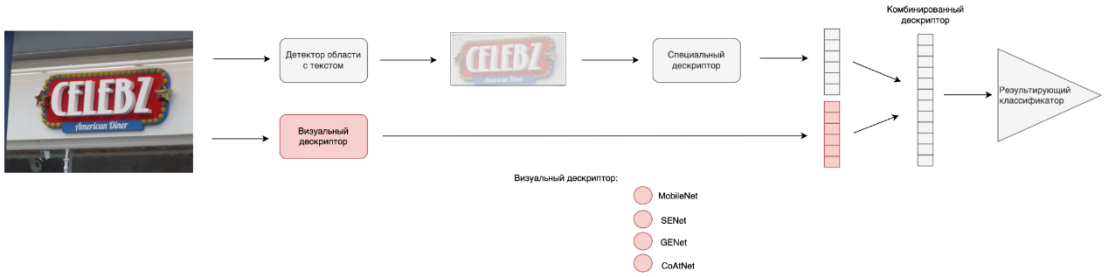


Рис. 2. Визуальный кодировщик с использованием механизма внимания

Были обучены различные варианты визуальных кодировщиков на описанных наборах данных. По итогам экспериментов было установлено, что использование архитектуры с механизмом внимания CoAtNet повысило качество классификации по сравнению с моделью MobileNet из статьи.

В таблице 1 представлены результаты изменения визуального кодировщика.

Таблица 1. **Результаты тестирования визуального кодировщика с использованием механизма внимания**

Модель	F1 на GSV	F1 на SCD
MobileNet	0.55	0.76
SENet	0.40	0.62
GENet	0.51	0.70
CoAtNet	0.57	0.78

Таким образом, архитектура CoAtNet была выбрана в качестве визуального дескриптора для дальнейших экспериментов.

Описанные проблемы визуального кодировщика также актуальны и для специального дескриптора изображений. На выбор следующего шага для агента во всех реализациях данного вида дескриптора (кроме типа D) влияет только локальная область изображений и никак не учитывается информация, находящаяся вне этих областей. Для того чтобы адаптировать механизм внимания в специальный дескриптор для изображений был предложен дескриптор типа D*. Данный дескриптор, аналогично типу D не использует парадигму движения агентов в качестве описания стиля обасти с текстом, вместо этого использовались сверточные с механизмом внимания архитектуры в качестве дескриптора изображений, такие как SENet, GENet и CoAtNet.

На рисунке 3 визуализирован специальный дескриптор типа D*.

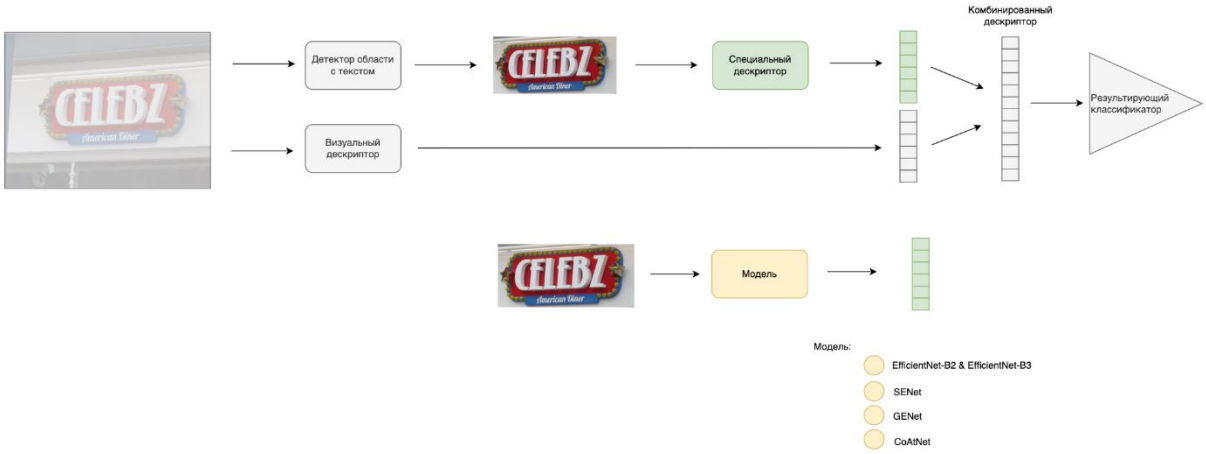


Рис. 3. Специальный дескриптор: Тип D*

Были обучены различные варианты специального дескриптора типа D* на описанных наборах данных. По итогам экспериментов было установлено, что использование архитектуры с механизмом внимания CoAtNet повысило качество классификации на наборе данных GSV.

В таблице 2 представлены результаты изменения специального дескриптора.

Таблица 2. **Результаты тестирования специального дескриптора типа D***

Модель	F1 на GSV	F1 на SCD
EfficientNet (B2 and B3)	0.58	0.79
SENet	0.44	0.60
GENet	0.51	0.65
CoAtNet	0.59	0.75

Архитектуры в компьютерном зрении, использующие механизм внимания, обладают уникальным преимуществом - они могут выделять в глубоких слоях карты внимания, которые подчеркивают наиболее важные части изображения для анализа. Это позволяет снизить количество информации, которую необходимо обрабатывать, и сосредоточиться только на ключевых элементах изображения.

На рисунке 4 визуализирован специальный дескриптор типа F.

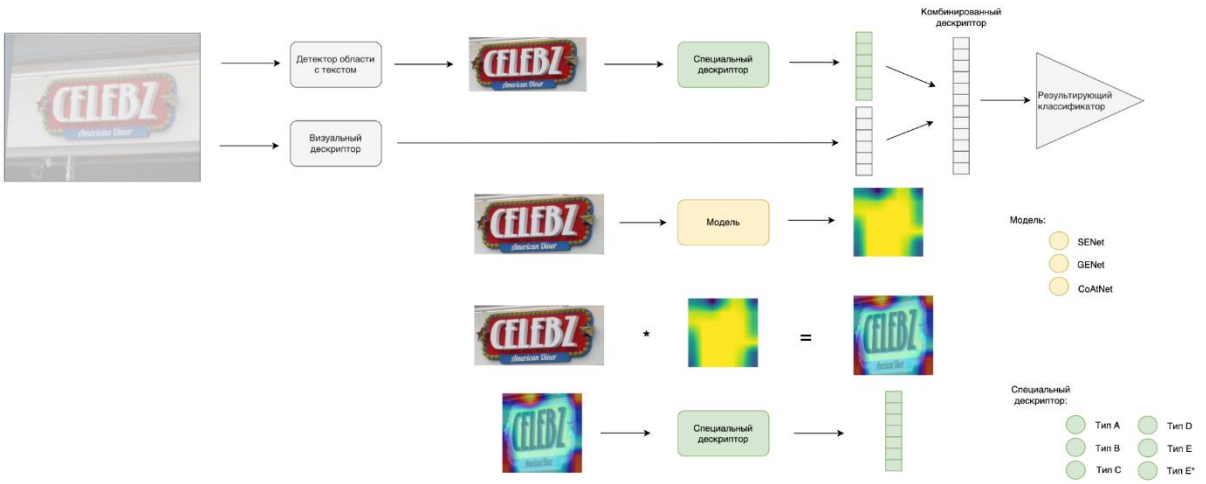


Рис. 4. Специальный дескриптор: Тип F

Были обучены различные варианты специального дескриптора типа F на описанных наборах данных. По результатам экспериментов было установлено, что использование архитектуры с механизмом внимания CoAtNet в качестве движка для выделения карт признаков и уже разработанного специального дескриптора типа E, основанного на концепции

движения агентов по изображению, повысило качество классификации на двух наборах данных.

В таблице 3 представлены результаты изменения специального дескриптора.

Таблица 3. **Результаты тестирования специального дескриптора типа F**

Модель	F1 на GSV	F1 на SCD
CoAtNet + Тип E	0.62	0.81
CoAtNet + Тип E*	0.60	0.78
CoAtNet + Тип A	0.59	0.79
CoAtNet + Тип C	0.58	0.77
GeNet + Тип E*	0.57	0.76

Таким образом, разработанное решение является новым лучшим решением на двух наборах данных GSV и SCD.

В ходе работы были получены следующие результаты:

1. Произведен обзор существующих дескрипторов изображений.
2. Доработана комбинированная нейросетевая архитектура для построения траекторий движения агентов с использованием механизмов внимания.
3. Исследована эффективность применения полученных модулей в составе комбинированного нейросетевого классификатора.

Полученные результаты были опубликованы в научной статье [5], которая была принята к публикации в рецензируемом журнале. Это подтверждает актуальность и значимость предложенного подхода в задаче классификации коммерческих зданий.

В дальнейшей работе планируется применение полученной архитектуры для классификации фотографий рукописей, так как в этой задаче также необходимо оценивать стиль написания текста.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Samarin A., Savelev A., Malykh V. Two-Staged Self-Attention Based Neural Model for Lung Cancer Recognition // Proceedings of the 2020 Science and Artificial Intelligence Conference. 2020. Pp. 50-53.
2. Malykh V., Samarin A. Combined Advertising Sign Classifier // Analysis of Images, Social Networks and Texts. 2019. Pp. 179-185.
3. Samarin A., Malykh V. Worm-like image descriptor for signboard classification // Proceedings of The Fifth Conference on Software Engineering and Information Management. 2020. Pp. 30-33.
4. Samarin A., Savelev A., Toropov A. et al. One-staged attention-based neoplasms recognition method for single-channel monochrome Computer Tomography snapshots // Pattern Recognition and Image Analysis. 2022. Pp. 645-650.
5. Samarin A., Savelev A., Toropov A. et al. Trainable agents movement strategies for advertising sign visual descriptors // Pattern Recognition and Image Analysis. 2022. Pp. 651-657.

Выпускник
Терло Ян Владимирович
центр прикладной оптики
Направление подготовки: 12.04.02 – Прикладная оптика
e-mail: vespasian1999@gmail.com

Научный руководитель
Вознесенская Анна Олеговна
к.т.н., доцент
e-mail: voznesenskaya@itmo.ru

УДК 535.015

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ТИПА FOCAL-PISHAPER НА ОСНОВЕ МОДИФИЦИРОВАННОГО МЕТОДА ГЕОМЕТРИЧЕСКОГО ОТОБРАЖЕНИЯ ЛУЧЕЙ

Работа выполнена в рамках темы НИР №621317 «Фундаментальные и прикладные вопросы фотоники».

Основная цель большинства лазерных технологий – передача определенной доли энергии лазера обрабатываемому материалу [1]. Для одномодового лазерного пучка характерно гауссово распределение интенсивности в сечении.

Однако, для некоторых приложений (сварка, гравировка, etc.) требуется равномерная интенсивность сфокусированного излучения на определенном уровне I_h (рис. 1). Тогда площади E_1 и E_2 – энергии потерь, которые могут возникать из-за неэффективного использования энергии лазера; E_3 – полезная энергия. Несложно убедиться, что отношение эффективной энергии к потерям далеко от желаемого и может достигать 1:1.

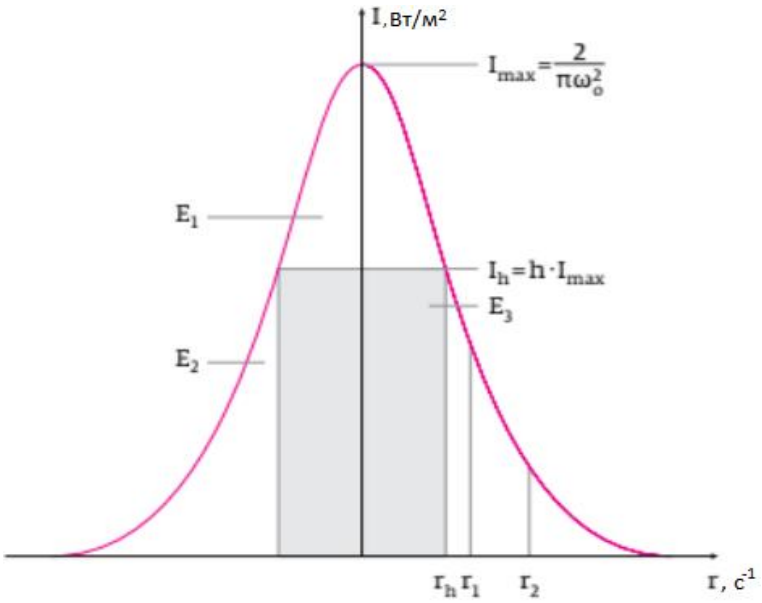


Рис. 1. Профиль лазерного пучка типа TEM_{00}

Для уменьшения энергии потерь используются разные оптические системы, объединенные термином «шейперы» (beam-shapers), среди которых особенно примечательны преобразователи типа piShaper. Их основная задача – преобразование входного гауссова пучка в пучок с равномерно распределенным профилем интенсивности (Flat-Top).

Подобное преобразование реализуется либо за счет использования нескольких (от четырех и более) компонентов со сферическими поверхностями, либо посредством расчета

поверхностей свободной формы (freeforms), позволяющими сократить количество компонентов преобразователя до двух. В данной работе рассматривается именно второй вариант компоновки прибора – а, следовательно, необходимо грамотно подойти к созданию алгоритма расчета оптических поверхностей свободной формы (ОПСФ).

Синтез ОПСФ осуществляется согласно одному из известных методов: эллипсоидов, одновременных множественных поверхностей, Монжа–Ампера, геометрического отображения лучей (МГОЛ, ray mapping), проб. За счет универсальности и выгодного соотношения скорость/эффективность расчета наиболее подходящим является МГОЛ, основанный на трассировке лучевых пакетов.

На рисунке 2 представлен общий принцип синтеза одиночной ОПСФ с использованием МГОЛ [2]. Входной профиль $S(x_s, y_s)$ представляется дискретным набором точечных источников в плоскости $z = 0$, а целевой профиль (ЦП) $P(x_p, y_p)$ совпадает с плоскостью $z = z_1$. Коллимированный пучок с плотностью μ_0 проходит через ОПСФ и распределяется на ЦП с плотностью μ_1. Суть МГОЛ заключается в поиске закона отображения:

$$u: S \to S(x_s, y_s) \to P(x_s, y_s), \tag{1}$$
$$\mu = |du|\mu_1 \cdot u.$$

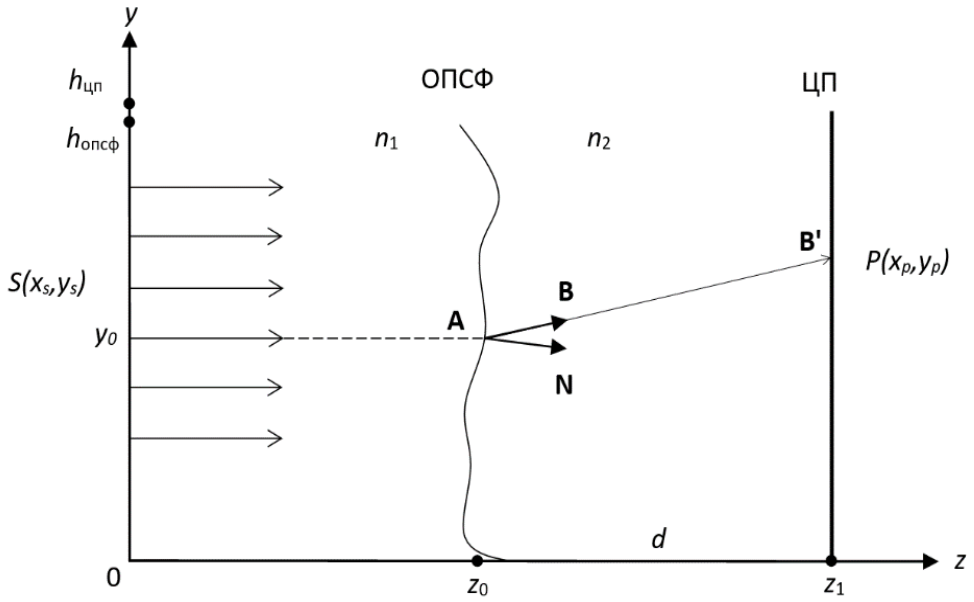


Рис. 2. Схема синтеза ОПСФ с осевой симметрией с помощью МГОЛ

Зная направление и плотность распределения входящих и выходящих лучевых пакетов и используя закон Снеллиуса, можно вычислить координаты каждого трассируемого луча на ОПСФ. В данной работе представлен результат разработки и апробации алгоритма одновременного синтеза пары ОПСФ двухкомпонентного фокального преобразователя лазерного излучения типа Focal-piShaper.

Зная законы распределения μ_0 и μ_1, выборки лучевых пакетов для входного и выходного профилей формируются согласно требованию равенства долей интеграла плотности для соответствующих относительных координат $2\pi\eta_1$ и $2\pi\eta_2$.

$$f(2\pi\eta_1) = K\frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma}exp\left(-\frac{(2\pi\eta_1 - m)^2}{2\sigma^2}\right), \tag{2}$$

$$f(2\pi\eta_2) = 4Bessinc^2(2\pi\eta_2) = 4\left(\frac{J_1(2\pi\eta_2)}{2\pi\eta_2}\right)^2. \tag{3}$$

где σ – аналитически рассчитанная величина, m – математическое ожидание (для осесимметричного пучка всегда равно 0), $K = 3{,}39$ – масштабный коэффициент, J_1 – функция Бесселя первого рода.

Процесс синтеза преобразователя итерационен: после расчета входного и выходного профилей излучения формируется дискретный набор высот Y (размерность набора лучей в полусфере M = 501) и закрепляются положения осевых точек обеих ОПСФ (0; 0) и (d; 0), где d – расстояние между компонентами. После чего выполняется следующий алгоритм: на полусумме Y_i и Y_{i+1} с учетом известного уравнения касательной к уже полученной ранее точки P_i вида (Z_i, Y_i) находится положение опорной точки p_{i+1} вида (z_{i+1}, y_{i+1}) т.ч. $y_{i+1} = (Y_i + Y_{i+1})/2$, z_{i+1} рассчитывается из уравнения касательной к точке P_i. Расчет вектора нормали N к ОПСФ осуществляется согласно уравнению:

$$\sqrt{1 + n^2 - 2n(\mathbf{o} \cdot \mathbf{p})} \cdot \mathbf{N} = \mathbf{p} - n \cdot \mathbf{o}, \quad (4)$$

где **p** – единичный вектор преломленного луча, **o** = **OP**/|**OP**| – единичный вектор падающего луча, n – показатель преломления среды.

Уточнение (4) осуществляется на основе закона Снеллиуса

$$n\,sin(\varepsilon) = n'\,sin(\varepsilon'), \quad (5)$$

где ε и ε' – углы падения и преломления соответственно.

При переходе к следующей точке ОПСФ Pi+1 необходимо соблюдать условие ортогональности векторов:

$$\overrightarrow{P_{i+1} - p_{i+1}} \cdot \mathbf{N} = 0. \quad (6)$$

Согласно уравнениям (4–6) в ходе алгоритма осуществляется одновременная трассировка луча в прямом и обратном ходе и, если полученные лучи не совпадают (с точностью до 10^{-10} рад), обе касательные к точкам P_{i+1} поворачиваются навстречу друг другу, пока лучи не совпадут. Далее осуществляется переход к следующей точке Y_{i+2}. Общий вид алгоритма представлен на рисунке 3.

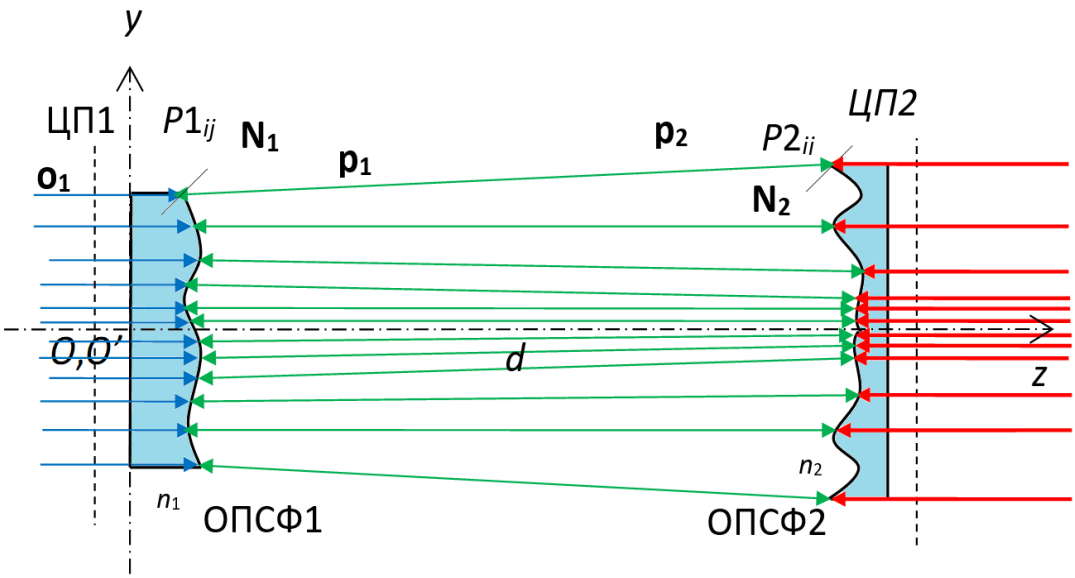


Рис. 3. Синтез преобразователя лазерного излучения с помощью МГОЛ

Полученные в результате расчета наборы стрелок прогиба и высот необходимо выразить в виде функции для дальнейшего проектирования преобразователя. Среди рассмотренных методов аппроксимации – степенной функцией через квадратные системы линейных алгебраических уравнений (СЛАУ), метод наименьших квадратов и сплайнами [3].

Результаты сравнения метода СЛАУ и МНК на примере воспроизведения полинома четных степеней приведены в таблице 1. Таким образом, МНК обеспечивает куда более точный расчет степенных полиномов с большим количеством коэффициентов, что позволяет использовать его для аппроксимации конструктивных параметров преобразователя.

Таблица 1. **Оценка полиномиальных методов аппроксимации на примере аналитической четной степенной функции**

Коэф-ты / **Функция**	c_2	c_4	c_6	c_8	c_{10}	c_{12}	c_{14}	c_{16}	**СКО**
Аналитич.	$2{,}0 \times 10^{-6}$	$-4{,}5 \times 10^{-10}$	$1{,}32 \times 10^{-10}$	$9{,}35 \times 10^{-13}$	$-3{,}5 \times 10^{-14}$	$-8{,}61 \times 10^{-17}$	$7{,}2 \times 10^{-19}$	$-7{,}3 \times 10^{-22}$	0
СЛАУ	$2{,}03 \times 10^{-7}$	$4{,}4 \times 10^{-10}$	$6{,}44 \times 10^{-11}$	$2{,}16 \times 10^{-12}$	$8{,}75 \times 10^{-33}$	$1{,}46 \times 10^{-24}$	$4{,}42 \times 10^{-25}$	$2{,}29 \times 10^{-33}$	$3{,}05 \times 10^{-4}$
МНК	$2{,}0 \times 10^{-6}$	$-4{,}7 \times 10^{-10}$	$1{,}32 \times 10^{-10}$	$9{,}35 \times 10^{-13}$	$-3{,}5 \times 10^{-14}$	$-8{,}61 \times 10^{-17}$	$7{,}2 \times 10^{-19}$	$-7{,}3 \times 10^{-22}$	$9{,}86 \times 10^{-9}$

Следующим этапом выступает проверка устойчивости аппроксимации МНК для конструктивных параметров преобразователя. Исходные наборы стрелок прогиба ОПСФ и высот задаются в компьютерный алгоритм, после чего аппроксимируются полиномом четных степеней без свободного члена с варьируемым количеством коэффициентов, начиная с семи. СКО результирующей формы поверхностей от расчетных конструктивных параметров представлено в таблице 2. Заметно, что до одиннадцати коэффициентов СКО уменьшается для обеих ОПСФ, далее же ее изменения становятся менее предсказуемым. В связи с тем, что после двенадцати степеней устойчивость (СКО не изменяется при перестановке элементов выборки) аппроксимации сильно снижается, что позволяет утверждать, что наиболее эффективно использовать четный степенной полином двадцать четвертой степени.

Таблица 2. **Погрешность аппроксимации конструктивных параметров преобразователя**

Количество коэффициентов вида R^{2k} / **ОПСФ**	**СКО, мкм**					
	7	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**
ОПСФ 1	0,071	0,065	0,044	0,043	0,033	0,038
ОПСФ 2	0,045	0,043	0,021	0,033	0,016	0,010

Несмотря на малую величину СКО, при задании саппроксимированных поверхностей в Zemax ход лучей в преобразователе сильно отличается от требуемого – в выходном пучке лучи не коллимированы, а распределение энергии в профиле не соответствует «Картине Эйри». Результат представлен на рисунке 4.

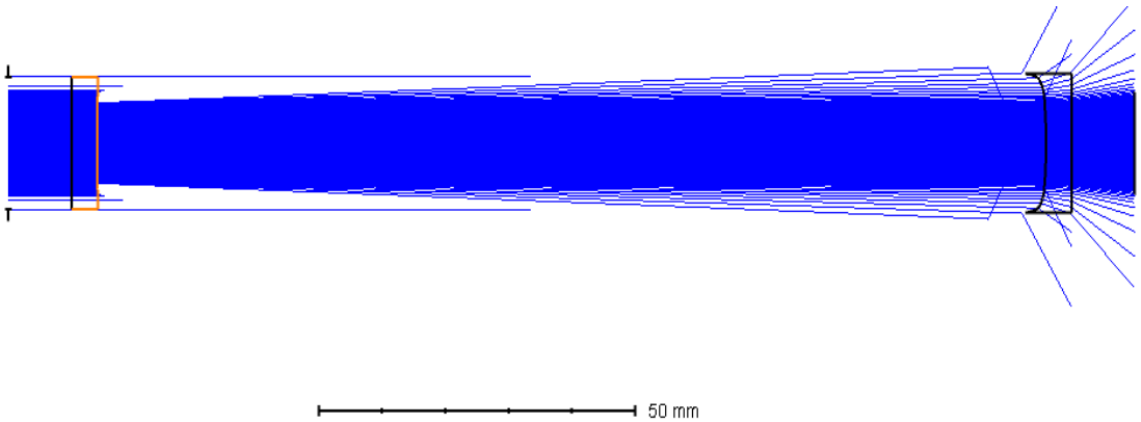


Рис. 4. Результат моделирования преобразователя с использованием аппроксимации МНК

Использование неоднородного рационального B-сплайна (NURBS) позволяет избежать проблем с воспроизводимостью выходного профиля с учетом соблюдения условия коллимированности выходного пучка. В результате СКО стрелок прогиба ОПСФ не

превышает 0,1 мкм, а отклонение выходного профиля от требуемого не превышает 1%. Остаточные аберрации меньше 0,8 мрад, а распределение энергии в пучке соответствует теоретическому, как показано на рисунке 5.

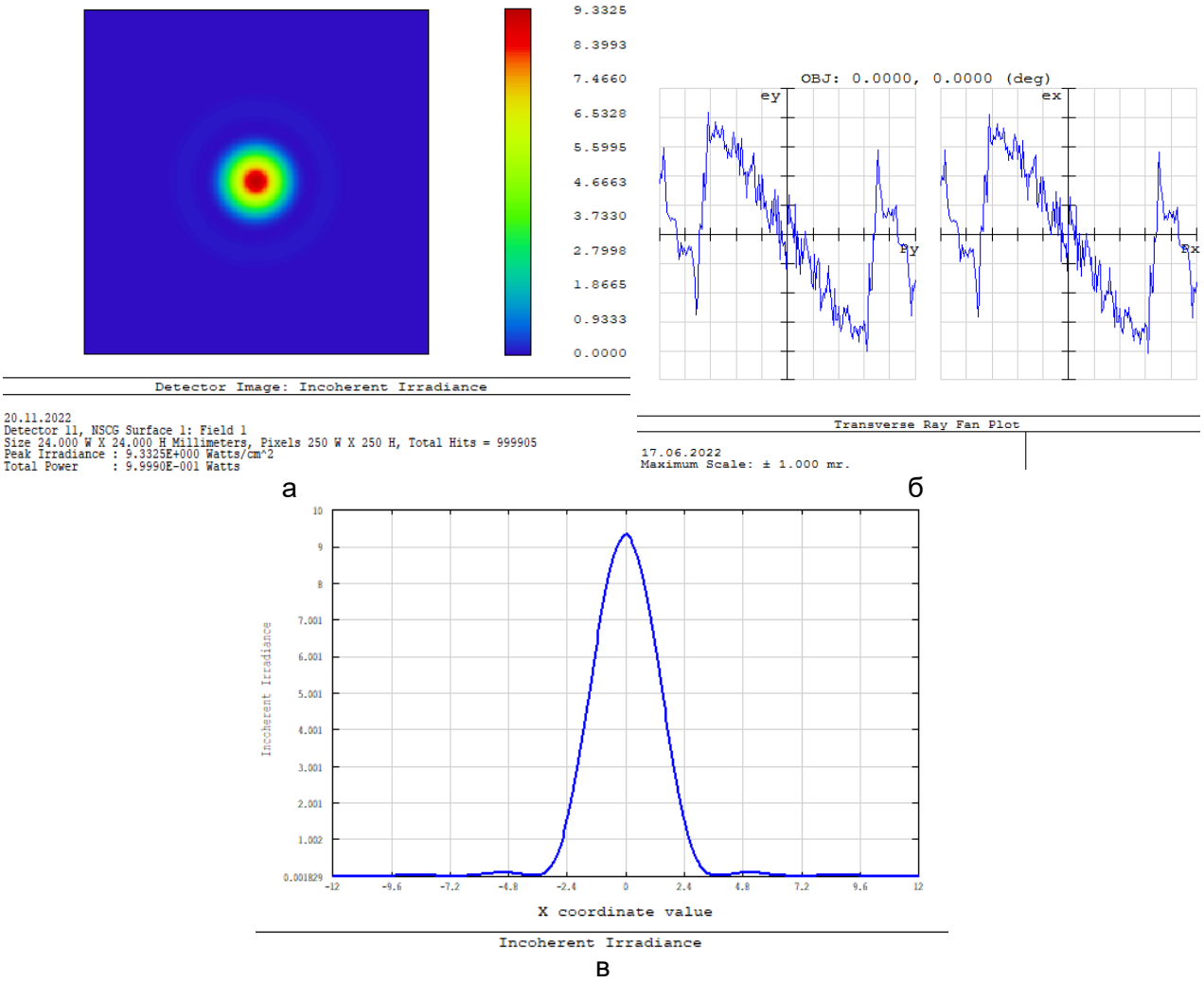


Рис. 5. Результат моделирования для входной мощности в 1 Вт: а) распределение освещенности на детекторе; б) поперечные аберрации; в) распределение интенсивности на выходном зрачке

Последним этапом проектирования оценивается устойчивость выходного профиля и компоновка полученной системы преобразователя с коллимирующей линзой. Для определения устойчивости профиля выходной детектор перемещается вдоль оси, и параллельно с этим рассчитывается СКО профиля интенсивности от теоретического. В результате оптимальная длина стабильного распространения (СКО менее 1%) выходного пучка не превышает 50 мм, как показано на рисунке 6.

Последним этапом к системе была добавлена параксиальная линза, а лазерному пучку приравнена расходимость в 2,2 мрад с фокусным расстоянием в 25 мм. Согласно полученным результатам (за счет введения в ход лучей диафрагмы, ограничивающей выходной пучок «Картины Эйри» до центрального пика), в пятне с диаметром 320/160 мкм приходится 83% энергии, из которой большая часть сконцентрирована в центральной области, что удовлетворяет теоретическим требованиям.

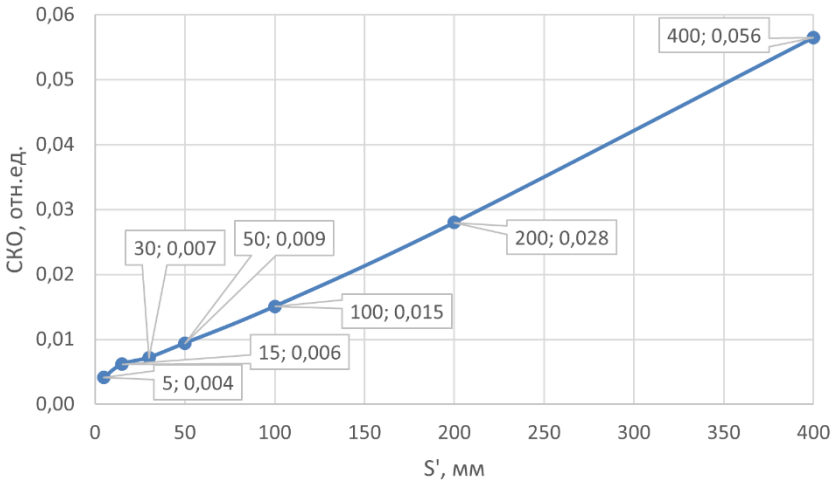


Рис. 6. СКО распределения интенсивности излучения в выходном пучке при варьировании положения детектора

В ходе работы был разработан алгоритм синтеза преобразователя лазерного излучения типа Focal-piShaper на основе МГОЛ с последующим моделированием системы в Zemax. Остаточные аберрации в 0,8 мрад несколько понижают достоверность воспроизведения теоретического выходного профиля вида «Картина Эйри», однако обеспечивает преобразование пучка с погрешностью менее 1%, что позволяет утверждать о высокой эффективности заявленного метода расчета системы.

В дальнейшей работе планируется снизить влияние аберраций на преобразование пучка, а также повысить эффективность расчетов путем автоматизации процесса расчетов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Ласкин А.В., Ромашова В.Б., Болт С.А., Буров Н.В. Формирователи профиля интенсивности лазерных пучков // Фотоника. 2018. Т. 12. №. 2(70). С. 178-190. https://doi.org/10.22184/1993-7296.2018.70.2.178.190.
2. Мазур Я.В., Вознесенская А.О. Синтез оптических поверхностей свободной формы с использованием нейронных сетей // Оптический журнал. 2022. Т. 89. №. 2. С. 36-42. https://doi.org/10.1364/JOT.89.000089.
3. Грищенко Н.В., Семериков С.А., Хараджян А.А., Чернов Е.В. Сравнительный анализ методов аппроксимации. Кривой Рог: Криворожский государственный педагогический институт. 1998. 26 с.

Выпускник
Урванцев Александр Михайлович
факультет технологического менеджмента и инноваций
Направление подготовки: 27.04.05 – Инноватика
e-mail: 79127100509@yandex.ru

Научный руководитель
Гагулина Наталья Львовна
к.ф-м.н., доцент
e-mail: nlgagulina@itmo.ru

УДК 338.2

РАЗРАБОТКА СТРАТЕГИИ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ ДЛЯ АО «ЛЕО ТЕЛЕКОМ»

XXI век – это уникальное время быстрых скоростей и быстрых изменений. Технологии серьезно влияют на человеческую жизнь и приводят к масштабным изменениям во всех сферах, повышая неопределенность внешней среды для компаний. Это объясняет актуальность тематики, посвященной поиску стабильности и разработке стратегии устойчивого развития для компании.

Цель исследования: разработать и обосновать стратегию устойчивого развития АО «ЛЕО ТЕЛЕКОМ» как один из ориентиров компании в области ответственного ведения бизнеса, который находится в центре комплексной системы управления компании. Для достижения цели необходимо решить следующие задачи:

- сформировать теоретические основы разработки стратегии устойчивого развития компании, необходимые для выработки практически значимых решений в области ответственного ведения бизнеса;
- проанализировать основные направления и показатели деятельности компании, выявить и обосновать потребности компании в стратегии устойчивого развития;
- представить ядро стратегии устойчивого развития АО «ЛЕО ТЕЛЕКОМ»;
- составить развернутое описание стратегии устойчивого развития АО «ЛЕО ТЕЛЕКОМ» и раскрыть ее возможности для дальнейшего применения.

Наиболее полное отражение сущности и содержания понятия «стратегия устойчивого развития» можно получить, применив метод индукции, т.е. выразив общее определение через отдельные части понятия.

В общепринятом понимании стратегия устойчивого развития – это компонентная основа общей стратегии компании, отражающая соответствие как ведения отдельных бизнес-процессов, так и общего результата деятельности компании согласно ключевым принципам устойчивого развития [1, 2]. Сегодня заинтересованные стороны ожидают, что компании будут иметь целевые показатели в качестве признака стремления к достижению результатов. Поэтому для целей исследования автором разработано следующее определение: стратегия устойчивого развития (СУР) – это комплекс целей, задач и соответствующих мероприятий, не противоречащий основной миссии компании, а также являющийся частью основной стратегии развития, в том числе фокусирующийся на достижении баланса между поддержанием желаемого темпа экономического роста и компенсацией социального и экологического ущерба, при этом создающий дополнительную ценность поверх основного направления деятельности компании.

Как показал опрос, проведенный среди представителей российского бизнеса, разработка СУР для отдельно взятой организации требует решения задач, связанных с формированием теоретической базы по теме, анализом основных направлений деятельности выбранной компании, определением потребности в стратегии устойчивого развития и, наконец, ее

формированием. Обязательно проведение расчета экономического эффекта от внедрения стратегии устойчивого развития.

Автором консолидированы основные мероприятия, на которые ориентируются компании при оценке устойчивости, среди них:

- создание отдельного подразделения, курирующего направление деятельности компании в области устойчивого развития (ESG комитет) на базе комитета или департамента по корпоративному управлению;
- в обязательном порядке дополнение существующей бизнес-стратегии компании ESG стратегией;
- ведение особого направления работы – создание портрета как компании в целом, так и отдельных ее сотрудников, опираясь на ценности нового времени – разнообразие, равенство возможностей и инклюзивность;
- формирование портфеля проектов, направленных на снижение актуальных социальных и экологических рисков;
- создание дополнительного конкурентного преимущества путем принятия этически безупречных бизнес-решений по принципам открытости и прозрачности;
- внедрение централизованной системы сбора исходных данных со всего предприятия об используемых ресурсах;
- формирование гибких бизнес-моделей, трансформирующихся под влиянием внешних факторов, определяющих перспективы устойчивого развития на годы вперед в противовес кратковременному успеху;
- взаимная поддержка бизнес-направлений, повышение эффективности кросс-функциональных взаимодействий, использования ресурсов и оптимизация инвестиционных потоков.

По результатам анализа автором сформулировано 45 критериев, сгруппированных по трем направлениям: экологическому, социальному и корпоративного управления. Некоторые из критериев приведены в таблице.

Для создания ядра стратегии устойчивого развития как отдельного направления, следует опираться на алгоритм формирования стратегии устойчивого развития, представленный на рисунке. Следует при этом руководствоваться критериями устойчивости организации, а также главным вопросом: «Согласуется ли предлагаемая стратегия устойчивого развития с основной стратегией компании?».

Оценка компании, исходя из приведенных критериев, позволит системно взглянуть на направление устойчивого развития и принять решение о его соответствии основной миссии компании. Если предлагаемая стратегия устойчивого развития не согласуется или плохо согласуется с основной стратегией компании, то происходит пересмотр постановки задачи и приведение в соответствие со сложившейся конъюнктурой. В противном случае запускается базовый алгоритм разработки стратегии, основанный на постановке целей, определении приоритетов и ценностей, а также разработке системы управления рисками.

Используя данные таблицы и рисунок, на основании оценки текущей деятельности компании, формулируются и приоретизируются цели и мероприятия в рамках стратегии устойчивого развития. В рамках оценки выбранной организации для достижения цели первого приоритета было предложено 8 экологических и 7 социальных мероприятий. Эффект выражался напрямую через рост чистой прибыли и косвенно в виде:

- поддержки актуальности экологической повестки;
- повышения уровня известности товарного знака;
- социализации персонала;
- увеличения привлекательности компании как работодателя.

Для приведения конкретных цифр в виде экономического эффекта от внедрения стратегии устойчивого развития предлагается использовать расчетную модель, предварительно сформировав информационную и методическую базу по всем постоянным клиентам конкретной компании.

Таблица. **Критерии устойчивости организации**

№	Критерии		
	E (экологический)	**S (социальный)**	**G (корпоративного управления)**
1	**2**	**3**	**4**
1	экономия бумаги за счет перехода на ЭДО	социокультурное сотрудничество и партнерство в области развития цифровой экономики	независимый состав совета директоров
2	аутсорсинг бизнес-процессов (ИТ-функционал)	комплексная оценка цепочки поставок, квалификационный отбор, открытые требования, высокий уровень ответственности	наличие политики комплаенс
3	эффективное использование сетевой и облачной инфраструктуры	предоставление социальных гарантий	система управления рисками и внутренний контроль
4	контроль эмиссии парниковых газов (в т.ч. в цепочке поставок)	повышение устойчивости бизнеса и конкурентоспособности	отношение количества женщин и мужчин в менеджменте компании
5	использование вторичных ресурсов	обеспечение оптимизации и экономии ресурсов	политика в области многообразия и инклюзивности
6	поддержка климатических инициатив, непосредственное участие	повышение безопасности производств	понятная и адекватная система вознаграждения членов Совета директоров, правления и ген. директора
7	влияние климатических рисков на стратегию развития компании в целом	расширение городских и природных пространств	создание организационной структуры управления устойчивым развитием
8	наличие планов в области экологической составляющей стратегии устойчивого развития	создание новых рабочих мест	доступные методы предотвращения коррупции
9	оценка экологических рисков и аудит сценариев	широкий набор образовательных курсов	понятные регламенты деловой этики
10	сертификация в области экологического менеджмента по ГОСТ Р ИСО 14001-2016	определена карта заинтересованных сторон	налоговая политика с курсом на прозрачность

Компания АО «ЛЕО ТЕЛЕКОМ» является ведущим системным интегратором, внедряющим передовые решения в области телекоммуникаций и технологической радиосвязи как на территории РФ, так и за рубежом. Анализ основных экономических показателей АО «ЛЕО ТЕЛЕКОМ», взятых из бухгалтерской отчетности компании [3], показал, что только 27% их 37 заказчиков считают конкурентным преимуществом наличие стратегии устойчивого развития у поставщика.

Применение методологии SMART позволило составить развернутое описание СУР компании. Пример формулировки целей первого приоритета СУР для АО «ЛЕО ТЕЛЕКОМ»:

1. Внедрить бизнес-модель (S), результатом годовой работы которой (T) послужит экономический эффект в виде увеличения прибыли на 3–5% (R), включающую в себя реализацию не менее 5-ти социальных и столько же экологических проектов (M), используя существующий незадействованный кадровый потенциал (A).
2. Уменьшить долю себестоимости продаж (S) в годовой (T) выручке компании (M) за счет повышения уровня доверия текущих и новых клиентов, системного взаимодействия со

стейкхолдерами (A), высвободив при этом бюджет для реализации оставшихся целей СУР (R).

Рисунок. Процесс формирования стратегии и целей предприятия

Соответствующий данным целям комплекс мероприятий:

- в контексте цели 1 предложено восемь экологических и семь социальных мероприятий. Эффект выражается напрямую: через рост чистой прибыли и косвенно: поддержка актуальности экологической повестки, повышение уровня известности товарного знака, социализация персонала, увеличение привлекательности компании как работодателя;
- в контексте цели 2 предложено три мероприятия: концентрация на наиболее перспективных заказчиках с точки зрения будущих проектов; поиск и начало работы с новыми заказчиками за счет функций «сарафанного радио»; создание поднаправления пресс-службы компании.

Кроме этого, разработана расчетная модель, информационная и методическая базу которой следующая. Исследование проведено методом анализа ESG-отчетов (2021 г.), а также опроса по электронной почте на предмет влияния ESG-практик на закупочную политику. Проанализирован массив ЛНА 37-ми компаний (постоянных клиентов АО «ЛЕО ТЕЛЕКОМ»), в которых отражены:

- кодекс корпоративной (деловой) этики;
- кодекс поведения поставщиков;
- политика в области соблюдения прав человека;
- антикоррупционная политика;
- политика в области промышленной безопасности, охраны труда и окружающей среды;
- политика в области закупок.

Далее решаем задачу оценки экономической эффективности внедрения СУР в работу компании. Взяв 15% за норму прибыльности проекта и 2% - шаг скидки в ходе проведения тендерных процедур, были проведены расчеты, демонстрирующие, что при внедрении стратегии устойчивого развития и получая дополнительное конкурентное преимущество,

компания увеличит свою прибыль на 3,4%, что может стать одним из основных аргументов для внедрения стратегии устойчивого развития [4].

Таким образом, анализ основных направлений и показателей деятельности компании показал, что АО «ЛЕО ТЕЛЕКОМ» нуждается во внедрении СУР и достижение целей СУР будет способствовать улучшению ключевых показателей компании. СУР АО «ЛЕО ТЕЛЕКОМ» основана на принципе реализации комплекса мероприятий в социальной, экологической и корпоративной сфере и получении экономического эффекта от ее внедрения.

Внедрение и реализация стратегии устойчивого развития будет характеризовать АО «ЛЕО ТЕЛЕКОМ» как компанию, которая придерживается принципов ответственного ведения бизнеса, сохраняя свою привлекательность для клиентов, заказчиков и инвесторов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Подход к устойчивому развитию и ESG. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ar2021.mts.ru/ustojchivoe-razvitie/podhod-k-ustojchivomu-razvitiyu-i-esg/ (дата обращения: 17.01.2023).
2. Методология ESG-оценки. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.acra-ratings.ru/criteria/2623/ (дата обращения: 17.01.2023).
3. Бухгалтерская отчетность АО «ЛЕО ТЕЛЕКОМ». [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://e-ecolog.ru/buh/2019/7713197948 (дата обращения: 17.01.2023).
4. Урванцев А.М. Специфика влияния ESG-трансформации частного бизнеса на процесс закупок / Материалы межвузовской научно-студенческой конференции "Устойчивое развитие и ESG-повестка в контексте макроэкономического анализа". 2023. С. 75-78.

МАГИСТРЫ

Лауреаты I степени конкурса на «Лучшую научно-исследовательскую выпускную квалификационную работу магистров Университета ИТМО»

Выпускник
Бадриева Зиля Фирдинасовна
физический факультет
Направление подготовки: 16.04.01 – Техническая физика
e-mail: badrievaz@gmail.com

Научный руководитель
Бруй Екатерина Алексеевна
к.т.н., н.с.
e-mail: e.brui@metalab.ifmo.ru

УДК 537.635

ЭФФЕКТ МЕЖСРЕЗОВОЙ ВАРИАЦИИ ВРЕМЕНИ РЕЛАКСАЦИИ T2 ПРИ МНОГОСРЕЗОВОМ КАРТИРОВАНИИ И ЕГО КОРРЕКЦИЯ

Работа выполнена в рамках темы НИР № 321196 «Перспективные количественные технологии в магнитнорезонансной томографии для определения стадий воспаления и фиброза, как маркеров заболеваний».
Экспериментальное исследование выполнено при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (проект № 075-15-2021-592); численное исследование выполнено при поддержке гранта для научной школы НШ – 2359.2022.4.

Картирование времени релаксации T2 – это один из методов количественной магнитно-резонансной томографии (МРТ), который обладает большим потенциалом для оценки патологических изменений в мягких тканях и для отслеживания прогрессирования заболеваний.

Одним из широко используемых методов T2 картирования является импульсная последовательность мульти-эхо спин-эхо (MESE – multi-echo spin-echo) [1]. Однако данный метод имеет свои недостатки, а именно – наличие вклада в кривую эхо модуляции стимулированных эхо-сигналов, возникающих по причине многократной рефокусировки. Аппроксимация MESE кривой экспоненциальной функцией приводит к завышению измеренных значений T2 по сравнению с истинными значениями T2. Для решения данной проблемы недавно был предложен другой метод реконструкции T2 карт из MESE данных. Данный метод, представленный в работе [2], основывается на генерации словарей кривых эхо модуляции с использованием моделирования отклика импульсной последовательности при помощи численного решения уравнений Блоха [3]. Словари состоят из набора кривых, каждая из которых промоделирована для определенного значения параметра T2. Для построения карт, экспериментальные кривые для каждого пикселя сопоставляются с кривыми из словарей, и пикселю присваивается значение T2 наиболее подходящей кривой. Ограничением этого метода является то, что словари генерируются для одного среза и не учитывают межсрезовые эффекты насыщения, возникающие при многосрезовом сканировании. Данное ограничение играет важную роль, так как выбор среза при многосрезовом сканировании является одним из аспектов, которые могут влиять на воспроизводимость при T2 картировании.

Одной из причин возникновения межсрезовой вариации при вычислении значений T2 при многосрезовом сканировании может является эффект прямого насыщения. Данный эффект возникает по причине того, что при близком расположении срезов их неидеально прямоугольные профили перекрываются, что приводит к насыщению перекрёстных областей [1]. В работе, представленной недавно [4], изучалось влияние разных эффектов на измерение значений T2 с использованием ИП MESE. Авторы пришли к выводу, что эффект прямого насыщения дает незначительный эффект. Однако, в данной работе весь анализ проводился только для центрального слоя, и не сообщалось о воспроизводимости T2 между всеми срезами сканирования при многосрезовом сканировании.

Целью данного исследования является демонстрация межсрезовой вариации значений T2 полученных при T2 картировании на основе импульсной последовательности MESE в

многосрезовом режиме, а также предложение способа коррекции данной вариации – улучшенного метода реконструкции карт T2 на основе словарей. Для достижения цели исследования необходимо было решить ряд задач:

1) провести моделирование кривых эхо модуляции для ИП MESE, для этого разработать скрипт для Matlab, позволяющий учесть при моделировании методом численного решения уравнений Блоха влияние эффекта прямого насыщения между срезами, сравнить экспериментальные кривые для фантомов со сгенерированными кривыми и сделать вывод о влиянии эффекта прямого насыщения на вариацию T2 между срезами,
2) на основе разработанного скрипта сгенерировать словари кривых эхо модуляции для случаев односрезового и многосрезового режимов сканирования,
3) реконструировать T2 карты на основе многосрезовых данных MESE сканирования фантомов с использованием односрезового и многосрезового словарей, сравнить результаты, получаемые при применении каждого из словарей, сделать вывод об использовании многосрезовых словарей для корректировки вариации значений T2 между срезами.
4) апробировать разработанный метод реконструкции T2 карт в условиях in vivo.

Для численного исследования влияния эффекта прямого насыщения на кривые эхо-модуляции в многосрезовом режиме, магнитно-резонансный отклик импульсной последовательности MESE был промоделирован путем численного решения уравнений Блоха [3]. Моделирование проводилось следующим образом. Из программного обеспечения томографа была извлечена диаграмма ИП. Был создан специальный скрипт в среде MatLab, который позволил учесть эффект прямого насыщения между срезами при их возбуждении в чередующемся порядке (1-3-5-2-4) в течение одного интервала TR. Разработанный скрипт позволяет задавать время TR, количество срезов и размер зазора между ними.

Затем для экспериментального исследования влияния эффекта прямого насыщения на кривые эхо-модуляции в многосрезовом режиме, было проведено МРТ сканирование фантомов с использованием импульсной последовательности MESE. Сканирования проводились на томографе с полем 3 Тл (MAGNETOM Vida, Siemens Healthineers, Эрланген, Германия) с использованием большой сверхгибкой 18-канальной приемной радиочастотной катушки.

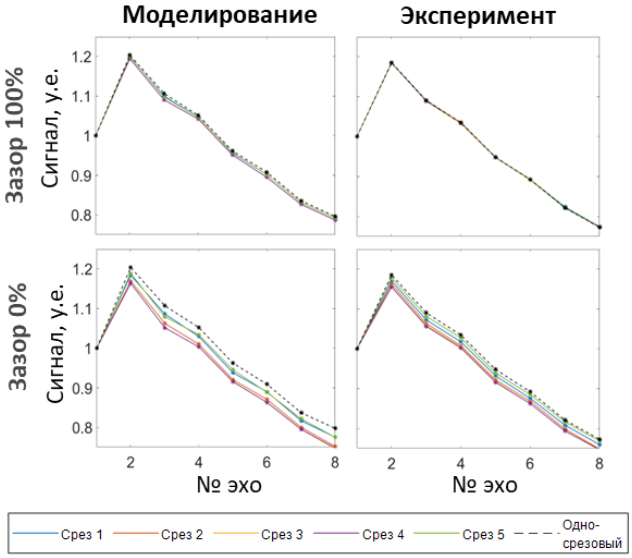


Рис. 1. Смоделированные и экспериментальные кривые эхо-модуляции для импульсной последовательности MESE с TR = 2 с, зазор между срезами = 100% и 0 %, количеством срезов = 5, в фантоме с T2 = 140 мс, T1 = 1206 мс. Сплошные и пунктирные линии относятся к многосрезовому и односрезовому режимам, соответственно

На рисунке 1 представлены промоделированные и экспериментальные кривые эхо модуляции для одного из исследуемых фантомом. И промоделированные и экспериментальные кривые демонстрируют значительную вариацию для кривых между срезами. Так же при изменении данных параметров промоделированные и экспериментальные кривые показали идентичное поведение.

На следующем этапе нами был разработан метод, основывающийся на принципе метода EMC, но учитывающий при генерации словарей эффект прямого насыщения между срезами. Для этого, с помощью скрипта MatLab, описанного в прошлой главе, для симуляции кривых эхо модуляции в многосрезовом режиме, были сгенерированы индивидуальные словари для каждого среза. Для сравнения с оригинальным подходом, был так же сгенерирован словарь для одного среза. Так как фантомы имеют разные значения времен релаксаций T1, для каждого из них был сгенерирован отдельный словарь, с использованием эталонных значений T1. Выбор диапазона времен релаксаций T2 так же основывался на полученных ранее эталонных значениях.

Далее, путем сопоставления экспериментальных данных с соответствующими сгенерированными словарями, были восстановлены T2 карты. Аналогично с оригинальной статьей [2], критерием соответствия была минимальная L2-норма между экспериментальной кривой и кривой из словаря. Далее, карты, полученные путем аппроксимации многосрезовых данных односрезовым словарем, как MS (Multi-Single), а карты, полученные путем аппроксимации многосрезовх данных многосрезовым словарем как MM (Multi-Multi).

На рисунке 2 представлены T2 карты, полученные для одного из исследуемых фантомов.

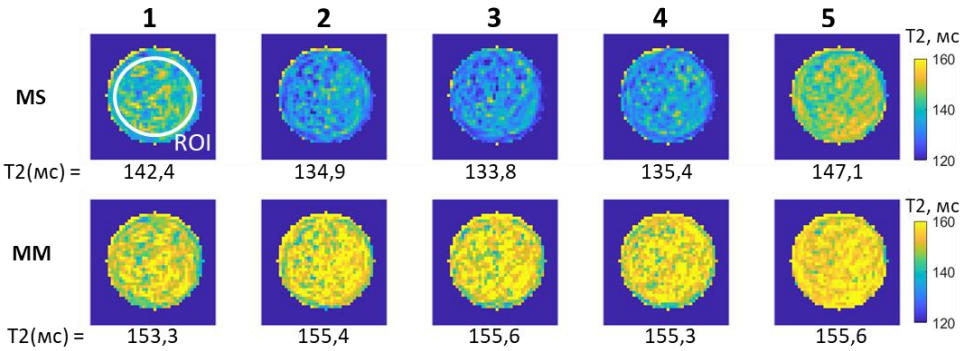


Рис. 2. T2 карты на основе мультисрезового MESE сканирования (TR = 2 с, зазор между срезами = 0 %) фантома с истинным значением T2 = 160 мс. Снизу карт приведены усреднены в области интереса (ROI) значения T2 для каждого среза

Из рисунка 2 видно, что при аппроксимации односрезовым словарем наблюдалось большой разброс значений T2 между срезами. Наименьшие значение T2 наблюдается для центральных срезов, а наибольшее для боковых. При использовании многосрезового словаря разница для T2 между срезами практически не наблюдается. Так же, значения T2 для MM выше и ближе к эталонному T2, по сравнению с T2 для MS.

Завершающий этап исследования посвящен исследованию влияния использования многосрезового режима сканирования в последовательности MESE на оценку T2 в условиях in vivo, а также, применение улучшенного EMC-метода с многосрезовыми словарями для реконструкции T2 карт, и сравнению с методом, использующим односрезовые словари.

Сканирование in vivo было проведено для одного здорового добровольца (мужчина, 25 лет, вес – 130 кг, рост – 186 см) после подписания им письменного информационного согласия.

В качестве исследуемого объекта была выбрана мышечная ткань, так как из всех тканей, при диагностике которых наиболее часто применяется T2 картирование (сердечная мышца, хрящи, мышечная ткань) она является наиболее однородной в большом объёме, что позволит оценить однородность определения значений T2 между срезами.

На рисунке 3, а и б представлены T2 карты для 5 слоев для случаев MS и MM с зазорами 0%.

Видно, что визуально обнаружить вариацию между слоями для MS и его отличие от MM сложно. По этой причине, для лучшей демонстрации разницы для значений T2 полученных с использованием односрезового и многосрезового словарей были построены карты, являющиеся попиксельной разницей между MM и MS картами для каждого среза (рис. 3,в). Для мышечной ткани данная разница преимущественно имеет положительный знак, что значит, что T2 значения для MS меньше, чем для MM. Также, данная разница заметно больше для средних срезов (№ 2, 3 и 4), по сравнению с боковыми срезами. Данные результаты согласуются с результатами, представленными для фантомов (рис. 2).

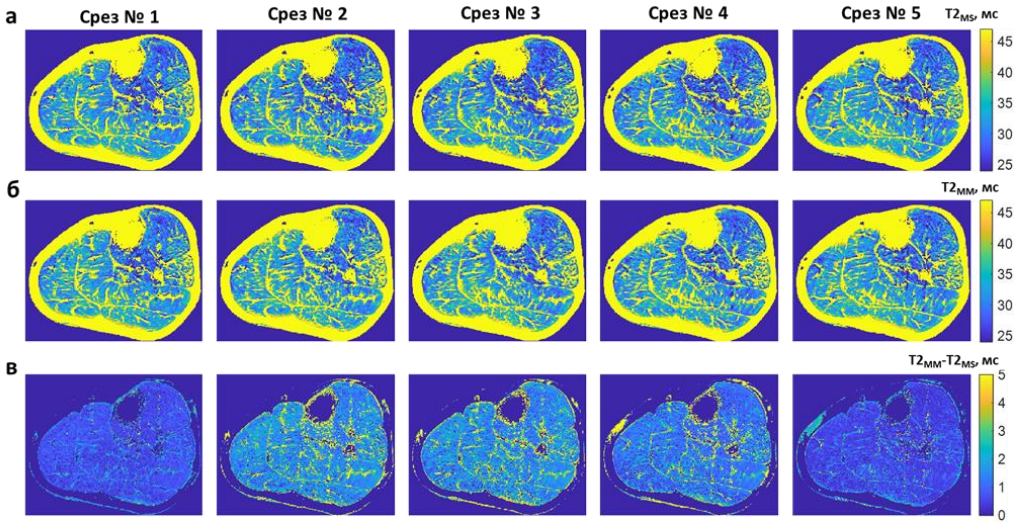


Рис. 3. T2 карты для голени полученные с использованием MESE в 5 срезах с зазором 0% и реконструированных с использованием словарей: а) словарь сгенерированный для одного среза (MS), б) словарь сгенерированный для 5 срезов (MM); в) их попиксельная разница между

Таким образом, в данной работе представлен метод реконструкции T2 карт, основанный на использовании многосрезовых словарей, сгенерированных методом численного решения уравнений Блоха. По сравнению с методом использующим односрезовые словари, новый метод уменьшил вариацию значений T2 между срезами, а также уменьшил ошибку определения T2 относительно эталонных значений. Однако, эти улучшения актуальны только, если при сканировании используется нулевой зазор между срезами, потому что при увеличении зазора уменьшается вариация значений T2, следовательно пропадает необходимость корректировки.

Ограничением данного метода является необходимость учета времени релаксации T1 при моделировании. То есть, значение T1 должно быть известно или вычислено до начала сканирования. Точность определения T1 играет большую роль, так как ошибка в его определении может привести к ошибкам в определении T2. В оригинальной статье [2] сообщалось, что результаты измерения T2 устойчивы к точности задания значений T1. Однако в случае с несколькими срезами на моделированные кривые эхо модуляции влияют эффекты прямого насыщения, которые сильно зависят от T1. Поэтому, оценка степени зависимости определения T2 для многосрезового сканирования от точности заданных значений T1 может является продолжением исследования.

Кроме этого, потенциалом представленного в работе метода является возможность его адаптации для других импульсных последовательностей помимо мульти-эхо спин-эхо. Например, для реконструкции T2 карт из данных турбо спин-эхо (TSE) последовательности, которая так же основана на множественной рефокусировке. Практический ценностью продолжения работы с TSE является то, что по сравнению с MESE сбор данных в TSE происходит быстрее, и она входит в базовый набор ИП на сканерах, т.е. не требует затрат на покупку дополнительных методик сканирования.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Bernstein M. A., King K. F., Zhou X. J. Handbook of MRI pulse sequences. Elsevier. 2004. DOI: 10.1118/1.1904597.
2. Ben-Eliezer N., Sodickson D.K., Block K. T. Rapid and accurate T2 mapping from multi–spin-echo data using Bloch-simulation-based reconstruction // Magnetic resonance in medicine. 2015. Т. 73. №. 2. С. 809-817.
3. Bloch Equation Simulator. [Electronic resource] – Access mode: http://mrsrl.stanford.edu/~brian/blochsim/ (дата обращения: 14.05.2023).
4. Radunsky D., Blumenfeld-Katzir T., Volovyk O., Tal A., Barazany D., Tsarfaty G., Ben-Eliezer N. Analysis of magnetization transfer (MT) influence on quantitative mapping of T2 relaxation time //Magnetic resonance in medicine. 2019. Т. 82. №. 1. С. 145-158.

Выпускник
Бучаев Абдулхамид Яхьяевич
факультет безопасности информационных технологий
Направление подготовки: 10.04.01 – Информационная безопасность
e-mail: abdulhamid0055@yandex.ru

Научный руководитель
Попов Илья Юрьевич
к.т.н., доцент
e-mail: ilyapopov27@gmail.com

УДК 004.056

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ АУТЕНТИФИКАЦИИ УСТРОЙСТВ ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ НА ОСНОВЕ ФИЗИЧЕСКИ НЕКЛОНИРУЕМЫХ ФУНКЦИЙ С ОЦЕНКОЙ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ НАДЕЖНОСТИ

Работа выполнена в рамках темы НИР №620164 «Методы искусственного интеллекта для киберфизических систем».

С ростом популярности концепции Интернета Вещей все большее количество устройств стало наделяться способностью обмениваться данными по сети и предоставлять пользователям свои услуги через Интернет, в рамках концепции «Индустрия 4.0» использование устройств Интернета вещей в промышленности является ключевым направление развития [1]. Вследствие этого в экосистеме IoT существенно увеличилось количество источников разнообразных данных, представляющих интерес в том числе и для злоумышленников. Внедрение IoT во все сферы человеческой деятельности вызвало большое количество новых угроз безопасности. Например, рост числа беспилотных летательных аппаратов или наноспутников типа CubeSat порождает необходимость в повышении защищенности таких устройств. В случае возникновения чрезвычайных ситуаций подвижным объектам актуально быстродействие процесса аутентификации и сохранения конфиденциальности ключевой информации при угрозе физического доступа злоумышленника.

Перечисленные устройства являются либо маломощными, либо требуют высокой энергоэффективности, а текущие методы обеспечения аутентификации на основе криптографических протоколов являются вычислительно требовательными и не удовлетворяют указанным требованиям. Среди недостатков криптографических протоколов можно также выделить большой объем передаваемых аутентификационных данных и возможность извлечения ключевой информации как при физическом доступе, так и удаленно. Технология физически неклонируемых функции (ФНФ) закрывает выявленные проблемы, так как воспроизведение или извлечение данных функций невозможно, вызов функции является абсолютно нетребовательным, поскольку энтропия ответа и привязка ключевой информации обусловлены физическими характеристиками кристалла [2].

В качестве решения предлагается использовать протокол передачи MQTT, который адаптирован к экосистеме Интернета вещей и нестабильным соединениям, что характерно для подвижных объектов, а в качестве ключевой информации использовать ответ ФНФ. Процесс формирования ответа ФНФ выглядит следующим образом: запрос к ФНФ функции делится на биты, каждый бит подается на вход SELECT пары мультиплексоров, входы «a» и «b» каждого мультиплексора соединены с выходами предыдущей пары, образуя равномерную и непрерывную цепочку для передачи сигнала (рис. 1). Первая пара мультиплексоров получает сигналы на вход от системного генератора сигналов. Выходной сигнал арбитра равен единице при условии, что на вход S сигнал пришел первым, в обратном случае на выходе получается 0. Изначально выходное состояние арбитра равно 0. Процедура прохождения запроса ФНФ по всей конструкции является итеративной, количество итераций зависит от длины входящего запроса.

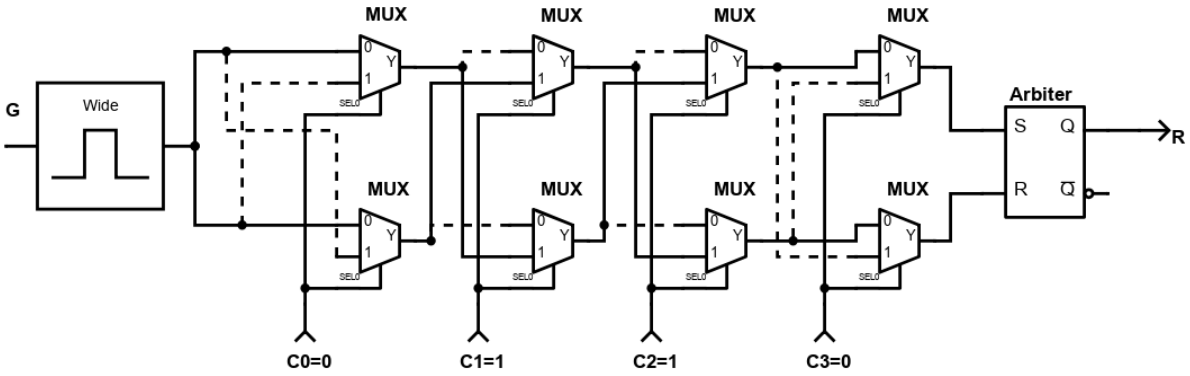


Рис. 1. Схема ФНФ Арбитра

В качестве входящих данных используется составной запрос, состоящий из множества зависимых элементов, представляющих какое-либо число. На каждой новой итерации подается следующий элемент, проходящий все цепочки ФНФ-арбитров.

Так как описанная система является линейной, то возникает уязвимость перед атаками на основе машинного обучения. Для решения данной проблемы было решено включить в общую схему нелинейные элементы, что снизить успех моделей машинного обучения, а именно моделей логистической регрессии и моделей нейронных сетей (рис. 2) [3].

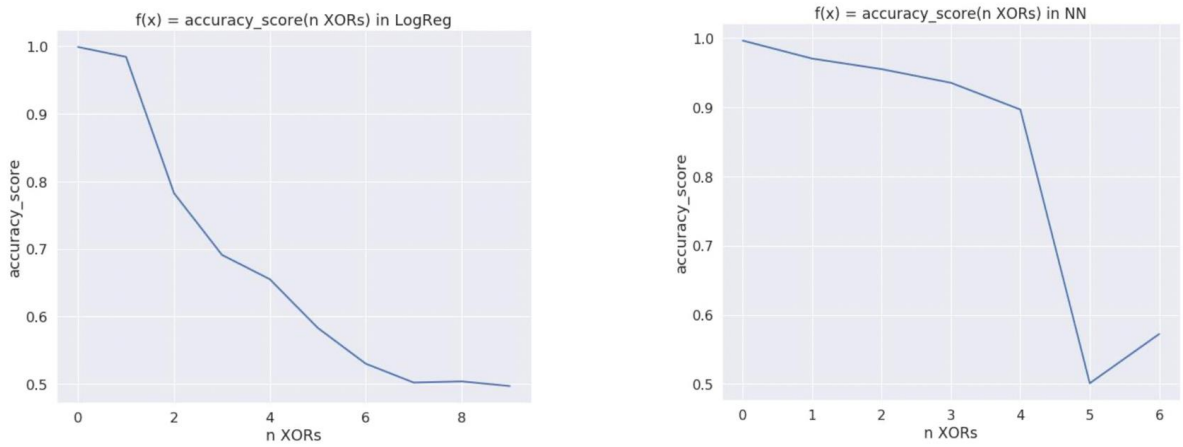


Рис. 2. Зависимость точности предсказания модели на основе лог. рег. и модели нейронной сети от количества элементов XOR

Для проведения оценки функциональной надежности полученной системы по модели Шумана необходимо собрать статистические данные об ошибках и отказах [4, 5]. В рамках написания работы был собрать экспериментальный стенд на базе макетной платы Zynq7000 с кристаллом xc7z010clg400-1. Проектирование ПЛИС, написание IP-ядра (рис. 3), конструкции ФНФ и программного кода, имитирующего сервер обработки событий, были реализованы с помощью инструментов Vivado 2020.2 и Vitis 2020.2.

В рамках сбора экспериментальных данных было решено провести три эксперимента, отличных друг от друга размером выборки и количеством итераций. Эксперименты содержали выборки в количестве 10, 100 и 1000, каждая выборка была набором из 1 000 000, 100 000, 10 000 пар запрос-ответ, соответственно. В процесс обработки полученных данных были удалены равные "0" и "1" значения, при анализе данных были отобраны данные отвечающие оптимальным условиями - частота появления значения более 1.0; число повторяющихся последовательностей "000" и "111" в сумме не более 3.

Полученные при проведении оценки функциональной надежности параметры и результаты представлены в таблице.

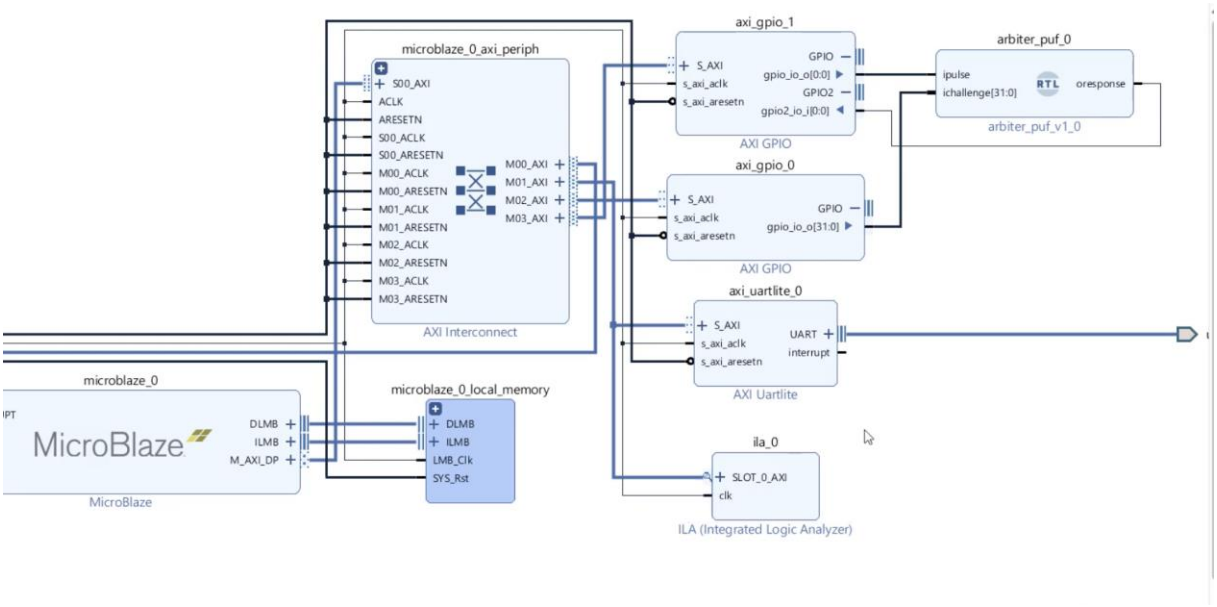


Рис. 3. Интеграция ФНФ в IP-ядро

Таблица. **Сравнительная характеристика результатов**

Метод аутентификации	Время аутен-тификации (сек.)	Объем данных (байт)	Интенсивность возникновения ошибок (1/ч.)	Доработка до ошибки (ч.)	Вероятность отсутствия ошибки за опр. время работы системы (24 часа)
ФНФ	8 * 10^(-4)	26	0.074	13.525	0.170
CoAP + DTLS	18 * 10^(-4)	54	-	-	-

В результате был получен экспериментальный стенд, реализующий аутентификацию устройства с использованием технологии физически неклонируемых функций, время аутентификации было уменьшено, быстродействие и энергоэффективность и конфиденциальность ключевой информации повышены.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Фомина А.В., Мухин К.Ю. ИНДУСТРИЯ 4.0. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ, ПРЕИМУЩЕСТВА И ПРОБЛЕМЫ // Экономический вектор. 2018. №. 3. С. 33-38.
2. Mustafaev A.G., Buchaev A.Y. A Reliable Authentication Method for the Internet of Things Devices // 34th International Conference on Information Technologies (InfoTech-2020) – Varna, Bulgaria. 2020. С. 1-3.
3. Мартвель Г.А., Чупраков Ф.М. Программная реализация физически неклонируемых функций // Информатика и управление. Труды Московского физико-технического института. 2020. №. 2. С. 55-63.
4. Маликов С.Н., Тютин Н.Н., Чванин О.Н., Чудинов С.М., Кривошеев О.Н. Методы исследования и оценки функциональной надежности сложных мультисервисных систем // Экономика. Информатика. 2009. №. 1. С. 93-101.
5. ГОСТ Р МЭК 61508-6-2012. Функциональная безопасность систем электрических, электронных, программируемых электронных, связанных с безопасностью. Руководство по применению ГОСТ Р МЭК 61508-2 и ГОСТ Р МЭК 61508-3.-М.: Стандартинформ. 2014. 108 с.

Graduate
Polina I. Zyrianova
infochemistry scientific center
Main field: 18.04.01 – Chemical technology
e-mail: zyranova@infochemistry.ru

Scientific supervisor
Sviatlana A. Ulasevich
Ph.D., associate professor, leading researcher
e-mail: saulasevich@itmo.ru

УДК 544.6

STUDY OF EXTRACELLULAR CELL COMMUNICATION USING HYDROXYAPATITE PATTERNS

The work was carried out within the RSF project №19-79-10244 «Microdosing and micromanipulator systems for biomedical purposes based on mesoporous titanium dioxide modified with polyelectrolyte membranes».

Nowadays, it is important to develop a system to study cell-cell communication. Even though, a fundamental understanding of the signal transmission by neurons is known, the mechanisms in many cases of signal transmission through the ion channels remain unclear [1]. There are three main approaches to study cell-cell communication. One of these is studying cell-cell communication inside the cell using microelectrodes that disrupt the integrity of the cell membrane [2]. However, it is difficult to judge how reliably the process of cell-cell communication in a real cell proceeds in this case. In this regard, there is another strategy for study cell-cell communication in the extracellular space, which is the use of commercial glass microelectrodes or those created using conductive materials [3]. The third one strategy is to visualize signal transmission by staining certain ion channels of the cells [4]. Fixation of the signal transmission in this case occurs on a confocal microscope, by capturing flashes of ions resulting from activation. However, these methods are very laborious and allow determining the signal transmission only qualitatively. We propose the use of hydroxyapatite (HA) patterns formed by self-assembly in an agar matrix for cell localization and ion-selective microelectrodes system based on carbon fiber to detect ions in the extracelluar space to save the cell cycle. The scheme of experiment design, the highlights for ion activity, and common measurements are shown in Figure 1.

It is known that cells can transmit signals to each other through ion channels. In our experiment, we use the Ca^{2+}–sensitive C2C12 cell line to study the operation of calcium channel as model for our system. Cell-cell communication via calcium channels is accompanied by Ca^{2+}, K^{+}, and Na^{+} ions release resulting in ionic current occurrence in the cell medium. Changes in the membrane potentials are associated with the movement of charged ions through the cell membrane. For better monitoring of the electrical fluctuations in the cellular community, we have grown cells onto the HA rings able to immobilize the cells in a certain place (Fig 1,a,b). We have used hybrid ion-selective microelectrodes (ISMs) mounted above HA patterns with cells to measure electrical signaling between the cells. These electrodes possess the desired electroanalytical performance for measuring cellular communication. Furthermore, we fabricated ISMs, which are based on carbon fiber, which allows us to measure calcium, potassium, and sodium ion signals without damaging the cell culture (Fig. 1,d–f, Fig. 2). Using the electrochemical method and ISMs, we could measure a change of ions concentration in the extracellular space during cellular communication caused by the appearance of an ion current.

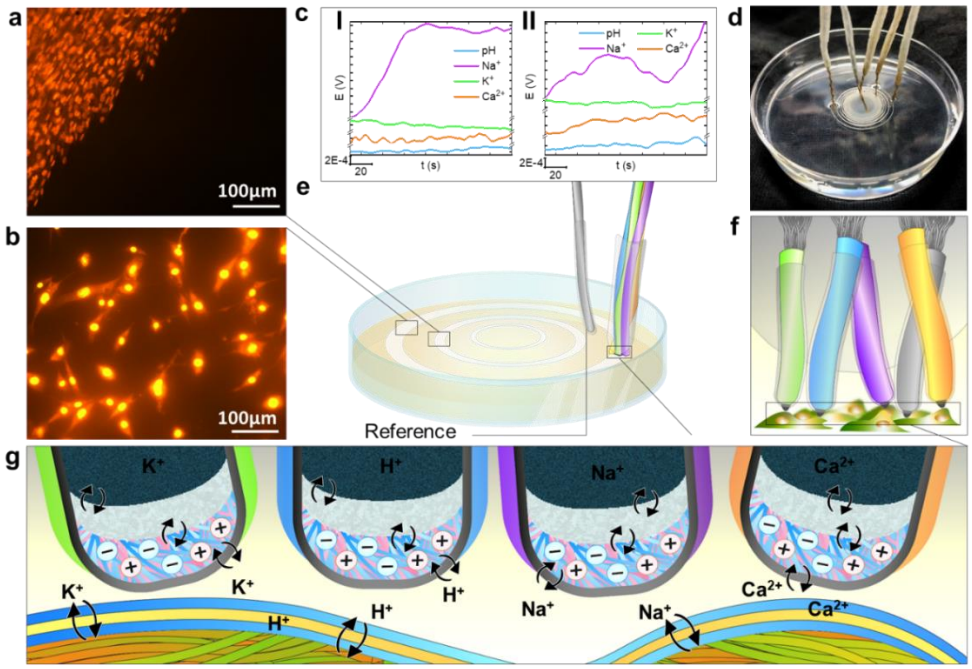


Fig. 1. The scheme of the set-up for studying cell-cell communication: a,b) Confocal microscopy images of cells grown on HA rings (a) and in the center (b), the cells are stained with propidium iodide (orange color); c) Chronopotentiometric curves of the potentials with increasing ion current of potassium, sodium, and calcium ions, as well as pH changes near the surface between and above the HA rings; d) The photo of an electrochemical cell with fabricated and modified ISEs. The ISEs are mounted over HA patterns (white rings in the Petri dish) with cells attached on HA ring surface; e–f) Schematic representation of the ISEs on HA patterns; g) The mechanism of ISE measurements of the ionic current near the cell surface

This effect was achieved since the electrode working surface is modified with polyelectrolytes using the layer-by-layer (LbL) assembly to increase the electrode accuracy (Fig. 2,a,b,c). The sequential deposition of polyelectrolytes from aqueous is shown in Figure 2,a. The polyelectrolyte nanolayers are adsorbed on carbon fiber to form a pseudo-liquid internal solution, which acts as an ion-electronic converter. The capture of the required ion occurs by the ionophore, including in the ion-selective membrane. The ionophore reversibly binds to the determined cations. The binding of the ionophore to the determined ion leads to a change in the charge in the electrode system, resulting in a change in the potential.

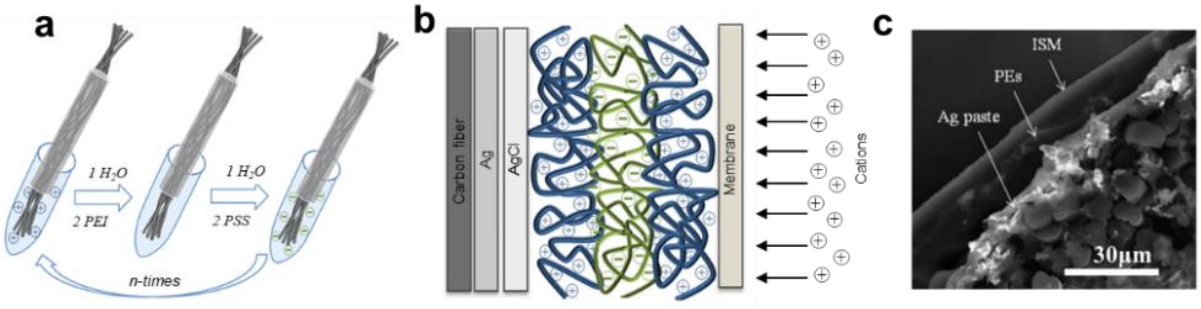


Fig. 2. Fabrication of ISE: a) Stages of applying polyelectrolyte layers to the working part of the electrode. The carbon fiber modification by the polyelectrolyte LbL assembly;
b) SEM image of carbon fiber electrode modified with polyelectrolytes

Calibration graphs were built to check the operation of each ISEs. In each experiment, potassium, sodium, and calcium ISEs were immersed in standard salt solutions (KCl, NaCl, and $CaCl_2$ respectively), while the concentration of the solution changed stepwise, and the change in potential is detected using a potentiostat. The potential is measured between pseudo reference electrode (with

ion-selective membrane, including ionophore) and reference electrode. Calibration plots for sodium and calcium ions show the Nernst response over a concentration range of 10^{-4} to 1 mol L^{-1} (Fig. 3,a,b,c). A slope of electromotive force (emf) of the ISEs for determination of K^+, Ca^{2+}, and Na^+ corresponds to Nernst equation.

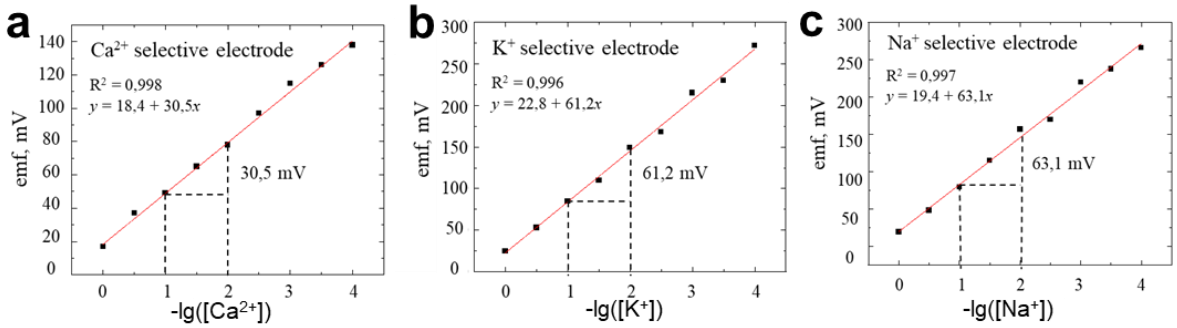


Fig. 3. Analytical measurements of ISEs: calibration plot for the sodium, calcium, and potassium ISEs

The analytical characteristics prove the possibility of using a miniaturized ion-selective system with a pseudo-liquid compound for monitoring the content of potassium, calcium, and sodium ions. Further we designed hydroxyapatite patterns and study the biocompatibility. The cells are concentrated on the HA rings, and the concentration between the rings is much lower. To confirm that the cells prefer to grow on the surface of the calcium phosphate rings, they are stained on the patterns. Cell nuclei are stained with propidium iodide. These nuclei locate on the HA rings, while in the areas between the rings, the cells grow less intensively (Fig. 4,a–d). The cell density on the third ring is the highest (Fig. 4,e), it is important for understanding how better the overmount the ISEs over the HA-patterns.

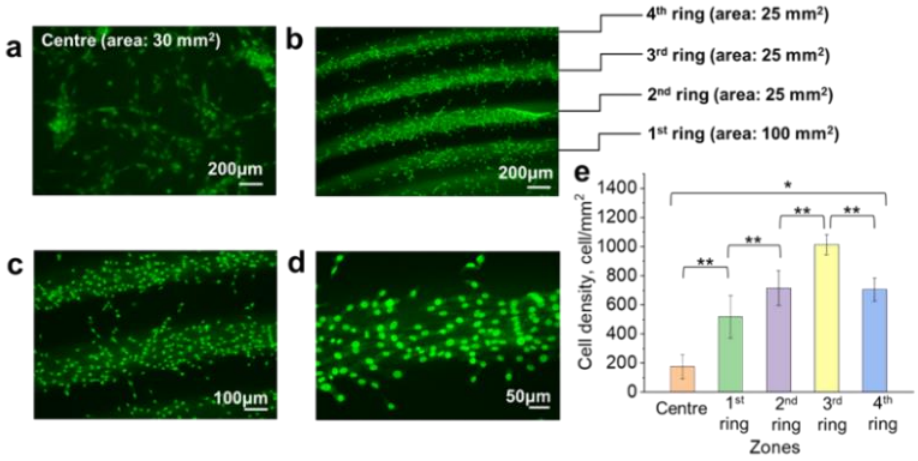


Fig. 4. The biocompatibility study of the nanostructured HA patterns: a–d) Confocal images of cells grown on HA rings. Nuclei are stained with acridine orange (green) and visualized at a fluorescence excitation maximum of 493 nm and a fluorescence emission maximum of 636 nm. Insert shows the area of each ring and the central part of the pattern; e) Histogram of C2C12 cell density on different areas of the sample calculated on the third day of cell cultivation. Five samples were tested for each type of area and three independent experiments were carried out. *p<0.05, n=5, **p<0.05, n=5

Materials with a higher piezoelectric effect may be more compatible with biological tissues because they can better mimic the mechanical properties of natural structures. It is important the connection between nanostructured topography of HA with piezoresponse, and tissue grow. Therefore, the morphology and piezoresponse of the HA rings is measured. Patterns were made in a thin layer of agar and dried in air (Fig. 5,a). The piezoresponse is measured on each ring. The attention is paid to the study the topography and piezoresponse on the third HA-ring (Fig. 5). In this area,

according to AFM data, a relief surface is observed (Fig. 5,b,c). To detect the piezoresponse, three points at different heights from 1 μm to 2.5 μm are selected. In the points two and three, the greatest response is occurred, which is 2.179 pm·V^{-1} and 1.778 pm·V^{-1}, respectively when the amplitude is converted into a piezoresponse (Fig. 5,d–f). The piezoresponse data obtained from the third HA ring exhibit a strong correlation with the calculation of cell density on the same ring. Thus, to advance the investigation of cell-cell communication in the extracellular space, it is recommended to prioritize experiments conducted on the third ring.

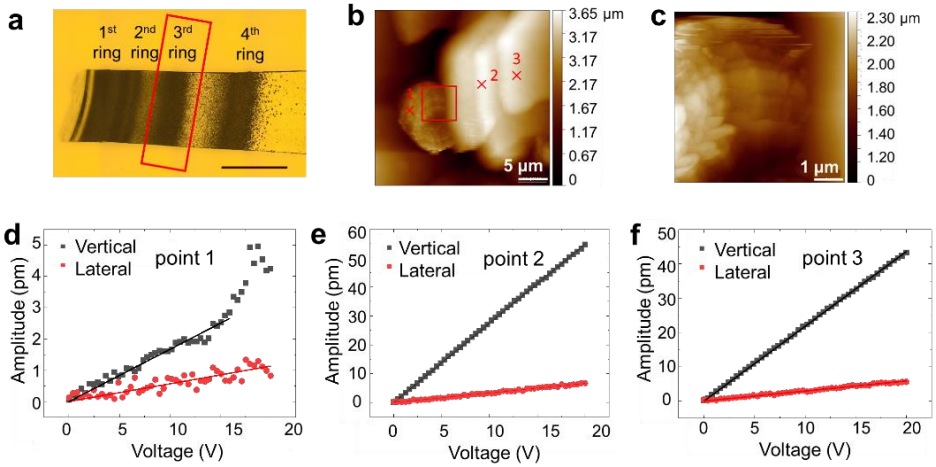


Fig. 5. Topography of third HA ring: a,b) AFM images of the film topography; c,d,f) Piezoelectric curves of HA-patterned thin film measured at the 3rd ring; d) The dependence of the amplitude from bias

After establishing the place of cellular localization, we start measuring ion currents. The potential values in various parts of the HA pattern without cells and with cells is measured by calcium-selective electrodes (Fig. 6,a,b). These are necessary to separate the noise from the signal during the activation of calcium channels since the HA rings are growing due to the diffusion of calcium chloride through the agar gel. The emf obtained from the HA-patterns is recalculate to concentration of calcium ions using calibration data. The concentration of calcium ions obtained from HA-patterns with cells is less than without cells, since cells absorb some of the calcium ions from HA rings.

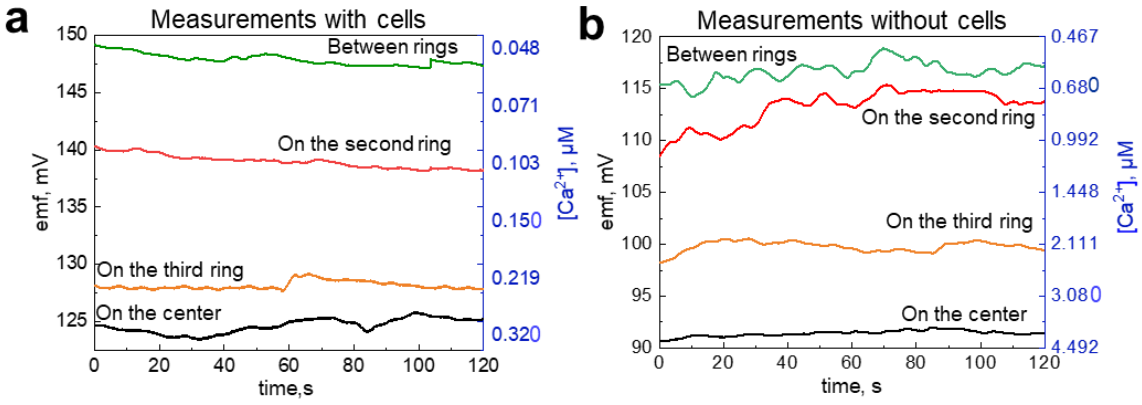


Fig. 6. Background measurements with (a) and without (b) cells for Ca^{2+} ions

We evaluate our designed HA system for investigation the changes of ion concentration in the extracellular space during cell activation by signals molecules such as calcium chloride (3 times add 50μL of 1M $CaCl_2$) and norepinephrine (3 times add 50μL of 10M norepinephrine). Using ISEs, signals are recorded that propagated along the third ring and between third and second rings. As mentioned above, myocytes C2C12 are chosen as a model and control cell line for calcium channel studies due to their high sensitivity to Ca2+ ions. The HA patterns with cells are used as controls.

Cells cultured for 3 days for all experiments, because it is optimal period, when cells occupy the 80% of the patterns. Before experiments, to exclude the effect of foreign ions, the cells are transferred into a buffer solution of 4-(2-hydroxyethyl)-1-piperazineethanesulfonic acid, which is a zwitterionic organic buffer agent capable of maintaining physiological pH and ionic strength, but not interfering with electrochemical measurements. After preliminary calibration, the electrodes are immersed in the medium with cells to detect calcium ions and fixed in the immediate vicinity of the cell (about 50÷100 μm). For signal processing, the ion current obtained in the cell system without activation is subtracted from the obtained ion current. The resulting emf is recalculated to concentration of Ca^{2+} ions.

Initially, we study influence of the active components on propagation of calcium signal. In the case of calcium chloride addition, a stepwise voltage drop is observed, which corresponds to an increase in the concentration of calcium ions (Fig. 7,a). The dependence of Ca^{2+} concentration can be explained by two parallel processes. The first one is the redistribution of ions in the system due to the partial absorption and release of calcium by cells. The second one is the diffusion of calcium ions, as a result, some of the ions fall directly on the electrodes, and we detect background ion concentration. However, despite the stepwise change in the concentration of calcium ions upon the addition of sodium chloride, the voltage stabilizes over time, which indicates the stabilization of the distribution of ions on the HA-patterns. The redistribution of calcium ions in the system may be due to the ability of cells to store calcium ions for their subsequent communication. When we add norepinephrine to cellular system to eliminate the effect of diffusion of calcium ions, the fluctuation is observed (Fig. 7,b). It is found that the addition of norepinephrine also contributes to sharp jumps in the ion current due to the release of calcium ions and the redistribution of the concentration of calcium ions in the system. However, in the case of norepinephrine, the return of the system to a calm state is faster. These facts serve as evidence that the calcium channel is activated, thus providing cell-cell communication in the system.

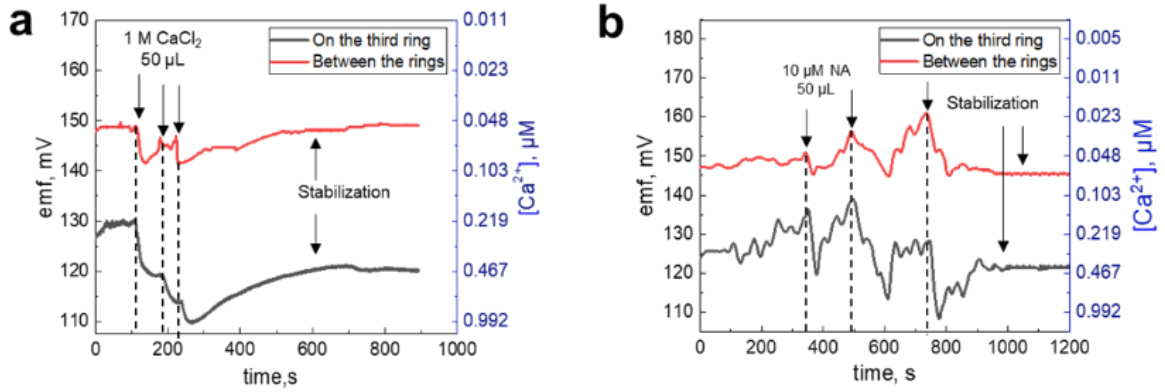


Fig. 7. Ionic current measurements of Ca^{2+} ions during cell line activation by calcium chloride (a) and norepinephrine (b)

The ability of calcium channels to promote the exchange of not only calcium ions, but also sodium and potassium ions in a certain dependence is known [5]. With a decrease in the potential of calcium, the potential of potassium also decreases, for sodium, an inverse relationship is noted [5]. Therefore, at the next stage of the study, we conducted experiments to study the nature of the change in the potential of calcium, sodium, and potassium ions for our cell line using calcium channel activators (Fig. 8). We have added the appropriate ion-selective electrodes to the system to establish the dependence on the redistribution of calcium, sodium, and potassium ions (Fig. 8,a). When the experiment on the activation of calcium channels with calcium chloride is repeated, a stepwise dependence is also observed. The largest emf jump, and, accordingly, the largest increase in concentration, is observed for calcium ions. The concentration value for potassium increases to a less extent. The concentration of sodium ions should decrease, but it still increases, but to a less extent compared to the concentration of potassium and calcium ions. After the expiration of time, as well as in the study of changes in the concentration of calcium ions, stabilization of the redistribution of ions is observed.

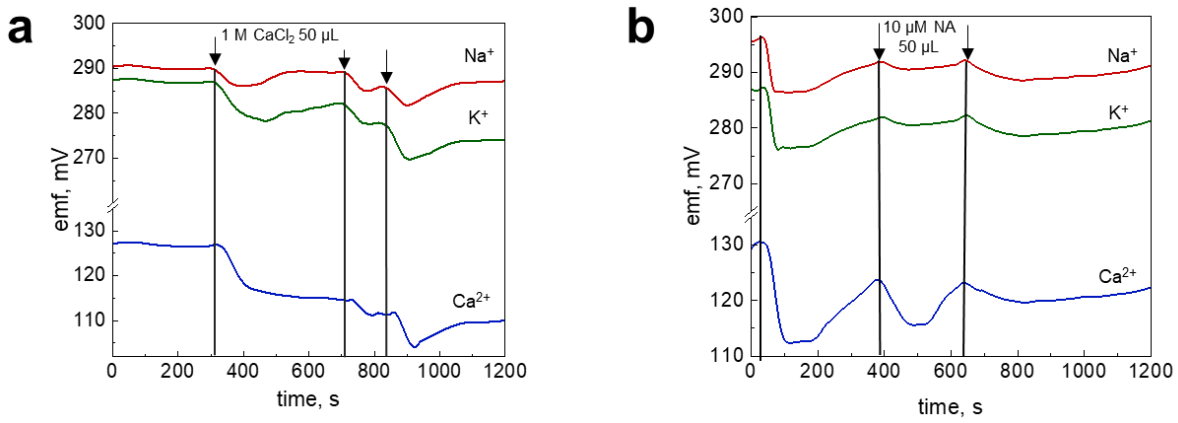


Fig. 8. Ionic currents measurements of Ca^{2+}, Na^{+}, and K^{+} ions during cell line activation by calcium chloride (a) and norepinephrine (b)

Experiments are also conducted on the activation of calcium channels with the addition of norepinephrine (Fig. 8,b). The nature of ion current dependence is periodic. When an activation component is added, a sharp drop of potentials and a quick recovery are observed. Moreover, with the primary addition of norepinephrine, the current fall is many times stronger. This effect is weaker with subsequent additions of norepinephrine. Besides, the recovery time increases. The change in the sodium concentration in the system is less pronounced. In this case, norepinephrine is a stronger activating agent, which leads to a faster signal change.

These results demonstrate, for the first time, that hydroxyapatite patterns not only have high biocompatibility but can also be used to study cell-cell communication. In the experiments on the C2C12 cell line using flexible ion-selective electrodes based on carbon fiber, the operation of calcium channels is studied. We suggest that the effective opening of calcium channels occurs under the action of the norepinephrine activator when it is added to the cellular system, this fact leads to the redistribution of calcium, potassium, and sodium ions in the extracellular space. The nature of the transmission of the electrical signal, which is transmitted along the hydroxyapatite pattern, along the hydroxyapatite rings, is established in a wave-like manner with gradual attenuation. Interestingly, the new approach for sensing cell-cell communication allows us to detect ions in a cellular system at once in several places on the pattern and several ions at once. Our proof-of-principle experiments show that the approach based on the localization of cells on a self-assembled hydrogel matrix is promising not only for the study of cell-cell communication but also for other fundamental biomedical research, lab-on-a-chip studies. Our future plans include the study of cell communication using the developed system for different types of cells sensitive to calcium ions. Conduct experiments on the activation of sodium and potassium channels in order to expand the possibilities of using the proposed system.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Held R.G. et al. Synapse and Active Zone Assembly in the Absence of Presynaptic Ca2+ Channels and Ca2+ Entry // Neuron. 2020. Vol. 107. №. 4. Pp. 667-683.
2. Rong G. et al. A Method for Estimating Intracellular Ion Concentration Using Optical Nanosensors and Ratiometric Imaging // Scientific reports. 2017. Vol. 7. №. 1. P. 10819.
3. Lee S.K. et al. Monitoring Ion Activities In and Around Cells Using Ion-Selective Liquid-Membrane Microelectrodes // Sensors. 2013. Vol. 13. №.1. Pp. 984-1003.
4. Ait Ouares K. et al. Imaging native calcium currents in brain slices // Calcium Signaling. 2020. Pp. 73-91.
5. Sidorenko S. et al. Transcriptomic Changes in C2C12 Myotubes Triggered by Electrical Stimulation: Role of Ca2+ i-Mediated and Ca2+ i-Independent Signaling and Elevated [Na+]i/[K+]i ratio // Cell Calcium. 2018. Vol. 76. Pp. 72-80.

Выпускник
Копытов Павел Евгеньевич
институт перспективных систем передачи данных
Направление подготовки: 16.04.01 – Техническая физика
e-mail: kopytovpe@itmo.ru

Научный руководитель
Рочас Станислав Станиславович
к.ф.-м.н.
e-mail: stanislav_rochas@itmo.ru

УДК 621.383.52

РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ ВЫСОКОМОЩНОГО ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО P-I-N ФОТОДИОДА СПЕКТРАЛЬНОГО ДИАПАЗОНА 1300–1550 НМ

Фотоприемники (ФП) в волоконно-оптических линиях связи выполняют функцию преобразования информационного оптического сигнала в сверхвысокочастотный электрический сигнал. Для работы в спектральном диапазоне 1300–1550 нм широко применяются полупроводники InGaAs и InAlAs при создании высокоскоростных ФП. Большое практическое распространение получили ФП типа *p*-*i*-*n*, название которых отражает структуру слоев образующих ФП. Эффективность передачи сигнала и динамический диапазон канала волоконной линии связи прямо зависит от мощности используемого источника излучения и величины фототока ФП [1], что ставит задачи разработки высокомощных источников и фотоприемников с повышенной токовой чувствительностью на высоких оптических мощностях.

В таблице представлен дизайн эпитаксиальной гетероструктуры с учетом которой разрабатывались конструкции моделей кристалла *p*-*i*-n ФП спектрального диапазона 1300–1550 нм. Гетероструктура выращивалась методом молекулярно-пучковой эпитаксии на установке Riber 49. Мезы конструкции формировались методом плазмохимического травления с использованием фотолитографии. Меза 1 включает в себя контактный *n*-слой, диаметр мезы 220 мкм. Меза 2 включает в себя градиентный *n*-слой, поглощающий слой, слой окна, контактный и градиентный *p*-слои, диаметр мезы 185 мкм. На контактных слоях с использованием метода вакуумно-термического напыления нанесены кольцевые омические контакты. С помощью гальванического осаждения усилены омические контакты и сформированы контактные площадки. Поверхности мез пассивированны диэлектриком – нитридом кремния Si_3N_4, нанесенным методом плазмохимического осаждения, который также выполняет функцию просветляющего покрытия. Диаметр входного окна 170 мкм.

Таблица. **Конструкция гетероструктуры *p-i-n* ФП спектрального диапазона 1300–1550 нм**

Мезы	Слой	Материал слоя	Толщина слоя, нм	Легирование, $см^{-3}$
Меза 1	Контактный	$In_{0.53}Ga_{0.47}As$	100	*p*-тип $2\cdot10^{19}$
Меза 2	Градиентный	$In_{0.53}Ga_{0.47}As$>> >>$In_{0.52}Al_{0.48}As$	30	*p*-тип $1\cdot10^{19}$
	Окно	$In_{0.52}Al_{0.48}As$	100	*p*-тип $3\cdot10^{18}$
	Поглощающий	$In_{0.53}Ga_{0.47}As$	3000	-
	Барьерный	$In_{0.52}Al_{0.48}As$	100	*n*-тип $5\cdot10^{18}$
	Градиентный	$In_{0.53}Ga_{0.47}As$>> >>$In_{0.52}Al_{0.48}As$	30	*n*-тип $5\cdot10^{18}$
	Контактный	$In_{0.53}Ga_{0.47}As$	500	*n*-тип $5\cdot10^{18}$
-	Подложка	InP	325 мкм	-

Исследования статических характеристик проводились на ручной зондовой станции MPI TS-150, оснащенной температурным столиком, с использованием источника измерителя Keithley 2611B. Для подвода питания к кристаллу *p-i-n* ФП применялись вольфрамовые иглы (зонды), закрепленные на трехосевых микропозиционерах. Источником монохроматического излучения при измерении зависимости токовой чувствительности от падающей оптической мощности выступал лазер с распределенной обратной связью Innolume DFB-1291-PM-125-PD с волоконным выходом излучения, закрепленный в плате-драйвере для лазеров в корпусе типа Butterfly. Темновая вольт-амперная характеристика (ВАХ) фиксировалась при выключенном лазере (рис. 1). Световые ВАХ фиксировались при включенном лазере на линейном участке ватт-амперной характеристики лазера (рис. 1).

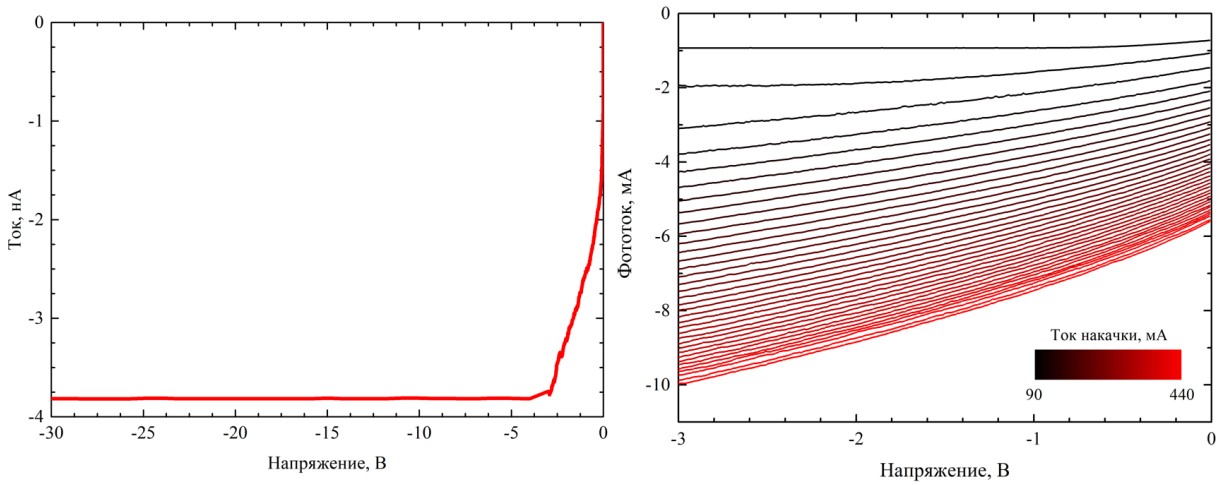


Рис. 1. ВАХ кристалла p-i-n ФП; слева – темновая, справа – световые

Расчет токовой чувствительности *p-i-n* ФП от падающей оптической мощности (рис. 2) производился согласно формуле (1):

$$R = \frac{I_{ph} - I_d}{P_{opt}}, \quad (1)$$

где I_{ph} – фототок для напряжения смещения -3 В, I_d – темновой ток.

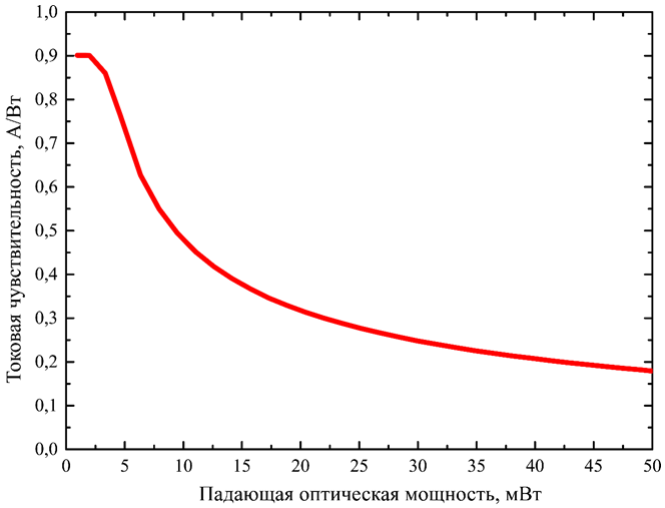


Рис. 2. Расчетная зависимость токовой чувствительности от падающей оптической мощности кристалла p-i-n ФП

Моделирование статических характеристик проводилось в программном пакете COMSOL Multiphysics с применением модулей Semiconductor, Electromagnetic Waves и Semiconductor-Electromagnetic Waves Coupling. Для упрощения моделирования выбрана двумерная геометрия с послойным описанием гетероструктуры. Статистика носителей заряда

описывается статистикой Ферми-Дирака, непрерывность гетеропереходов описывается моделью непрерывных квази-уровней Ферми. Легирования имеют равномерное распределение по всей толщине слоев, основной вклад в рекомбинацию носителей осуществляется согласно модели Шокли-Рида-Холла. Контакты являются идеальными омическими, а поверхности без контактов заизолированными.

Система уравнений модуля Semiconductor решалась методом конечных объемов, а для модуля Electromagnetic Waves выбран метод конечных элементов с линейными границами.

Моделирование изотермической системы вносит расхождение результатов моделирования и эксперимента. Для улучшения сходимости результатов эксперимента и моделирования предложено учитывать разогрев активной области ФП. Для этого необходимо ввести температурные зависимости физических характеристик материалов гетероструктуры и моделирование температурных распределений кристалла *p*-*i*-*n* ФП.

Моделирование температурных распределений (рис. 3) проводилось в программном пакете COMSOL Multiphysics с использованием уравнения теплового баланса и учетом варьируемой мощности источника тепла (поглощающего свет *i*-слоя). Диаметр источника тепла выбран равным 15 мкм, что чуть больше сердцевины одномодового волокна 8–10 мкм [2], что включает учет возможного неидеального позиционирования волокна относительно входного окна и следующей из этого расходимости пучка. На нижней границе подложки задана фиксированная температура 293,15 К для учета охлаждения кристалла.

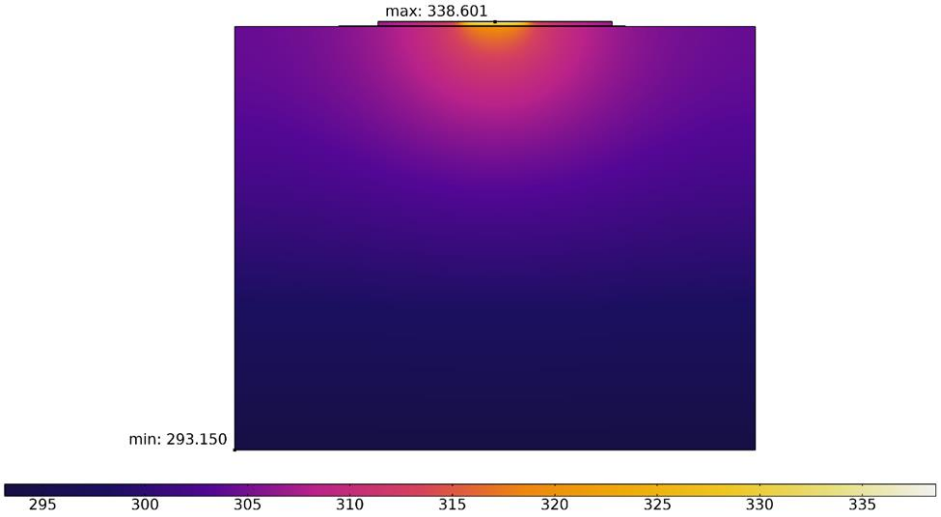


Рис. 3. Распределение температуры кристалла p-i-n ФП при мощности источника тепла 50 мВт

В качестве методики внедрения полученных распределений температуры кристалла *p*-*i*-*n* ФП была использована встроенная в пакет COMSOL Multiphysics функция Surface Average, с помощью которой можно определять среднее значение внутри заданных геометрических слоев. Таким образом, была определена суммарная средняя температура *p*-, *i*- и *n*-слоев для мощностей источника тепла 1–50 мВт и зависимость средней температуры от мощности источника тепла.

Сравнительный анализ модельных и измеренных ВАХ (рис. 4) показал что измеренная характеристика имеет более крутое начало на напряжениях от 0 до -0,25 В чем модельная характеристика, однако разность численных значений тока после напряжения -2 В уменьшается, а к напряжению -3 В значения тока обеих характеристик выходят на плато на уровне порядка 4 нА. Различия характеристик могут быть вызваны неточностью задания в двумерной модели контактов, а именно их формы. С другой стороны, числовые значения темнового тока не сильно отличаются, что говорит о правильности задания значений средних времен жизни электронов и дырок в модели и возможности использования разработанной модели для оценки приближенного значения темнового тока *p*-*i*-*n* ФП.

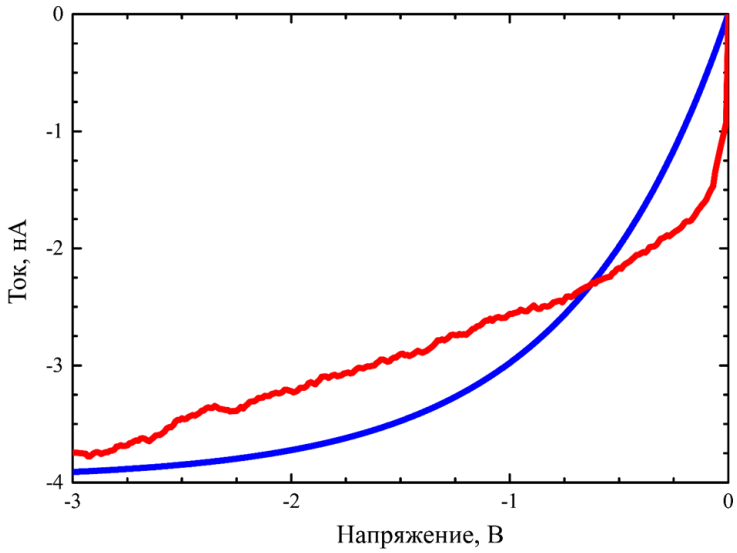


Рис. 4. Модельная (синяя) и измеренная (красная) темновые ВАХ p-i-n ФП спектрального диапазона 1300–1550 нм

Сравнительный анализ модельных и измеренных зависимостей токовой чувствительности (рис. 5) показал, что характер модельных зависимостей чувствительности коррелирует с характером расчетной зависимости чувствительности, при этом после введения температурных зависимостей характеристик материалов и проведенного расчета температурного распределения кристалла *p-i-n* ФП, заметно существенное сходство значений модельной и измеренной зависимости токовой чувствительности с максимальным расхождением не более 0,05 А/Вт на всем интервале измерения.

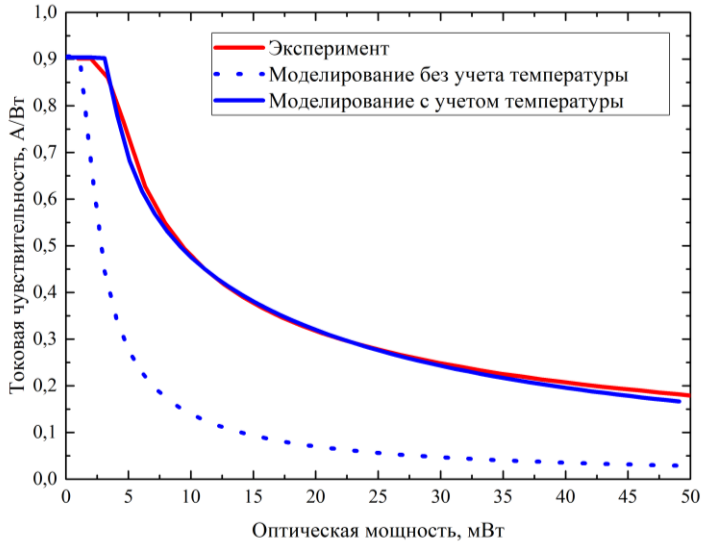


Рис. 5. Модельные и измеренная зависимость токовой чувствительности от падающей оптической мощности p-i-n ФП спектрального диапазона 1300–1550 нм

Для повышения поглощения на высоких оптических мощностях предложено усовершенствование конструкции гетероструктуры в виде увеличения толщины поглощающего слоя с 3000 нм до 10000 нм, так как максимальное поглощение нелегированного InGaAs наблюдается при толщине слоя от 8000 нм до 10000 нм [3]. При моделировании температурных распределений усовершенствованной гетероструктуры (рис. 6) было предложено использование планарной перевернутой конструкции кристалла с вводом излучения через подложку вместо мезовой конструкции для избежания возникновения перегрева и деградации свойств активной области.

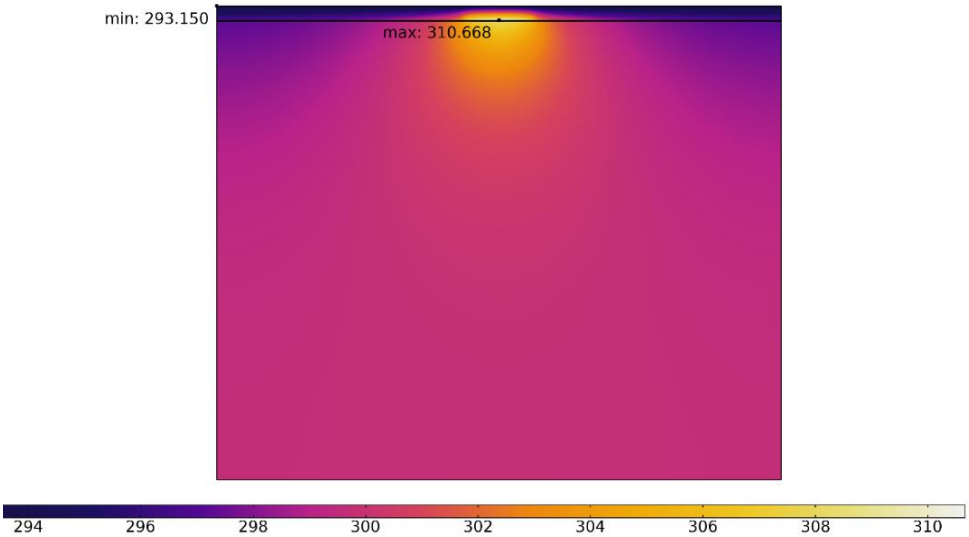


Рис. 6. Распределение температуры кристалла высокомощного p-i-n ФП при мощности источника тепла 50 мВт

Согласно проведенному расчету статических характеристик (рис. 7) темновой ток модели высокомощного *p-i-n* ФП равен 13 нА, что является низким уровнем темнового тока по сравнению с темновыми токами InGaAs/InAlAs/InP *p-i-n* ФП, раскрытыми в научной литературе и максимальную токовую чувствительность 0,9 А/Вт, достигаемую на широком диапазоне оптической мощности от 0 до 10 мВт. Последующее увеличение мощности приводит к уменьшению значения чувствительности, при этом значения более 0,55 А/Вт достигаются на всем исследованном участке, что подтверждает возможность работы предложенной конструкции с высокими мощностями излучения.

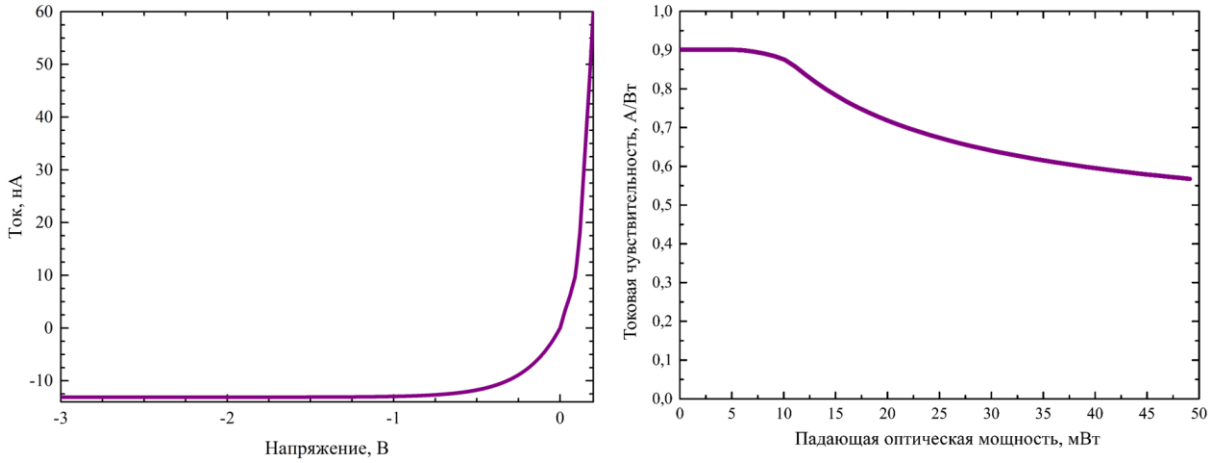


Рис. 7. Статические характеристики высокомощного p-i-n ФП; слева – ВАХ, справа – зависимость токовой чувствительности от падающей оптической мощности

В результате работы были разработаны модели расчета статических характеристик *p-i-n* ФП в программном пакете COMSOL Multiphysics, исследованы статические характеристики кристаллов *p-i-n* ФП, разработана модель тепловая модель кристалла *p-i-n* ФП в программном пакете COMSOL Multiphysics. Получаемые температурные распределения были внедрены в модели расчета статических характеристик через встроенные функции усреднения температуры по слоям и введения зависимостей в характеристики материалов. Предложена планарная перевернутая конструкция высокомощного полупроводникового *p-i-n* ФП спектрального диапазона 1300–1550 нм с увеличенной толщиной поглощающего слоя с 3000 нм до 10000 нм и улучшенным отводом тепла от активной области. Темновой ток модели высокомощного полупроводникового *p-i-n* ФП спектрального диапазона 1300–1550 нм составил 13 нА. Максимальная токовая

чувствительность 0,9 А/Вт достигается на широком диапазоне оптической мощности от 0 до 10 мВт. На диапазоне оптических мощностей 10–50 мВт токовая чувствительность составляет 0,9–0,55 А/Вт, что говорит о высокой эффективности работы предложенной конструкции.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Журавлев К.С., Гилинский А.М., Чистохин И.Б., Валишева Н.А., Дмитриев Д.В., Торопов А.И., Аксенов М.С., Чиж А.Л., Микитчук К.Б. Мощные СВЧ-фотодиоды на основе гетероструктур InAlAs/InGaAs, синтезируемых методом молекулярно-лучевой эпитаксии // Журнал технической физики. 2021.№. 91(7). С. 1158-1163.
2. Стерлинг Д. Дж. Техническое руководство по волоконной оптике: Пер.с англ. – М.: Лори, 2001. 181 С.
3. Курташ В.А., Егоренков А.А. Исследование оптических свойств структур фотокатода InP/InGaAs/InP // Материалы XI Ежегодной научно-технической конференции молодых специалистов «Техника и технология современной фотоэлектроники» 14-15 апреля 2020 г. Базовый научный центр АО ЦНИИ «Электрон». [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.niielectron.ru/issledovanie-opticheskih-svojstv-struktur-fotokatoda-inp-ingaas-inp/ (дата обращения:20.06.2023).

Graduate
Lukiev Ivan Vasilievich
center for chemical engineering
Subject area: 12.04.04 – Biotechnical systems and technologies
e-mail: ivan.lukiev@mail.ru

Research advisor
Sitnikova Vera Evgenievna
PhD in Chemistry, associate professor
e-mail: v.e.sitnikova@gmail.com

УДК 539.2

CHAINS STIFFNESS EFFECT ON THE VERTICAL SEGREGATION OF MIXED POLYMER BRUSHES IN SELECTIVE SOLVENT

One of the main challenges in modern nanotechnology is to create “smart” materials that can adapt their properties to changes in the environment. “Smart” polymer coatings based on mixed polymer brushes are a promising system for producing such materials. “Smart” polymer coatings can be used in various industries and in biomedicine. Typically, the synthesis of mixed brushes involves grafting polymers of different chemical nature onto a modified surface. Macromolecules can have different affinities for each other and/or for solvent molecules. This difference usually leads to microphase separation within the brush. The limiting cases of segregation are lateral and vertical. Lateral segregation occurs when the brush components are extremely incompatible. Vertical segregation occurs when the compatibility of the brush components is sufficiently high. Mixed brushes with vertical microsegregation are of greatest interest for creating “smart” coatings, where macromolecules of one type are located inside the brush near the grafting surface, and macromolecules of another type form the brush periphery. When the environment changes, the brush morphology can change: internal chains appear on the surface, while external chains move inward. This behavior allows for a radical change in the chemical composition of the surface and, as a result, the properties of the nanoparticle coating. The ability to switch depending on the environment is determined by the physical and chemical properties of the polymer chains in the brushes. One of the most widely used polymers that meet these conditions is poly(N-isopropylacrylamide) (PNIPAAm). This thermoresponsive polymer is used to make thermoresponsive brushes in combination with other macromolecules, such as polystyrene, polyacrylic acid, polyethylene glycol (PEG), or antimicrobial peptides. PNIPAAm has a lower critical solution temperature (≈ 31°C [1]), close to the physiological temperature of the human body, which makes it promising for use in biomedical coatings.

A significant amount of theoretical and experimental work has been devoted to the study of binary brushes. Depending on parameters such as grafting density, solvent selectivity, ratio of grafted chain lengths, and their affinity, a binary brush can form various phases, such as a disordered phase, as well as lateral and/or vertical segregation. In this study, brushes with vertical segregation were considered. Vertical segregation of chains in mixed brushes has also been studied in theoretical works by other authors. However, in all of these works, it was assumed that both components of the brush consist of chains with the same stiffness. At the same time, the actual values of the Kuhn length for chains in real binary brushes may differ by five or more times, for example, 0.68 nm for PEG and 4 nm for PNIPAAm [2].

The main goal of the conducted research was to evaluate how the thermodynamic stiffness and the difference in stiffness of grafted chains in a binary thermoresponsive brush affect their segregation.

To investigate the vertical phase separation in mixed polymer brushes, a coarse-grained model was used (Fig. 1). Each brush was composed of two types of polymer chains, densely grafted onto an impermeable flat surface. The length of the chains, their grafting density, and thermodynamic stiffness were varied. The chains differed in their affinity to the solvent molecules. Shorter chains of

type A were assumed to be solvophilic regardless of the temperature (solvent selectivity), while the longer chains of type B were assumed to be sensitive to the solvent selectivity, which was characterized by the Flory-Huggins parameter. The segregation transition point was defined as the value of the solvent critical selectivity at which the mathematical expectations of the distributions of free ends of the grafted chains of types A and B were compared.

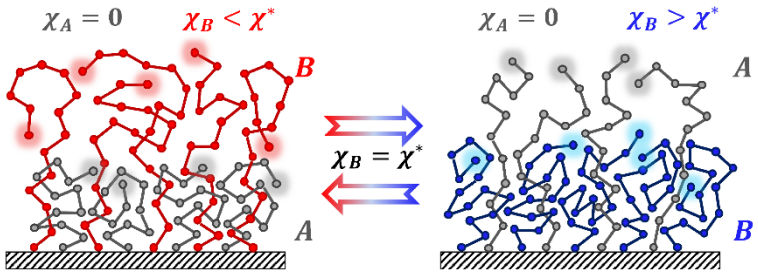


Fig. 1. Coarse-grained model of a mixed polymer brush [2]

The self-consistent field approximation was used for the numerical modeling of binary brushes, in which the conformations of the grafted chains were considered as random walks of Markov chains on a lattice in an effective field of chemical potential of monomeric units. Energy minimization and statistical selection of energetically favorable conformations were performed using the Scheutjens-Fleer [3] algorithm.

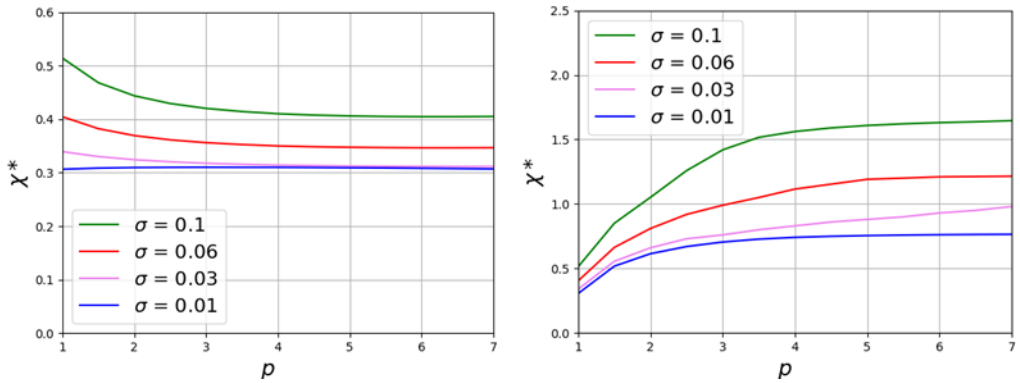


Fig. 2. Solvent selectivity strength values as a function of Kuhn segment length of chains. In the left figure the stiffness of both chains changes simultaneously $p = p_A = p_B$. In the right figure only the stiffness of the long responsible chains $p = p_B$ increases, while chains A remain flexible $p_A = 1$. The given data corresponds to the value of ratio $N_B/N_A = 1.2$ [2]

The key outcomes of the numerical modeling are demonstrated in Fig. 2. Herein, the findings on the influence of thermodynamic stiffness on the critical selectivity value χ*, which corresponds to the segregation transition point, in a mixed polymer brush with grafted chains of varying lengths are presented. To investigate this effect, a series of numerical simulations were conducted, which revealed that as the stiffness of both chains was increased, the χ* value decreased. Conversely, when only the longer, thermally sensitive chain was made stiffer while the insensitive chain remained flexible, the χ* value increased with increasing stiffness. Furthermore, we observed that in both cases, the segregation transition shifted towards higher χ* values as the grafting density increased. Notably, the χ* value reached a plateau at a certain stiffness of the chains, beyond which it exhibited little change.

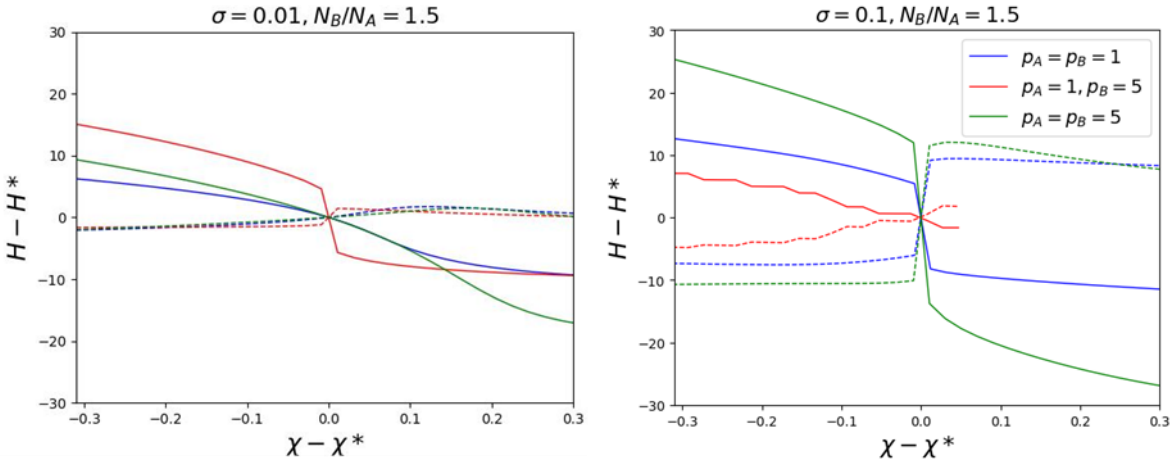


Fig. 3. The first moments of the free ends distributions for chains A and B as a function of the solvent selectivity. Dashed lines indicate non-responsible chain A, solid lines indicate responsible chain B [2]

From a practical standpoint, it is important to predict not only the value of the critical selectivity at the transition point, but also the steepness of the transition. A steeper transition indicates greater sensitivity of the brush to changes in the temperature of the environment. Steepness refers to the heightened sensitivity of the brush to changes in external conditions, such as temperature or solvent alterations. Fig. 3 shows the dependence of the mean positions of the chain ends A and B (i.e., the mathematical expectations of the distributions of the chain free ends) on the solvent selectivity before and after the transition point, in the reduced coordinates. Results are shown for brushes composed of chains with the same and different lengths of the Kuhn segments. Notably, distinct transition behaviors were observed at low and high grafting densities. Specifically, for brushes consisting of chains with different stiffness values, the maximum steepness was observed at low grafting densities. Conversely, brushes composed of chains with varying Kuhn statistical segment lengths exhibited a continuous transition without any discernible jump. At higher grafting densities, the opposite behavior was observed, with continuous transitions occurring in brushes where semi-flexible sensitive chains were adjacent to flexible insensitive chains. Moreover, when the stiffness of both chains was sufficiently high, a sharply defined conformational transition was observed. Thus, we propose two strategies for the synthesis of binary thermoresponsive brushes. When the macromolecular components of the brush exhibit similar stiffness values, a high grafting density is necessary. Conversely, when the brush consists of flexible and semi-flexible chains, a low grafting density is preferred.

In light of this, using the self-consistent field method, the structure of a mixed brush consisting of two types of chains with different solvent affinities and stiffness parameters has been examined. The non-ordinary behavior of the brush has been revealed when investigating the effect of the Kuhn segment length on the critical selectivity (χ^*) corresponding to the segregation transition point: in the case where stiffness of both macromolecules changes simultaneously, χ^* decreases and reaches a plateau at a certain p value, while in case of an increase in stiffness only for the thermally sensitive chain, χ^* increases and, as in the first case, reaches a plateau at a certain p value. Two possible strategies for synthesizing the most thermally sensitive binary brushes, depending on the stiffness and grafting have been proposed: 1) brushes with low grafting density and different stiffness parameters of the polymer chains, and 2) brushes with high grafting density and identical stiffness parameters.

REFERENCES

1. Burkert S. et al. Protein resistance of PNIPAAm brushes: application to switchable protein adsorption //Langmuir. 2010. T. 26. №. 3. Pp. 1786-1795.
2. Lukiev I.V. et al. Chains Stiffness Effect on the Vertical Segregation of Mixed Polymer Brushes in Selective Solvent // Polymers. 2023. T. 15. №. 3. P. 644.
3. Fleer G. et al. Polymers at interfaces. – Springer Science & Business Media. 1993. 502 p.

Выпускник
Марцинкевич Вячеслав Игоревич
факультет инфокоммуникационных технологий
Направление подготовки: 09.04.03 – Мобильные и облачные технологии
e-mail: slavamarcin@yandex.ru

Научный руководитель
Горлушкина Наталия Николаевна
к.т.н., доцент
e-mail: nagor@itmo.ru

УДК 004.912

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ ПАРСИНГА И АНАЛИЗА СТРУКТУРНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ТЕКСТОВЫХ PDF ДОКУМЕНТОВ ДЛЯ СЕРВИСА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО НОРМОКОНТРОЛЯ

Работа выполнена в рамках темы НИР № 622276 «Веб-сервис автоматизированного нормоконтроля оформления документации».

В процессе своей деятельности работники образовательной и научной сферы постоянно сталкиваются с необходимостью оформлять документацию согласно установленным правилам. Однако в ходе приведения оформления текста к соответствию требованиям человек может быть невнимательным или плохо концентрироваться на задаче. Поэтому множество научных и студенческих работ имеют ошибки в оформлении и могут не соответствовать ГОСТам и другим стандартам различных университетов. Согласно статистике, собранной при помощи ИСУ ИТМО, большинство отчетной документации, такой как отчеты по научно-исследовательским работам, выпускные квалификационные работы и другие текстовые документы хранятся и распространяются в виде файлов формата PDF. Для обеспечения различных видов обработки структурных элементов текстовых документов необходимо разработать метод извлечения параграфов, изображений и таблиц и их свойств.

Проблема извлечения данных из PDF документа рассмотрена многими авторами, к существующим подходам можно отнести следующие процессы.

Синтаксический анализ на основе графов [1]. Рассмотрен в работе, где предлагается метод анализа текстовых элементов на основе графов путем группировки элементов страницы в соответствии с весами ребер. Так же использование графов позволяет получить хорошие результаты при извлечении текста, шрифта, заголовков, размера межстрочного интервала для абзацев [2].

Анализ на основе методов машинного обучения. Методы определения таблицы для PDF – документов на основе сверточных нейронных сетей и методов машинного обучения рассмотрены в статье. Так же, на основе машинного обучения предложены варианты извлечения изображений, и контента документа. Однако такие методы из-за возможности ошибки стоит рассматривать скорее как дополняющие, нежели как ключевые, при получении структуры и свойств элементов PDF документа.

Математические методы. Методы на основе извлечения и анализа блоков, представлены в статье «Layout and content extraction for pdf documents. In Document Analysis Systems» [3]. Использование различных математических методов и алгоритмов позволяет получить минимальную ошибку при извлечении структурных элементов и их свойств, при минимизации затрачиваемых ресурсов.

Так же, существует достаточно много решений для извлечения формул из PDF документа, основанных на разных алгоритмах, которые могут быть использованы в дальнейшем для развития алгоритмов парсинга PDF документов.

Отдельный интерес представляет работа «Layout-aware text extraction from full-text PDF of scientific articles», где авторы извлекают и классифицируют блоки текста [4].

Возможности по извлечению и сегментации текста, различных способах обработки изображений, выделению таблиц рассмотрены авторами работ «Caradoc: a pragmatic approach to PDF parsing and validation», «Extraction and visualization of citation relationships and its attributes for papers in PDF». Из программных решений были отмечены алгоритмы сегментирования текста в журнальных статьях и выделения цитат в тексте.

Однако рассмотренные аналоги не удовлетворяют некоторым особенностям текстовых документов – отчётов, т. к. большинство из представленных технологий основаны на данных о схожести оформления текстовых блоков. Поэтому при парсинге отчёта множество одинаковых с точки зрения оформления элементов будут извлекаться в качестве одного и наоборот.

В ходе исследования были выделены ключевые особенности и проблемы извлечения информации из PDF документов. Сложность извлечения текстовых абзацев включает в себя два аспекта: технический и особенности формата.

PDF это сложный формат:

1. Хранит несколько типов информации: текст, графику, изображения и многое другое, что затрудняет последовательное и надежное извлечение информации из файлов PDF.
2. PDF-файлы могут быть созданы разными способами из различных источников, включая отсканированные изображения, экспорт из текстовых редакторов и из настольных издательских приложений, каждый из которых создает PDF-файлы по-разному, с разными уровнями структуры и разными методами хранения информации.
3. PDF-файлы могут быть зашифрованы, что может затруднить извлечение информации из PDF-файла без ее предварительной расшифровки.
4. PDF-файлы могут содержать текст с оптическим распознаванием символов (OCR): некоторые PDF-файлы создаются из отсканированных изображений и содержат текст OCR, который может быть трудно извлечь, что может привести к неточностям или ошибкам.
5. PDF-файлы могут содержать нетекстовые элементы: PDF-файлы могут содержать множество нетекстовых элементов, таких как изображения и графика.

В ходе исследования структуры PDF документа были также выделены техническое проблемы, которые препятствуют извлечению текстовых абзацев.

Во-первых, PDF хранит текстовые данные посимвольно в отличие от Open Office XML (DOCX) или OpenDocument Text (ODT), где каждый элемент представлен контейнером со стилями, чаще всего в виде абзаца. Таким образом, в документах DOCX и ODT появляется возможность извлечь абзац целиком и все характеризующие его стили. В случае с PDF документами это невозможно, что и определяет основную проблему при извлечении элементов документов такого типа и их атрибутов.

Во-вторых, текст в таблицах не имеет каких-либо отличий от обычного текста, так как таблица представляет собой множество графических объектов – прямоугольников, а текст хранится стандартным способом. Таким образом, таблица в PDF не имеет единой структуры.

В-третьих, если не соблюдаются правила оформления отчетности, согласно нормативным актам, то определение начала и конца абзацев существенно затрудняется.

В связи с тем, что в основном в PDF содержимое представлено в виде символов и векторной графической информации, было принято решение решать представленные проблемы с точки зрения человеческого восприятия. Другими словами, в основу метода выделения структурных элементов PDF документа была положена аналогия с тем, как, читая отчёт, человек может визуально выделить отдельные абзацы и другие структурные элементы документа.

Для парсинга первичных данных использовалась библиотека pdfplumbert.

В основе алгоритма формирования списка строк лежит информация о позиции каждого символа на странице. По всем символам страницы проходит цикл и вычисляет, является ли позиция текущего символа по оси ординат такой же, как и у предыдущего символа. В случае

если позиции одинаковы, то символ добавляется в строку, если разные, то строка добавляется в список, а текущий символ начинает новую строку.

Алгоритм образования строк полностью представлен на блок-схеме на рисунке 1.

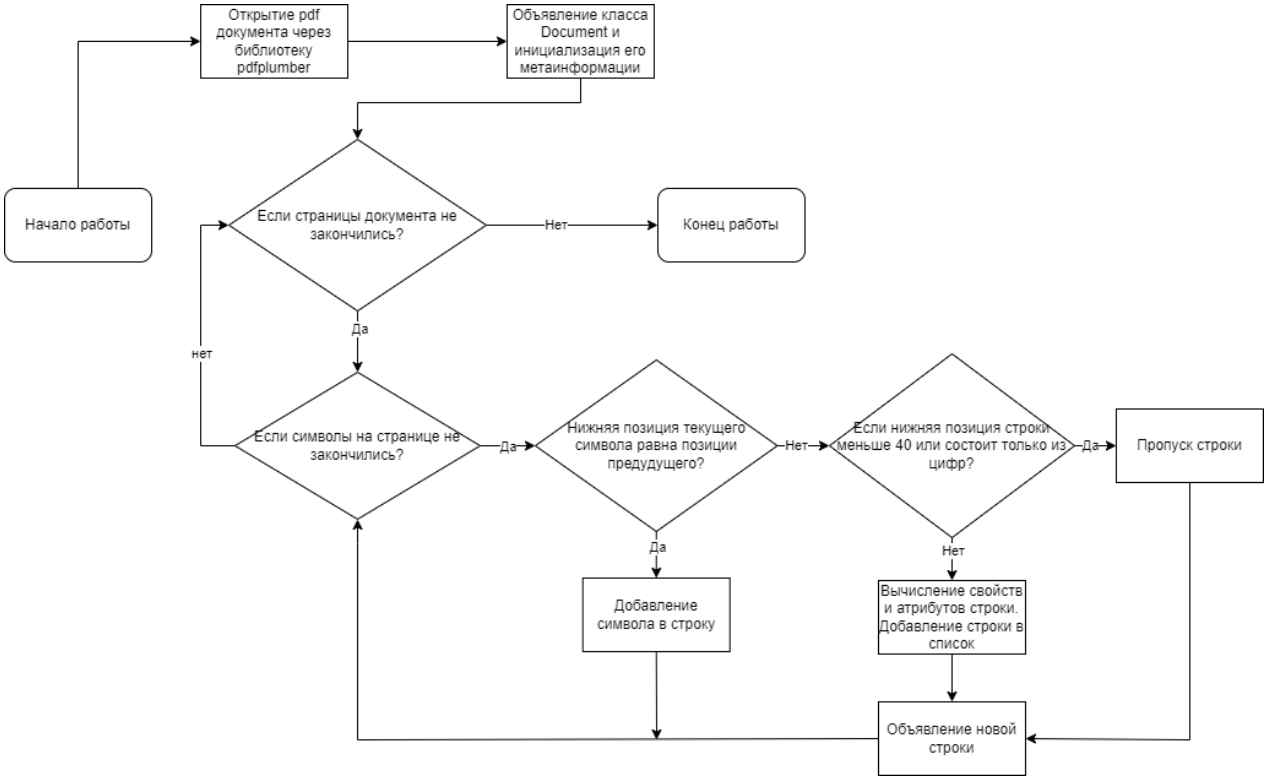


Рис. 1. Блок-схема алгоритма образования строк

Так как отчеты могут содержать нумерацию и колонтитулы, которые в спецификации PDF идут на первом месте страницы в порядке следования содержимого, то в таких случаях они мешают вычислению данных, необходимых для последующей работы системы. Для решения этой проблемы используется порог отступа по оси у равный сорока топографическим пунктам, а также дополнительно проверяется не состоит ли строка только из цифр. В случае если условие выполняется, то данная строка не добавляется в список и пропускается.

Основываясь на данных факторах, был разработан алгоритм, показанный на блок-схеме на рисунке 2.

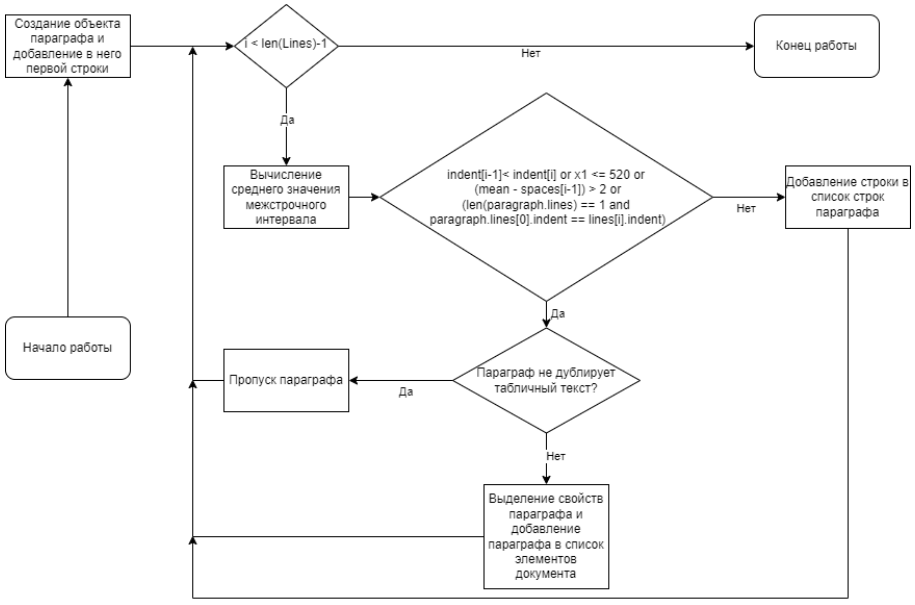


Рис. 2. Блок-схема образования параграфов

Главными условиями выделения параграфов в алгоритме являются различия в отступах от левой и правой граней страницы и межстрочный интервал двух строк. Другими словами, если наблюдается сильное различие, то алгоритм понимает, что начинается новый абзац.

В ходе исследования был выбран оптимальный порог отступа крайней строки параграфа от правого края страницы А4 равный 520 топографических пунктов. Данный порог можно корректировать в зависимости от значений полей страниц документа.

В связи с тем, что некоторые строки могут иметь заглавные символы, а некоторые нет, то при проверке различий в межстрочном интервале была введена погрешность в 2 пункта.

Для выполнения нормоконтроля документации необходимо знать значения свойств и атрибутов абзацев. Для их выделения был разработан следующий, представленный на рисунке 3 алгоритм.

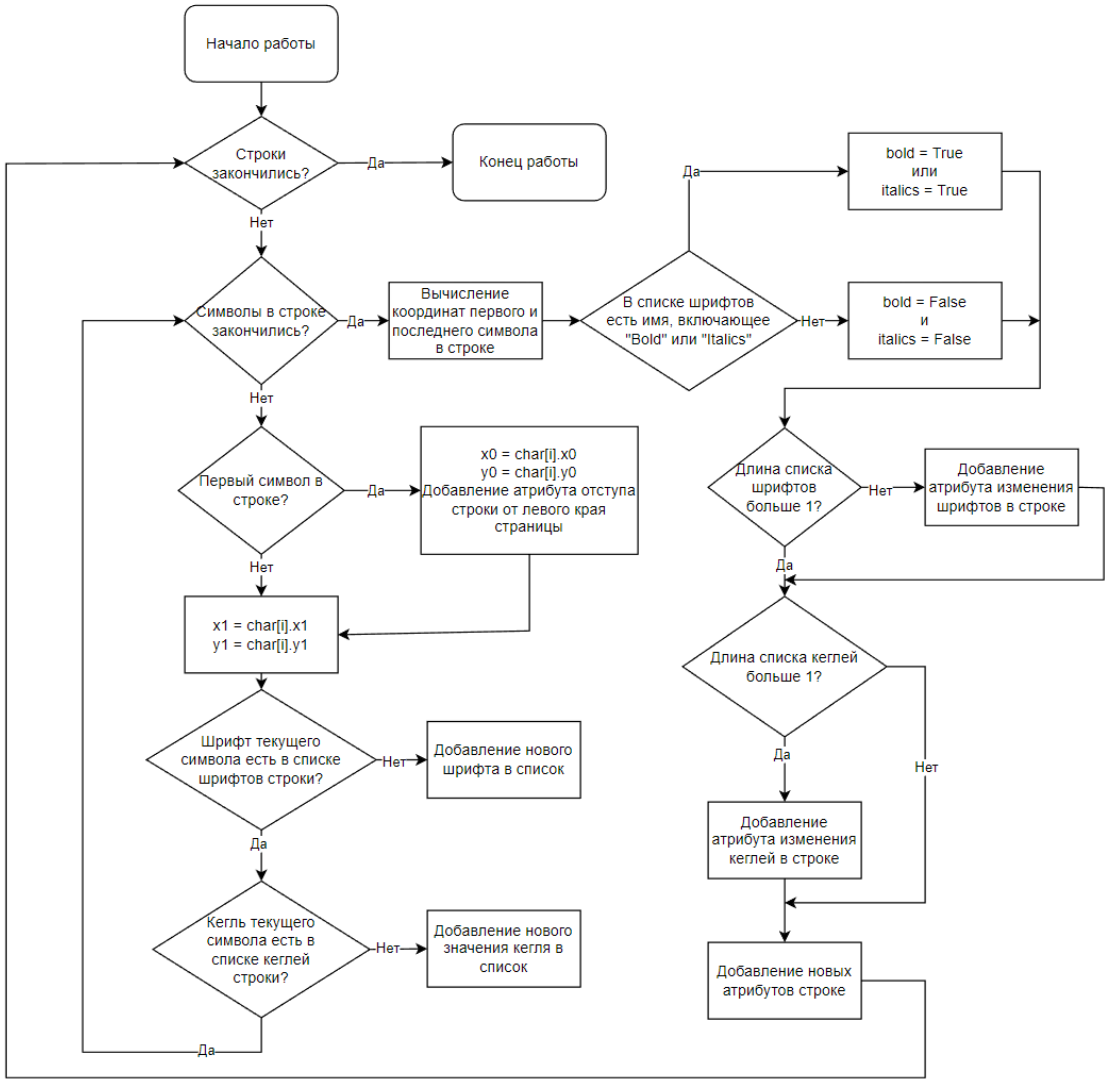


Рис. 3. Алгоритм образования атрибутов строк и абзацев

Алгоритм работает следующим образом. При образовании строк из символов сохраняются данные о расположении первого и последнего символа, на которых формируется данные о расположении всей строки. Для понимания изменялся ли шрифт или кегель при переходе на следующий символ строки выполняется поиск его шрифта и кегля в соответственных списках. В случае если такого шрифта или кегля нет, то он добавляется в список. В результате обработки всех символов строки, если длина соответствующего списка больше единицы, то к нему добавляется атрибут, оповещающий о неоднородности шрифта или кегля.

Для извлечения таблиц и рисунков в системе используется библиотека pdfplumber. Они извлекаются постранично и в результате формируют списки таблиц и рисунков соответственно.

В ходе исследования обнаружилось, что в некоторых случаях технологии обнаружения табличных объектов библиотеки выделяют таблицы в тех местах, где их нет. В результате более детального анализа первичных выделяемых данных выяснилось, что в некоторых местах на странице могут существовать объекты линий и прямоугольников, по которым и выделяются таблицы. Одной из возможных причин может являться ошибка при конвертации в PDF формат документов других форматов.

Для решения данной проблемы было принято решение использовать технологию извлечения таблиц другой библиотеки – tabula для подтверждения действительности существования таблицы. Это уменьшило скорость работы парсера, но увеличило точность выделения таблиц. Алгоритм извлечения таблиц из документа представлен на рисунке 4.

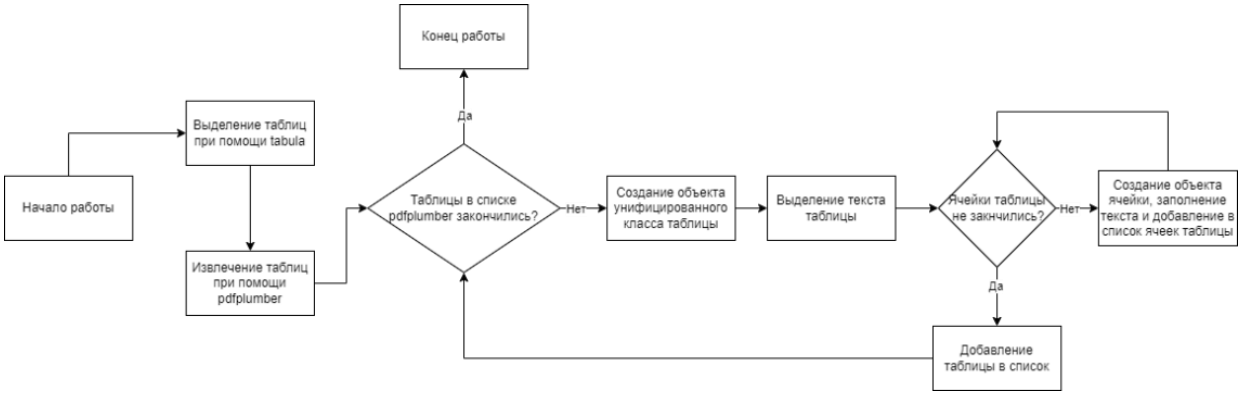


Рис. 4. Алгоритм извлечения таблиц

Система была протестирована на 30 отчетах по 25–45 страницы по научно-исследовательским работам магистрантов.

Тестирование проводилось посредством сохранения извлеченных абзацев в CSV файл и последующим ручным сравниванием трёх экспертов.

В ходе тестирования было обнаружено 257 ошибок определения параграфа на 4338 параграфов. Диаграмма распределения ошибок по типам представлена на рисунке 5.

Рис. 5. Диаграмма распределения ошибок по типу

Для анализа и классификации структурных элементов была создана и обучена модель на основе алгоритма CatBoost [5]. Для её обучения был собран новый датасет, состоящий из данных, собранных посредством обработки 10 магистерских диссертаций. Структура датасета представлена на рисунке 6.

```
RangeIndex: 4239 entries, 0 to 4238
Data columns (total 10 columns):
 #   Column           Non-Null Count  Dtype
---  ------           --------------  -----
 0   text             4239 non-null   object
 1   count_of_sp_sbl  4239 non-null   int64
 2   count_sbl        4239 non-null   int64
 3   uppercase        4239 non-null   object
 4   lowercase        4239 non-null   object
 5   last_sbl         3198 non-null   object
 6   first_key        2403 non-null   object
 7   PrevElementMark  4215 non-null   object
 8   CurElementMark   4236 non-null   object
 9   NextElementMark  4215 non-null   object
dtypes: int64(2), object(8)
memory usage: 331.3+ KB
```

Рис. 6. Структура нового, собранного датасета

На рисунке 7 приведен отчёт по классификации, построенный при помощи библиотеки Sklearn и метода classification_report.

	precision	recall	f1-score	support
0	0.93	0.93	0.93	42
1	0.86	1.00	0.92	55
2	0.99	0.98	0.98	524
3	0.98	1.00	0.99	80
4	1.00	0.99	1.00	602
5	0.88	1.00	0.93	21
6	0.82	1.00	0.90	9
7	0.99	0.95	0.97	151
accuracy			0.98	1484
macro avg	0.93	0.98	0.95	1484
weighted avg	0.98	0.98	0.98	1484

Рис. 7. Результаты тестирования классификатора

Из матрицы ошибок и полученным метрикам после тестирования видно, что классификатор практически не ошибается. Точность классификации составила 98%. За счёт высоких и практически одинаковых значений метрик показатель F1 Score также высок.

В дальнейших исследованиях предполагается улучшить точность работы алгоритмов извлечения элементов PDF документов за счёт создания модели распознавания выравнивания текста, что решит основную проблему с правильным выделением подписей к рисункам. Также планируется расширить датасет, что позволит увеличить вариативность рассматриваемых элементов и их оформления.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Xu C., Tang Z., Tao X., Li Y., Shi C. Graph-based layout analysis for pdf documents // Proceedings of SPIE – The International Society for Optical Engineering. 2013. Vol. 8664. Pp. 34-41.
2. Gao L., Tang Z., Lin X., Liu Y., Qiu R., Wang Y. Structure extraction from PDF-based book documents // Conference: Proceedings of the 2011 Joint International Conference on Digital Libraries. 2011. DOI: 10.1145/1998076.1998079.
3. Chao H., Fan J. Layout and content extraction for pdf documents // Lecture Notes in Computer Science. 2004. Proceedings 6. Pp. 213-224.
4. Ramakrishnan C., Patnia A., Hovy E., Burns G. A. Layout-aware text extraction from full-text PDF of scientific articles. // Source code for biology and medicine 7. 2012. Pp. 1-10.
5. Catboost Documentation. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://catboost.ai/en/docs/ (дата обращения: 10.04.2023).

Выпускник
Нассер Раед
институт лазерных технологий
Направление подготовки: 12.04.05 – Лазерная техника и лазерные технологии
e-mail: raedrr9898@gmail.com

Научный руководитель
Смирнов Сергей Николаевич
к.т.н., ассистент, ведущий инженер
e-mail: s.n.smirnov@inbox.ru

УДК 537.312.51:535.211

INFLUENCE OF THE SHAPE OF AN OPTICAL FIBER OUTPUT END ON HYDROACOUSTIC PROCESSES STIMULATED IN WATER BY MICROSECOND PULSES OF YB,ER:GLASS-LASER RADIATION

For treatment of water-saturated tissues or tissues located in a liquid medium, laser radiation, absorbable by water, is delivered by an optical fiber, which, due to absorption, leads to inducing hydroacoustic effects, including cavitation bubbles, which have a powerful destructive effect on the biological tissue. This impact occurs due to the collapse of the cavitation bubble [1]. These effects can be used in different applications, for example, in ophthalmology during laser surgery for cataract extraction [2, 3].

Previous studies showed that the parameters of the stimulated cavitation bubble depend on the parameters of the optical fiber used to deliver the radiation, including the geometry of the output end, since the pattern of the output beam changes by changing the output end geometry [4]. But the studies that investigated the change in the bubble behavior when changing the FT geometry were limited to the most commonly used tips, like the conical tip [5]. So, it was necessary to perform this study since the optimization of the FT geometry can be very important in optimizing operating parameters in different laser applications, especially biomedical ones.

In this study, an optical model was built using the TracePro 7.0.1 package to get an idea of the pattern of the output beam distribution in water when delivering the radiation through different FTs with different tip angles. The tips shown in Fig. 1 were chosen to be prepared in the lab.

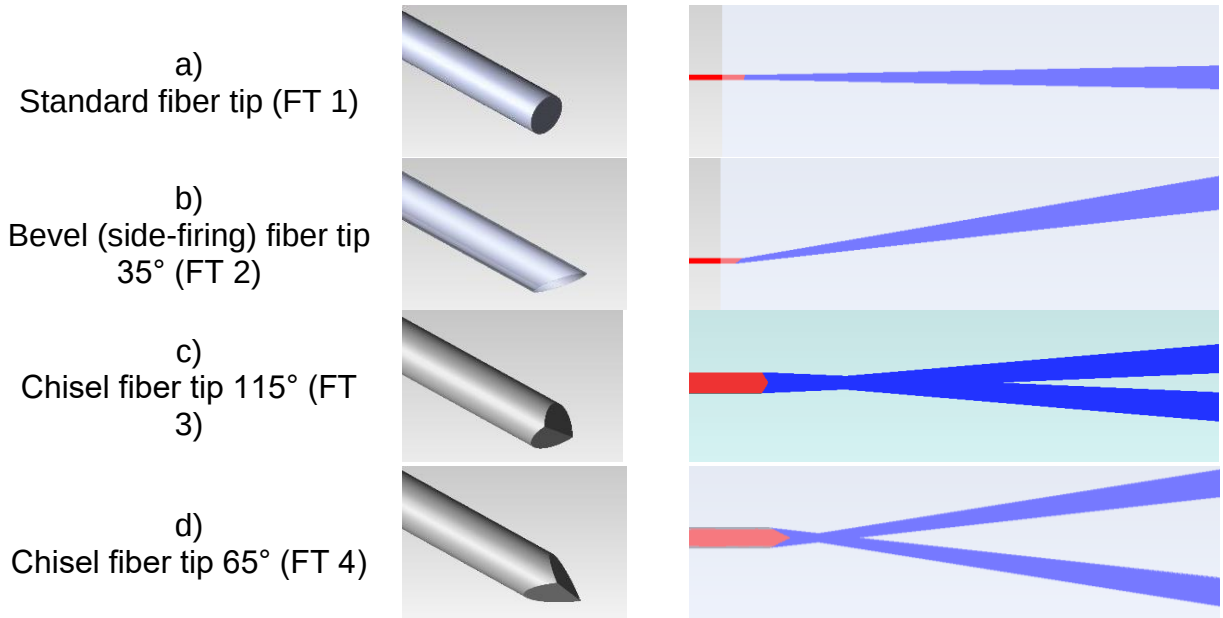


Fig. 1. The output beam propagation in water after delivering the radiation through a: a) standard fiber tip (FT 1) (as a reference); b) bevel (side-firing) fiber tip 35° (FT 2); c) chisel fiber tip 115° (FT 3); d) chisel fiber tip 65° (FT 4)

Quartz-quartz optical fibers with a core /cladding diameter of 470/500 µm and a numerical aperture of 0.18 were polished in the laboratory using an optical lensing machine (ULTRAPOL TEC Manufacturing, USA), the fiber tip was immersed in a free volume of distilled water, and a high-speed camera (FASTCAM SA4 RV Photron, Japan) was used to record the process of formation and collapse of the cavitation bubble after delivering a single microsecond laser pulse through these tips. The behavior of the stimulated cavitation bubble after delivering a single laser pulse with approximately the same energy was studied and compared to the case of using a standard flat FT (FT 1) by comparing the maximum bubble diameter and volume over time and also by comparing the pressure drop transferred in the liquid after the bubble collapse, which was measured by a hydrophone (HGL-0200) installed at a distance of 2.4 mm from the fiber tip.

The comparison showed that the maximum diameter of the cavitation bubble induced by delivering the pulse through FT 2, FT 3, and FT 4 was 1.27, 1.33, and 1.54 times bigger than the case of using FT 1, respectively. And accordingly, the maximum bubble volume was 1.69, 2.39, and 3.23 times bigger, respectively. The comparison of the parameters is shown in the table.

Table. **A comparison of the parameters of the laser-induced cavitation bubble after delivering a single laser pulse through different FT geometries**

FT shape	1	2	3	4
Pulse energy (mJ)	90±5	93±5	90±5	85±5
Maximum bubble diameter (mm)	2.15 (x)	2.72 (1.27x)	2.86 (1.33x)	3.31 (1.54x)
Maximum bubble volume (mm^3)	6.96 (v)	11.74 (1.69v)	16.61 (2.39v)	22.47 (3.23v)

The cavitation bubble lifetime is shown and compared in Fig. 2, which confirms the results shown in the table above.

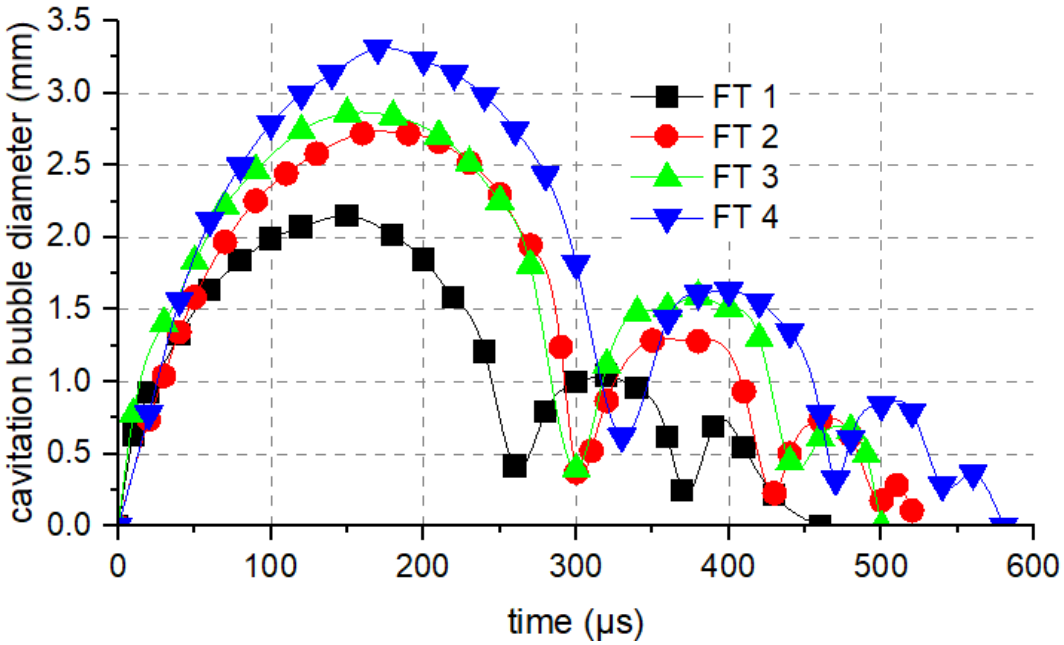


Fig. 2. The cavitation bubble lifetime after delivering the laser pulse through different FT geometries

Frames of the recorded high-speed videos at different moments after delivering the pulse are shown in Fig. 3, where the maximum and minimum size of the bubble can be seen during the bubble oscillation until it completely vanishes.

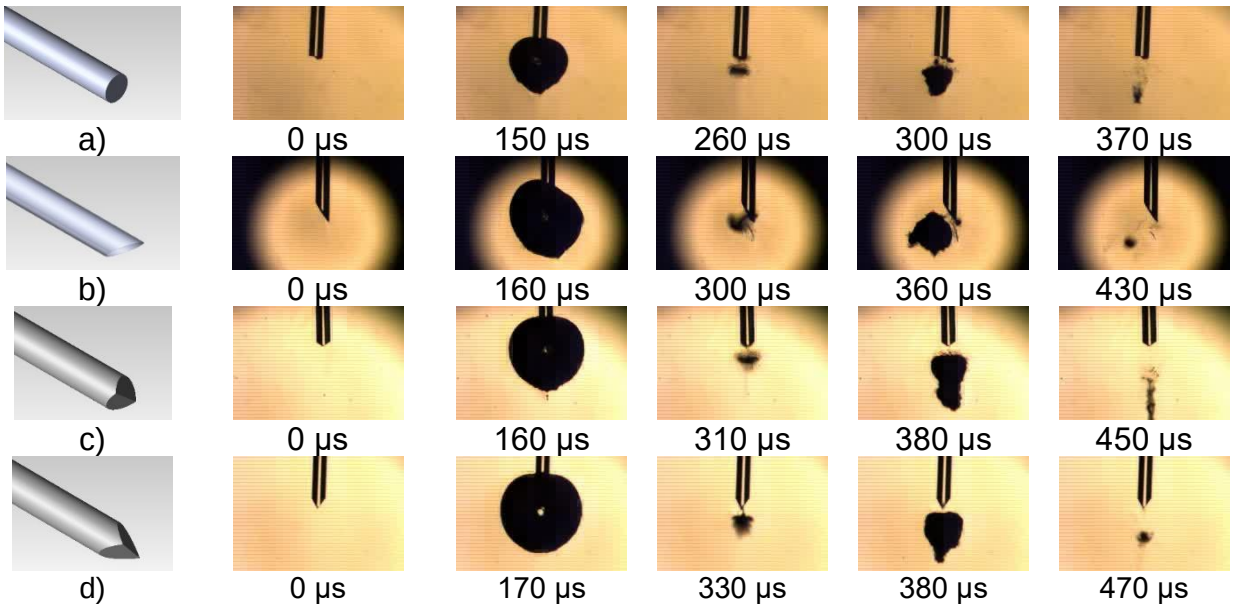
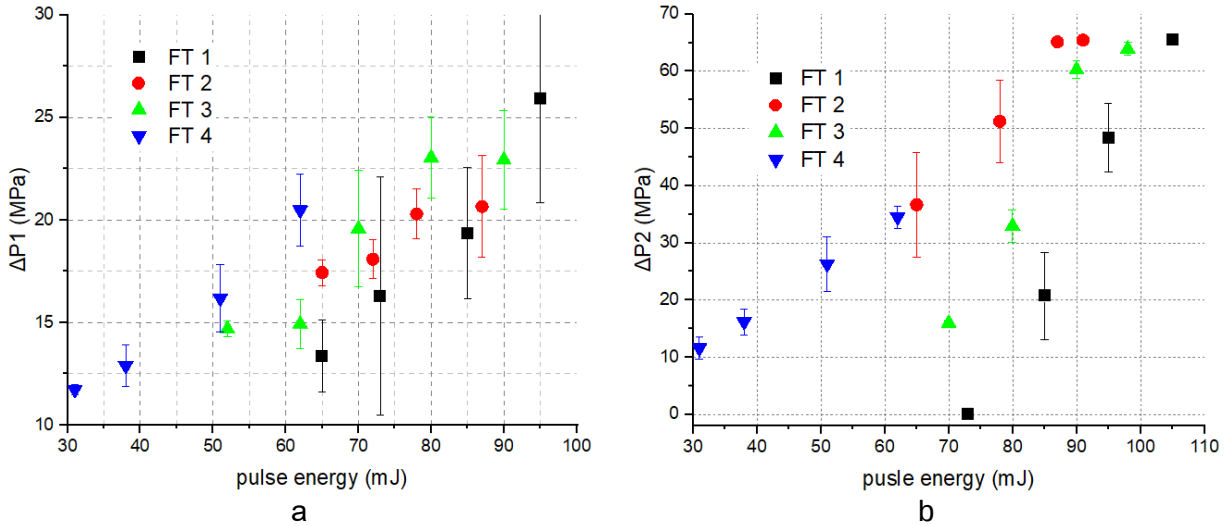


Fig. 3. The cavitation bubble forms at different moments after delivering a single laser pulse through different FT geometries: a) FT 1, b) FT 2, c) FT 3, and d) FT 4

A comparison of the values of the pressure drops in the liquid after the bubble collapse is shown in Fig. 4. The primary pressure drop was measured immediately after delivering the pulse, and it is related to the thermoelastic expansion of the liquid after absorbing the laser energy. The secondary pressure drop was measured a couple of hundred microseconds after delivering the pulse, and it is related to the bubble collapse, accordingly, the bigger the bubble is, the higher the value of the pressure drop is.



a b

Fig. 4. Comparison of the a) primary and b) secondary pressure drops transferred through the liquid after delivering the laser pulse through different FT geometries

The results obtained in this study showed that some FT geometries can be more effective in inducing powerful hydroacoustic processes in a liquid since the laser-induced cavitation bubble was bigger, and accordingly, the pressure drop arising after its collapse was higher than in the case of flat FT. That leads to significantly higher effects on the biological tissue located near the area of the bubble collapse. It is very suitable when the aim of the laser impact is to remove a large volume of the tissue. These findings can be used to optimize laser parameters in different biomedical applications, including, for example, laser surgery for cataract extraction.

It is worth mentioning that the investigated FTs in this study had one disadvantage, which was the low mechanical resistance caused by the sharpness of the tip angle, which led to the destruction of the tip when applying high energies. We can overcome this disadvantage by modifying the shape

of the FT in such a way that it wouldn't have a sharp angle, this idea will be considered in further studies.

Other long-term plans are also considered in different aspects to optimize the obtained results:

- with the use of different FTs, the pressure drops can be measured in all directions around the area of the cavitation bubble collapse, which can lead to a deeper understanding of the bubble behavior;
- the polishing process can be optimized by using polishing powders with different particle sizes and performing long-term polishing, leading to high-quality polished surfaces;
- FT preparing technology can be supplemented by CO_2-laser processing to increase the FT's mechanical strength;
- other shapes of FTs should be included in further studies, especially those that provide focusing of the output beam, like ball-lens tips, bevel ball-lens tips, and diamond tips. These tip geometries are promising to induce powerful hydroacoustic effects.

REFERENCES

1. Asshauer T., Rink K., Delacrétaz G. Acoustic transient generation by holmium-laser-induced cavitation bubbles // J Appl Phys. 1994. Vol. 76. №. 9. Pp. 5007-5013.
2. Беликов А.В et al. Использование пакетов микросекундных импульсов лазерного излучения с длиной волны 1.54 мкм для разрушения катаракты. 2021. Pp. 2-7.
3. Belikov A.V. et al. In vitro study of cataract extraction by bursts of microsecond 1.54-μm laser pulses // Quantum Elec (Woodbury). 2022. Vol. 52. №. 1. Pp. 69-77.
4. Keiser G. Biophotonics Concepts to Applications. 2016. DOI: 10.1007/978-981-10-0945-7.
5. Gregorčič P., Jezeršek M., Možina J. Optodynamic energy-conversion efficiency during an Er:YAG-laser-pulse delivery into a liquid through different fiber-tip geometries // J Biomed Opt. SPIE-Intl Soc Optical Eng, 2012. Vol. 17. №. 7. P. 0750061.

Выпускник
Натыкин Максим Викторович
институт дизайна и урбанистики
Направление подготовки: 27.04.07 – Наукоемкие технологии и экономика инноваций

Научный руководитель:
Митягин Сергей Александрович
к.т.н.
e-mail: mityagin.spb@gmail.com

УДК 004.04

РАЗРАБОТКА МЕТОДА ФОРМИРОВАНИЯ ПОЛИЦЕНТРИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ОБЩЕСТВЕННЫХ ПРОСТРАНСТВ ДЛЯ ПОДРОСТКОВ В СЛОЖИВШЕЙСЯ ГОРОДСКОЙ СРЕДЕ

Сегодня вопрос планирования расположения общественных пространств не учитывается в достаточной мере при строительстве или благоустройстве городской территории [1]. Специального осмысления принципов их работы, задач, которые они будут решать для их пользователей и которые ложатся в основу их проектирования, не происходит [2]. Также существует проблема слабой адаптации городской среды под нужды подростков, слабой диверсификации предлагаемых городской средой видов активности подростков в свободное время. В числе негативных проявлений обозначенной проблемы формирование девиантного поведения, стресс, использование подростками фрагментов городской среды не по назначению, а также формирование средовых и психологических барьеров для развития талантливой молодежи, что в целом приводит к снижению привлекательности города для талантливой молодежи как места для жизни [3]. Проблема современных городов заключается в том, что их городская среда плохо адаптирована для обеспечения качественного досуга подростков, что приводит к разнообразным отклонениям [4]. При этом задача планирования размещения общественных пространств не тривиальная, и усложняется разнообразием возможных функций и типов таких пространств, а также вариативностью их масштаба. С точки зрения посещаемости [5], общественные пространства могут конкурировать и снижать взаимную эффективность [6], а сложившаяся застройка накладывает существенные ограничения на их планирование и функциональное наполнение.

В ходе исследования были выявлено, что факторами качества размещения выступают средовые (внешние по отношению к общественному пространству) факторы, определяемые положением общественного пространства в структуре застройки города и локальные(внутренние) факторы, определяющие свойства непосредственно общественного пространства. Другими словами, качество размещения общественного пространства определяется сочетанием:

1) внешних факторов городской среды;
1) локальных факторов общественного пространства;
2) взаимным расположением общественных пространств.

В результате исследований, на рисунке 1, были выделены функциональные профили общественных пространств для подростков. Профиль функций общественных пространств зависит от доминирующей функциональной зоны. Фактор масштаба общественных пространств зависит от занимаемой площади, и может варьироваться на трех уровнях. Уровень зависит от административно-территориальной единицы, на которой, как правило, проживает такое количество подростков, которое способно по нормативу обеспечить данное пространство. Пространства можно разделить на три типа:

1. Малые, занимаемые площадь до 600 м² и в основном размещающиеся внутри дворовых территорий. Имею 5 минутную зону обслуживания.

2. Средние, с площадью от 600 м² до 1200 м². Могут обслуживать всех подростков в рамках одного квартала. Имею 10 минутную зону обслуживания.
3. Большие, занимаемая площадь которых больше 1200 м². Общественные пространства такого размера могут обеспечивать досугом подростков в рамках муниципальных образований. Имею 20 минутную зону обслуживания.

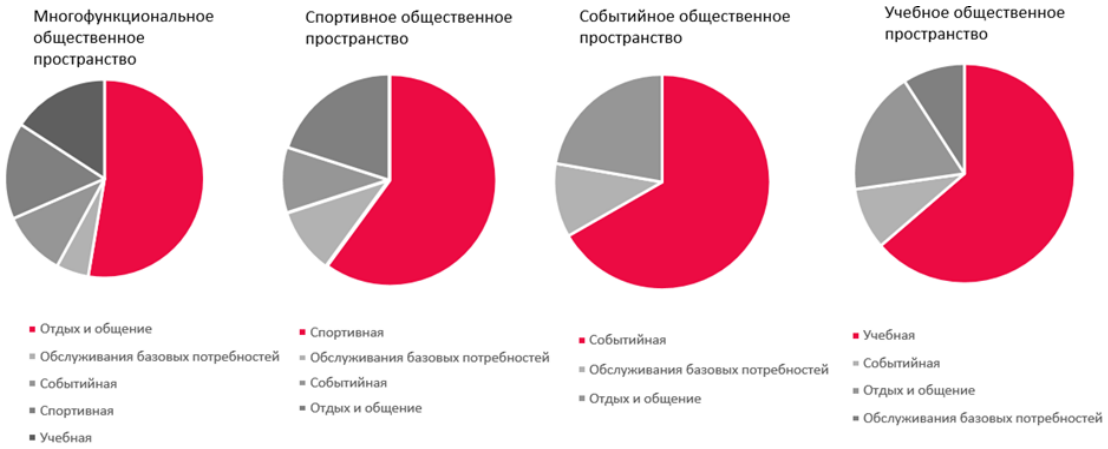


Рис. 1. Функциональные профили общественных пространств для молодежи

По результатам дальнейших исследований была выявлена взаимосвязь между функциональным наполнением общественных пространств и их масштабными характеристиками в силу того, что сервисы разного типа занимают соответственно разную площадь [5, 6]. Это привело к необходимости создания унифицированной сервисно-масштабной модели общественного пространства досуга и послужило основной создания информационной модели общественного пространства, представленная на рисунке 2.

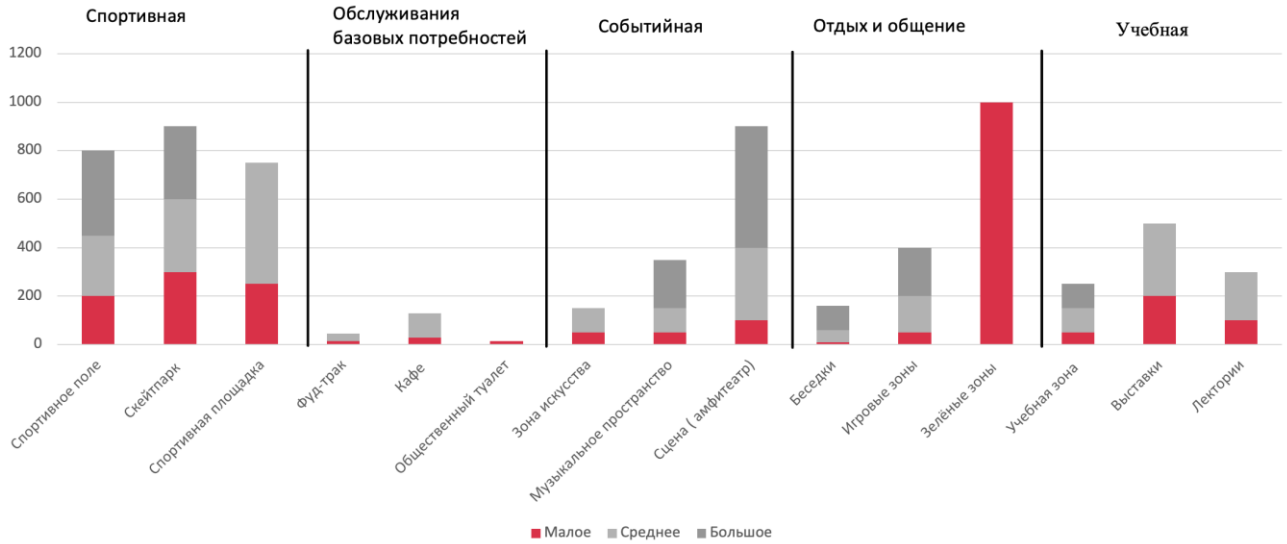


Рис. 2. Функционально-масштабная модель общественного пространства досуга подростков

По результатам исследований предметной области было выявлено, что общественные пространства имеют сетевую топологию, поэтому для решения поставленной задачи было принято решение рассмотреть методы, основанные на применении аппарата комплексного сетевого моделирования объектов города, который представляет множество общественных пространств как пространственно-распределенную систему обеспечения досуга подростков. Это в свою очередь позволит решить задачу планирования размещения общественных пространств оптимальным образом в условиях наложенных внутренних и внешних ограничений.

Для решения задачи планирования места размещения общественных пространств для подростков с учетом ограничений населения и предметной области. В рамках составления методологии были рассмотрены группы методов, предназначенные для решения задач в смежных областях:

1. Гравитационные модели, позволяют оценивать охват аудитории пользователей общественных пространств для подростков, однако не позволяют учитывать обеспеченность спроса.
2. Модели многофакторной оценки фрагментов городской среды позволяют оценивать потенциал местности для размещения общественных пространств для подростков с учетом коллокаций различных типов сервисов, но также не позволяют учитывать обеспеченность спроса.
3. Сетевые модели позволяют моделировать взаимосвязи между узлами спроса и узлами предложения, что позволяет считать данный тип моделей наиболее перспективным для применения в решении задач проекта.

По результатам исследования методов построения графовых моделей были сделаны следующие выводы:

Для решения задачи поиска оптимального места размещения общественных пространств предлагается разработать сетевую модель, связывающую потенциальные общественные пространства с жилыми зданиями. Сетевые модели позволяют учесть сетевые и топологические свойства размещения общественных пространств как системы обслуживания населения.

Для определения зон обслуживания общественных пространств для подростков можно использовать подход построения изохронов пешеходной доступности по времени в пути. Для малых общественных пространств оно не должно превышать 5 минут, для средних 10, а для больших 20 минут. Такой подход не учитывает естественные барьеры городской инфраструктур, например реки, здания, дороги и другие объекты, которые мешают вам перемещаться по прямой, что может сказаться на объективности метода оценки.

Оценка обеспеченности общественными пространствами — это подход к оценке того, насколько хорошо общественные пространства размещены в существующей городской застройке. Оценка складывается из суммы обеспеченности всех жилых домов на территории планирования территории. В соответствии с этим, дом считается полностью обеспеченным, если он находится в зоне обслуживания всех четырех функциональных типов общественных мест, и они могут справиться с нагрузкой от дома. Нагрузка означает сумму всех подростков в зоне обслуживания общественного пространства, умноженная на стандартную площадь на человека. Стандарта на площадь общественного пространства не существует и стандарт, разработанный для детских площадок, был адаптирован для задачи расчета доступности. В результате на одного подростка должно приходиться два квадратных метра общественного пространства на одного подростка.

Практическая реализация подходов к управлению городской средой на основе цифровых технологий, реализующих математические методы оптимизации, ограничена из-за проблемы систематического недостатка данных об объектах городской среды. Городские данные фрагментарны и неполны по своей природе в силу специфики организации процессов их генерации в городах, в которых задействованы различные городские организации и ведомства, бизнес-процессы которых не предполагают формирования единых полных информационных ресурсов. Для реализации метода необходимы данные, представленные ниже.

Данные, которые необходимы от пользователя:

1) гео-слой с территорией планирования. Границы или сам полигон можно загрузить из открытых источников информации, например сервиса Open street maps (OSM) или с платформы цифровой урбанистики университета ИТМО;
2) модель расселения подростков по полигонам домов. Данные по расселению социальной группы подростков внутри города в формате GeoJSON с атрибутом количества проживаемых в доме подростков;

3) гео-слой, включающий сервисы, в которых заинтересованы подростки, и полигоны рекреационных зон, для последующей классификации существующих общественных пространств.

Данные, которые получаются во время работы алгоритма:

1. Существующие общественные пространства. Существующие общественные пространства позволяют минимизировать затраты за счет того, что мы не строим новое общественное пространство, а добавляем функции и услуги, необходимые подросткам, на уже благоустроенную территорию.
2. Гео-слой, включающий полигоны свободных территорий внутри города, на которых много мест, где мы можем разместить новые общественные пространства. Свободная площадь будет рассчитываться с помощью алгоритма, написанного на языке программирования Python, по следующему принципу:
   a) изохроны зоны обслуживания общественных пространств. Данные получаются с помощью алгоритма, написанного на языке программирования Python. Для построения изохрон необходим граф пешеходных дорог. Его может получить из открытых источников информации, например, OpenStreetMap;
   b) сетевая модель общественных пространств, которая представляет собой двудольный граф в формате GraphML. Узлы сети разделены на два типа - жилые здания и потенциальные общественные пространства, а ребра, соединяющие их – расстояние в минутах.

   Данные, которые пользователь получает на выходе:
   a) гео-слой с полигонами из множества потенциальных мест, где лучше всего разместить новые общественные пространства;
   b) результат оценки обеспеченности. После каждого цикла работы всех алгоритмов есть возможность провести расчёт оценки обеспеченности для определения оптимальности полученного результата.

Для нахождения начального решения применяется жадный алгоритм. Было реализовано два сценария работы жадного алгоритма. В первом варианте локальным оптимумом является максимальная сумма домов в зоне обслуживания общественного пространства деленная на время. Во втором, локальным оптимумом является максимальная сумма проживающих в домах подростков, также, деленная на время. Статистика по всем вариациям предложенных алгоритмов приведена в таблице.

Таблица. **Сравнение вариаций работы алгоритма**

Сценарий	Количество обеспеченных домов	Количество открытых ОП	Среднее время от дома до ОП (мин.)
Жадный алгоритм по сумме домов/время	836	73	11.48
Жадный алгоритм по сумме домов/время + Локальный поиск	836	68	11.53
Жадный алгоритм по количеству подростков/время	844	66	13.01
Жадный алгоритм по количеству подростков/время + Локальный поиск	844	63	12.51

Визуализация обеспеченности до и после преобразования городской среды за счет размещения новых общественных пространств представлена на рисунке 3.

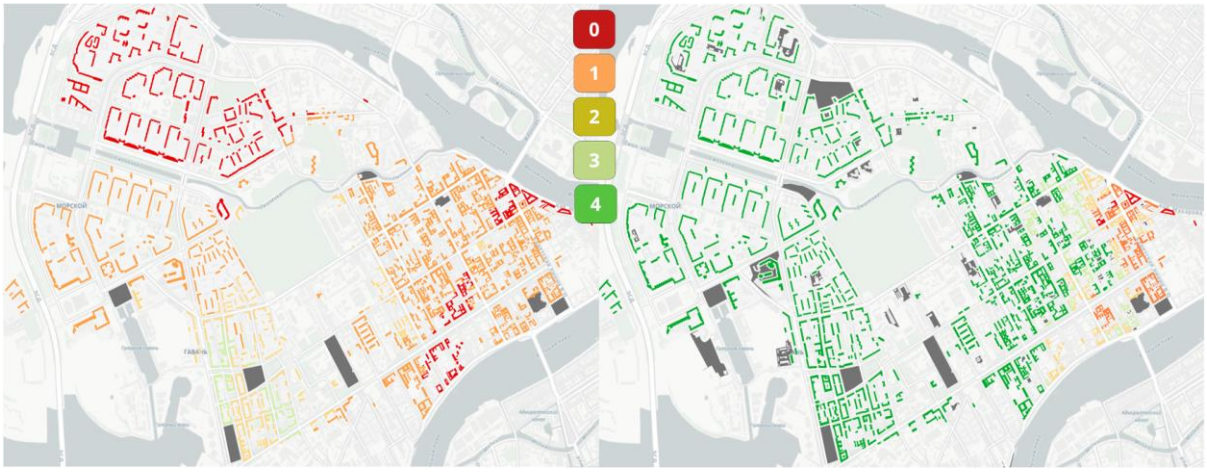


Рис. 3. Визуализация оценки обеспеченности до и после размещения общественных пространств

Разработанный алгоритм метода оптимального размещения общественных пространств для подростков показан на рисунке 4.

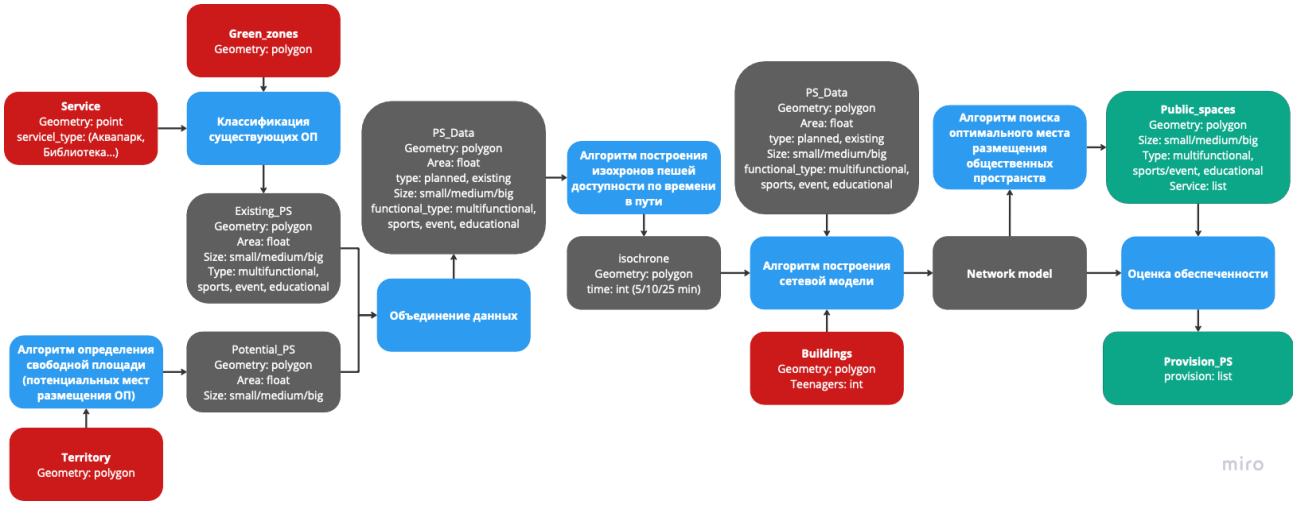


Рис. 4. Алгоритм работы метода

Красным цветом выделены исходные данные, синим алгоритмы, серым данные, получаемые в ходе работы алгоритмов, а зеленым итоговый результат.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Крашенинников А. Сценарное проектирование городской среды // Architecture and Modern Information. 2017. №. 4(4). С. 242-256.
2. Orozco L.G.N. et al. Multimodal urban mobility and multilayer transport networks // arXiv preprint arXiv:2111.02152. 2021.
3. Кузнецова Е.А. . Внеурочная деятельность как средство повышения учебной мотивации младших подростков [Электронный ресурс]: выпускная квалификационная работа бакалавра : 44.03.02 / Е. А. Кузнецова. — Красноярск : СФУ, 2017.
4. Мошкова М.Ю. Тенденции формирования досуговой среды общественных городских пространств // Аллея науки. ИП Шелистов Денис Александрович (Издательский центр" Quantum"). 2019. Vol. 5. №. 1. С. 228-232.
5. Кадыров Т.Э. Общественные пространства: феномены, тенденции и процессы // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего~…, 2014. №. 4 (30). С. 115-120.

Выпускник
Посохов Павел Александрович
факультет информационных технологий и программирования
Направление подготовки: 09.04.02 – Информационные системы и технологии
e-mail: anpopaicoconat@gmail.com

Научный руководитель
Махныткина Олеся Владимировна
к.т.н., доцент
e-mail: makhnytkina@itmo.ru

УДК 004.89

РАЗРАБОТКА ГИБРИДНЫХ ПОДХОДОВ К АВТОМАТИЧЕСКОЙ ГЕНЕРАЦИИ РЕПЛИК В ПЕРСОНИФИЦИРОВАННЫХ ДИАЛОГОВЫХ СИСТЕМАХ

Работа выполнена в рамках темы НИР № 622282 «Разработка русскоязычного персонифицированного диалоговой системы с динамической долгосрочной памятью».

В последние годы диалоговые системы вызвали значительный академический и отраслевой интерес. Согласно исследованиям GrandView Research, рынок чат-ботов в 2020 году оценивался в 430,9 миллиона долларов, а к 2028 году ожидается его рост на 24,9%. В предыдущие годы исследования в области диалоговых систем были сосредоточены на двух основных подходах к генерации реплик моделью: ранжирующем, который предполагает выбор нужного ответа из базы и генеративного, который предполагает генерацию ответа языковой моделью. На сегодняшний день активно развивается разработка гибридных подходов к автоматической генерации реплик в персонифицированных диалоговых системах. Это связано с тем, что создание диалоговых систем, которые могут поддерживать продуктивный и естественный диалог с пользователями, является комплексной задачей, которую нельзя решить с помощью одного подхода.

Персонификация в диалоговых системах является важным фактором, который улучшает качество взаимодействия с системой и повышает удовлетворенность пользователей, за счет повышения консистентности и специфичности ответов [1]. Персонификация делает диалог с системой более последовательным, минимизирует противоречивость ответов и делает их более конкретными и интересными.

Гибридные подходы [2] объединяют несколько методов и технологий, таких как генерация текста языковыми моделями, ранжирующий поиск с использованием представлений текста глубокими нейронными сетями и др. Они позволяют создать более эффективные диалоговые системы, которые могут адаптироваться к контексту диалога и предоставлять более точные и полезные ответы.

Ответы нецелеориентированных диалоговых моделей с открытым доменом зачастую могут быть противоречивы, а диалоги с ними обладают низкой консистентностью. Ввиду этой особенности для повышения заинтересованности пользователя к продолжению коммуникации необходимо применять персонификацию системы. Диалоговые модели могут быть представлены моделями ранжирующего поиска. Такие модели продуцируют ответ путем поиска релевантного ответа в закрытой базе кандидатов. Ответы такой модели зачастую бывают конкретны и специфичны поскольку база кандидатов состоит из реплик реальных людей, однако логичность их на прямую зависит от объема базы и качества ранжирования модели. Так же диалоговые модели могут быть представлены генеративными моделями. Такие модели генерируют ответ методом языкового моделирования на основе предшествующей истории диалога. Ввиду особенностей авторегрессионных языковых моделей ответы таких систем зачастую малоспецифичны, однако почти всегда логичны ввиду условно

неограниченной базы ответов. По вышеописанным причинам для разработки качественного нецелеориентированных диалоговой системы, требуется разработать метод объединения ранжирующей и генеративной модели в рамках персонифицированной системы.

Ранжирующие архитектуры диалоговых систем с использованием transformer кодирующих блоков показывают лучшее качество поиска ответов в сравнении с прочими базовыми моделями. Ранжирующие архитектуры можно условно разделить на два типа. Первые модели не требуют совместного кодирования представлений запроса и кандидатов, что делает возможным off-line предварительное кодирование базы кандидатов, это значительно ускоряет инференс модели, делая его слабо зависимым от размеров базы. К такому типу относится архитектура Bi-Encoder, StarSpace, IR [1]. Вторые модели требуют совместной обработки запроса и кандидатов, ввиду этого сложность алгоритма их работы напрямую коррелирует с размерами базы кандидатов, так как требуется полная ее итерация. К такому типу относится архитектура Cross-Encoder, Poly-Encoder, Co-Encoder [3]. Для обучения русскоязычных диалоговых систем генеративного типа необходимо использовать предварительно обученные русские языковые модели типа ruGPT и ruT5. Сравнение базовых ранжирующих и генеративных моделей показано в таблице 1.

Таблица 1. **Показатели качества базовых моделей**

Модель	**Метрики качества**	
Генеративные	BLUE	
rugpt_chitchat	**0.253**	
rugpt2large	0.249	
rut5-small	0.221	
ruT5-base	0.250	
Ранжирующие	BLUE	R1@500
Starspace	0.451	0.101
Bi-Encoder	**0,524**	**0.189**
Cross-Encoder	0.518	0.178
Poly-Encoder	0.517	0.189
Co-Encoder	**0,524**	**0.190**

Классическая персонификация методом конкатенации контекста и сведений о персоне влечет за собой повышение длинны входной последовательности, что при условии использования архитектур типа transformer приводит к экспоненциальному увеличению сложности вычисления и затратам памяти. Кроме того, при достаточно широком описании персоны, модель перестает фокусироваться на контексте диалога. Для решения этих проблем предлагается использовать метод knowledge grounded generation [4], предполагающий использование ранжирующих поисковых моделей, для поиска релевантной для ответа информации о персоне и генеративной языковой модели для продуцирования ответа с опорой на найденные факты. Схема модели основанной на методе knowledge grounded generation приведина на рисунке.

В ходе исследования были разработаны две гибридные архитектуры диалоговых систем: Retrieve&Refine – включает в себя независимые ранжирующую (BERT) и генеративную (GPT-2) модели и Multitask – ранжирующая и генеративная модель включены в рамках единой encoder-decoder архитектуры T-5.

В данной работе было выявлено, что использование pre-batch негативного семплирования, для обучения модели поиска релевантных контексту диалога фактов о персоне для генерации ответа, негативно сказывается на метриках качества ранжирования. Использование большей доли жестких негативных примеров для таких моделей не дает повышения качества. Ввиду этого разметка дистракторов с частичным привлечением учителя в ходе обучения не требуется. Оптимизация кодирующего блока полной transformer архитектуры асинхронно от декодирующего блока негативно сказывается на общем качестве модели для остальных задач. При условии малого размера базы кандидатов, ограниченного

объемом персональной информации, допускается использования более медленной Cross-Encoder архитектуры. Сопровождение входной последовательности seq2seq модели prompt-style инструкцией повышает качество генерации. Все вышеописанные приемы в сочетании использованием гибридной модели генерации ответов диалоговой системы с опорой на знания о персоне позволили добиться высоких показателей логичности, специфичности и общей консистентности коммуникации с пользователем что показано в таблице 2.

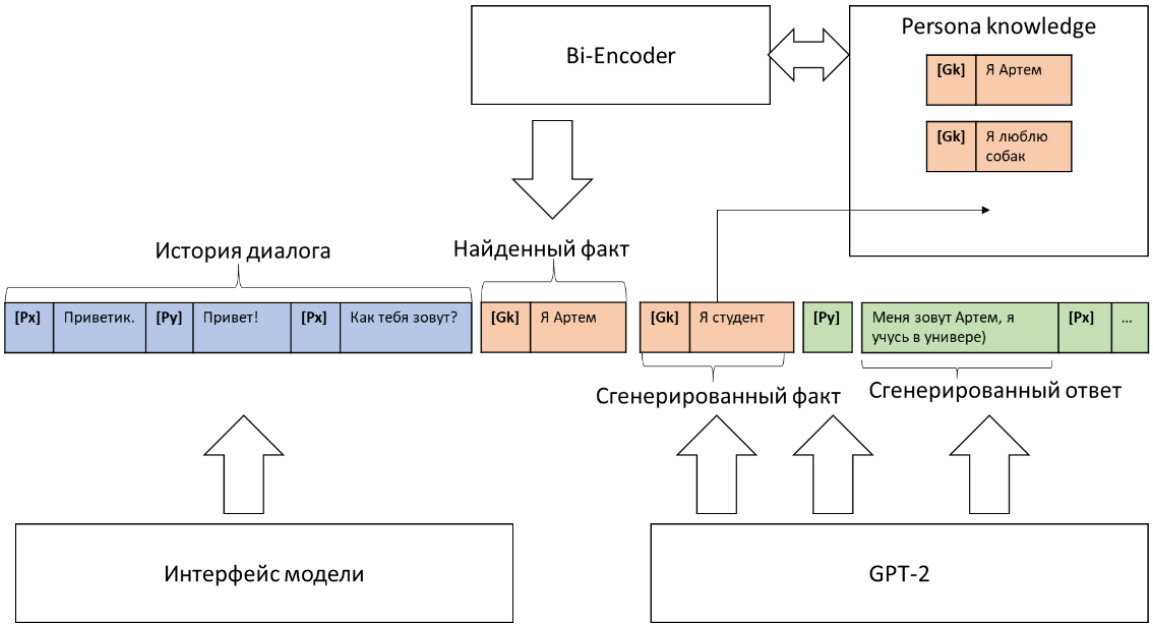


Рисунок. Схема knowledge grounded generation диалоговой системы

Таблица 2. **Показатели качества базовых и гибридных моделей**

Модель	BLEU	Специфичность	Логичность	Консистентность
rugpt_chitchat	0.253	0.46	0.65	0.30
Co-Encoder	0.190	0.50	0.31	0.25
Retrieve&Refine	**0.261**	0.60	**0.68**	**0.60**
Multitask	0.257	**0.65**	0.65	0.55

Наилучшие результаты согласно SSA оценке продемонстрировали модели Retrieve&Refine 0.626 и Multitask 0.616, что коррелирует с результатами автоматической валидации BLEU. В результате предложенные подходы к разработке диалоговых систем позволили улучшить логичность адаптированных базовых моделей и в значительной степени повысить специфичность и консистентность ответов. Средние результаты предлагаемых гибридных моделей на 51% превосходят базовые модели rugpt_chitchat и Co-Encoder.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Zhang S., Dinan E., Urbanek J., Szlam A., Kiela D., Weston J. Personalizing dialogue agents: I have a dog, do you have pets too? // CoRR. 2018. arXiv:1801.07243.
2. Ni J., Young T., Pandelea V., Xue F., Cambria E. Recent advances in deep learning based dialogue systems: A systematic survey / J. Ni // CoR. 2021. arXiv:2105.04387.
3. Humeau S., Shuster K., Lachaux M.-A., Weston J. Poly-encoders: Transformer architectures and pre-training strategies for fast and accurate multi-sentence scoring // CoRR. 2019. arXiv:1905.01969.
4. Thulke D., Daheim N., Dugast C., Ney H. Efficient Retrieval Augmented Generation from Unstructured Knowledge for Task-Oriented Dialog // CoRRю 2021. arXiv:2102.04643.

Graduate
Daniil Yu. Piarnits
infochemistry scientific center
Main field: 18.04.01 – Chemical technology
e-mail: pyarnits@infochemistry.ru

Scientific supervisor
Evgeny Smirnov
Prof. Dr.
e-mail: smirnovea@infochemistry.ru

УДК 544.478–03

SYNTHESIS AND STUDY OF PHOTOCATALYSTS BASED ON TITANIUM DIOXIDE AND G-C3N4

The work was carried out within the framework of the research topic No. 12283 "Research of intelligent technologies in infochemistry for industrial applications".

In light of the growing global environmental issues such as water pollution and depletion of traditional fuel sources, research and development of environmentally friendly, selective, reliable, and economically efficient photocatalytic materials have become crucial [1]. Titanium dioxide (TiO_2) is known for its photocatalytic activity; however, its limited ability to absorb visible light reduces its effectiveness in solar energy conversion [2].

This study focuses on g-C_3N_4 as a promising material with photocatalytic properties under visible light irradiation [3]. However, compared to classical photocatalysts such as TiO_2, ZnO, and others, g-C_3N_4 has some drawbacks, such as rapid recombination.

The use of titanium nanotubes offers advantages such as high strength, efficient charge transfer, large specific surface area, tunable surface properties, chemical stability, and biocompatibility [4], making TiO_2 nanotubes a promising material for the applications.

The aim of this study is to obtain a hybrid material based on g-C_3N_4 and titanium dioxide with improved photocatalytic properties. The following objectives were set within the study:

- synthesis of g-C_3N_4 from melamine barbiturate and a mixture of melamine barbiturate with urea (in ratios of 3:1, 1:1, 1:3) at temperatures ranging from 250 to 600°C and thermal treatment times ranging from 1 to 6 hours in a nitrogen atmosphere to determine the optimal conditions;
- synthesis of TiO_2 nanotubes by electrochemical anodization (according to the method where the surface of titanium foil or substrate is treated in an electrolyte under the influence of an electric field);
- characterization of the synthesized g-C_3N_4 and TiO_2 using modern physicochemical analysis methods;
- preparation of the hybrid photocatalytic material by the thermal condensation method of g-C_3N_4 onto TiO_2 nanotubes on titanium and fluorine-doped tin oxide (FTO) substrates;
- comparative evaluation of the photocatalytic activity of the synthesized materials.

The following analysis methods are used to achieve the research objectives:

- differential scanning calorimetry with thermogravimetric analysis (TG-DSC);
- X-ray structural analysis;
- scanning electron microscopy;
- UV-Visible and infrared spectroscopy;
- photocatalytic activity analysis based on Rhodamine B absorption spectra during decomposition.

The conventional method [5] involves obtaining g-C_3N_4 from melamine at a temperature of 550°C for 4 hours fig. 1. In this study, melamine barbiturate was used instead of melamine, which reduced the synthesis temperature of g-C_3N_4 by 1.5 times (from 550°C to 350°C). It was found that

g-C_3N_4 obtained from melamine barbiturate has a triazine structure fig. 1,b, unlike g-C_3N_4 obtained from melamine, which has a heptazine structure fig. 1,a.

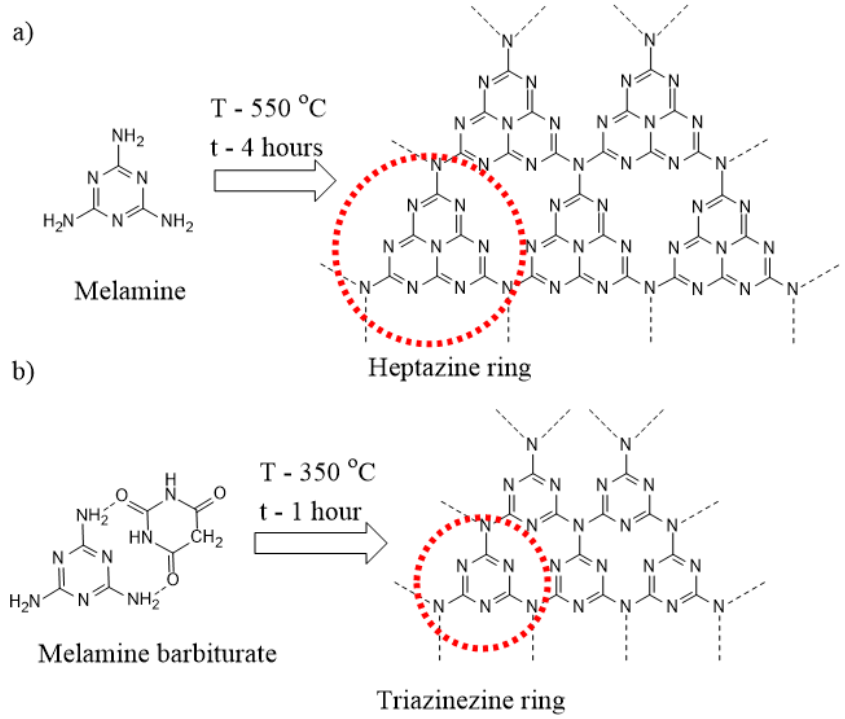


Fig. 1. Synthesis scheme of g-C_3N_4 from melamine (a) and from melamine barbiturate (b) with the formation of heptazine and triazine rings

Thermogravimetry and differential scanning calorimetry confirmed that the optimal synthesis temperature of g-C_3N_4 from melamine barbiturate is 350°C fig. 2. Two endothermic peaks correspond to the deammoniation process (ammonia release) and subsequent thermal polycondensation.

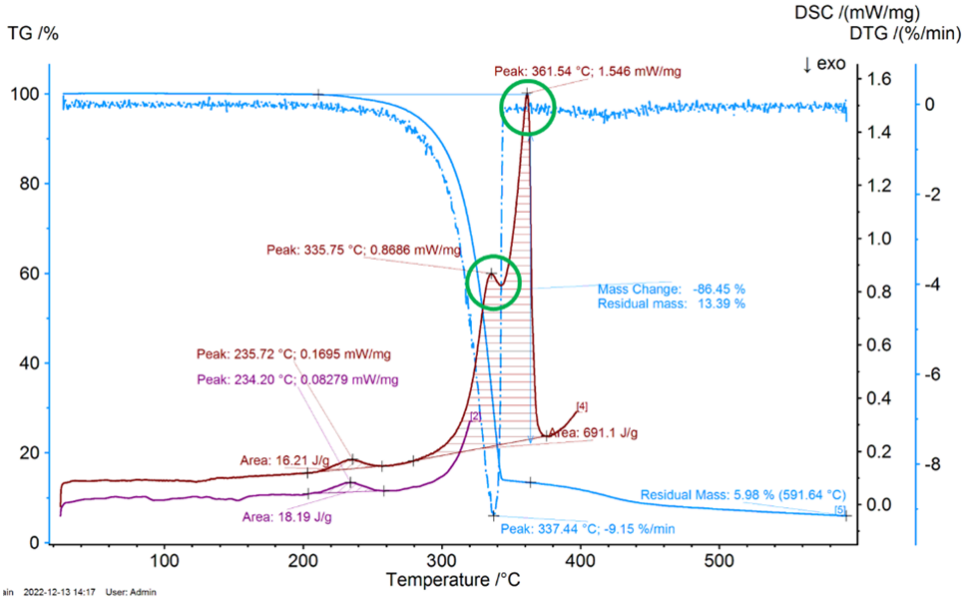


Fig. 2. Thermogravimetric and differential scanning calorimetry (TG-DSC) thermograms of g-C_3N_4 synthesized from melamine barbiturate at 350°C

Comparative X-ray diffraction analysis of the synthesized samples obtained from melamine barbiturate and melamine at 550°C fig. 3. In the synthesis from melamine barbiturate, a decrease in the intensity of peaks corresponding to individual components of the mixture was observed with increasing temperature. However, the (002) peak characteristic of g-C_3N_4 appeared at a temperature as low as 340°C, which is consistent with the results obtained from TG-DSC analysis. In the case of

melamine, two peaks (100) and (002) appeared only at 550°C. The absence of the (100) peak in g-C_3N_4 synthesized from melamine barbiturate indicates its triazine structure (fig. 1). In the synthesis of g-C_3N_4 from a mixture of melamine barbiturate and urea, a shift in the (100) peak was observed, indicating a potential increase in the heptazine ring.

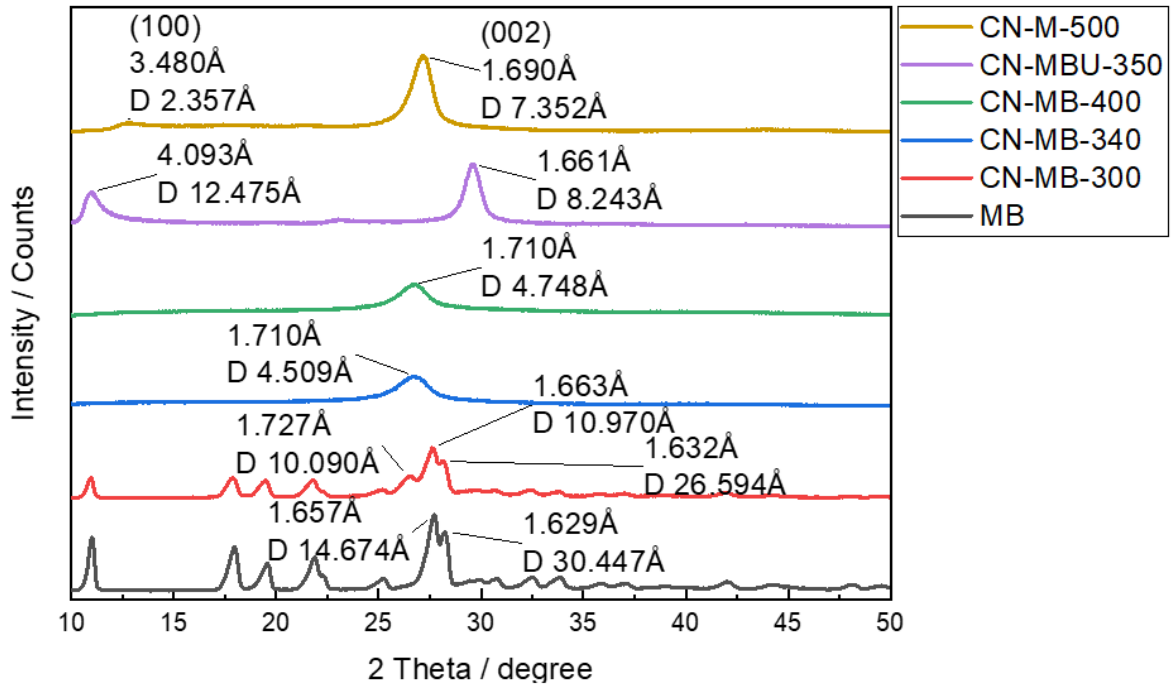


Fig. 3. X-ray diffraction patterns of the obtained g-C_3N_4 samples synthesized from melamine barbiturate (MB), a mixture of melamine barbiturate and urea (MBU), and melamine (M) at various synthesis temperatures. The figure shows the interplanar spacing and the coherent scattering domain size (D) calculated using the Scherrer formula in angstroms

Infrared spectroscopy confirmed the structure of the synthesized g-C_3N_4 from melamine barbiturate and the mixture of melamine barbiturate and urea fig. 4. Additionally, the spectra exhibited changes in the intensity of peaks in the range of 1000-1700 cm^{-1}, indicating the occurrence of thermal condensation reactions.

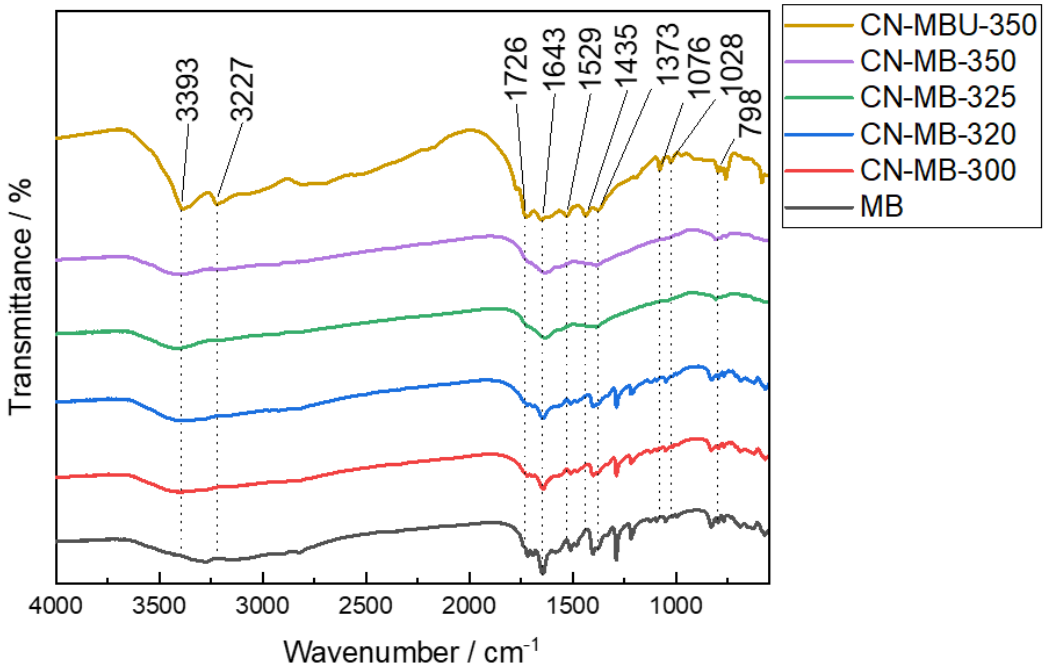


Fig. 4. IR spectra of g-C3N4 synthesized from melamine barbiturate (MB) and the mixture of melamine barbiturate and urea (MBU)

The photocatalytic activity of the samples was evaluated by studying their ability to decompose Rhodamine B. A comparison of the photocatalytic activity was conducted between the classical g-C_3N_4 synthesized from melamine at 550 °C and the sample obtained from melamine barbiturate. The results showed that the photocatalytic activity of the melamine barbiturate-derived sample was lower compared to the melamine-derived sample. However, the addition of urea during the synthesis of g-C_3N_4 from the melamine barbiturate mixture resulted in a significant increase in photocatalytic activity by up to 300% compared to the sample synthesized solely from pure melamine barbiturate.

The observed lower photocatalytic activity of g-C_3N_4 can be attributed to its wider bandgap of 3.5 eV, exceeding the expected value of 2.7 eV. To enhance the photocatalytic properties, the use of a light source in the range of 335–350 nm may be required.

Titanium nanotubes were obtained by anodizing a titanium substrate, leading to the formation of an ordered TiO_2 nanotube layer under the influence of an electric field. X-ray phase analysis revealed that the predominant phase was anatase.

Subsequently, the surface morphology of g-C_3N_4 and TiO_2 was investigated using scanning electron microscopy. The results showed that the surface of melamine barbiturate began to degrade at 340°C, followed by the formation of g-C_3N_4. Surface analysis of TiO_2 demonstrated ordered growth of titanium nanotubes with a length of approximately 5 μm and an average diameter of about 50 nm.

A technology for obtaining thin films of g-C_3N_4 on FTO and titanium surfaces was proposed. Analysis using scanning electron microscopy confirmed the uniform structure of the obtained films across the entire surface.

In conclusion, the following important findings were obtained from the conducted research:

Firstly, a new synthesis method for g-C_3N_4 based on triazine rings from melamine barbiturate was developed. This method reduced the synthesis time by 4 times (to 1 hour) and the required temperature by 1.5 times (from 550°C to 350°C).

Secondly, by adding urea during the synthesis of g-C_3N_4 from melamine barbiturate, a sample of g-C_3N_4 with heptazine rings was obtained, allowing for doping g-C_3N_4 to enhance its photocatalytic activity.

Thirdly, the use of a melamine barbiturate and urea mixture in the synthesis of g-C_3N_4 led to an increase in photocatalytic activity by up to 300% compared to g-C_3N_4 synthesized from pure melamine barbiturate. However, the increased photocatalytic activity of g-C_3N_4 synthesized from the melamine barbiturate-urea mixture is still lower than that of TiO_2.

Future research plans include further development of the study using thiourea as an alternative precursor and conducting a comparison of the photocatalytic properties of the obtained samples and hybrid photocatalysts to achieve an optimal phase and composition ratio in g-C_3N_4/TiO_2 hybrid structures.

REFERENCES

1. Kamegawa T., Shimizu Y., Yamashita H. Superhydrophobic surfaces with photocatalytic self-cleaning properties by nanocomposite coating of TiO2 and polytetrafluoroethylene // Adv. Mater. Wiley Online Library. 2012. Vol. 24. №. 27. Pp. 3697-3700.
2. Zhang Y. et al. In-situ synthesis of nanofibers with various ratios of BiOClx/BiOBry/BiOIz for effective trichloroethylene photocatalytic degradation // Appl. Surf. Sci. Elsevier. 2016. Vol. 384. Pp. 192-199.
3. Thomas A. et al. ChemInform Abstract: Graphitic Carbon Nitride Materials: Variation of Structure and Morphology and Their Use as Metal-Free Catalysts // J. Mater. Chem. v.18. 2008. Vol. 40. Pp. 4893-4908.
4. Valeeva A.A. et al. Nonstoichiometric titanium dioxide nanotubes with enhanced catalytical activity under visible light // Sci. Rep. 2018. Vol. 8. №. 1. P. 9607.
5. Xie Q. et al. Regulating Intermediate Concentration to Synthesize Highly Crystalline g-C3N4 under Spontaneous Ultrahigh Pressure // ChemNanoMat. Wiley Online Library. 2023. P. e202300102.

Выпускник
Рефельд Александр Германович
химико-биологический кластер
Направление подготовки: 19.04.01 – Биотехнология
e-mail: refeld@gmail.ru

Научный руководитель
Штиль Александр Альбертович
д.м.н., доцент
e-mail: shtil@scamt-itmo.ru

УДК 57.576

БЕЛОК P53 КАК РЕГУЛЯТОР МЕТАЛЛОШАПЕРОНА ATOX1 В УСЛОВИЯХ ГЕНОТОКСИЧЕСКОГО СТРЕССА

Были предприняты многочисленные попытки выявить молекулярные механизмы выживания и гибели злокачественных клеток. Одним из наиболее известных маркеров в этом отношении является белок-онкосупрессор p53. Он выступает важным регулятором выживания и гибели опухоли, индуктором апоптоза и репаративных процессов, что необходимо при ответе клеток на повреждающие воздействия [1].

В то же время известно, что потребление меди опухолевыми клетками значительно повышено. Медь также играет исключительную роль в ходе окислительно-восстановительных реакций, так как этот переходный металл является составной частью многочисленных ферментов, участвующих в метаболизме опухолевой клетки [2].

Отдельные работы посвящены проблемам регуляции обмена меди и гибели опухолевых клеток. В одной из таких работ описано снижение транспорта меди в ядро с ингибированием или полным отсутствием экспрессии TP53. Это снижение коррелирует с Atox1, металлошапероном меди, который распределяет ионы меди по клетке [3]. Недавно было показано, что как ингибирование Atox1, так и его нокдаун снижают пролиферацию опухолевых клеток [4].

Данных о взаимосвязи между p53-индуцированной передачей сигналов и активностью Atox1 мало. По-видимому, активация p53 может влиять на уровень Atox1, индукция которого защищает клетку от гибели под действием ионизирующего излучения и цитостатиков за счет элиминации активных форм кислорода, что потенциально может изменить результаты противоопухолевой терапии. Более того, было показано, что Atox1 может действовать как фактор транскрипции [5]. Установление взаимодействий между белком p53 и металлошапероном Atox1 критически важно для выявления новых потенциальных мишеней для эффективной комбинированной и таргетной терапии опухолей.

Целью данной работы является выявление связи между статусом белка p53 (дикий тип или инактивированный) и активностью металлошаперона Atox1 как на уровне транскрипции, так и на уровне трансляции в условиях химически индуцированного генотоксического стресса. Для осуществления данной цели необходимо выполнить следующие задачи:

1) изучить экспрессию генов TP53 и ATOX1 в ответ на действие генотоксических препаратов (доксорубицин, цисплатин) и индукторов окислительного стресса (H2O2, блеомицин) в клеточных линиях с активным или инактивированным геном TP53;
2) Оценить внутриядерную транслокацию Atox1 в ответ на цитостатические препараты;
3) Провести siRNA-опосредованный нокдаун генов ATOX1 и TP53 для изучения их непосредственного влияния на клеточный цикл и реакцию клетки на генотоксический стресс.

Наши результаты показывают, что экспрессия ATOX1 увеличивается только в сублиниях (HCT116 TP53KO, A549 TP53KO) с нокаутом TP53, что противоречит предыдущей работе Beaino et al (2014), которые наблюдали индукцию Atox1 только в HCT116 дикого типа,

хотя этот эффект был зависим от клеточной линии. Мы показываем последовательный характер активации Atox1 в клеточных линиях HCT116 и A549 с инактивированным TP53. Экспрессия ATOX1 действительно активируется в ответ на множественные генотоксические стимулы. Однако не все препараты были одинаково эффективны: например, цисплатин повышал экспрессию Atox1 только в клетках линии A549 TP53KO, но не в клетках линии HCT116 TP53KO. Перекись водорода, по-видимому, не оказывает влияния на экспрессию Atox1, вероятно, из-за быстрого распада в клетке. Доксорубицин и блеомицин вызывали самые сильные различия в экспрессии Atox1 независимо от клеточной линии (рис. 1).

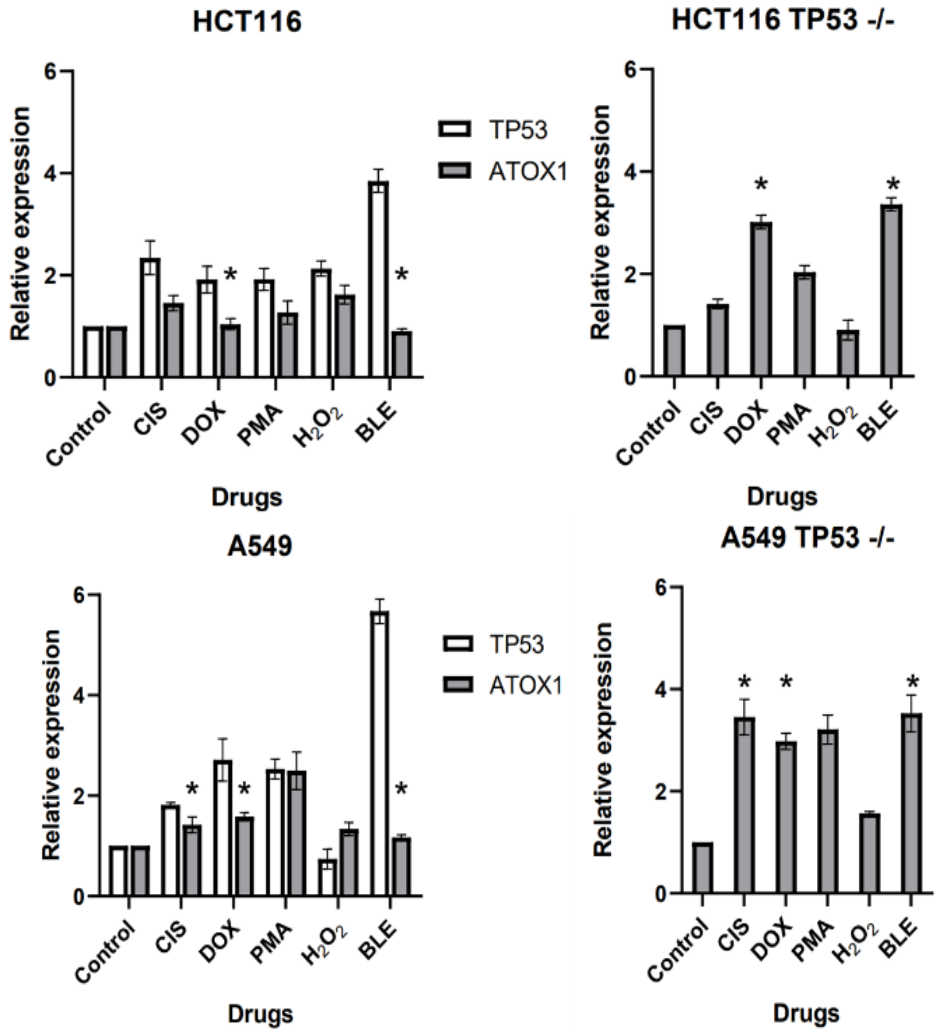


Рис. 1. Данные RT-qPCR экспрессии ATOX1 и TP53: DOX – доксорубицин, CIS – цисплатин, PMA – форбол-12-миристат-13-ацетат, H2O2 – перекись водорода, BLE – блеомицин, через шесть часов после добавления препаратов. Все соединения брались в концентрациях, соответствующих IC50, PMA – 80 нМ. Нормализация – HPRT. *p<0,05

Вестерн-блоттинг подтверждает эти данные на уровне белка (рис. 2). Индукция Atox1 заметна у линий с инактивированным TP53. p53 почти одинаково реагирует на все генотоксические агенты, кроме перекиси водорода, как на уровне мРНК, так и на уровне белка, что вполне ожидаемо, учитывая его роль в ответе на повреждение ДНК. В то же время Atox1 отдает предпочтение цисплатину, доксорубицину и блеомицину в клеточной линии A549 TP53KO.

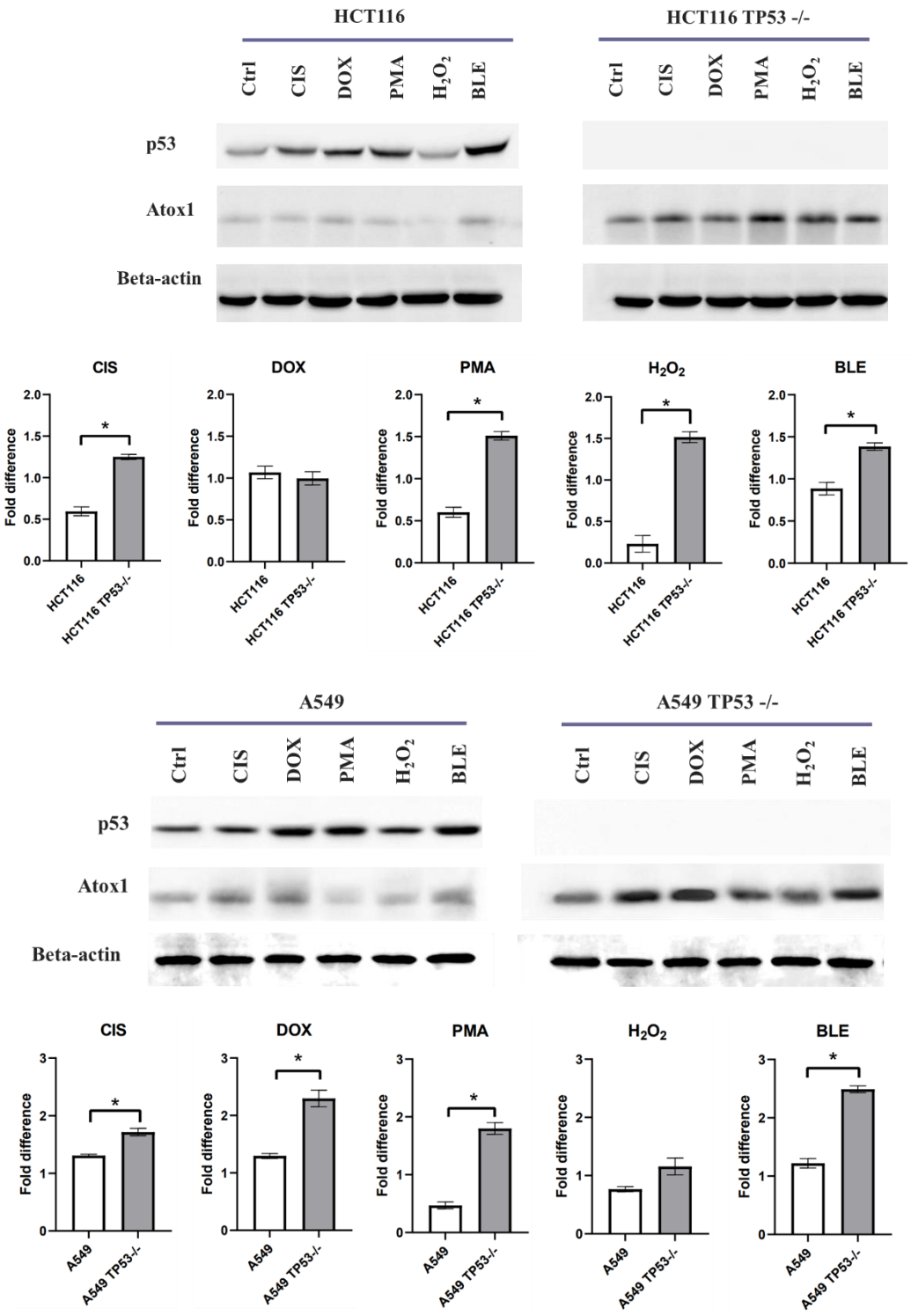


Рис. 2. Результаты вестерн-блоттинга: DOX – доксорубицин, CIS – цисплатин, PMA – форбол-12-миристат-13-ацетат, H2O2 – перекись водорода, BLE – блеомицин. Все соединения брались в концентрациях, соответствующих IC50, PMA, 80 нМ. *p<0,05

Для оценки ядерной транслокации Atox1 проводили иммуноцитохимическое окрашивание. Флуоресцентная микроскопия не показала заметной ядерной транслокации Atox1 при генотоксическом воздействии (рис. 3). При этом тренд к более выраженной активации Atox1 в клетках с инактивированным TP53 был дополнительно подтвержден.

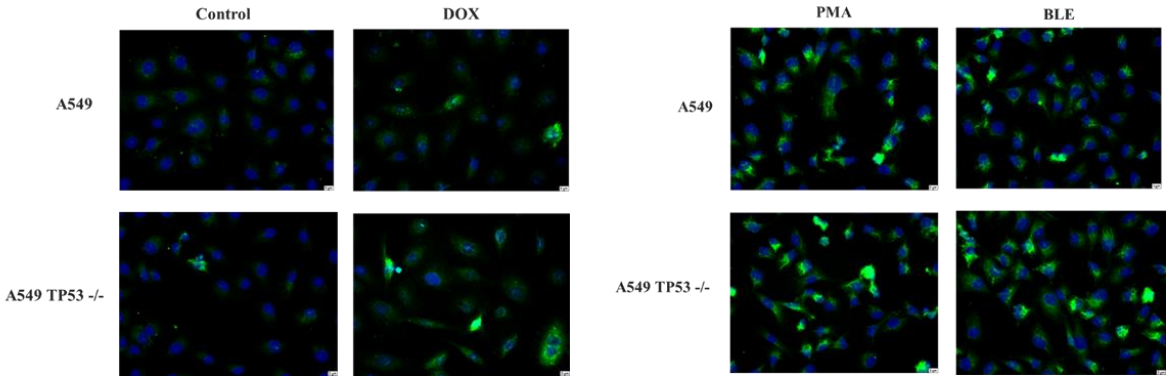


Рис. 3. Ядерная транслокация Atox1: DOX – доксорубицин, PMA –форбол-12-миристат-13-ацетат, BLE – блеомицин, шесть часов, флуоресцентная микроскопия, DAPI, вторичные антитела с AlexaFluor488

Чтобы исследовать немедленные эффекты инактивации TP53 и ATOX1, мы провели нокдаун малыми интерферирующими РНК. Мы провели MTT-тест на клеточной линии A549 для оценки жизнеспособности клеток с интересующими активными и неактивными генами (ATOX1, TP53) при генотоксическом стрессе (Рисунок 4). Тест показал, что нокдауны сами по себе не влияли на жизнеспособность клеток, но после добавления цитостатического препарата блеомицина нокдаун ATOX1 снижал частоту гибели клеток. В то же время нокдаун TP53 и двойной нокдаун снижали жизнеспособность клеток по сравнению с контролем. Эти различия в жизнеспособности клеток постепенно становились более заметными в более поздних точках (72 часа).

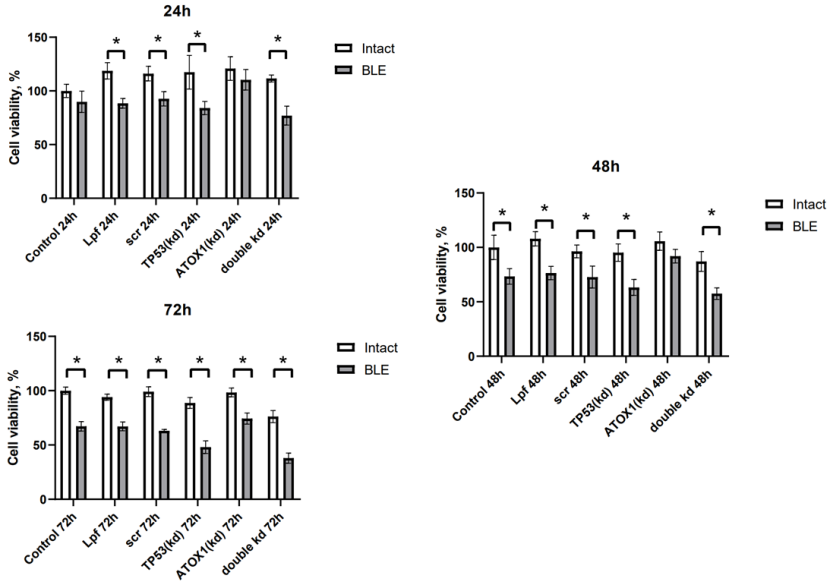


Рис. 4. Жизнеспособность клеточной линии A549 с ATOX1, TP53 или двойным ATOX1/TP53 нокдауном с добавлением блеомицина и без него (BLE) в разных временных точках. BLE – блеомицин, TP53(kd) – нокдаун TP53, ATOX1(kd) – нокдаун ATOX1, double kd – нокдаун как TP53, так и ATOX1. *p<0,05

Также при помощи проточной цитометрии с йодидом пропидия было выяснено, что добавление блеомицина меняет интенсивность subG1 фазы, являющейся показателем апоптоза, в клетках с нокдауном по ATOX1, а также с двойным ATOX1/TP53 нокдауном (рис. 5). При добавлении блеомицина нокдаун ATOX1, уменьшает долю апоптоза, а двойной нокдаун значительно ее увеличивает на разных временных точках.

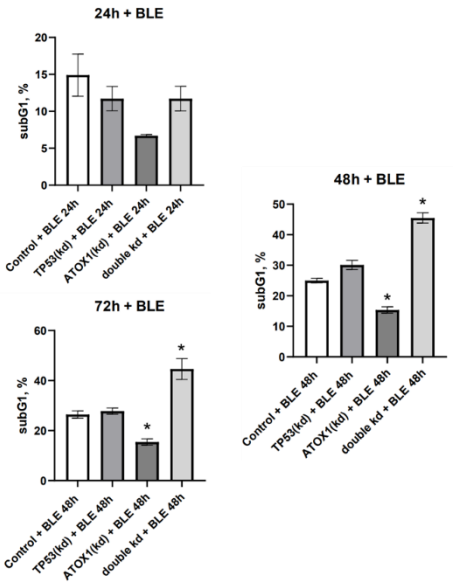


Рис. 5. Изменения фазы subG1, вызванные TP53, ATOX1 или двойным нокдауном после добавления блеомицина, клеточная линия A549; иодид пропидия, канал TRITC: BLE – блеомицин, TP53(kd) – нокдаун TP53, ATOX1(kd) – нокдаун ATOX1, double kd – нокдаун как TP53, так и ATOX1. *p<0,05

В совокупности эти результаты означают, что нокдаун ATOX1 защищает клетки от гибели при повреждении ДНК, а двойной нокдаун, наоборот, способствуют клеточной смерти. Поскольку считается, что Atox1 регулирует экспрессию CCND1 [5], мы предполагаем, что ингибирование Atox1 до генотоксического повреждения не позволяет клеткам обойти контрольную точку G1/S. Без Atox1-опосредованной экспрессии CCND1 клетки не проходят дальше по клеточному циклу и не подвергаются митотической катастрофе [6], что отражается в уменьшении фазы subG1 в группе нокдауна ATOX1. Эта теория также объясняет роль p53 как отрицательного регулятора Atox1 (рис. 6).

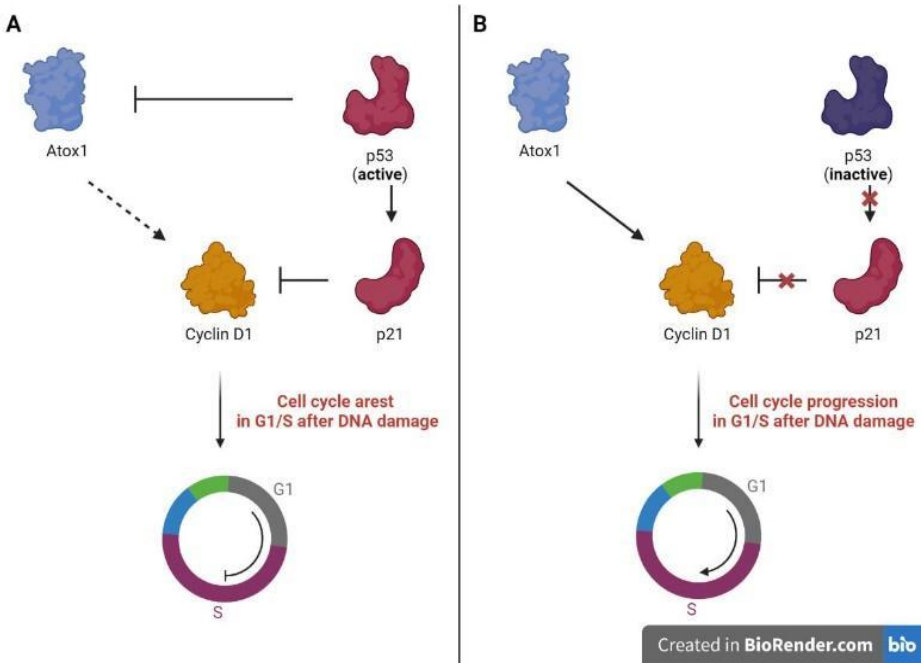


Рис. 6. Гипотетическая концепция Atox1-опосредованного нарушения клеточного цикла в клетках с диким типом (A) и неактивным (B) p53

Роль циклина D1 также косвенно подтверждается нашими недавними данными, показывающими, что экспрессия CCND1 индуцируется при генотоксическом стрессе сходным образом с ATOX1 (рис. 7).

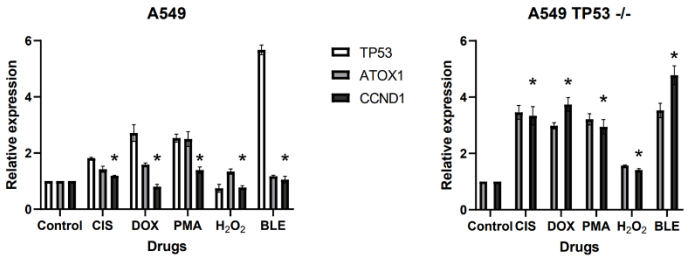


Рис. 7. Atox1 индуцирует экспрессию Cyclin D1 p53-зависимым образом: DOX – доксорубицин, CIS – цисплатин, PMA – форбол-12-миристат-13-ацетат, H2O2 – перекись водорода. 6 часов после добавления препаратов

В дальнейшем планируется изучение роли Atox1 в регуляции p53 и циклина D1 при генотоксическом стрессе.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Niazi S. et al Role of p53 circuitry in tumorigenesis: a brief review // Eur. J. Med. Chem. 2018. №. 158. Pp. 7-24.
2. Shanbhag V.C. et al. Copper metabolism as a unique vulnerability in cancer // Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Molecular Cell Research. 2021. Т. 1868. №. 2. P. 118893.
3. Beaino W. et al. Roles of Atox1 and p53 in the trafficking of copper-64 to tumor cell nuclei: implications for cancer therapy // JBIC Journal of Biological Inorganic Chemistry. 2014. Т. 19. №. 3. Pp. 427-438.
4. Cai H.; Peng F. Knockdown of copper chaperone antioxidant-1 by RNA interference inhibits copper-stimulated proliferation of non-small cell lung carcinoma cells // Oncol. Rep. 2013. №. 30(1). Pp. 269-275.
5. Itoh S. et al. Novel role of antioxidant-1 (Atox1) as a copper-dependent transcription factor involved in cell proliferation // Journal of Biological Chemistry. 2008. Т. 283. №. 14. Pp. 9157-9167.
6. Vakifahmetoglu H. et al. Death through a tragedy: mitotic catastrophe // Cell Death & Differentiation. 2008. Т. 15. №. 7. Pp. 1153-1162.

Выпускник
Табунщик Сергей Михайлович
факультет программной инженерии и компьютерной техники
Направление подготовки: 09.04.01 – Компьютерные системы и технологии
e-mail: serhg.t@gmail.com

Научный руководитель
Быковский Сергей Вячеславович
к.т.н., доцент
e-mail: sergei_bykovskii@itmo.ru

УДК 004.31

РАЗРАБОТКА АРХИТЕКТУРЫ НЕЙРОСЕТЕВОГО ПРОЦЕССОРА ДЛЯ АППАРАТНОГО УСКОРЕНИЯ РАБОТЫ СВЕРТОЧНЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Работа выполнена в рамках темы НИР № 620164 «Методы искусственного интеллекта для киберфизических систем».

В настоящий момент глубокие сверточные нейронные сети набирают популярность и внедряются в разнообразные программные продукты, например, в системы смешанной реальности, системы автопилотирования портативных роботов и системы обработки видеоизображений в мобильных устройствах. Основной областью применения результатов работы является область разработки систем смешанной реальности. Использование нейронных сетей большого размера приводит росту времени задержки между подачей входных данных и получением результата из-за необходимости выполнять большое количество вычислений. При этом отличительной особенностью систем смешанной реальности является требование автономно проводить вычисления в реальном времени на устройствах с ограниченным запасом электроэнергии. Для сокращения задержки на стадии обработки данных сверточными нейронными сетями и соответствия требованию к энергопотреблению необходимо использовать высокопроизводительные и энергоэффективные вычислительные устройства. Основными устройствами в этой сфере являются нейросетевые процессоры, которые позволяют аппаратно ускорять работу сверточных нейронных сетей. Существующие готовые решения являются закрытыми продуктами или имеют большие габариты и большое энергопотребление, что не позволяет использовать их для внедрения в портативные устройства смешанной реальности. При этом отсутствует открытая архитектура, которая позволила бы настраивать нейросетевой процессор под решение определенных задач. В соответствии с этим возникла необходимость в разработке открытой и гибкой архитектуры. Предлагаемая архитектура является параметризированной и масштабируемой, что позволяет гибко настраивать архитектуру проектируемого нейросетевого процессора и оптимизировать под решение различных задач. В архитектуру внедрена возможность конфигурировать нейросетевой процессор для ускорения сверточных нейронных сетей различной структуры и размера. Предлагаемая микроархитектура вычислительной подсистемы позволяет сократить количество ресурсов, необходимых для хранения промежуточных данных.

За основу разрабатываемой архитектуры было решено взять одну из существующих архитектур нейросетевых процессоров. Для этого был проведен сравнительный анализ. По результатам сравнительного анализа существующих продуктов было выявлено, что решения с графической архитектурой имеют высокое энергопотребление и достаточно большие габариты для внедрения в портативные устройства [1]. Нейроморфные процессоры ориентированы на задачи, в которых не требуется высокой производительности, но очень важно низкое энергопотребление. И только процессоры с тензорной архитектурой являются

сбалансированным решением по производительности, энергоэффективности и габаритам [2]. Поэтому за основу разрабатываемой высокопроизводительной и энергоэффективной архитектуры было решено взять именно тензорную архитектуру.

В таблице 1 представлены усредненные характеристики существующих устройств с разными архитектурами. TOPS – триллион целочисленных операций в секунду. TSOPS – триллион синаптических операций в секунду.

Таблица 1. **Сравнение характеристик нейросетевых процессоров с различными архитектурами**

Тип процессора	Производительность	Энергопотребление	Транзисторы
Графические (NVIDIA A100/V100/P100)	600 TOPS	300 W	30 млрд
Тензорные (Google TPU, Qualcomm Cloud AI 100, Huawei Ascend 310/910)	300 TOPS	150 W	2 млрд
Нейроморфные (IBM TrueNorth, Intel Loihi 2)	0,04 TSOPS ≈ 40 TOPS	0,5 W	4 млрд

Разработанная архитектура нейросетевого процессора разделена на 3 крупных блока: блок памяти (memory), управляющий блок (control) и вычислительный блок (computing unit). Блок памяти делится на 3 части для отдельного хранения активаций, весов и смещений. Это позволяет обращаться к каждому типу данных независимо. Для приема входных активаций нейронной сети и размещения в буфере активаций используется входной порт Input_data. Итоговый результат расчета нейронной сети выдается на выходной порт Output_data.

Блок управления делится на память прошивки (Firmware memory) и управляющую логику (Control logic). Для конфигурации нейросетевого процессора используется файл прошивки, который необходимо загрузить в память прошивки через порт Input_firmware и запустить процесс конфигурации процессора. В процессе конфигурации управляющая логика производит разбор прошивки, конфигурирует параметры управляющей логики, которая отвечает за управление работой процессора в режиме вычисления, и загружает значения весов и смещений в блок памяти. Для управления работой процессора используются входные и выходные шины управляющих сигналов Input_control и Output_control соответственно.

На рисунке 1 изображена структурная схема предлагаемой архитектуры нейросетевого процессора. Белые стрелки – это шины данных, которые используются для передачи данных, участвующих в вычислениях. Черные стрелки – это шины управления, которые используются для передачи управляющих сигналов.

В качестве основного вычислительного блока используется систолический массив, который позволяет вычислять скалярное произведение матриц конвейерным способом [3]. Для корректного перемножения матриц необходимо в правильной последовательности подавать данные в систолический массив. Поэтому был разработан алгоритм, в котором строки двумерной матрицы весов размещаются в нескольких строках систолического массива, если не вмещаются в одну. Визуальное представление размещения значений матрицы весов в систолическом массиве представлено на рисунке 2.

Такое расположение позволяет получать каждое следующее выходное значение итоговой матрицы из блока аккумуляторов каждые два такта. Это приводит к ускорению конвейерной обработки данных и сокращению простоя блоков, следующих за систолическим массивом в вычислительной подсистеме. Также это сокращает количество промежуточных данных, которые необходимо хранить после выхода из систолического массива.

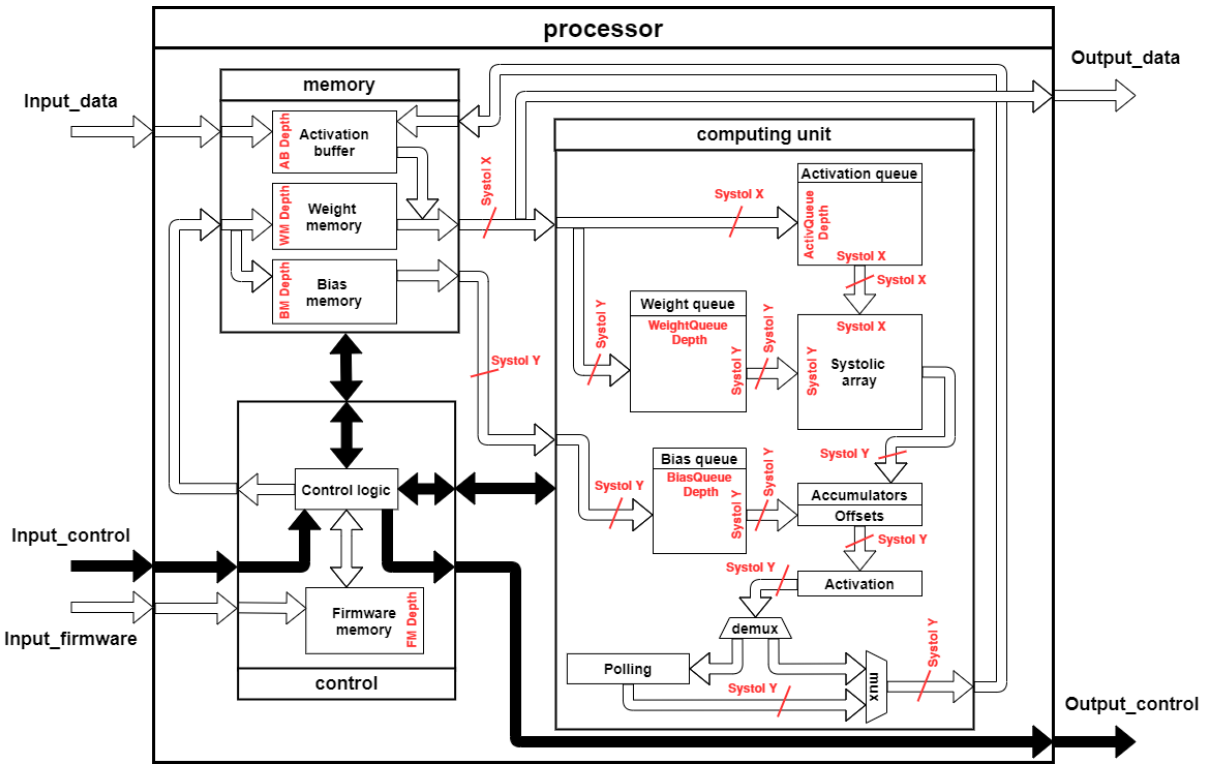


Рис. 1. Схема строения нейросетевого процессора с настраиваемыми параметрами

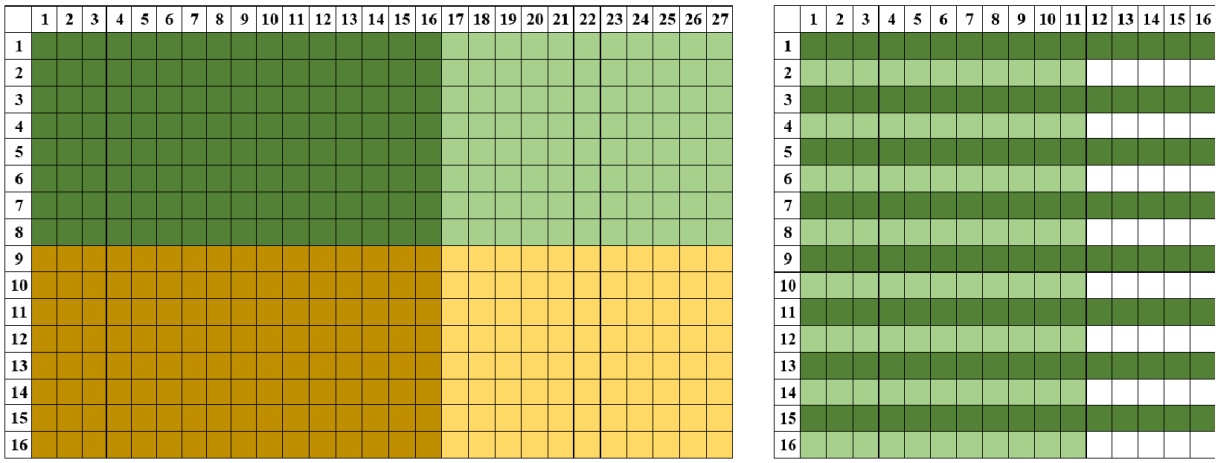


Рис. 2. Схема деления матрицы весов размером 16×27 и заполнения систолического массива весами в первый проход

Для автоматизации проектирования нейросетевых процессоров в разработанную архитектуру была добавлена возможность настраивать параметры нейросетевого процессора на этапе проектирования и оптимизировать структуру и характеристики готового продукта под решение поставленных задач. Для параметризации микроархитектуры нейросетевого процессора можно настраивать размеры систолического массива, глубину очередей для данных и размеры блоков памяти для прошивки и данных.

Визуальное расположение всех настраиваемых параметров на схеме нейросетевого процессора указано красными надписями на рисунке 1.

Для повышения гибкости архитектуры нейросетевого процессора была добавлена возможность масштабировать архитектуру нейросетевого процессора. Масштабирование позволяет не только проектировать процессоры с высокой производительностью, но и распределять вычисления по нескольким вычислительным устройствам, например, по нескольким FPGA.

В качестве первого варианта масштабирования было предложено увеличивать количество только вычислительных блоков. Все вычислительные блоки связываются с общей

памятью по общим шинам для передачи данных. Это является недостатком данного варианта масштабирования, потому что общие каналы связи могут привести к снижению производительности при большом количестве передаваемых данных. Однако использование общей памяти позволит распределить вычисление одного слоя нейронной сети на несколько вычислительных блоков и тем самым повысить производительность за счет параллелизма. Схема первого варианта масштабирования архитектуры представлена на рисунке 3.

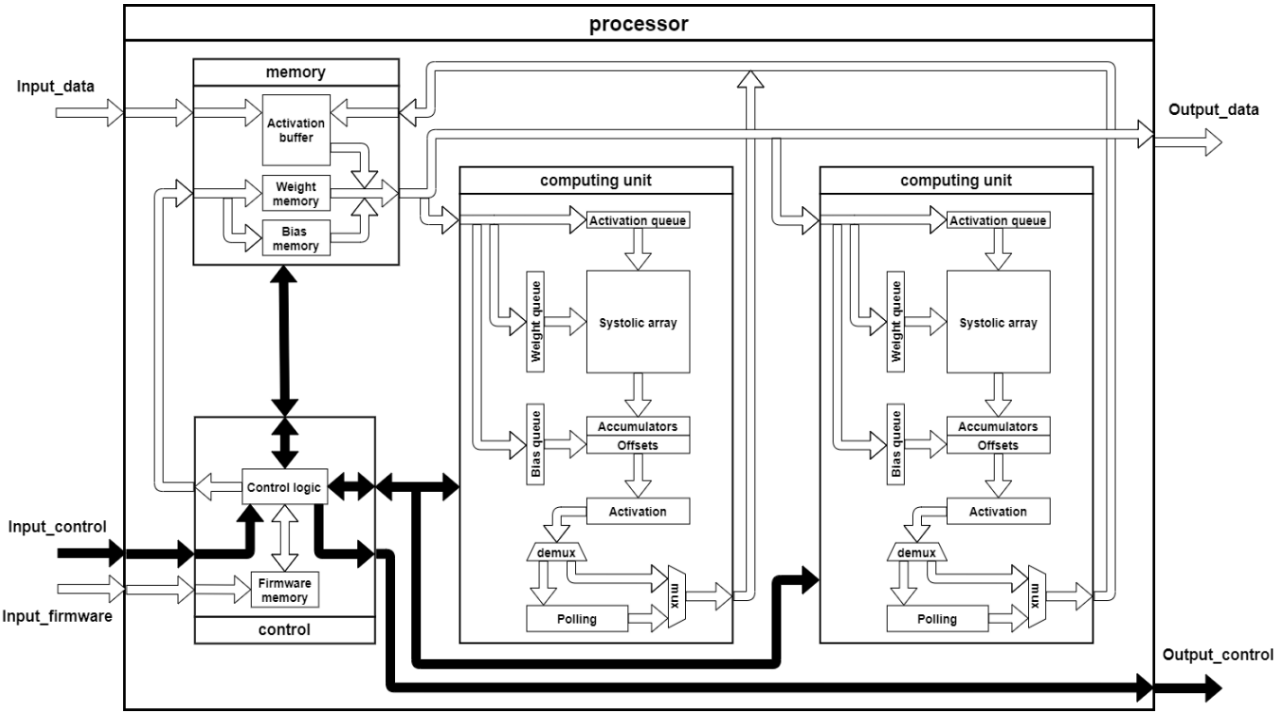


Рис. 3. Схема масштабирования вычислительных блоков

В качестве второго варианта масштабирования было предложено увеличивать количество попарно связанные блоки памяти и вычислительные блоки. Пары блоков соединяются последовательно. Второй вариант масштабирования позволяет избавиться от «борьбы» за общий канал передачи данных между памятью и вычислительными блоками. Но недостатком такого способа является необходимость жестко закреплять вычисление отдельных слоев нейронной сети за определенной парой из блока памяти и вычислительного блока. Подобный способ распределения вычислений приводит к тому, что последующий вычислительный блок может приступить к вычислению только в тот момент, когда предыдущий вычислительный блок получит свои результаты и передаст их в память следующей пары блоков. Схематическое представление второго варианта масштабирования архитектуры нейросетевого процессора изображено на рисунке 4.

Для выбора самого оптимального способа передачи трех типов данных из памяти в вычислительный блок было проведено имитационное моделирование процесса передачи данных по общей шине, по раздельным шинам для каждого типа данных и по комбинированным шинам, которые представлены на рисунке 1. Для оценки эффективности была взята задача распознавания рукописных цифр из набора MNIST. Моделировался расчет сверточного слоя с входной матрицей размером 14×14×32, ядром сверки размером 3×3 и выходной матрицей размером 14×14×64. Для разработки имитационных моделей использовалась библиотека SystemC языка C++ [4]. В результате имитационного моделирования было выявлено, что модели с комбинированными шинами требуется меньше времени для выполнения свертки и имеет меньший процент простоя вычислительной системы, чем модель с общей шиной. При этом она занимает меньше ресурсов на конечном продукте, чем вариант с раздельными шинами. Сравнение полученных характеристик трех вариантов наборов шин представлено в таблице 2.

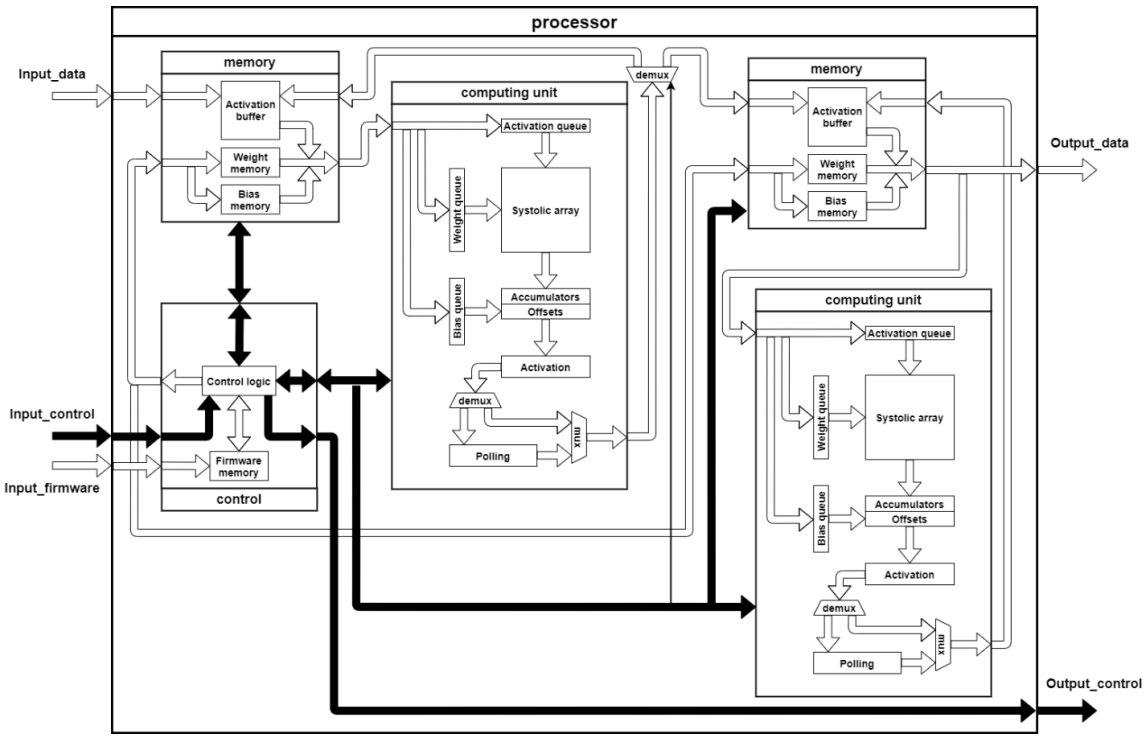


Рис. 4. Схема масштабирования блоков памяти и вычислительных блоков

Таблица 2. **Сравнение вариантов набора шин между памятью и вычислительны блоком**

Вариант набора шин	Время свертки, такт	Простой вычислительного блока (ожидание данных)	Простой коммуникационной подсистемы (переполнение очередей)	Требуемый объем ресурсов
Общая шина	3370	42,4 %	0,0 %	минимальный
Раздельные шины	1941	0,05 %	20,0 %	максимальный
Комбинированные шины	1941	0,05 %	6,8 %	средний

В ходе работы был проведен сравнительный анализ существующих архитектур нейросетевых процессоров трех типов. Выявлено, что тензорная архитектура имеет оптимальное соотношение производительности, энергопотребления и размера для внедрения в портативные системы. Была разработана масштабируемая и параметризированная архитектура и микроархитектура нейросетевого процессора с двумя вариантами масштабирования и девятью параметрами. Это позволяет автоматизировать проектирование аппаратных ускорителей сверточных нейронных сетей. Далее был проведен сравнительный анализ трех видов коммуникационной подсистемы посредством имитационного моделирования. Выявлено, что использование комбинированной шины между памятью и вычислительным блоком повышает производительность в два раза и требует в полтора раза меньше ресурсов.

Результаты данной работы планируется использовать для дальнейшей реализации и повышения производительности прототипа нейросетевого процессора с последующим внедрением в процесс разработки системы смешанной реальности. Разработанную архитектуру с возможностью параметризации и масштабирования планируется применить для разработки системы высокоуровневого синтеза, которая позволит подбирать подходящую архитектуру нейросетевого процессора и ее параметры, опираясь на выбранную структуру нейронной сети. Это позволит упростить процесс разработки нейросетевого процессора для аппаратного ускорения работы определенной нейронной сети, написанной на высокоуровневом языке. Также разработанные варианты архитектуры нейросетевого

процессора можно использовать в учебном процессе для изучения технологии аппаратного ускорения работы нейронных сетей.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Choquette J. et al. Nvidia a100 tensor core gpu: Performance and innovation // IEEE Micro. 2021. Т. 41. №. 2. Pp. 29-35.
2. Jouppi N.P. et al. In-datacenter performance analysis of a tensor processing unit // Proceedings of the 44th annual international symposium on computer architecture. 2017. Pp. 1-12.
3. Пасынков С.В., Ильясов Р.Ф. Оценка использования систолических массивов при реализации алгоритмов умножения матриц на ПЛИС // Проблемы разработки перспективных микро-и наноэлектронных систем (МЭС). 2021. №. 3. С. 76-80.
4. Black D.C., Donovan J. (ed.). SystemC: From the ground up. – Boston, MA : Springer US, 2004. DOI: 10.1007/978-0-387-69958-5.

Выпускник
Татаринов Данила Алексеевич
международный научно-образовательный центр физики наноструктур
Направление подготовки: 12.04.03 – Фотоника и оптоинформатика
e-mail: tatarinov@itmo.ru

Научный руководитель
Литвин Александр Петрович
к.ф.-м.н., инженер
e-mail: litvin@itmo.ru

УДК 535.37

ПОСТСИНТЕТИЧЕСКОЕ ЛЕГИРОВАНИЕ 0D И 2D НАНОСТРУКТУР ПЕРОВСКИТОВ ИОНАМИ Yb^{3+} и Mn^{2+}

Работа выполнена в рамках проекта РНФ № 21–73–10131 «Двухфотонно-возбуждаемая ИК люминесценция допированных хиральных нанокристаллов перовскитов».

Разработка наноструктур из галогенидов свинца со структурой перовскита с различной морфологией стала прорывом в технологиях, требующих эффективных и перестраиваемых источников света. Из-за устойчивости к дефектам нанокристаллы (НК) перовскита демонстрируют большие значения квантового выхода фотолюминесценции (КВ ФЛ). Оптические свойства наноструктур перовскита могут быть дополнительно улучшены за счет эффекта квантового конфайнмента, который возникает, когда движение носителей заряда ограничено в одном или нескольких направлениях. Например, 2D нанопластины (НП) перовскита демонстрируют более узкие полосы излучения с более высокой энергией связи экситона, что может использоваться для создания светодиодов и лазеров. Важным преимуществом данного класса материалов является то, что спектральная перестраиваемость может быть легко достигнута во всем видимом диапазоне спектра путем изменения состава галогенов во время синтеза или с помощью анионного обмена. Также замена катиона B (где ABX_3 - структурная формула перовскита) может рассматриваться как альтернативная стратегия как для точной настройки положения ФЛ матрицы перовскита, так и для получения дополнительных полос излучения, связанных с легирующей примесью. Такой подход может использоваться для легирования ионами Mn^{2+} и Yb^{3+}, привлекающими наибольшее внимание благодаря появлению новых полос ФЛ на ~620 и 980 нм, соответственно. Примечательно, что легирование ионами Yb^{3+} открывает принципиально новую для наноструктур перовскита спектральную область, позволяющую применять их для создания источников ближнего инфракрасного (ИК) излучения и кремниевых интегрированных солнечных концентраторов [1, 2].

В настоящее время существует несколько стратегий для получения Yb^{3+}-легированных НК перовскита. Как правило, они требуют высокой температуры (до 240–260°C) химической реакции, ограничивающей контроль морфологии, что затрудняет получение 1D или 2D наноструктур, легированных ионами Yb^{3+}. Это ограничение может быть преодолено путем применения концепции постсинтетического легирования для предварительно сформированных наноструктур перовскита с заданной геометрией. Данный метод достаточно хорошо разработан, однако его использование для наноструктур перовскитов, легированных лантаноидами, практически не изучено. Также следует отметить, что постсинтетические методы легирования были в основном разработаны для кубических НК, в то время как относительно мало исследований было посвящено легированию наноструктур перовскита с более сложной геометрией [3,4]. В связи с этим актуальной задачей является разработка универсальных, неразрушающих и эффективных методов легирования наноструктур перовскита различного химического состава и морфологии.

В данной работе используется метод катионного легирования, инициированный анионным обменом, для наноструктур перовскита с различной морфологией. Показано, что такой подход может быть эффективно использован как для изовалентного, так и для гетеровалентного легирования НК и НП перовскита. Используя прекурсоры MCl_x (M = Yb, Mn) для обработки предварительно синтезированных наноструктур перовскита при комнатной температуре, были получили ИК-излучающие Yb^{3+}-легированные $CsPbCl_xBr_{3-x}$ НК и НП перовскита, а также Mn^{2+}-легированные и Mn^{2+}-Yb^{3+} со-легированные $CsPbCl_xBr_{3-x}$ НП.

В качестве исходного материала для постсинтетического легирования были использованы НК и НП $CsPbBr_3$, синтезированные по протоколам, описанным в работе [5]. Электронно-микроскопическое изображение синтезированных НК представлено на рисунке 1, a. При добавлении прекурсора $YbCl_3$ к раствору НК наблюдается быстрое и заметное изменение цвета ФЛ, что указывает на процесс анионного обмена. Путем изменения количества $YbCl_3$ положение полосы ФЛ было настроено с 510 нм до 420 нм (рис.1,b) с появлением дополнительной полосы ФЛ с центром на 980 нм, которая обусловлена введенными ионами Yb^{3+}. Постепенный анионный обмен приводит к эффективному легированию ионами Yb^{3+}, сопровождающемуся усилением излучения в ближней ИК области и тушением излучения в видимой области, т. е. происходит замена катиона посредством реакции анионного обмена, что продемонстрировано на рисунке 1, c. Таким образом, КВ ФЛ ближней ИК области спектра достигает 4% для НК с добавлением 15 мкл $YbCl_3$ к 1 мл исходного раствора НК.

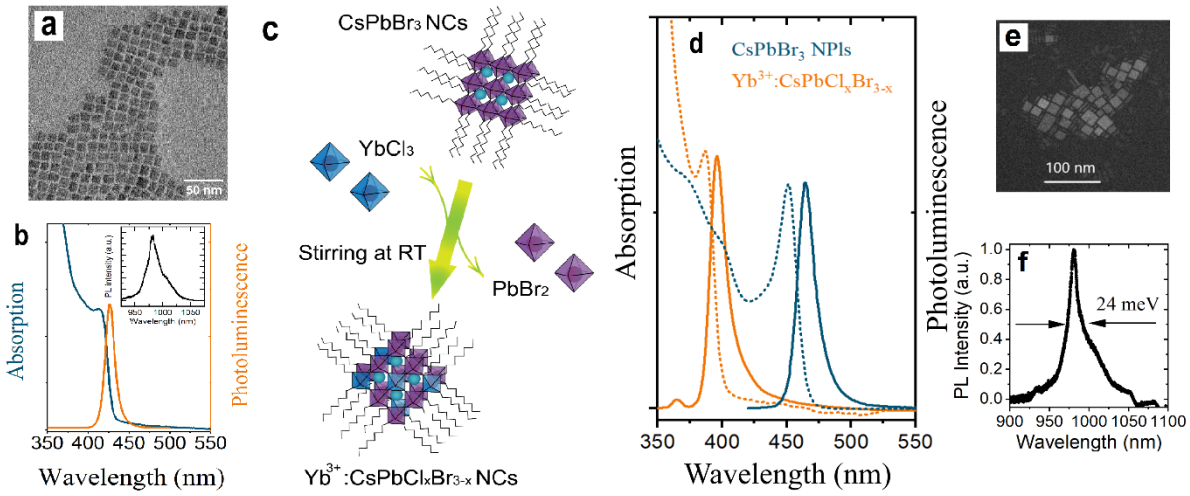


Рис. 1. a) ПЭМ-изображение НК $CsPbBr_3$; b,d) Спектры поглощения и ФЛ НК и НП Yb^{3+}:$CsPbCl_xBr_{3-x}$, соответственно; c) Схематическое изображение легирования НК $CsPbBr_3$ ионами Yb^{3+}; e) СЭМ-изображение НП $CsPbBr_3$; f) Спектр ФЛ Yb^{3+}:$CsPbCl_xBr_{3-x}$ НП в ближнем ИК диапазоне

Предлагаемый способ легирования ионами Yb^{3+} может быть применен для получения легированных полностью неорганических наноструктур перовскитов с различной морфологией, которые крайне трудно синтезировать одностадийной процедурой. Чтобы продемонстрировать это, были получены НП, легированные ионами Yb^{3+}, используя НП $CsPbBr_3$ в качестве исходного материала. На рисунке 1, d показаны спектры поглощения и ФЛ коллоидного раствора НП $CsPbBr_3$. На рисунке 1, e представлено СЭМ-изображение исходного образца НП, которые обладают типичной узкой полосой ФЛ (ширина на полувысоте, FWHM =17,5 нм) с центром на длине волны 465 нм, а в спектре поглощения наблюдается сильный экситонный эффект, вызванный квантовым 2D конфайнментом.

После идентичной процедуры легирования анионами и катионами полосы поглощения и ФЛ смещаются в УФ-диапазон спектра, как показано на рисунке 1, d. В зависимости от количества $YbCl_3$ положение полосы ФЛ варьируется от 385 до 400 нм. Одновременно в

ближней ИК области появляется сверхузкая полоса ФЛ, связанная с легирующей примесью, и ее КВ ФЛ достигает 6% (рис. 1,f). FWHM снижается с 33 мэВ до 24 мэВ в случае использования НП вместо НК $CsPbBr_3$ в качестве исходного материала, что может быть связано с присущей им собственной однородностью.

Разработанный метод был дополнительно расширен для легирования наноструктур перовскита другими катионами. Чтобы продемонстрировать это, были легированы НП $CsPbBr_3$ с использованием прекурсора $MnCl_2$. На рисунке 2,a показаны спектры поглощения и ФЛ для исходных НП $CsPbBr_3$ и НП, обработанных различными количествами прекурсора $MnCl_2$. Легирование ионами Mn^{2+} проявляется в появлении типичного излучения с центром на длине волны ~ 600 нм. Кривая затухания ФЛ ионов Mn^{2+}, показанная на рисунке 2, b, может быть аппроксимирована одноэкспоненциальной функцией со временем затухания 1,05 мс, что типично для запрещенного $^4T_1 \rightarrow {}^6A_1$ d-d перехода. На рисунке 2, c показана фотография коллоидных растворов НП Mn^{2+}:$CsPbCl_xBr_{3-x}$ с различными количествами прекурсора $MnCl_2$ при УФ освещении, что демонстрирует появление излучения, связанного с ионами Mn^{2+}.

Катионный обмен, который продолжается после анионного обмена, может быть использован для увеличения интенсивности ФЛ легирующей примеси. Этот процесс может быть ускорен термическим отжигом коллоидного раствора при умеренной температуре. В ходе работы был разработан оптимизированный процесс легирования ионами Mn^{2+}, состоящий из предварительной отмывки НП, анионно-катионного обмена и термического отжига с последующей дополнительной отмывкой от остатков введенного прекурсора. После оптимизации протокола легирования КВ ФЛ ионов Mn^{2+} и общий КВ ФЛ достигли 15,2 % и 40,8 %, соответственно (рис. 2, d).

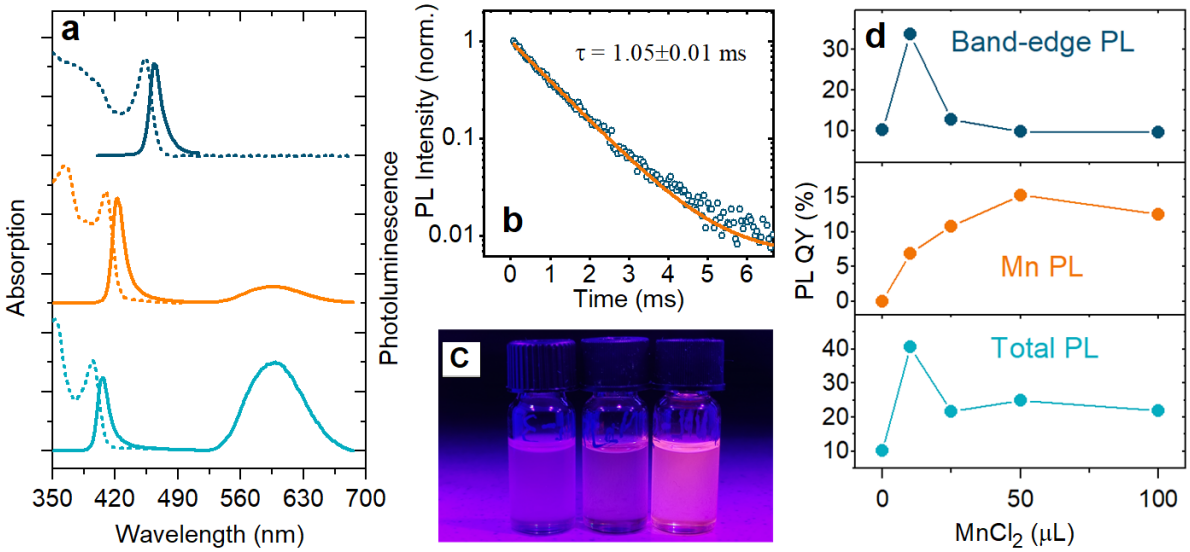


Рис. 2. a) Спектры поглощения и ФЛ для исходных НП $CsPbBr_3$ и легированных Mn^{2+}: $CsPbCl_xBr_{3-x}$; b) Кривая затухания ФЛ ионов Mn^{2+}, регистрация на 600 нм; c) Фотография коллоидных растворов НП $CsPbCl_xBr_{3-x}$ с различными количествами прекурсора $MnCl_2$ при УФ освещении; d) зависимости КВ ФЛ для границ полосы пропускания, связанных с Mn^{2+} и общих выбросов от количества прекурсора $MnCl_2$

Разработанный метод был дополнительно расширен для получения НП перовскита, излучающих в трех различных спектральных диапазонах. Такие НП могут быть получены с использованием одновременного совместного легирования прекурсорами $YbCl_3$ и $MnCl_2$, которые участвуют в анионном обмене (рис. 3, a). На рисунке 3, b показаны спектры ФЛ НК, легированных ионами Yb^{3+} и Mn^{2+}. В этом случае совместное легирование представляет собой два конкурирующих процесса, и излучение НП в ближнем ИК диапазоне уменьшается с увеличением количества прекурсора $MnCl_2$ при фиксированном количестве прекурсора $YbCl_3$ (вставка к рисунку 3, b). Таким образом, спектры ФЛ могут быть настроены путем изменения соотношения используемых прекурсоров. Схема процесса релаксации для НП перовскитов,

излучающих в трех спектральных диапазонах, показана на рис. 3 (c). Таким образом, предлагаемый метод является перспективным для целенаправленного создания наноструктур перовскитов с множеством активных центров ФЛ, таких как ионы марганца и лантаноиды.

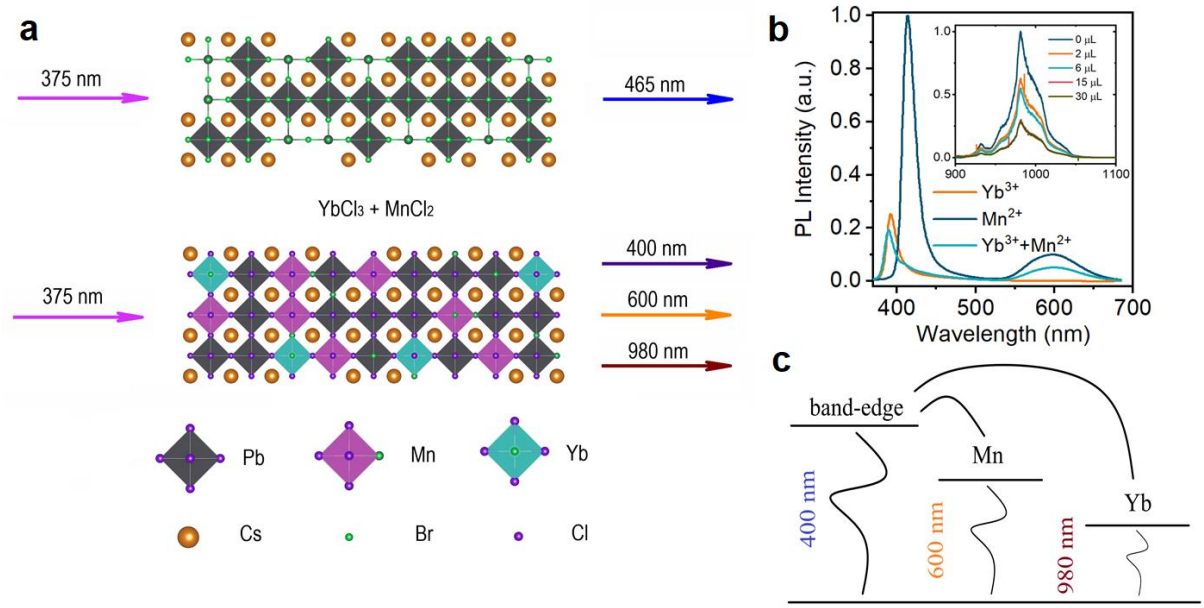


Рис. 3. a) Схема совместного легирования НП перовскита с использованием прекурсоров $YbCl_3$ и $MnCl_2$; b) Спектры ФЛ НП, легированных ионами Yb^{3+}, Mn^{2+} и Yb^{3+}-Mn^{2+} совместно; На вставке показаны спектры ФЛ в ближнем ИК диапазоне для совместно легированных НП с различным количеством прекурсора $MnCl_2$; c) Схема процесса релаксации для НП перовскита с тремя полосами ФЛ

В данном исследовании был разработан метод катионного легирования наноструктур перовскита посредством анионного обмена. Было продемонстрировано, что анионно-катионное легирование является универсальным инструментом для получения наноструктур перовскита из галогенидов свинца различного химического состава и морфологии с несколькими полосами излучения. Легирование происходит путем одновременного введения легирующих катионов и анионов-галогенов на поверхность и может сопровождаться дальнейшей миграцией катионов в объем наноструктуры. Используя предложенный метод, были успешно разработаны различные наноструктуры перовскитов с двойной и тройной полосами излучения. Разработанный подход к легированию позволяет синтезировать при комнатной температуре перовскиты, излучающие в ближнем ИК диапазоне спектра. Благодаря своей универсальности предлагаемый метод может быть расширен для целенаправленного создания новых наноматериалов на основе перовскита для фотоники и оптоэлектроники.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Kovalenko M.V., Protesescu L., Bodnarchuk M.I. Properties and potential optoelectronic applications of lead halide perovskite nanocrystals // Science. 2017. Vol. 358. №. 6364. Pp. 745-750.
2. Dey A. et al. State of the Art and Prospects for Halide Perovskite Nanocrystals // ACS Nano. 2021. Vol. 15. №. 7. Pp. 10775-10981.
3. Milstein T.J., Kroupa D.M., Gamelin D.R. Picosecond Quantum Cutting Generates Photoluminescence Quantum Yields over 100% in Ytterbium-Doped CsPbCl3 Nanocrystals // Nano Lett. 2018. Vol. 18. №. 6. Pp. 3792-3799.
4. Sokolova A. V et al. Stoichiometry Control in Dual-Band Emitting Yb 3+ -Doped CsPbCl. 2022. DOI: 10.1021/acs.jpcc.2c07948.
5. Tatarinov D.A. et al. Anion-assisted Yb 3+ and Mn 2+ doping of 0D and 2D lead halide perovskite nanostructures // J. Mater. Chem. C. 2023. №. 11. Pp. 5657-5666.

Выпускник
Юплова Валентина Вадимовна
факультет экотехнологий
Направление подготовки: 18.04.02 – Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии
e-mail: valentina.yuplova@gmail.com

Научный руководитель
Румянцева Ольга Николаевна
доцент, к.т.н.
e-mail: rumiantseva@itmo.ru

УДК 338.436.32

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ И НУТРИЦИОННЫХ АСПЕКТОВ ТЕХНОЛОГИЙ ПРОИЗВОДСТВА КАРТОФЕЛЯ ФРИ ИЗ СВЕЖЕГО И ЗАМОРОЖЕННОГО СЫРЬЯ

В современном мире люди стремятся выбирать здоровую пищу, соблюдать режим и сохранять баланс между удобством и пищевой ценностью продуктов. Однако, несмотря на данное стремление, в сознании общественности все еще существует большое количество мифов о питании. В частности, люди привыкли считать, что замороженные продукты потеряли свою пищевую ценность и обладают большим экологическим следом в связи со сложной обработкой, предшествующей этапу хранения.

Однако, ведя речь о замороженных овощах, не стоит забывать о важной детали – не все овощи возможно выращивать круглогодично, или же, зачастую, это попросту невыгодно. В частности, речь идет о картофеле. Специфический годовой цикл агропромышленного предприятия по выращиванию и обработке картофеля способствует постановке задач об оптимизации системы производства для получения продукта высокого качества и пищевой ценности, а также максимальной выгоды, как в денежном, так и в экологическом отношении.

Актуальность темы исследования обусловлена возрастающей ролью эколого-экономических показателей при производстве продуктов питания. В данной работе эта тематика рассматривается в контексте сравнительного анализа двух вариантов цепочек производства картофеля фри с двумя типами хранения картофеля.

Цель дипломной работы состоит в проведении сравнительного анализа экологических, экономических и нутрициональных аспектов технологий производства картофеля фри из свежего и замороженного сырья.

На данный момент опубликованные исследования по теме углеродного следа замороженного полуфабриката «картофель фри» практически отсутствуют, при этом наиболее значимые исследования оценивают углеродный след цепочки производства картофеля фри в сравнении с углеродным следом цепочки выращивания и обработки свежего картофеля. Можно отметить, что полностью отсутствуют работы, проводящие анализ экологических показателей различных технологий производства замороженного картофеля фри.

В российской практике также не существует публикаций, в которых были бы проведены расчеты углеродного следа технологий производства картофеля фри [1].

В данной работе проведен расчёт углеродного следа с целью сравнительного анализа технологий производства замороженного полуфабриката при разных способах хранения. В работе использовался комплексный подход, основанный как на экологических критериях, таких как углеродный след, так и на критериях качества, таких как пищевая ценность замороженного полуфабриката.

Всего в данной работе исследуется четыре показателя:

- поток сырья и отходов;
- углеродный след;

– нутриционный состав;
– экономическая выгода.

Первым параметром, расчет которого будет производится, является поток сырья – он отражает массу картофеля, поступающего на тот или иной этап, а также массу отходов, образующихся в процессе производства. В связи с необходимостью выбора контрольных точек было принято решение расчета поступающего на процесс сырья для семи месяцев обоих типов хранения.

На основании расчета потока сырья проводится расчет показателя «углеродный след». В данной работе углеродный след рассчитывается для каждого процесса в рамках этапов. В конце расчета каждого показателя проводится сравнительный анализ двух вариантов цепочки производства.

Для сравнительного анализа углеродного следа технологий производства картофеля фри из свежего и замороженного сырья была разработана схема двух альтернативных вариантов производства (таблица).

Таблица. **Варианты производства картофеля фри**

№	Вариант 1	Вариант 2
1	Сбор урожая	Сбор урожая
2	Транспортировка свежего картофеля к месту производства полуфабриката	Транспортировка свежего картофеля в картофелехранилище
3	Изготовление замороженного полуфабриката	Хранение картофеля в картофелехранилище на протяжении семи месяцев
4	Хранение замороженного полуфабриката на низкотемпературном складе или же в низкотемпературной холодильной камере (в зависимости от объема произведенной продукции) в течение семи месяцев	Транспортировка свежего картофеля к месту производства полуфабриката
5	Реализация продукта в предприятиях общественного питания или в продуктовых магазинах	Изготовление замороженного полуфабриката
6	–	Реализация продукта в предприятиях общественного питания или в продуктовых магазинах

Отличительным аспектом первого варианта производственной схемы является наличие в цепочке хранения замороженного полуфабриката в низкотемпературной среде.

Второй вариант отличается от первого изменением цепочки хранения и использования картофелехранилища для этих целей [2].

Особенно стоит отметить последние два этапа цепочки производства «краткосрочное низкотемпературное хранение» и «транспортировка и реализация». Расчет этих этапов не производится, поскольку на них поступает одна тонна упакованного картофеля фри и на протяжении них масса продукта не меняется.

Далее в ходе исследования будет проведен расчет экономической выгоды, получаемой при выборе одного из вариантов цепочки производства. Финальным этапом данного исследования будет являться расчет нутриционных показателей картофеля, полученного в двух вариантах цепочки производства. Данный показатель необходим для того, чтобы оценить не только экологические показатели, но и показатель, напрямую влияющий на здоровье и благополучие людей в ближайшей перспективе.

Для проведения расчета на основании практических данных была предпринята попытка установить контакт с производителями картофеля фри. Однако эта попытка не увенчалась успехом, поскольку ни одна из компаний не ответила на предложение о сотрудничестве. На основании этой части исследования можно сделать вывод, что компании, которые в данный момент являются лидерами на рынке замороженной овощной продукции, не проинформированы

о требованиях правительства по ведению отчетности по углеродному следу предприятия, или попросту не заинтересованы в проведении исследований по данной теме.

Стоит отметить особенности данного исследования:

- расчет проводился на основе теоретических данных, поскольку не удалось наладить контакт с предприятиями и получить практические данные;
- вклад хладагентов не учитывался в расчете углеродного следа, однако в пределах данной работы предполагалось применение холодильной системы с минимальным потенциалом глобального потепления.

В результате проведения сравнительного анализа потока сырья и отходов было установлено, что при производстве замороженного картофеля фри, в варианте с применением низкотемпературного хранения масса необходимого для производства свежего картофеля ниже, чем в альтернативном варианте, использующим хранение свежего картофеля вне зависимости от срока хранения.

Сравнительный анализ углеродного следа показал, что при краткосрочном хранении (менее трех месяцев) предпочтительнее использовать низкотемпературное хранение (первый вариант схемы производства), тогда как при длительном хранении, предпочтительнее использовать хранение свежего картофеля (второй вариант схемы производства).

Оценка пищевой ценности показала, что вне зависимости от срока хранения содержание веществ (крахмал, моносахара и аскорбиновая кислота) в картофеле остается выше при использовании варианта цепочки производства, включающего в себя этап низкотемпературного хранения.

При проведении экономического анализа затрат на сырье результат показал выгоду варианта производственной схемы с использованием низкотемпературного хранения.

Таким образом, можно отметить разницу в результатах сравнительного анализа показателей. Если рассматривать результаты этого исследования исключительно с точки зрения влияния на окружающей среду, то по результатам, полученным в ходе проведения данного исследования, можно сделать предварительный вывод о том, что вариант номер 2 (хранение свежего картофеля) более безопасен. Однако в связи с тем, что данные, использованные в расчетах, получены из литературных источников, и отсутствовала возможность получить данные напрямую от производителей, реальные цифры могут отличаться.

Однако если вспомнить, что оценка проводится в том числе по показателям эко-эффективности, можно заметить, что в связи с понижением содержания исследуемых веществ в картофеле фри, снижается польза, полученная от потребления картофеля, а также снижается экономический потенциал продукта. Он становится менее востребованным в элитном сегменте продуктов питания и приносит меньшую прибыль. Таким образом, снижается и общий показатель эко-эффективности продукта.

Для цепочки производства, использующей низкотемпературное хранение, необходимо уделить особое внимание к качеству и безопасности холодильного оборудования для предотвращения утечек хладогентов, а также повысить энергоэффективность для снижения углеродного следа. Следовательно, данный вариант цепочки производства является более эко-эффективным и рекомендуется для использования производителями замороженного полуфабриката «Картофель фри».

В работе показано, что для отрасли производства замороженной овощной продукции определение углеродного следа является актуальным, в том числе в связи с реализацией Федерального закона N 296-ФЗ «Об ограничении выбросов парниковых газов» от 02.07.2021.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Юплова В.В., Румянцева О.Н. Сравнительный анализ углеродного следа технологий производства картофеля фри из свежего и замороженного сырья // Альманах научных работ молодых ученых Университета ИТМО. 2023. С. 613-617.
2. Юплова В.В., Румянцева О.Н. Сравнительный анализ углеродного следа технологий производства картофеля фри из свежего и замороженного сырья. // Сборник трудов XII Конгресса молодых ученых. 2023. С. 526-528.

Выпускник
Юрова Татьяна Сергеевна
научно-образовательный центр математики
Направление подготовки: 01.04.02 – Прикладная математика и информатика
e-mail: tatiana.yurova@metalab.ifmo.ru

Научный руководитель
Попов Игорь Юрьевич
д.ф.-м.н., профессор
e-mail: popov1955@gmail.com

УДК 532.5.013

ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ПРОЦЕССА ВЫТЯЖКИ СТЕКЛЯННОГО ЦИЛИНДРА

В различных областях науки и техники возникают задачи по изучению течения вязких жидкостей в тонких структурах. Под «тонкими структурами» понимаются геометрические конфигурации системы, в которых масштаб в одном направлении значительно меньше, чем в другом, за счёт чего можно понизить размерность системы, сохраняя при этом динамику изначальной системы. Одним из примеров таких задач является моделирование процесса вытяжки определенных продуктов из стекла и полимеров. Для моделирования процесса вытяжки необходимо исследовать уравнения Навье-Стокса для течения вязкой жидкости в тонкой структуре. Процесс вытяжки предполагается непрерывным, поэтому при производстве важно следить за его стабильностью, так как это напрямую влияет на качество изделия: если процесс будет нестабильным, то могут возникнуть различные дефекты в структуре, которые впоследствии влияют не только на внешний вид, но и на прочность изделия.

Явление, которое описывает потерю стабильности процесса – резонанс при вытяжке – это неустойчивость, которая возникает в процессе вытяжки и характеризуется колебательными изменениями в размерах формы цилиндра. Основной параметр этого процесса – коэффициент перетяжки, равный отношению скорости вытяжки на выходе к скорости на входе. Считается, что процесс вытяжки становится нестабильным, когда коэффициент пересекает критическое значение. Это явление можно увидеть при помощи линейного анализа устойчивости. Для каждого процесса критический коэффициент перетяжки свой и на него влияет множество внешних факторов, таких как внешнее давление, влажность, температура и т. д. Поэтому в условиях производства важно знать, какой критический коэффициент перетяжки у данного процесса, какие параметры среды на него влияют, а главное, что происходит после его превышения и насколько критично это превышение для качества изделия, что может показать нелинейный анализ устойчивости.

Резонанс при вытяжке – известное явление в среде моделирования формовки стекла и полимеров, ему посвящено достаточно исследований с различными конфигурациями систем и зависимостей от множества параметров, однако в подавляющем большинстве случаев, все исследования проводятся численно. Например, в статье [1] показано влияние гравитации и инерции на устойчивость тонкого листа, и численно проведены линейный и нелинейный анализы устойчивости. В статье [2] был разработан численный метод для вычисления предельного цикла, возникающего при нелинейном анализе процесса вытяжки оптоволокна. Научная новизна данной работы заключается в том, что в ней аналитически проведён нелинейный анализ устойчивости вытяжки стеклянного цилиндра и аналитически доказано, что при переходе через критический коэффициент перетяжки возникают устойчивые колебания.

Рассмотрим уравнения вытяжки, которые были получены с помощью приближения тонкого слоя из уравнений Навье-Стокса для вязкой жидкости:

$$\{\partial_t A + (uA)_x = 0\ (3\mu u_x A)_x = 0\ u(0) = u_0,\ u(L) = u_L\ A(0) = A_0\ ,$$

где u – скорость вытяжки вдоль x, A – площадь сечения стеклянного цилиндра.

Её стационарное решение ($DR = \frac{u_L}{u_0}$ – коэффициент перетяжки):

$$A_{st}(x) = A_0 DR^{-\frac{x}{L}}, u_{st}(x) = u_0 DR^{\frac{x}{L}}. \quad (1)$$

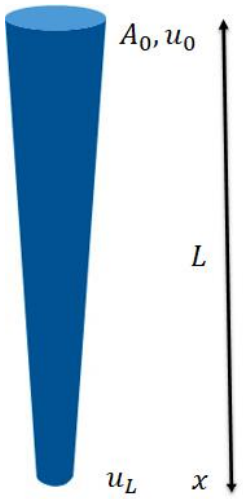


Рис. 1. Модель вытяжки цилиндра с начальными условиями

Для понимания того, как ведёт себя процесс вытяжки при различных коэффициентах перетяжки, необходимо исследовать стационарное решение (1) на устойчивость. Представим новые переменные в виде суммы полученного решения и малого периодического возмущения $\hat{u}, \hat{A}$:

$$u(x,t) = u_{st}(x) + \hat{u}(x)e^{i\omega t},$$
$$A(x,t) = A_{st}(x) + \hat{A}(x)e^{i\omega t},$$

где $\hat{u}(x)$ – амплитуда возмущения, ω – частота. От знака мнимой части ω будет зависеть устойчивость процесса: если знак положительный, то возмущение $e^{i\omega t}$ будет убывать со временем; если же знак отрицательный, то под экспонентой будет стоять вещественное положительное число и со временем амплитуда колебаний будет увеличиваться, что приведёт к потере устойчивости.

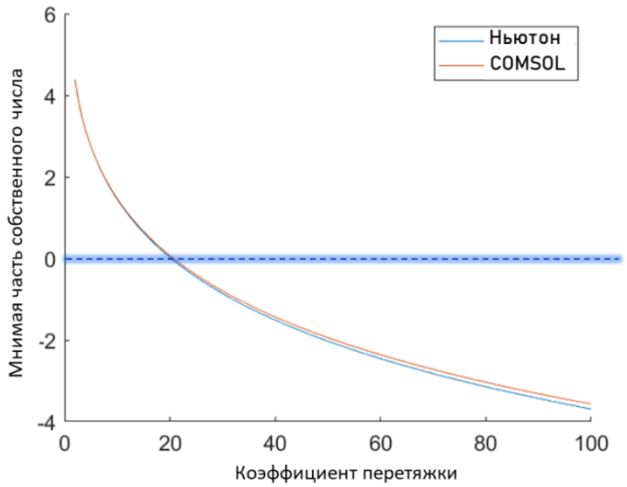


Рис. 2. Анализ линейной устойчивости: критический коэффициент перетяжки 20.2

На рисунке 2 представлено сравнение двух решений: «Ньютон» – решение трансцендентного уравнения методом Ньютона, «COMSOL» – моделирование методом конечных элементов в пакете «COMSOL Multiphysics». Мнимая часть пересекает ноль

(голубую линию) при критическом коэффициенте перетяжки DR_c=20.2. Это значит, что для данной постановки задачи: изовязкое течение без внешних сил, процесс вытяжки теряет устойчивость при коэффициентах перетяжки больше 20.2.

Также устойчивость исследовалась для изовязкого течения с гравитацией и с локальным нагревом.

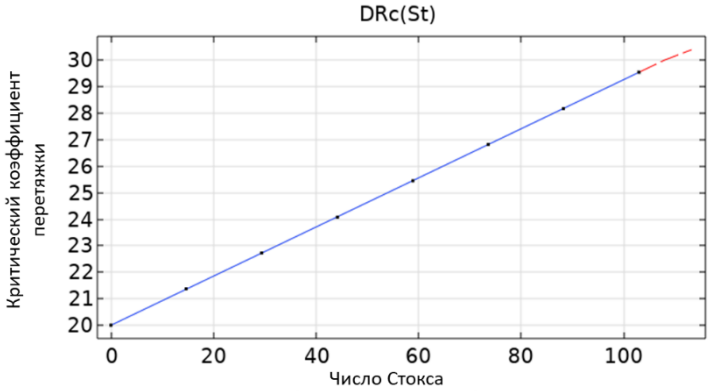


Рис. 3. Зависимость критического коэффициента перетяжки от числа Стокса

На рисунке 3 видно, что критический коэффициент перетяжки увеличивается вместе с увеличением числа Стокса, а это значит, что система становится более устойчивой при уменьшении вязких сил при наличии гравитации. Отсюда можно сделать вывод, что сила тяжести стабилизирует поток стекла и менее вязкое течение более устойчиво.

Добавим локальный нагрев в процесс. Мы изучали зависимость критического коэффициента перетяжки изменяя параметры внешней температуры, а именно, максимальную температуру T_{max} и ширину зоны локального нагрева a_{hot}. Рисунок 4 показывает зависимость логарифма отношения критического коэффициента перетяжки DR_c при заданных параметрах (T_{max} и a_{hot}) к коэффициенту перетяжки в постановке задачи без дополнительных эффектов $DR_{c_0} = 20.2$ от этих параметров. Процесс становится более стабильным с независимым друг от друга увеличением параметров локального нагрева. Стоит отметить, что добавление нагрева в систему делает ее стабильной примерно в 100 раз: $DR_c \approx 10^2 DR_{c_0}$ в начале красной области.

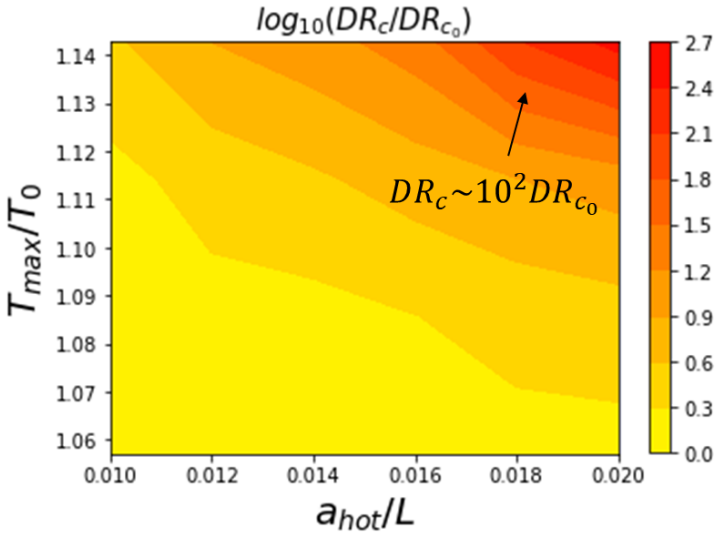


Рис. 4. Зависимость критического коэффициента перетяжки от параметров локального нагрева

Итак, с помощью линейного анализа устойчивости мы исследовали параметры процесса, при которых он выходит из строя. Однако, линейный анализ ничего не может сказать про то, как будет вести себя система при переходе через критический коэффициент перетяжки.

В процессе могут возникнуть нелинейные эффекты, которые приведут к ограничениям роста или затуханию возмущения, которое было получено в линейном анализе. Для того, чтобы исследовать, что происходит с процессом после перехода критической точки, и учесть нелинейные эффекты, необходимо провести нелинейный анализ системы. Мы будем проводить нелинейный анализ, опираясь на [3], используя метод вариации произвольных постоянных в совокупности с разложением по собственным функциям и элементами теории центрального многообразия [4].

Нашу задачу можно представить в векторном виде:

$$(1\ 0\ 0\ 0\ )(A_t,\ u_t) + \hat{L}[A,\ u] = \hat{F}[A,\ u], \tag{2}$$

где $\hat{L}$ – линейный оператор, $\hat{F}$ – нелинейный. Оператор $\hat{L}$ действует на вектор-функцию $(A,\ u)$ на области $0 \le x \le 1$ с граничными условиями: $A(0) = u(0) = 0,\ u(1) = 0$. Представим решение нелинейной задачи в виде:

$$f_{nonlin}(x,t) = \sum_{n=0}^{\infty} \quad w_n(t)\phi_n(x), \tag{3}$$

где $\phi_n(x) = (A_n,\ u_n) -$ собственные функции линейной задачи, $w_n(t) -$ амплитудные функции. Чтобы получить уравнения на амплитудные функции, подставим вид решения нелинейной задачи (3) в нелинейное уравнение (2):

$$\left(\frac{\sum \quad \left(w_{n_t}(t)A_n(x) - \lambda_n w_n(t)A_n(x)\right) - \widehat{F_1}[f_{nonlin}(x,t)],}{\widehat{F_2}[f_{nonlin}(x,t)]}\right) = 0. \tag{4}$$

Далее, помножим (4) на собственные функции сопряжённого оператора и проинтегрируем по области определения. Тогда получим счётную систему уравнений на $w_m(t)$:

$$w_{m_t}(t) - \lambda_m w_m(t) = \int_0^1 \quad (\widehat{F_1}[f_{nonlin}(x,\ t)]\tilde{A}_m^* + \widehat{F_2}[f_{nonlin}(x,\ t)]\tilde{u}_m^*)dx, \tag{5}$$

для $m \in N$. Явный вид нелинейных операторов известен. С помощью элементарных преобразований уравнение (5) можно привести к следующему виду:

$$w_{m_t}(t) - \lambda_m w_m(t) + \sum_{n=1}^{\infty} \quad w_n^2(t)I_{nn}^m(DR) + \sum_{n=1}^{\infty} \quad \sum_{k \ne n} \quad w_n(t)w_k(t)I_{nk}^m(DR) = 0,$$

где $I_{nk}^m -$ интеграл от собственных функций операторов $\hat{L}$ и $\hat{L}^*$ с соответствующими номерами.

С помощью теории центрального многообразия [4] сводим счётную систему уравнений к системе трех уравнений, исходя из того, что первые два собственных числа (рис. 1) имеют нулевую вещественную часть в критическом коэффициенте перетяжки, а все остальные – отрицательные собственные части:

$$\dot{w}_1 = \lambda_1(\epsilon)w_1 + \sum_{i=1}^{2} \quad \sum_{j=1}^{2} \quad w_i w_j I_{ij}^1(\epsilon) + O(w^3, \epsilon^2)\ \dot{w}_2 = \lambda_2(\epsilon)w_2 + \sum_{i=1}^{2} \quad \sum_{j=1}^{2} \quad w_i w_j I_{ij}^2(\epsilon) + O(w^3, \epsilon^2)\ \dot{\epsilon} = 0\ , \tag{6}$$

Эта система описывает бифуркацию Андронова-Хопфа при $\epsilon = 0$: $\lambda_{1,2}(0) = \alpha(0) \pm i\beta(0) = \pm i\beta_0$, они же и собственные числа линеаризованной системы. Особая точка $(0,0)$ типа центр. Для исследования поведения системы необходимо привести её к нормальной форме и посмотреть на знак вещественной части коэффициента перед первой нечётной степенью:

$$\dot{u} = i\beta_0 u + C_1 u^2 \underline{u} + \cdots.$$

Коэффициент C_1 выражается через интегралы от собственных функций, и его вещественная часть получилась отрицательна, это значит, что система (6) устойчива и обладает одним предельным циклом вокруг особой точки $(0,0)$, что видно на рисунке 5. Возникновение предельного цикла в системе (6) означает, что в процессе возникают устойчивые колебания.

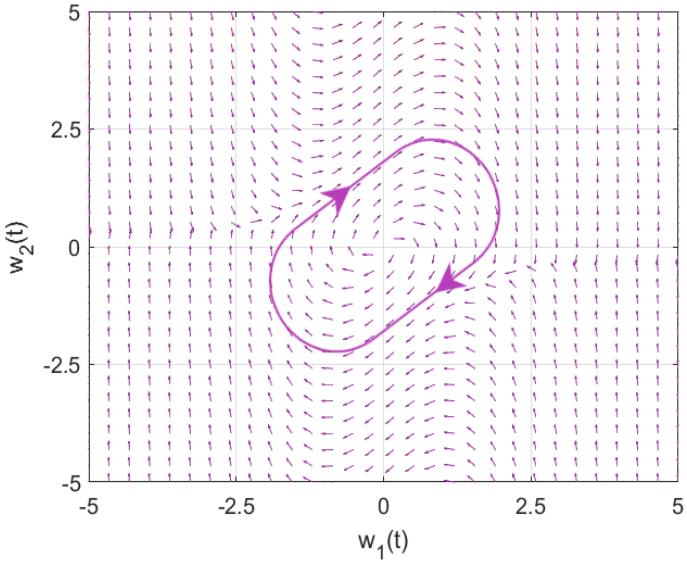
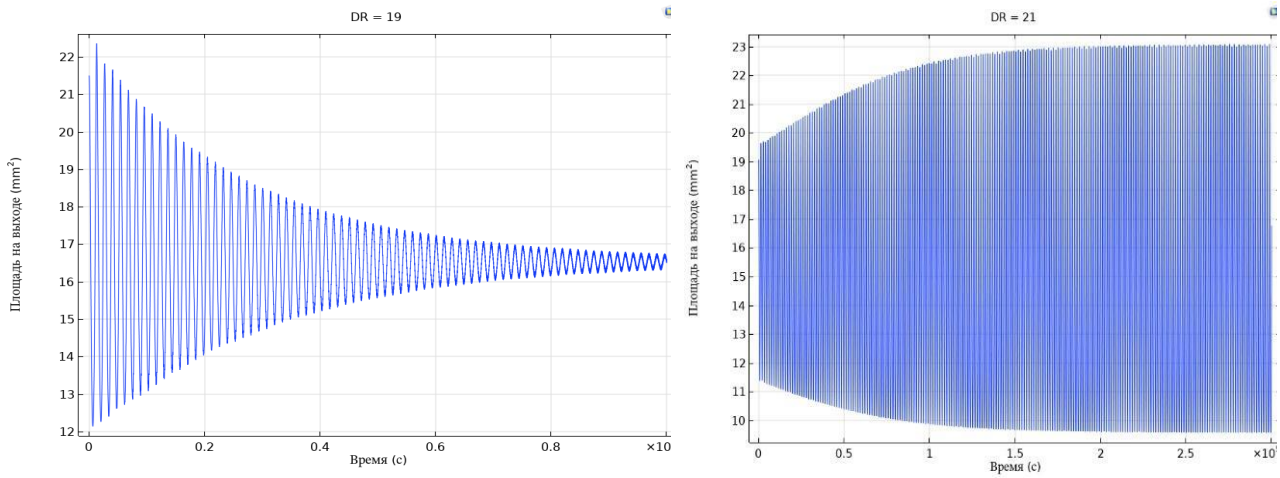


Рис. 5. Фазовый портрет системы (6)

Для иллюстрации возникновения устойчивых колебаний было проведено численное моделирование. На рисунке 6 представлена зависимость значения площади $A(x)$ в конечной точке $x = 1$ от времени при различных коэффициентах перетяжки. Так как критический коэффициент перетяжки $DR_c = 20.2$, то мы ожидаем, что при $DR < DR_c$ нестационарное решение со временем будет сходится к стационарному, что и можно наблюдать на рисунке 6 для $DR = 19$. Для $DR = 21$ мы видим, что колебания достигают определённой амплитуды и дальше не растут.



а б

Рис. 6. Нестационарное решение задачи при: а) $DR = 19$; б) $DR = 21$

На рисунке 7 можно увидеть, что при увеличении коэффициента перетяжки амплитуда колебаний увеличивается. Также можно заметить, что при росте коэффициента перетяжки возникают огибающие колебания, что можно увидеть на частотном спектре, представленном на рисунке 8. С увеличением коэффициента перетяжки доминирующая частота f_0= 7.2 мГц сдвигается влево и начинают проявляться кратные более коротковолновые моды.

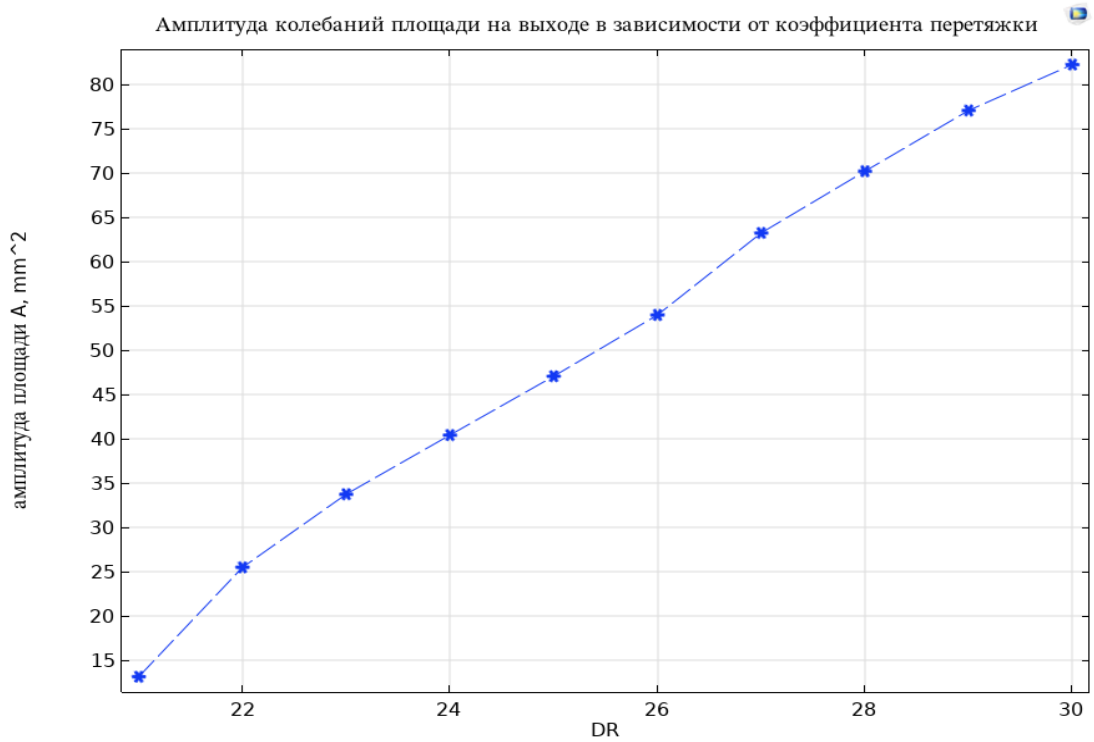
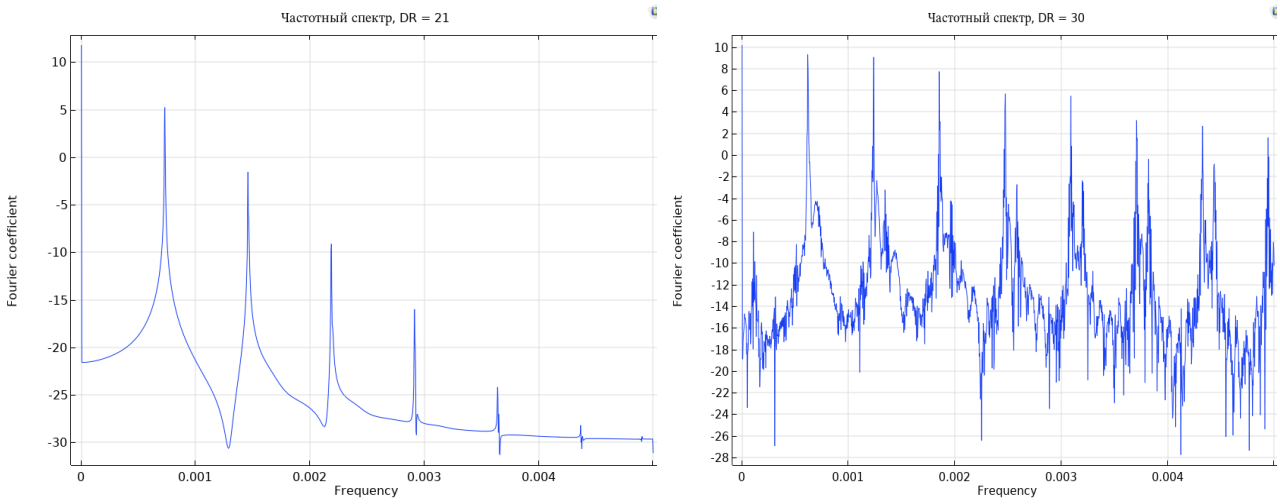


Рис. 7. Зависимость амплитуды колебаний площади на выходе от DR



а б

Рис. 8. Частотный спектр колебаний при: а) DR = 21; б) DR = 30

Итак, в данной работе:

1. Получены уравнения вытяжки с помощью приближения тонкого слоя из уравнений Навье-Стокса, проведён анализ линейной устойчивости процесса вытяжки стеклянного цилиндра, найден критический коэффициент перетяжки, при котором система теряет устойчивость, и показано, как он меняется в зависимости от числа Стокса и параметров тепловой задачи.
2. Проведён анализ нелинейной устойчивости: найден сопряжённый оператор к оператору линейной задачи, выведена система уравнений на амплитудные функции решения нелинейной задачи, эта счётная система сведена к системе из трех уравнений, проведен анализ устойчивости системы дифференциальных уравнений второго порядка с особой точкой типа центр и показано, что система имеет один предельный цикл, это значит, что в системе возникают устойчивые колебания.
3. С помощью численного моделирования найдена зависимость амплитуд и частотного спектра колебаний при удалении от критического коэффициента перетяжки.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Cao F., Khayat R., Puskas J. Effect of inertia and gravity on the draw resonance in high-speed film casting of Newtonian fluids // International Journal of Solids and Structures. 2005. Vol. 42. Pp. 5734-5757.
2. Jang Ho Yun, Dong Myeong Shin, Joo Sung Lee et al. Direct calculation of limit cycles of draw resonance and their stability in spinning process // Nihon Reoroji Gakkaishi. 2008. Vol. 36. Pp. 133-136.
3. Nayfeh A.H. Introduction To Perturbation Techniques // Wiley. 1981. 536 p.
4. Carr, Jack, Robert G Muncaster The application of centre manifolds to amplitude expansions. II. Infinite dimensional problems // Journal of Differential Equations. 1983. Vol. 50(2). №. 20. Pp. 280-288.

МАГИСТРЫ

Лауреаты II степени конкурса на «Лучшую научно-исследовательскую выпускную квалификационную работу магистров Университета ИТМО»

Выпускник
Анкушин Даниил Андреевич
институт "Высшая инженерно-техническая школа"
Направление подготовки: 16.04.01 – Техническая физика
e-mail: ankushin.daniil42@gmail.com

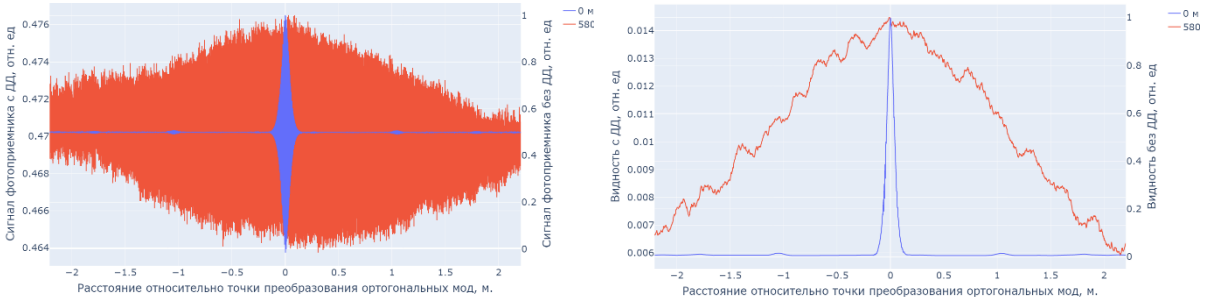
Научный руководитель
Мухтубаев Азамат Булатович
к.т.н.
e-mail: mukhtubaev.ab@gmail.com

УДК 681.787.8

РАЗРАБОТКА И РЕАЛИЗАЦИЯ АЛГОРИТМА КОМПЕНСАЦИИ ДИСПЕРСИИ ДВУЛУЧЕПРЕЛОМЛЕНИЯ В ДВУЛУЧЕПРЕЛОМЛЯЮЩЕМ ОПТИЧЕСКОМ ВОЛОКНЕ

Современные технологические процессы требуют автоматизации и сенсоризации, то есть замены человеческих органов чувств датчиками. Оптимальным выбором часто выступают волоконно-оптические датчики из-за таких преимуществ как широкополосность, малые потери, диаметр, масса, радиус изгиба, механическая прочность, отсутствие перекрестные помех, электроизоляционная прочность, безындукционность, взрывобезопасность и высокая коррозионная стойкость. Самые стойкие к помехам и чувствительные из таких датчиков – это фазочувствительные датчики. Фазочувствительные волоконно-оптические датчики используют интерферометрический метод для точного измерения разности фаз, но одномодовое волокно без сохранения поляризации может привести к ошибкам, которые могут быть устранены путем замены одномодовых на двулучепреломляющие оптические волокна (ДОВ).

При сборке схем с ДОВ необходимо учитывать коэффициент экстинкции и h-параметр, которые вычисляются из картины видности интерференции, полученной методом шиокополосной интерферометрии на сканирующем поляризационном интерферометре Майкельсона. Однако пространственное разрешение этого метода падает с увеличением длины сканируемого участка волокна из-за явления дисперсии двулучепреломления (ДД). Оно заключается в уширении и уменьшении максимума пика видности интерференции от точек преобразования ортогональных мод (ТПОМ) в ДОВ из-за разности зависимостей постоянных распространения от длины волны в ортогональных модах. Уширение интерференции и видности представлены на рисунках 1, а и б, соответственно.



а б

Рис. 1. Визуализация дисперсии двулучепреломления:
а) уширение интерференционной картины; б) уширение пиков картины видности

Данный эффект может быть скомпенсирован путем умножения пика видности, представленного на рисунке 2, а, с формулой (1) на вычисленный аналитически коэффициент компенсации на рисунке 2, б с формулой (2) [1]:

$$V(Z,D) = \frac{\sqrt{\alpha(1-\alpha)}}{\sqrt[4]{\chi}} \cdot e^{-\left(\frac{2\delta d}{\sqrt{\chi}W_0}\right)^2}, \quad (1)$$

$$K(Z,\Delta D) = \sqrt[4]{\chi} \cdot e^{-\left(\frac{2\delta d\rho}{\sqrt{\chi}W_0}\right)^2}, \quad (2)$$

$$\chi = 1 + \rho^2,$$

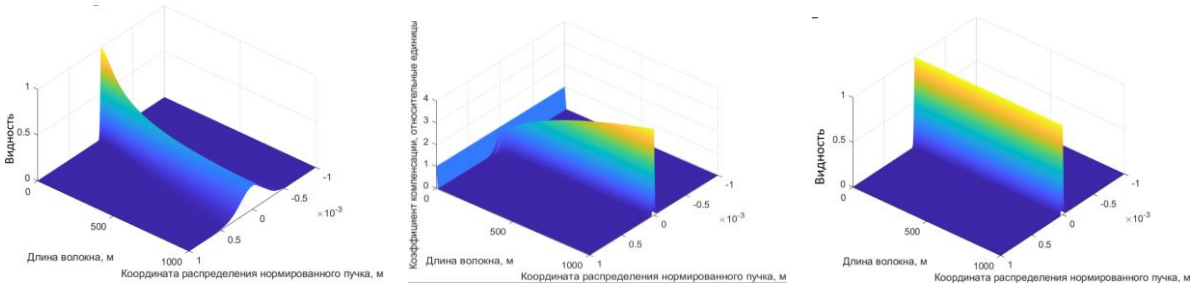
$$\rho = 2\pi c \Delta D Z \left(\frac{\Delta\lambda}{\lambda_0}\right)^2,$$

$$\delta d = \Delta n Z - d,$$

где α – отношение преобразованной интенсивности к полной, W_0 – ширина пика картины видности на высоте $\frac{1}{e}$ от максимума при $\rho = 0$, $\Delta\lambda$ и λ_0 – ширина и центральная длина волны источника оптического излучения, Δn – разница эффективных показателей преломления ортогональных мод, Z – координата ТПОМ,d – разница оптического пути, созданная компенсационным интерферометром, ΔD – коэффициент дисперсии.

Результат данного умножения на рисунке 2, в совпадает с результатом моделирования видности без ДД с формулой (3), что говорит о корректности метода.

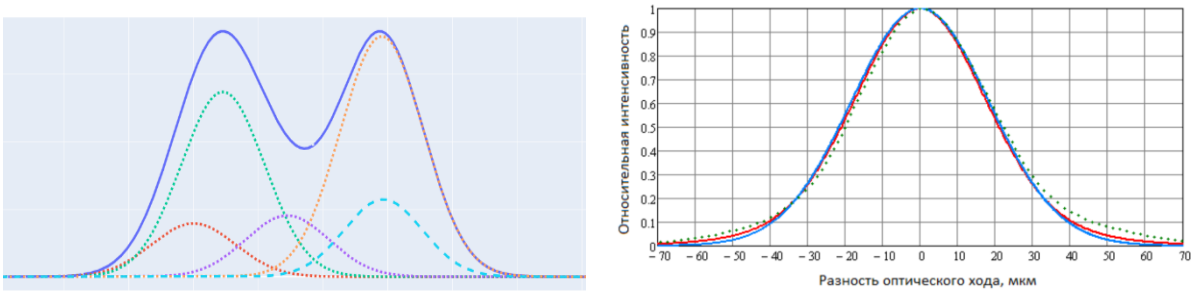
$$V_{\text{ск}}(Z) = V(Z,\Delta D) \cdot K(Z,\Delta D) = V(Z,0) = \sqrt{\alpha(1-\alpha)} \cdot e^{-\left(\frac{2\delta d}{W_0}\right)^2}. \quad (3)$$



а б в

Рис. 2. Аналитическая компенсация ДД: а) видность с ДД; б) коэффициент компенсации; в) видность без ДД или скомпенсированная видность

К сожалению, данный метод неприменим к реальным данным по таким причинам как наложение ТПОМ друг на друга и неидеальность функции когерентности источника оптического излучения, которые представлены на рисунках 3, а и б, соответственно.



а б

Рис. 3. Причины неприменимости аналитического метода: а) наложение пиков видности. Пунктиром – единичные ТПОМ, сплошной – сумма; б) неидеальнойсть функции когерентности ИОИ [2]. Синий – теоретическая кривая Гауссового распределения; красная – расчетная кривая по данным спектра; зеленый – экспериментально полученная функция когерентности

На рисунке 4 представлен разработанный алгоритм для решения описанной проблемы.

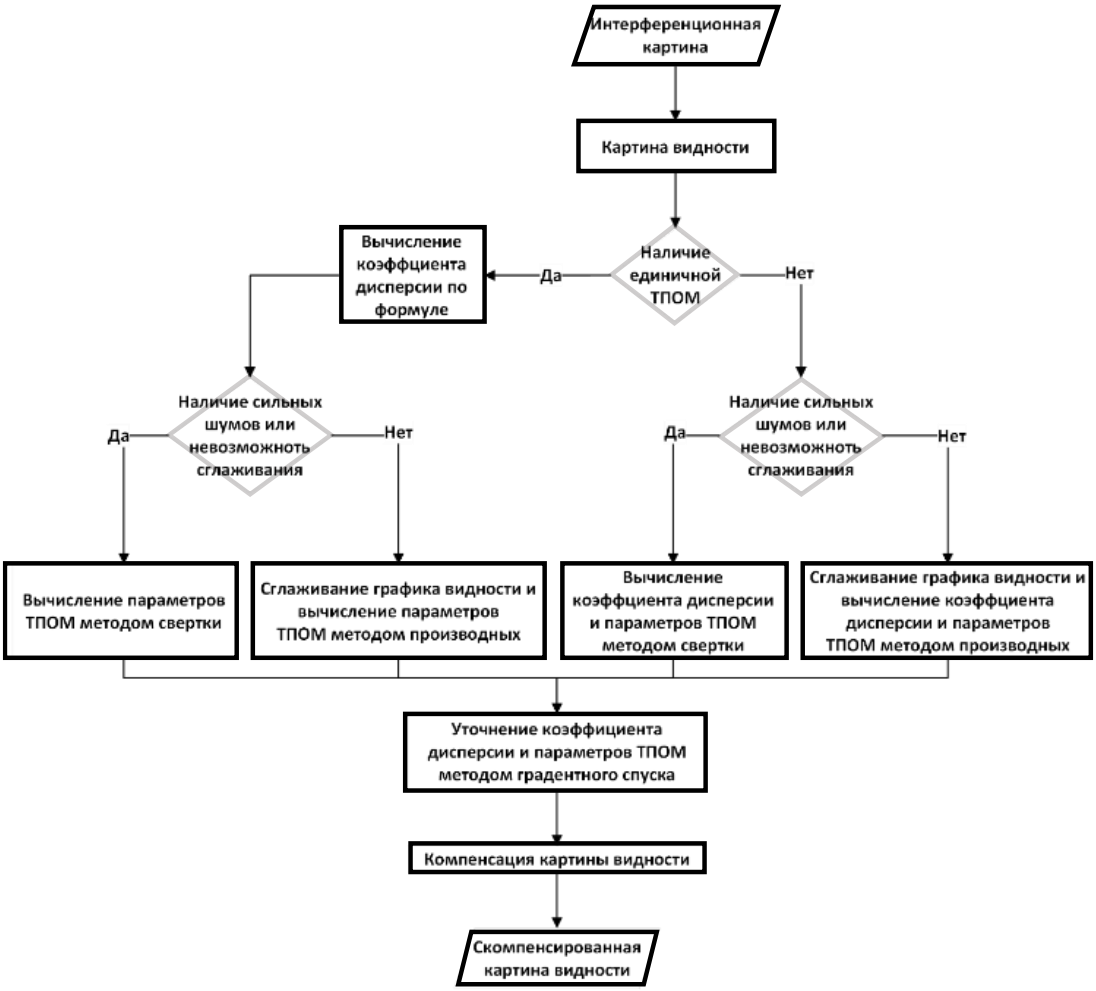
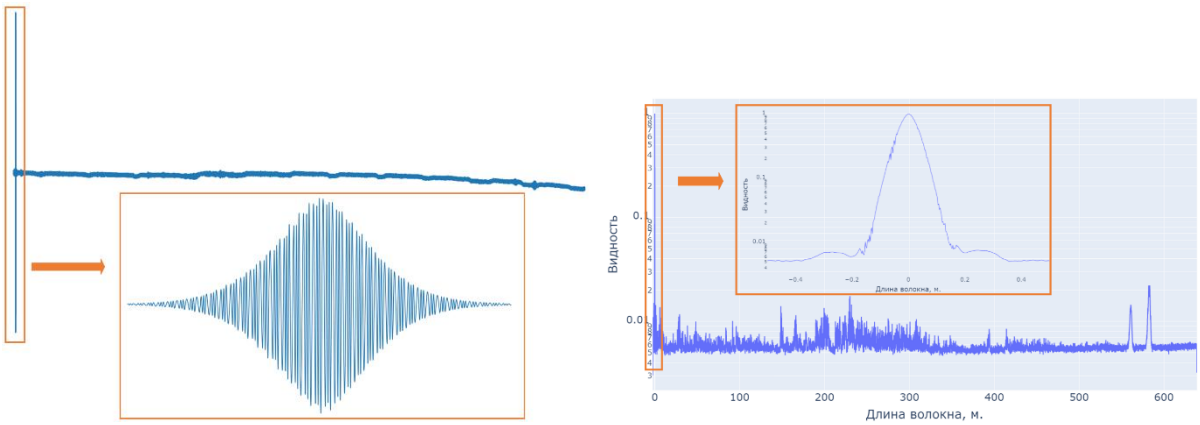


Рис. 4. Блок-схема алгоритма компенсации ДД

Первым шагом необходимо вычислить из интерференции видность. Этот шаг представлен на рисунках 5, а и б, соответственно. Далее, при наличии единичной ТПОМ без наложений, вычисляется коэффициент дисперсии по формуле (4).

$$\Delta D = \frac{\sqrt{\left(\frac{W}{W_0}\right)^2 - 1}}{\alpha Z}, \tag{4}$$

где W_0 и W – ширины пиков функции когерентности и единичной ТПОМ, соответственно.



а б

Рис. 5. Вычисление картины видности: а) интерференция; б) видность

При отсутствии единичной ТПОМ ее можно создать точечным давлением на волокно перпендикулярно оси волокна и под углом 45° к одной из осей ортогональных поляризаций мод в ДОВ.

В случае отсутствия единичной ТПОМ и невозможности ее искусственного создания, коэффициент дисперсии может быть рассчитан методом наименьших квадратов из зависимости ширин пиков от их координат (5), которые получены методом производных или методом свертки, которые описаны ниже.

$$W(f, D) = \sqrt{(1+\rho^2)}W_0, \tag{5}$$

Следующим этапом является оценка параметров ТПОМ, а именно координата, высота и ширина. Выполнить данную оценку возможно двумя методами.

На рисунке 6, а представлен метод производных [3]. Он заключается во взятии второй и четвертой производных от сглаженной картины видности. Сглаживание происходит сверкой видности и гауссианы. Там, где совпадают отрицательные локальные минимумы второй и положительные локальные максимумы четвертой производных, находится ТПОМ (6). По выражениям (7) и (8) мы можем оценить их ширину σ и высоту a.

$$h_j{}'(\underline{x}_j) = 0, \tag{6}$$

$$\sigma_j = \sqrt{3\frac{-h_j{}''(\underline{x}_j)}{h_j{}^{IV}(\underline{x}_j)}}, \tag{7}$$

$$a_j = \frac{\left(v_s{}''(u_j)\right)^2}{v_s{}^{IV}(u_j)}, \tag{8}$$

где h – сглаженная видность, j – индекс ТПОМ, $\underline{x}$ – координата ТПОМ.

а б

Рис. 6. Методы оценки параметров ТПОМ: а) метод производных; б) метод свертки

Полученные ширины можно использовать для вычисления коэффициента дисперсии. Недостатком метода производных является необходимость сглаживания.

Однако такого недостатка лишен метод свертки, представленный на рис. 6б [4], который заключается в свертке видности с аналитически построенными второй и четвертой производной гауссианы с СКО σ_0. Там, где абсолютные максимумы совпадают, находится ТПОМ. После восстановления ТПОМ по параметрам, полученным по формулам (9) и (10).

$$\sigma_j = \sigma_0 \cdot \sqrt{\frac{3 \cdot Y_2}{Y_4} - 1}, \tag{9}$$

$$a_j = \frac{Y_2}{\sigma_j} \cdot \sqrt{\frac{\left(1+\left(\frac{\sigma_j}{\sigma_0}\right)^2\right)^3}{\pi}}, \tag{10}$$

где Y_2 и Y_4 – максимумы свертки видности со второй и четвертой производной гауссианы, соответственно.

Следующим этапом является уточнение параметров ТПОМ методом наименьших квадратов. Функцией ошибки (11) в данном случае является разность экспериментальной видности $\vec{v}$ и восстановленной видности с учетом ДД $\overrightarrow{v_{дд}}$ (12).

$$\overrightarrow{Err_i} = \left(\vec{v} - \overrightarrow{v_{дд}}\right)^2, \tag{11}$$

$$\overrightarrow{v_{дд}} = \sum_{j=1}^{N} \frac{a_j}{\sqrt[4]{1+\rho^2}} e^{-\frac{\left(\vec{Z}-x_j\right)^2}{2(1+\rho^2)\sigma_0{}^2}}, \tag{12}$$

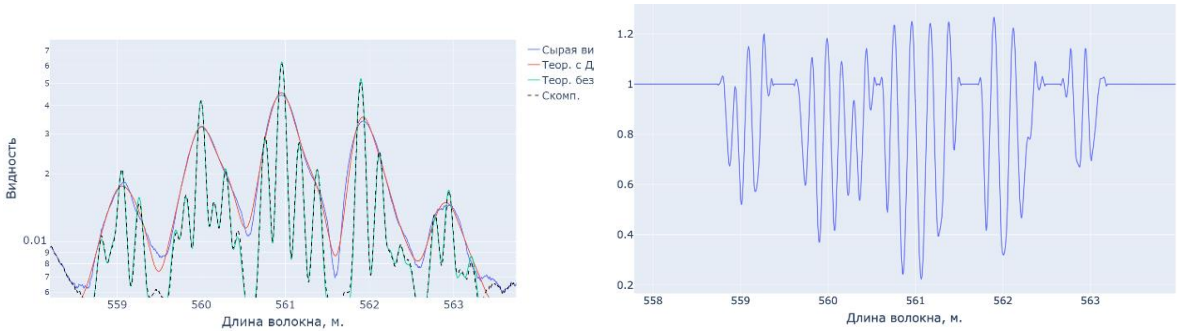
где N – количество ТПОМ, $\vec{Z}$ – вектор значений длины волокна.

Завершающим этапом является получение скомпенсированной видности $\overrightarrow{v_{comp}}$ на рис.7а, которая вычисляется с помощью восстановленной видности без ДД $\overrightarrow{v_{clear}}$ и уровня шума v_{noise}, который определяется как медианное значение видности. Метод вычисления уровня шума опционален и может меняться в зависимости от требований.

$$\overrightarrow{v_{comp}} = \vec{v} \cdot \frac{\overrightarrow{v_{clear}} + v_{noise}}{\overrightarrow{v_{дд}} + v_{noise}}, \tag{13}$$

$$\overrightarrow{v_{clear}} = \sum_{j=1}^{N} a_j e^{-\frac{\left(\vec{Z}-x_j\right)^2}{2\sigma_0{}^2}}. \tag{14}$$

Получить функцию компенсации можно из отношения скомпенсированной и экспериментальной видности, которая представлена на рисунке 7, б.

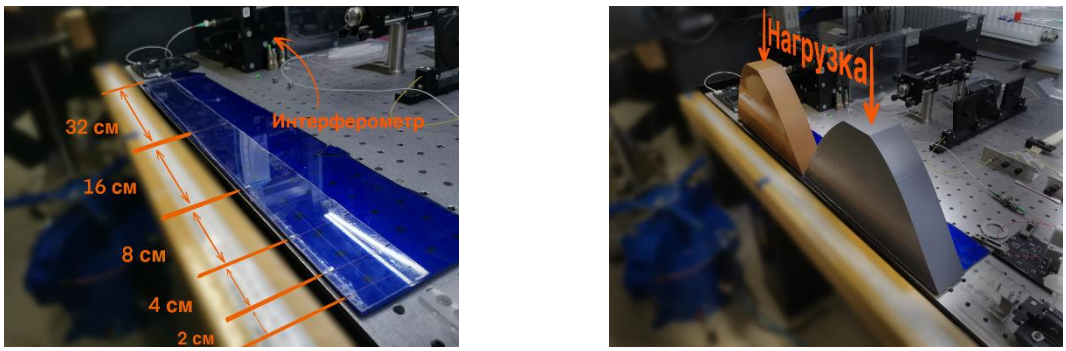


а б

Рис. 7. Результаты компенсации видности: а) процесс компенсации; б) функция компенсации для данного участка волокна

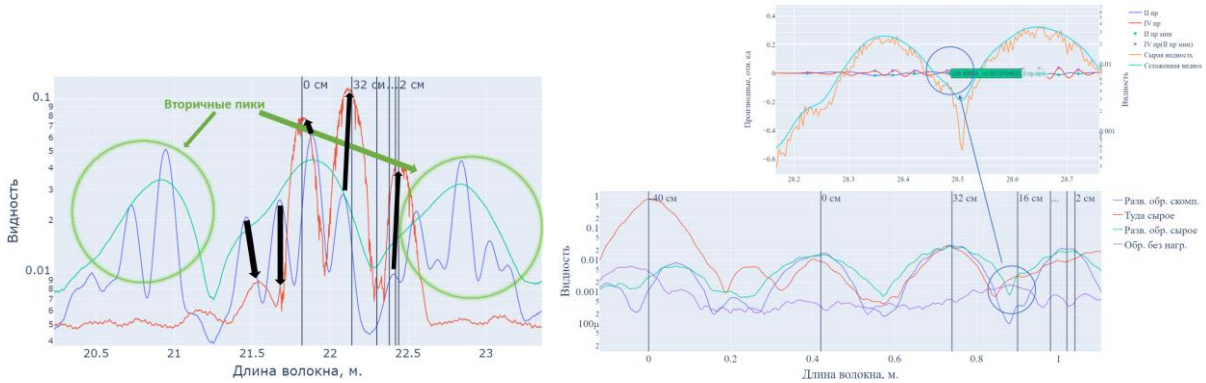
Для проверки достоверности разработанного алгоритма был поставлен эксперимент. Были записаны две видности: в случае, когда ТПОМ ближе к интерферометру и дальше от него, чтобы получить пики видности без ДД и с ДД. ТПОМ были созданы волокном, лежащим поперек исследуемого как на рисунке 8, а, а нагрузка была распределена равномерно как на рисунке 8, б. После этого видность с ДД была скомпенсирована с помощью разработанного алгоритма, отзеркалена и наложена на видность без ДД таким образом, чтобы координаты ТПОМ совпадали.

В случае больших преобразований и дисперсии точность определения координаты составляет 4 см при длине волокна 582 м, но точность определения высоты пика низкая, также присутствуют ложные пики, это видно на рисунке 9, а. Это объясняется наличием вторичных преобразований – случай, когда ортогональные моды преобразуются более одного раза. Однако в случае малой накопившейся дисперсии, представленном на рисунке 9, б удалось достаточно точно скомпенсировать видность пиков на расстоянии 32 см и верно за детектировать пик с сильным наложением на расстоянии 16 см с точностью 4 см.



а б

Рис. 8. Эксперимент: а) ТПОМ и интерферометр; б) равномерная нагрузка



а б

Рис. 9. Проверка достоверности алгоритма компенсации: а) с большим количеством накопившейся дисперсии; б) с малым количеством накопившейся дисперсии

Как результат можно отметить, что алгоритм способен:

- детектировать как одиночные, так и сильно наложенные друг на друга пики видности с пространственным разрешением 16 см и точностью 4 см при $\Delta D \approx 0.006 \frac{\text{пс}}{\text{км·нм}}$ и длине волокна 582 м;
- компенсировать одиночные и слабо наложенные пики видности без потери информации с пространственным разрешением 32 см и точностью 4 см при $\Delta D \approx 0.006 \frac{\text{пс}}{\text{км·нм}}$ и длине волокна 582 м.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Li Z. et al. Method for improving the resolution and accuracy against birefringence dispersion in distributed polarization cross-talk measurements // Opt Lett. Optical Society of America. 2012. Vol. 37. №. 14. Pp. 2775-2777.
2. Аксарин С.М. Исследование поляризационных методов и технологий согласования волоконно-оптических и интегрально-оптических волноводов: дисс. канд. техн. наук: 01.04.05.Университет ИТМО, СПб. 2014. 116 с.
3. Сизиков В., Лавров А.В. Сравнение различных методов разделения непрерывных перекрывающихся спектральных линий // Журнал технической физики. 2018. Vol. 124. №. 6. DOI: 10.21883/OS.2018.06.46071.28-18.
4. Сирвидас С.И., Заруцкий И.В., Ларионов А.М., Манойлов В.В. Обнаружение, разделение и оценка параметров масс-спектрометрических пиков методом свертки экспериментальных // Научное приборостроение. 1991. Т. 9. №. 2. С. 71-75.

Выпускник
Архарова Маргарита Владимировна
факультет систем управления и робототехники
Направление подготовки: 13.04.02 – Электроэнергетика и электротехника
e-mail: margo.arkharova@mail.ru

Научный руководитель
Поляков Николай Александрович
к.т.н.
e-mail: polyakov_n_a@itmo.ru

УДК 621.3

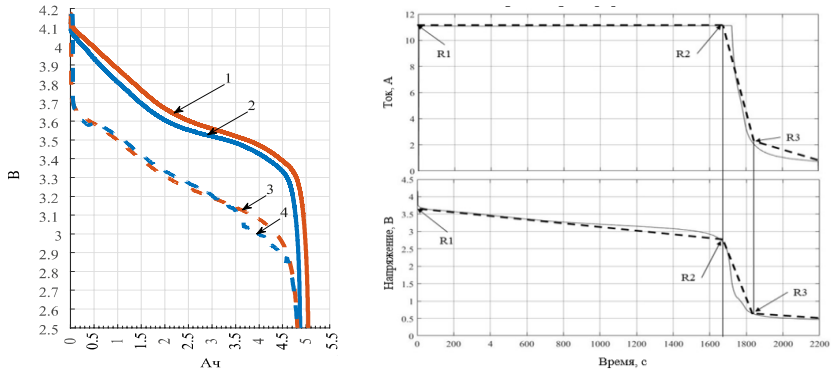
ИССЛЕДОВАНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЗАМКНУТОЙ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОПРИВОДА С АККУМУЛЯТОРНЫМ ИСТОЧНИКОМ ПИТАНИЯ

В настоящее время рынок электромобилей быстро растет по мере развития аккумуляторных батарей [1], зарядных станций [2] и алгоритмов управления зарядными устройствами [3]. Аккумуляторные батареи используются в системах питания небольших электромобилей, таких как скутеры, моноколеса и электровелосипеды. Режимы работы (непрерывный/кратковременный) и маршрут электромобиля влияют на энергопотребление системы и состояние заряда аккумулятора. Крайне важно прогнозировать эти параметры и контролировать их.

Батареи в системах питания обычно подключаются последовательно и /или параллельно, образуя аккумуляторный блок. Он должен соответствовать требованиям к току и напряжению в нагрузке. Основной целью является повышение эффективности таких систем питания за счет устранения короткого замыкания и перегрева [4]. Система управления батареей позволяет управлять параметрами батареи в процессе эксплуатации, в том числе: контролировать температуру и состояние заряда, а также ограничивать мощность и ток каждой батареи с помощью интеллектуальных алгоритмов управления. Анализ существующих решений для систем управления батареями показал, что совершенствование алгоритмов управления этими системами позволяет увеличить срок службы батареи до 3,77% [5]. Внедрение этих алгоритмов связано с разработкой новых устройств контроля состояния батареи, позволяющих осуществлять мониторинг параметров батареи и производить оценку ее эксплуатационных характеристик, например, оценивать дальность хода устройства и требует проведения экспериментальных и модельных исследований энергопотребления в энергосистемах транспортных средств, связанных с работой электропривода и нагрузок на аккумуляторные элементы в процессе эксплуатации.

Объектом данного исследования является замкнутая система электропривода с аккумуляторным источником питания роботизированной платформы с двигателем постоянного тока.

Для построения имитационной модели аккумуляторной батареи были получены кривые тока и напряжения для литий-ионной батареи (типоразмер 26650, 3,7 В, 5100 мАч) в режиме разряда. Проведены два эксперимента: в первом ток батареи составляет 1 А, во втором – 11 А (рис. 1, а)). Согласно рисунку 1, б, кривые разделены на три части и линеаризованы. Границы каждой части характеризуют статическое сопротивление батареи (R1, R2, R3 на рисунке 1, б). Полученные линейные функции показывают, что сопротивление батареи зависит от ее напряжения. Важно отметить, что падение напряжения на внутреннем сопротивлении батареи зависит от тока нагрузки и, следовательно, соответствует режиму работы батареи.



а) б)

Рис. 1. Опыт разряда батареи: а) зависимость напряжения от емкости заряда 1) батарея №1 (1 А), 2) батарея №2 (1 А), 3) батарея №1 (10 А), 4) батарея №2 (10 А);
б) Ток и напряжение в процессе разряда

Полученные характеристики используются для построения модели в Matlab.

Для проверки модели батареи проводится сравнение экспериментальных и модельных данных (рис. 2): ток (рис. 2, а), напряжение (рис. 2, б), State of charge (SoC) (рис. 2, в). Эти кривые показывают, что погрешность оценки SoC в модели увеличивается со временем, а погрешность на правой границе первого интервала не превышает 10%. Разряд ниже последних 10% емкости аккумулятора в реальности сопровождается падением величины тока разряда. Следовательно, несмотря на то, что полная емкость аккумулятора составляет 5100 мАч, разумно определить эффективную емкость на правой границе первого интервала, когда ток перестает быть постоянным. Таким образом, когда процесс разряда батареи достигнет точки R2, ее следует перевести в режим отключения. Следует отметить, что режим отключения позволяет ограничить температуру нагрева батареи до 55°C. В этом режиме работы дополнительное охлаждение не требуется. Несмотря на характер разряда, остаточная энергия в эксперименте и модели отличается незначительно (рис. 2, г). Это доказывает, что расчет верен.

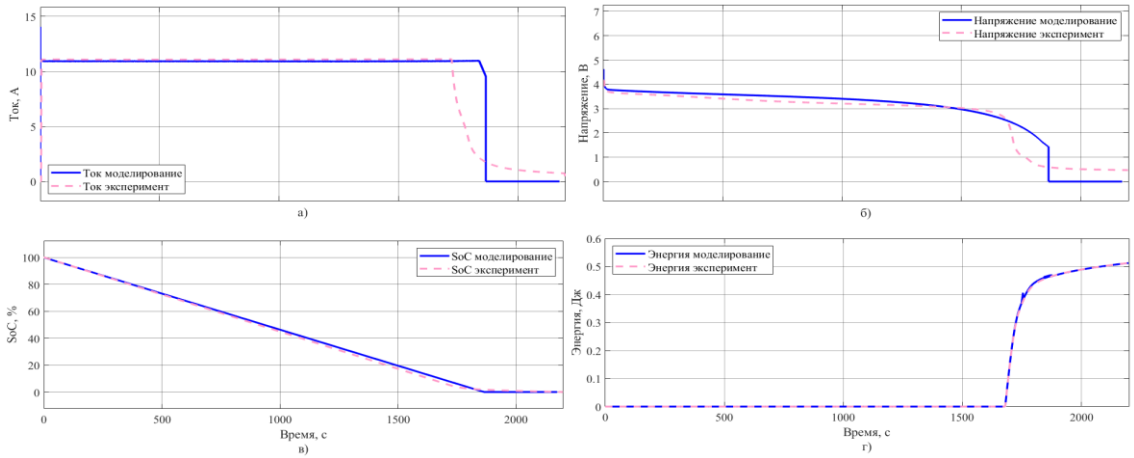


Рис. 2. Сравнение полученных результатов

Далее, необходимо построить имитационную модель системы “широтно-импульсный преобразователь – двигатель постоянного тока”. Известны математические модели, описывающие системы электропривода: двухконтурные замкнутые системы для управления крутящим моментом (током) и скоростью, трехконтурные замкнутые системы для управления крутящим моментом (током), скоростью и положением [6]. Крайне важно спрогнозировать расстояние перемещения в соответствии с текущим зарядом батареи. В данной работе в качестве прототипа выбрана роботизированная автономная система Rover Pitsco TETRIX PRIME для NI myRIO [7]. Приводная система, показанная на рис. 3 состоит из аккумуляторной

батареи (1), драйвера ШИМ-устройства (2), устройства постоянного тока IG220053X00085R (3).

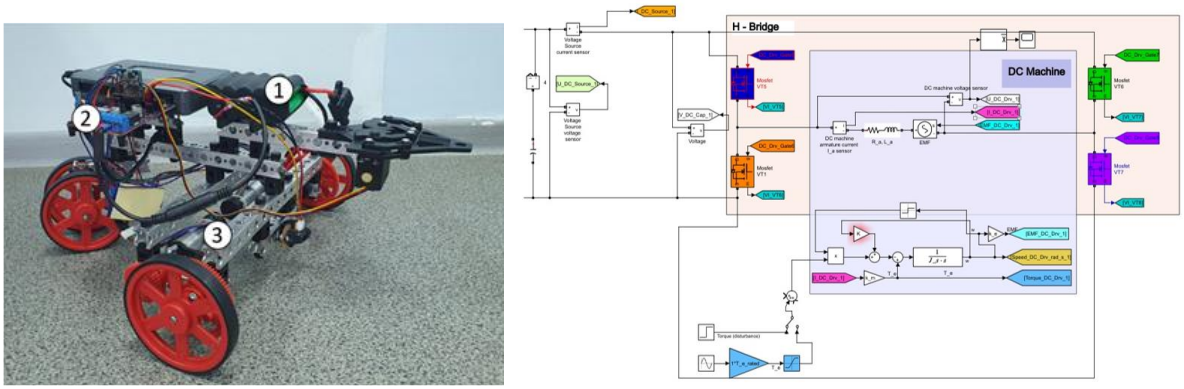
Математическая модель привода постоянного тока может быть описана следующими уравнениями (1), (2) [8]:

$$\frac{dM_d}{dt} = \frac{\beta}{T_E}(\omega_0 - \omega_1) - \frac{1}{T_E}M_d, \quad (1)$$

$$J_s \frac{d\omega_1}{dt} = \frac{1}{\beta T_M}(M_d - M_{load}), \quad (2)$$

где $\beta = \frac{M_P}{w_I} = 1.681 \cdot 10^{-5}$ – жесткость электромеханической характеристики, (Н·м·с)/рад; $T_M = \frac{J_s}{\beta} = 0.082$ – электромеханическая постоянная времени, сек; $T_E = \frac{L_A}{R_A} = 5.964 \cdot 10^{-4}$ – электромагнитная постоянная времени, сек; $M_{load} = 3 \cdot 10^{-4}$– момент нагрузки, Н·м; $J_s = 1.378 \cdot 10^{-6}$ – суммарный момент инерции, кг · м^2; M_d – текущий момент двигателя, Н·м.

Модель системы привода представлена на рисунке 3. Эта модель используется для изучения процессов в замкнутой системе электропривода со статическим тормозным моментом в качестве нагрузки, который эквивалентен номинальному крутящему моменту машины, и без этой нагрузки. При моделировании учитывается вязкое и сухое трение, а также нагрузка на зубчатую передачу. Следовательно, предложенная модель позволяет оценить энергопотребление системы электропривода при статическом (пуск) и динамическом (ускорение и замедление) крутящем моменте [9].



а) б)

Рис. 3. а) IRover Pitsco TETRIX PRIME для NI myRIO; б) Модель энергетической подсистемы двигателя постоянного тока привода подвижной платформы

В таблице 1 приведены экспериментальные, паспортные и данные, полученные в ходе моделирования для машины постоянного тока с полезной нагрузкой, погрешность значений, полученных в ходе моделирования ниже 10% относительно паспортных и экспериментальных данных. Данной точности достаточно, чтобы сделать вывод о том, что разработанная модель работает корректно.

Таблица 1. **Работа системы с полезной нагрузкой**

Параметр	Паспортные данные	Экспериментальные данные	Моделирование
Ток	48 мА	48 мА	44 мА
Скорость	750 рад/с	754.9 рад/с	716.9 рад/с

Как уже упоминалось ранее, для управления системой электропривода важно отслеживать состояние системы питания. Данные батареи – ток, напряжение и SoC – следует использовать для исключения ее перегрева и глубокого разряда.

В предлагаемой системе литий-ионный аккумулятор обеспечивает питание системы электропривода. Для повышения напряжения аккумулятора используется повышающий преобразователь напряжения. Система управления для него разработана с точки зрения

энергопотребления и ограничений по току. Модель учитывает каналы обратной связи по напряжению и току, то есть разрешение датчиков и АЦП в контроллере, а также шум в этих каналах, создаваемый резисторами и операционными усилителями.

После исследования системы и верификации ее компонентов, были произведены измерения энергии (табл. 2), которая затрачивается на совершение основных действий: 1 – короткий проезд прямо, 2 – поворот, 3 – длинный проезд прямо (рис. 4).

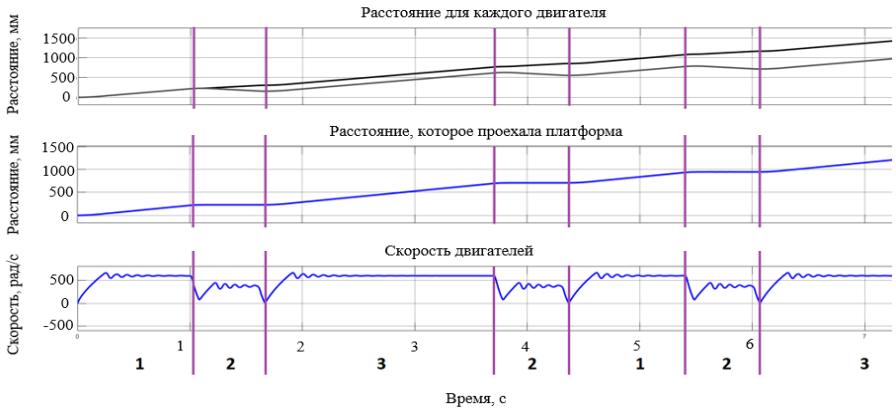


Рис. 4. Моделирование движения системы по заданной траектории

Таблица 2. **Расход энергии**

Действие	**Затраченная энергия, Дж (Ач)**	**Сколько раз может быть выполнен маневр**	**Какое расстояние проедет платформа, км**
Поворот (2)	2.697 ($2.025 \cdot 10^{-4}$)	23 289	0
Короткий проезд прямо (1)	4.955 ($3.72 \cdot 10^{-4}$)	12 676	2.766
Проезд прямо (3)	8.397 ($6.304 \cdot 10^{-4}$)	7 480	3.409

По результатам эксперимента, выбранная АКБ имеет энергетическую емкость 62 811 Дж или 4.8 Ач. Исходя из этого было рассчитано, что роботизированная платформа сможет проехать 1 км 128 м по заданной траектории.

Для определения критических точек разряда АКБ необходимо найти разностную аппроксимацию второй производной напряжения на батареи (3) на равномерной сетке с шагом h.

$$Lu = \frac{d^2u}{dt^2}. \tag{3}$$

Для данной производной справедливы равенства (4,5)

$$(u+h) = u(t) + hu'(t) + 0.5h^2u''(t) + \frac{h^3}{6}u'''(t) + O(h^4), \tag{4}$$

$$(u-h) = u(t) - hu'(t) + 0.5h^2u''(t) - \frac{h^3}{6}u'''(t) + O(h^4). \tag{5}$$

Складываем равенства 4 и 5 и делим результат h^2, получаем (6):

$$\frac{u(t+h)-2u(t)+(t-h)}{h^2} = u''(t) + O(h^2). \tag{6}$$

Получаем, что разностный оператор $L_h u$ аппроксимирует u'' в точке x со вторым порядком. Оператор $L_h u$ можно переписать следующим образом (7):

$$L_h u = \frac{u(t+h)-2u(t)+(t-h)}{h^2} = \frac{u_t(t)-u_{\bar{t}}(t)}{h} = u_{\bar{t}t}. \tag{7}$$

В данной работе предложен следующий алгоритм определения зоны отключения аккумулятора:

1. Определите напряжение холостого хода батареи (пуск).

2. Определите 1 правую границу первой линейной части кривой напряжение/ток.
3. Найдите разностную аппроксимацию второй производной напряжения по времени за 1 с.
4. Монотонность первой разностной аппроксимации второй производной оценивается в точке 1 (рис. 5). В течение нескольких интервалов измерений 2-я аппроксимация второй производной напряжения по времени должна монотонно уменьшаться, и в этом случае должно быть отправлено сообщение о том, что батарея разряжена. В случае, если процесс разряда достигает точки 2 (рис. 5) аккумулятор автоматически отключается от системы. Это необходимо для предотвращения глубокого разряда аккумулятора.

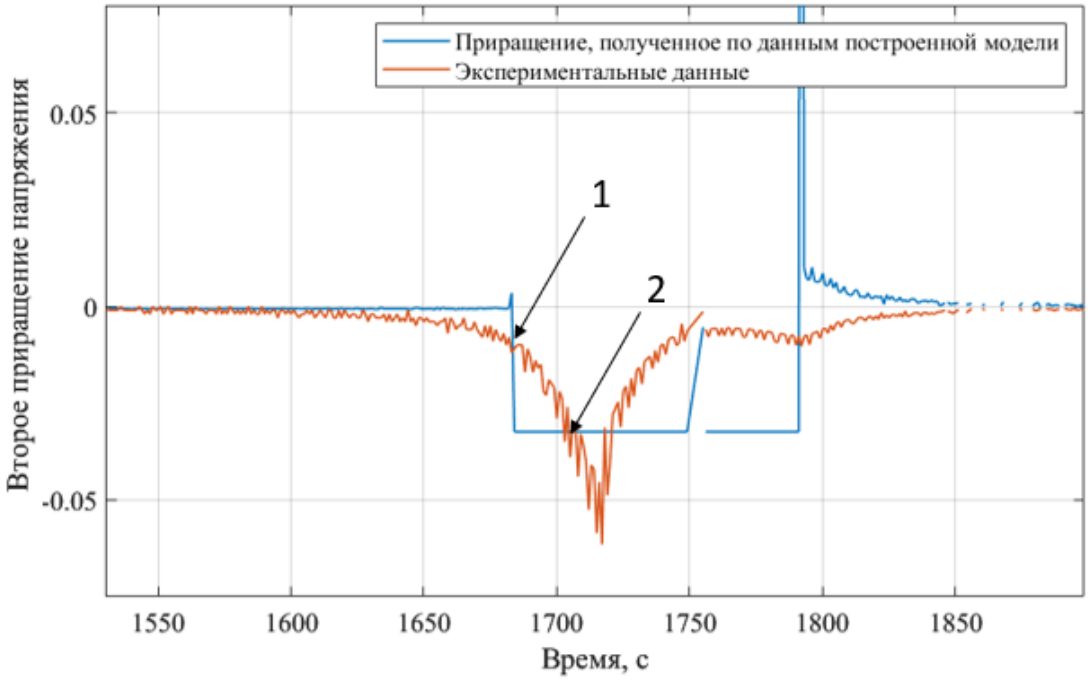


Рис. 5. Сравнение результатов моделирования и эксперимента

Верификация предложенного алгоритма происходила при разряде аккумулятора током 0,5 А. Интервал, в который происходит резкая смена значения производной пропорционален току системы, поэтому в данной системе критическая точка определяется как падение значения аппроксимации второй производной на 0,001 В за 5 циклов. Исходя из заданных параметров были определены точки, отраженные в таблице 3. Для того, чтобы удостовериться, что с помощью алгоритма точка разряда определена правильно, была найдена еще одна точка через 20 циклов. Как можно заметить, напряжение на батарее упало на необходимую величину напряжения, чтобы сказать, что аккумуляторная батарея разряжена.

Таблица 3. **Соотношение заряда аккумулятора и напряжения на нем**

Остаток заряда в %	**Напряжение**
3,5	3,730
3,487	3,729
3,4335	3,725

С помощью данного алгоритма были также найдены точки разряда аккумуляторной батареи при разряде током 10А. В таком случае значение, на которое должна была уменьшиться аппроксимация второй производной, было 0,04 В.

Таким образом, в ходе работы были экспериментально изучены параметры аккумуляторной батареи Li-Ion типоразмера 26650 3,7 В с номинальной емкостью 5100 А·ч. Полученные данные использовались для построения имитационной модели, которая позволила провести моделирование разряда батареи с высокой точностью. Была разработана

имитационная модель замкнутой системы широтно-импульсный преобразователь - двигатель постоянного тока привода подвижной платформы.

На основе экспериментальных данных был разработан алгоритм, позволяющий оценивать степень разряда аккумуляторной батареи. Верификация алгоритма проведена на имитационной модели.

Полученные данные в дальнейшем могут быть использованы для разработки автоматизированной системы оценки состояния заряда для движущихся платформ систем малого электротранспорта и движущихся роботизированных платформ с питанием от аккумуляторной батареи и для разработки алгоритма оценки запаса хода таких платформ.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Liu X., Wang C., Wu T., Li Z., Wu C. A novel stable and flexible composite phase change materials for battery thermal management // Applied Thermal Engineering. 2022. 118510. Vol. 212. Pp.1-11. Doi:10.1016/j.applthermaleng.2022.118510.
2. Ultra-fast charging stations. [Electronic resource]. – Access mode: https://yablochkovtech.com/technology (date of access: 13.07.2023).
3. Miah M.S. et al., Energy Storage Controllers and Optimization Schemes Integration to Microgrid: An Analytical Assessment Towards Future Perspectives // IEEE Access. 2022. Vol. 10. Pp. 52982-53014. Doi:10.1109/ACCESS.2022.3174123.
4. Serdechny D., Tomashevskiy Y. Managing the charging process of multi-element lithium-ion batteries // Measurement. Monitoring. Management. Control. 2017. Vol. 3(21). Pp. 115-123. Doi 10.21685/2307-5538-2017-3-16.
5. Qin J., Sun X., Yang Q. Wang, Battery thermal management system based on the forced-air convection: A review // IEEE Journal of emerging and selected topics in power electronics. 2021. Vol. 9. №. 5. Pp. 5533-5541. Doi:10.1016/j.etran.2020.100097.
6. Egorov A., Poliakov N., Tomasov V. Method of braking circuit resistance estimation for closed loop drive system with big rotating masses in speed reverse operating mode with current limitation //2016 IX International Conference on Power Drives Systems (ICPDS), Perm, Russia. 016. Pp. 1-5. Doi: 10.1109/ICPDS.2016.7756739.
7. Instruction on robot assembling: Pitsco TETRIX PRIME for NI myRIO.
8. Usoltzev A. Electrical Drive. ITMO University. 2012. 238 p.
9. Borisov P., Lukichev D. Methods of analysis and synthesis of power subsystems of instrument electric drives // Instrumentation. 2011. №. 1. Pp. 50-54.

Выпускник
Вертелецкий Евгений Дмитриевич
факультет экотехнологий
Направление подготовки: 20.04.01 – Техносферная безопасность
e-mail: Verteletckii.Evgenii@yandex.ru

Научный руководитель
Сергиенко Ольга Ивановна
к.т.н., доцент
e-mail: oisergienko@yandex.ru

УДК 628.316.12

РАЗРАБОТКА ПРЕДЛОЖЕНИЙ ДЛЯ СОЗДАНИЯ СИСТЕМЫ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД СОКОЛЬСКОГО ЦБК

Российская Федерация располагает огромной лесосырьевой базой. Запас древесины составляет 20% от общемирового. При этом лесной комплекс занимает скромное положение в экономике страны. Вклад в ВВП составляет 0,75% и 2,4% – в объеме промышленного производства. Однако объем сбросов сточных вод целлюлозно-бумажной промышленности в 2020 году составил 37,3% по всем обрабатывающим производствам и 6,0% по России в целом [1]. Можно сделать вывод, что лесопромышленные комплексы и производители целлюлозы, бумаги и картона являются одними из крупнейших загрязнителей водных объектов, а изучение и модернизация методов и сооружений для очистки сточных вод является приоритетным направлением экологизации целлюлозно–бумажного производства. Для выпуска продукции потребляются значительные объемы водных, лесных и энергетических ресурсов, и поэтому вопрос экологичности данной отрасли всегда стоит особенно остро.

Целью данной работы является разработка предложений для очистки сточных вод Сокольского ЦБК на основе анализа отечественного и зарубежного опыта применения наилучших доступных и перспективных методов и технологий. Для достижения поставленной цели были выполнены следующие задачи:

1. Анализ отечественного и зарубежного опыта в сфере очистки сточных вод целлюлозно–бумажной промышленности.
2. Изучение новых и перспективных технологий очистки сточных вод.
3. Анализ особенностей Сокольского ЦБК и выбор наилучшей доступной технологии очистки стоков.
4. Подбор оборудования и расчет материального баланса предложенной схемы очистки.
5. Выполнение технико–экономического обоснования предлагаемого решения.

Традиционный метод очистки сточных вод, который отображён на рисунке 1 и используется на Сыктывкарском ЛПК, начинает процесс очистки с механического этапа: решётки служат для удерживания больших частиц и песколовки, где песок и другие взвешенные частицы отделяются с помощью осаждения.

Загрязненные стоки поступают на первичные отстойники, где за продолжительное время отстаивания около двух часов успевают осесть на дно отстойника даже самые мелкие взвеси, после чего сточные воды уже без мелких частиц, песка и волокон направляются на стадию биологической очистки. Перед аэротенком в стоки добавляются питательные вещества: азот и фосфор, для питания микроорганизмов на стадии биологической очистки. Биохимический процесс распада органических загрязнителей в аэротанках происходит под влиянием биоценоза, где ключевую роль играют бактерии, способные формировать колонии, – это активный ил [2]. Для протекания биохимических реакций в аэротенк подается большое количество воздуха, требуемое аэробным микроорганизмам для синтеза и жизни. После аэротенка активный ил отделяется от сточных вод посредством отстаивания во вторичных отстойниках. После отделения одна часть активного ила проходит через илоуплотнители, где

его концентрация увеличивается до 3%, после чего осадок сточных вод высушивается и утилизируется. Вторая часть активного ила возвращается в аэротенк. Степень регенерации составляет около 50%. Очищенные стоки далее направляются на доочистку от мелких частиц активного ила, проходя через фильтры.

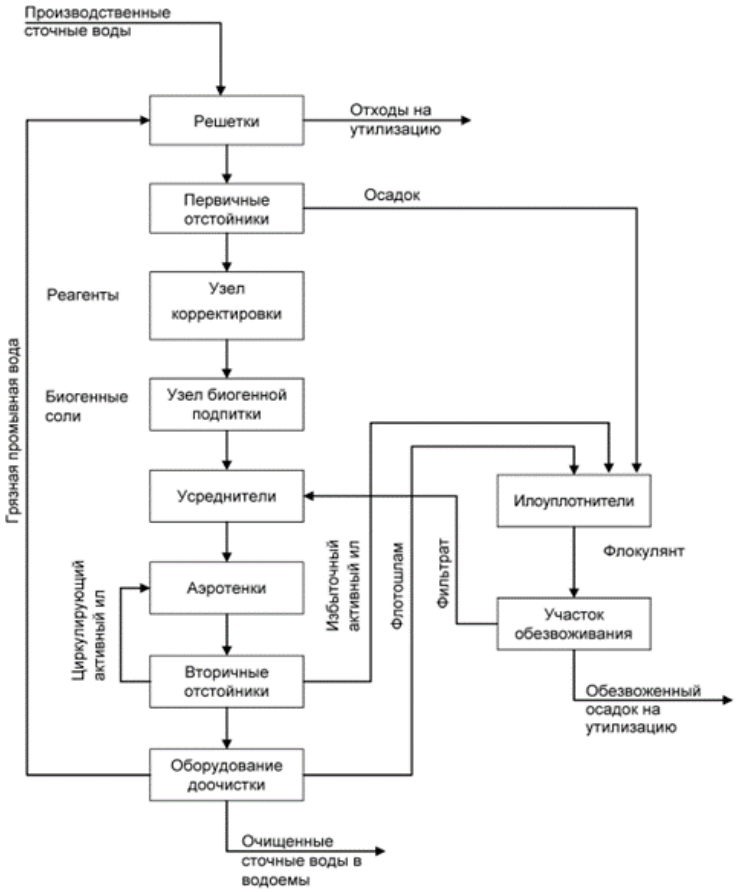


Рис. 1. Схема традиционной очистки сточных вод на целлюлозно–бумажных предприятиях

Достоинствами данной технологии, проверенной временем, являются: простота технологии, основные узлы – это железобетонные емкости, стойкие к внешним условиям и составу стоков, а также простота и дешевизна ремонта оборудования. К недостаткам можно отнести: чувствительность процесса – если загрязнения неравномерны по составу, систему сложно адаптировать для качественной очистки. Низкая степень автоматизации процесса, применение показывающих датчиков и приборов не позволяют принимать решения без оператора. Очистные сооружения занимают большую площадь.

В модернизированной схеме очистки стоков, показанной на рисунке 2, которая часто применяется на ведущих предприятиях ЦБП за рубежом, основной ступенью также является биологическая очистка, но другие этапы значительно отличаются.

Стоки поступают на механическую очистку и проходят через барабанные сита, где от них отделяются крупные включения. После механической очистки промышленные стоки направляются во флокулятор, где к воде добавляют коагулянт и флокулянт для укрупнения частиц загрязнений [3]. Далее, следует напорный флотатор, где уже очищенная вода насыщается воздухом и смешивается с загрязненной водой в корпусе флотатора. Микропузырьки воздуха размером 20–50 мкм, налипая на частицы грязи, выносят их на поверхность, образуя слой пены (флотационный осадок), собираемый со всей поверхности скребковым механизмом [4]. После добавления питательных веществ и прохождения биохимического разложения загрязнений в аэротенке стоки поступают в мембранный биореактор, где мембрана с размером пор 0,2 мкм пропускает только чистую воду, не пропуская дальше микроорганизмы активного ила [5]. Часть его, в свою очередь, идет на

регенерацию, возвращаясь в аэротенк, а часть поступает на стадию обезвоживания на шнековых фильтрах вместе с осадком флотации, где от этой смеси отделяется вода, и шлам отправляется на утилизацию. Сток проходит ультрафиолетовое обеззараживание, после чего обеззараженный сток сбрасывается в водоем.

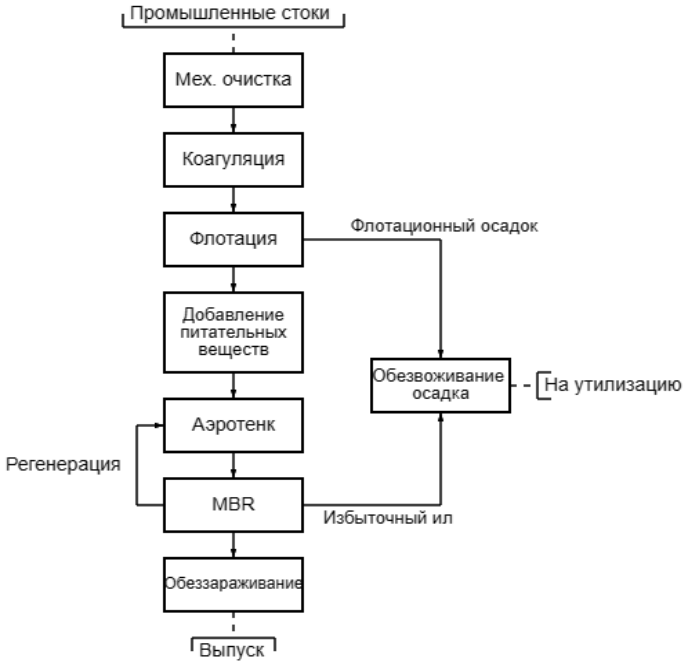


Рис. 2. Схема модернизированной очистки сточных вод на целлюлозно–бумажных предприятиях

К достоинствам схемы можно отнести высокую степень автоматизация всего процесса очистки, небольшую занимаемую площадь и низкие затраты на строительство, а также широкий диапазон концентраций загрязнений на входе на очистку. Недостатки заключаются в следующем: эксплуатационные затраты незначительно превышают затраты в традиционной схеме очистки.

Для предлагаемой модернизированной схемы очистки был рассчитан материальный баланс, представленный на рисунке 3, а также подобрано оборудование и рассчитаны показатели экономической эффективности проекта.

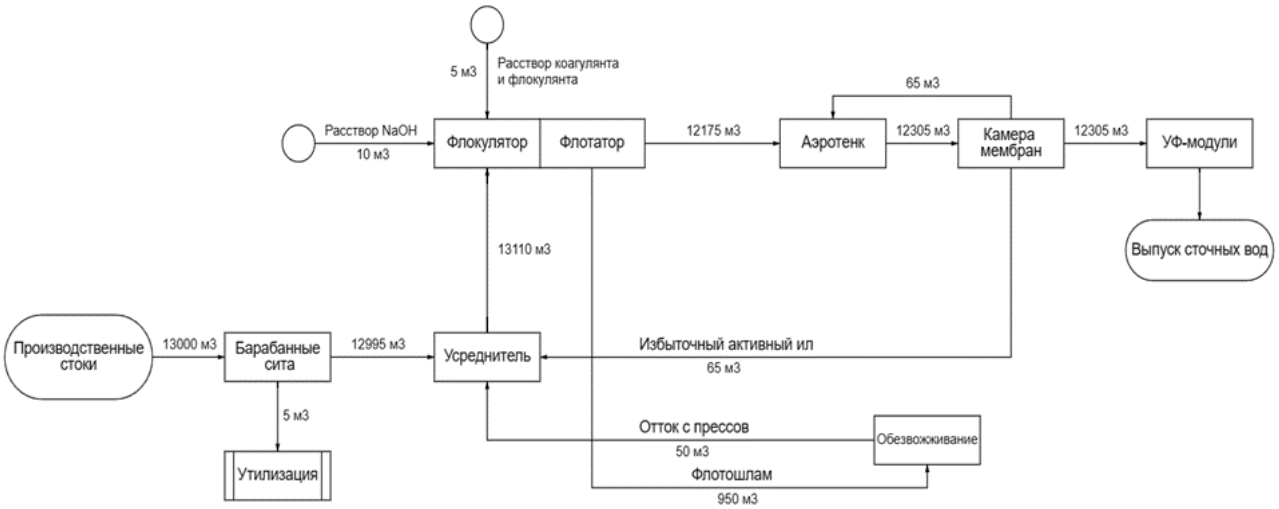


Рис. 3. Материальный баланс предлагаемой схемы очистки стоков

При повышении эффективности очистки экономия достигается за счет сокращения платы за негативное воздействие на водные объекты. Показатели рентабельности предложенной схемы очистки показаны в таблице.

Таблица. **Показатели рентабельности проекта**

Показатель	Единица измерения	Обозначение	Значение
Общие инвестиции	тыс. руб.	I_0	528 348,9
Чистая годовая экономия	тыс. руб./год	B	337 940,6
Срок окупаемости	год	PB	1,2
Чистый дисконтированный доход	тыс. руб.	NPV	3 028 443
Внутренняя норма рентабельности	%	IRR	46
Индекс доходности	–	PI	5,73

В работе рассмотрены две технологии очистки загрязненных сточных вод ЦБП: традиционная для нашей отрасли, на примере Сыктывкарского ЛПК и модернизированная, включающая более современное аппаратурное оформление, и часто применяемая на крупных зарубежных предприятиях.

Расссмотрение достоинств и недостатков каждой из схем очистки и выполнение расчетов материального баланса для каждой стадии очистки позволяет сделать вывод, что для Сокольского ЦБК модернизированная схема обеспечит ряд ключевых преимуществ по сравнению с существующей традиционной схемой, а именно: уменьшение на 40% территории, занимаемой очистными сооружениями, достижение практически полной автоматизации процесса, увеличение возможного диапазона концентраций загрязняющих веществ на входе на очистку, а также уменьшение на 30% затрат на строительство новых сооружений по сравнению с затратами на строительство классической системы очистки. Согласно технико–экономическому обоснованию проект строительства собственных очистных сооружений на Сокольском ЦБК является рентабельным за счет сокращения затрат на очистку производственных сточных вод на очистных сооружениях города Сокола, а также снижения платы за сброс загрязняющих веществ в водные объекты.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Информационно–технический справочник по наилучшим доступным технологиям. // Производство целлюлозы, древесной массы, бумаги, картона. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://burondt.ru/NDT/docs/paper/index.html#_Toc437435726 / (дата обращения: 13.12.2022).
2. Комарова Л.Ф, Полетаева М.А. Использование воды на предприятиях и очистка сточных вод в различных отраслях промышленности // учебное пособие – Барнаул: Изд–во АлтГТУ. 2010. 174 с.
3. Hubbe M., Metts J., Hermosilla D., Blanco A., Yerushalmi L., Haghighat F., Khodaparast Z., Kamali M., Elliott A. Wastewater Treatment and Reclamation // A Review of Pulp and Paper Industry Practices and Opportunities. Bioresources. 2016.Vol. 11. Pp. 7953-8091.
4. Pokhrel D., Viraraghavan T. Treatment of pulp and paper mill wastewater // Science of The Total Environment. 2004. Vol. 333. №. 3. Pp. 37-58.
5. Mainardis M., Buttazzoni M., De Bortoli N., Mion M., Goi D. Evaluation of ozonation applicability to pulp and paper streams for a sustainable wastewater treatment // Journal of Cleaner Production. 2020. Vol. 258. №. 10. Pp. 54-72.

Выпускник
Глеклер Эдуард Викторович
факультет информационных технологий и программирования
Направление подготовки: 09.04.03 – Прикладная информатика
e-mail: eduard.glekler@yandex.ru

Научный руководитель
Кашевник Алексей Михайлович
к.т.н., доцент
e-mail: alexey@iias.spb.su

УДК 004.4

АНАЛИЗ ПАТТЕРНОВ МОЗГОВОЙ АКТИВНОСТИ И ВИДЕОЗАПИСИ ЧЕЛОВЕКА С ЦЕЛЬЮ АВТОМАТИЧЕСКОГО РАСПОЗНАВАНИЯ МЕДИТАТИВНОГО СОСТОЯНИЯ

Анализ электроэнцефалограммы (ЭЭГ) – один из наиболее широко используемых способов исследования континуальных процессов мозга, подобных медитации [1]. Однако этот подход имеет некоторые серьезные ограничения, до сих пор не позволявшие применять его непосредственно для распознавания медитативного состояния, которые были частично устранены в данной работе.

Подход к поддержке принятия решений при гибридном анализе электрической активности мозга и видеотрекинга человека

Предложенный подход к поддержке принятия решений при гибридном анализе электрической активности мозга и видеотрекинга человека заключается в приведении набора гетерогенных исходных данных к гибридному представлению обработанных данных, а именно отфильтрованных и преобразованных данных фрагмента сигнала ЭЭГ, дополненного результатами автоматического распознавания тех или иных паттернов данного сигнала, а также обработанных данных синхронизированного фрагмента видеозаписи с извлеченными из него показателями физиологических параметров человека. В рамках данного подхода осуществляется параллельная фильтрация записей всех рассматриваемых состояний на основе их пространственно-спектрального представления на заданных, равных временных интервалах (фрагментах). К данному представлению итеративно применяются автоматизированные функции удаления некорректных фрагментов, подверженных влиянию артефактов или фрагментов, соответствующих некорректному состоянию человека, а также функция удаления отдельных некорректных каналов ЭЭГ в рамках фрагмента или записи в целом, приводящие к обновлению текущего представления. При работе с пространственно-спектральным представлением на любом этапе существует возможность перехода к гибридному представлению того или иного фрагмента, что обеспечивает поддержку принятия решения по удалению данного фрагмента или его канала из дальнейшего рассмотрения. Полученные таким образом обработанные данные сигнала ЭЭГ и их пространственно-спектральное представление могут быть использованы для обучения модели распознавания тех или иных паттернов, которая в свою очередь может быть использована для предоставления результатов автоматического распознавания паттернов в рамках гибридного представления, при анализе новых наборов данных. Обработка данных видеозаписи осуществляется автоматически, путём извлечения из нее показателей физиологических параметров человека, на основе данных о движениях ключевых точек тела.

Пример концепции реализации описанного подхода, где пространственно-спектральному представлению соответствует элемент интерфейса «Матрица топографических карт», а гибридному представлению – «Панель фрагмента сигнала ЭЭГ», представлен на рисунке 1.

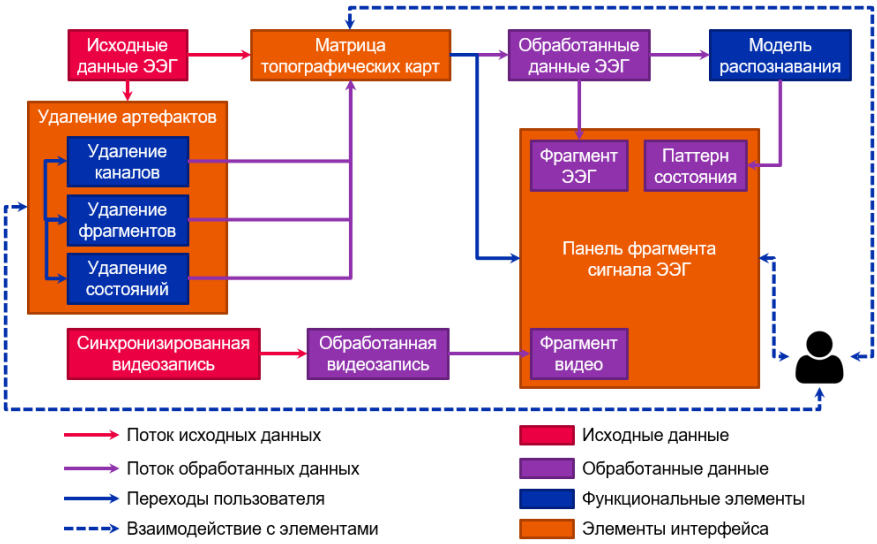


Рис. 1. Подход к поддержке принятия решений при гибридном анализе электрической активности мозга и видеотрекинга человека

Для первоначального построения матрицы топографических карт используются исходные данные из предоставленного пользователем набора записей ЭЭГ, взаимодействие с которыми осуществляется итеративно посредством функциональных элементов удаления каналов и фрагментов ЭЭГ, а также фрагментов, соответствующих некорректному состоянию участника исследования в ходе записи, приводящих к обновлению соответствующих элементов матрицы. Результатом работы с матрицей топографических карт являются обработанные данные, которые могут быть использованы для обучения модели распознавания тех или иных состояний участников. В ходе работы с матрицей топографических карт пользователь может в любой момент по нажатию кнопки мыши на какой-либо элемент матрицы вызвать панель соответствующего фрагмента сигнала ЭЭГ, обеспечивающую вывод данных как непосредственно о самом сигнале, так и о синхронизированном фрагменте видеозаписи, обработанным с использованием сервиса Mindful Relax [2].

Реализация подхода в виде сервиса для анализа ЭЭГ на примере автоматизации распознавания медитативного состояния

Для реализации описанного подхода был разработан сервис Electroencephalography Video Analysis (EVA), предназначенный для автоматизации рассмотренного далее метода распознавания медитативного состояния.

Рассмотренный далее метод был основан на опыте предыдущих исследований, в которых для анализа медитации использовались частотные характеристики ЭЭГ и многоступенчатое разбиение исходных данных [3]. Метод чувствителен к предварительной обработке данных, процесс которой может быть описан следующей базовой последовательностью действий, осуществляемой (за исключением первого действия) с использованием сервиса EVA (выработка конкретной последовательности действий зависит от качества данных и требует привлечения специалиста):

1) фильтрация артефактов исходных записей ЭЭГ методом удаления независимых компонент [3] (осуществляется с использованием сторонних программных средств);
2) разбиение записей на 32-секундные фрагменты;
3) разбиение фрагментов на четыре 8-секундные части (данное разбиение позволяет оценить динамику изменения характеристик сигнала в рамках отдельно взятого фрагмента);
4) вычисление спектральной плотности мощности каждой части (вычисление производится с использованием метода Уэлча, длина окна – 2 с, перекрытие – 50%);
5) вычисление мощности в шести частотных диапазонах (δ, θ, α_1, α_2, β_1, β_2);
6) удаление некорректных каналов записей ЭЭГ;
7) удаление некорректных фрагментов записей ЭЭГ;

8) преобразование спектральных данных фрагментов в RGB-изображение;
9) извлечение признаков изображений фрагментов.

Непосредственно классификация векторов признаков фрагментов осуществляется с использованием метода случайного леса, также интегрированного в сервис EVA. Для извлечения вектора признаков из RGB-изображения фрагментов используется экстрактор признаков, представленный в виде модели ResNet-34 (с использованием функции потерь ArcFace [4], позволяющей максимизировать расстояние между элементами различных классов в пространстве признаков), что, в связке методом случайного леса является широко используемым решением, применяемым для решения задачи классификации с ограниченным набором данных и сравнительно большим количеством признаков, часто демонстрирующего лучшую точность в сравнении с использованием исключительно CNN-моделей [5].

Использование сервиса

Используя возможности сервиса EVA, можно попытаться удалить фрагменты обработанных данных, которые соответствуют содержащим артефакты фрагментам исходного сигнала. И хотя обработка сигнала может скрыть некоторые виды его исходных артефактов, существует алгоритм действий пользователя, позволяющий обнаружить и устранить большую их часть:

1) для предварительной оценки качества сигнала всех записей набора следует воспользоваться функцией «Show PSD»: возможно, артефакт проявится на функции спектральной плотности мощности для всей записи целиком (рис. 2);

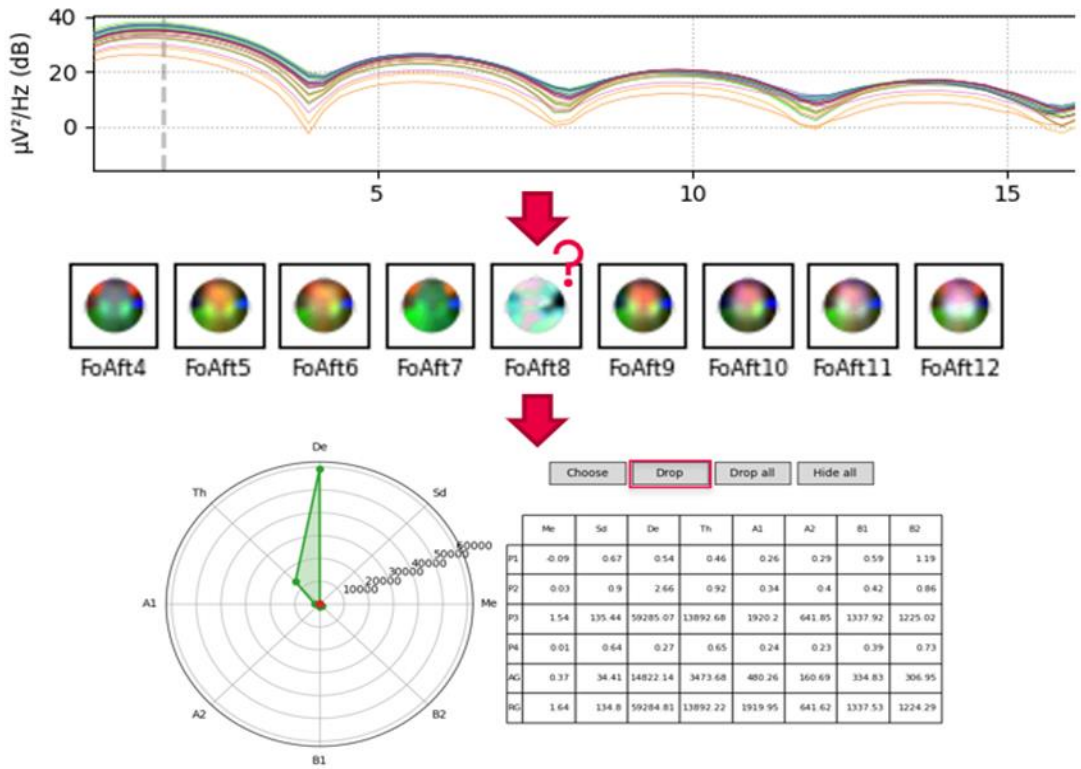


Рис. 2. Пример удаления неустранимого артефакта сигнала ЭЭГ

2) заметив нехарактерную функцию спектральной плотности мощности для какой-либо записи, следует внимательно рассмотреть топографические карты распределения мощности всех ее фрагментов в интересующем частотном диапазоне, воспользовавшись функцией «Show TG»: в случае, если предполагаемый артефакт существенен, соответствующая топографическая карта должна визуально выбиваться из общего ряда;
3) обнаружив нехарактерный фрагмент, можно нажатием клика мыши по соответствующей топографической карте открыть панель с подробной информацией о нем. Здесь следует обратить внимание на численные значения мощности в частотном диапазоне. Если

наблюдается непропорциональный кратковременный пик мощности в отдельном частотном диапазоне – вероятно, это вызвано наличием артефакта в данном фрагменте;

4) убедившись в наличии артефакта, следует удалить весь фрагмент целиком или отдельные его каналы, воспользовавшись функциями «Drop all» или «Drop», соответственно.

В некоторых случаях, причиной ошибки в анализе данных могут стать не технические неполадки, а несоответствующее инструкциям поведение медитирующего. Подобного рода ошибки наиболее сложны в обнаружении, однако функция «Show TG» обеспечивает удобное представление их данных для ручного поиска. На рисунке 3 представлены два ряда топографических карт для записей медитирующего с закрытыми и открытыми глазами соответственно. Можно заметить, что один из элементов ряда «Закрытые глаза» непохож на остальные элементы своего ряда, зато похож на один из элементов ряда «Открытые глаза». Нажатие кнопки мыши по данному элементу позволит просмотреть синхронизированный фрагмент видео, что даст возможность убедиться в верности предположения – на данном фрагменте хорошо видно, что медитирующий, по каким-то причинам, вопреки инструкциям на несколько секунд открыл глаза, и следовательно, фрагмент подлежит исключению из дальнейшего анализа.

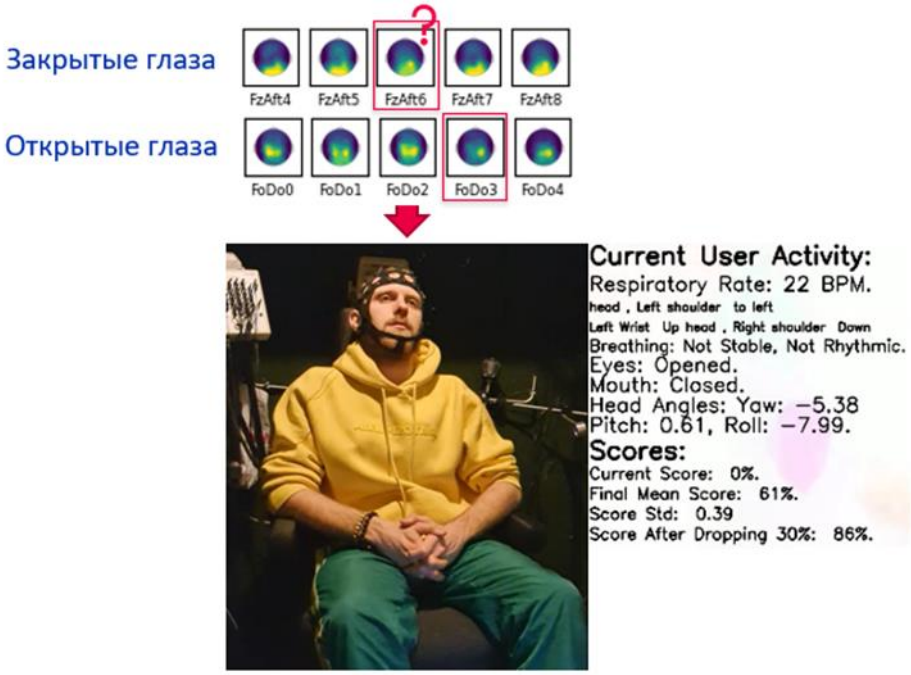


Рис. 3. Пример выявления некорректного состояния медитирующего

Далее приведены некоторые из сделанных наблюдений о свойствах анализируемых данных, которые послужили основой для дальнейшей разработки метода автоматического распознавания медитативного состояния.

Пространственное распределение мощности сигнала ЭЭГ некоторых участников исследования в процессе медитации имеет заслуживающую внимания особенность, заключающуюся в устойчивом характере ее изменения во времени (рис. 4).

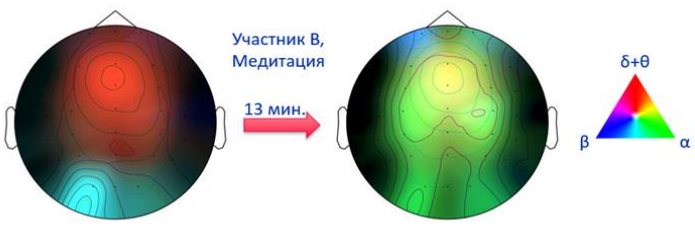


Рис. 4. Изменение распределения мощности в ходе медитации

Значимость данных изменений подтверждается результатами автоматического нахождения паттерна медитации сервиса EVA (рис. 5).

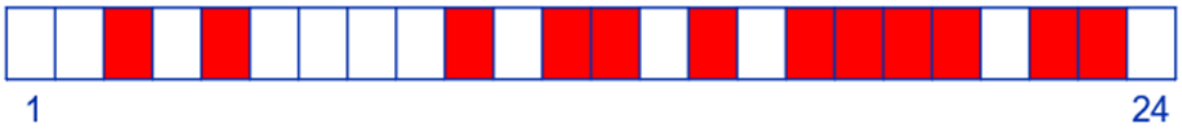


Рис. 5. Увеличение частоты распознавания паттерна в ходе медитации (наличие паттерна в фрагменте выделено красным)

Можно видеть, что частота нахождения паттерна медитации в рамках записи процесса медитации увеличивается со временем, что согласуется с результатами опроса участников исследования, отмечающих постепенность достижения медитативного состояния.

В ходе исследования был разработан программный сервис для гибридного анализа электрической активности мозга и видеотрекинга состояния человека, с помощью которого был успешно автоматизирован метод распознавания континуальных мозговых процессов на примере процесса медитации.

Большая часть операций метода была полностью автоматизирована за счет разработанного сервиса. Частично автоматизированными остаются лишь операции, связанные с удалением артефактов сигнала ЭЭГ, причем удаление сложно устранимых артефактов наиболее просто осуществимо также с использованием сервиса. Возможность автоматизации удаления данных артефактов является предметом дальнейших исследований.

В работе приведены примеры практического применения разработанного сервиса для осуществления фильтрации и анализа полученных данных ЭЭГ, а также показано высокое удобство использования сервиса для решения задачи классификации записей ЭЭГ в сравнении с существующими аналогами на рынке.

Разработанный сервис рекомендуются для использования исключительно с целью облегчения фильтрации и анализа данных ЭЭГ с синхронизированной видеозаписью и на текущий момент не может быть использован для автоматического распознавания континуальных мозговых процессов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Cahn B.R., Polich J. Meditation states and traits: EEG, ERP, and neuroimaging studies // Psychological Bulletin. 2006. DOI: 10.1037/0033-2909.132.2.180.
2. Othman W., Kashevnik A. Video-Based Real-Time Heart Rate Detection for Drivers Inside the Cabin Using a Smartphone // 2022 IEEE International Conference on Internet of Things and Intelligence System (IOTAIS 2022). 2022. Pp. 1-5.
3. Tong S., Thakor N.V. Quantitative EEG Analysis Methods and Clinical Applications // Artech House. 2009. 439 p.
4. Deng J., Guo J., Yang J., Xue N., Kotsia I., Zafeiriou S. ArcFace: Additive Angular Margin Loss for Deep Face Recognition // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. 2022. Vol. 44. №. 10. Pp. 5962-5979. Doi: 10.1109/TPAMI.2021.3087709.
5. Yaqoob M.K., Ali S.F., Bilal M., Hanif M.S., Al-Saggaf U.M. ResNet Based Deep Features and Random Forest Classifier for Diabetic Retinopathy Detection // Sensors (Basel, Switzerland). 2021. №. 21(11). Pp. 3883.

Выпускник
Логачева Дарья Николаевна
центр химической инженерии
Направление подготовки: 18.04.02 – Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии
e-mail: 337829@niuitmo.ru

Научный руководитель
Пономарева Алина Александровна
к.т.н., доцент
e-mail: aaponomareva@itmo.ru

УДК 674.8

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ПЕЛЛЕТ, ПОЛУЧЕННЫХ ИЗ ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНЫХ БИООТХОДОВ

В настоящее время основной проблемой на мировом рынке энергетики является удорожание и сокращение невозобновляемых ресурсов. Например, запасы легкой нефти с каждым годом истощаются, а добывать и перерабатывать тяжелое нефтяное сырьё с имеющимися технологиями и установками пока реализуется очень трудно и затратно из-за специфического химического состава и большой молекулярной массы тяжелого нефтяного сырья. Именно поэтому различные страны начинают использовать источники возобновляемых ресурсов, такие как солнечная энергия [1], геотермальная энергия [2], энергия из бытовых и промышленных отходов [3], а также энергия из биомассы: торф, лесные ресурсы, отходы сельского хозяйства и растениеводства [4].

Одной из перспективных отраслей возобновляемой энергии является лесообрабатывающие предприятия. Известно, что в лесопромышленных или деревообрабатывающих предприятиях при обработке леса, по статистике, остаётся 20% отходов, которые в основном состоят из древесной щепы, опилок, обрезков, стружки. Отходы древесной биомассы зачастую вывозятся на свалку или же продаются фермам. Для предотвращения нерационального использования древесной биомассы применяют один из перспективных направлений альтернативных источников энергии на сегодняшний день — переработка отходов биомассы, т.е. изготовление топливных гранул (пеллет).

У данного вида топлива есть ряд преимуществ. Первое это экологичность − пеллеты не содержат вредных химических веществ, а при сжигании высвобождается углерод, который усваивается растениями и таем самым сохраняется баланс углерода в природе и минимизируется вклад высвобождающегося диоксида углерода в процесс глобального потепления. Второе это низкая себестоимость – поскольку материалом для изготовления пеллет служат отходы деревообрабатывающих предприятий, то данные отходы могут быть потенциально использованы в энергетических целях.

Третьим достоинством является высокая эффективность, которая связана с высокой энергетической плотностью пеллет, которая выше, чем у газа или электричества в качестве источника отопления (табл. 1).

Таблица 1. **Характеристики различных видов топлив [8]**

Вид топлива	Теплота сгорания, МДж/кг	Сера в дымовых газах	Зола,%	Содержание CO_2 в дымовых газах, кг/ГДж
Уголь	15-25	1-3	10-20	60
Мазут	42	1,2	1,5	78
Природный газ	36	0	0	57
Пеллеты	17,5	0,1	1	0

Еще одним плюсом является легкость транспортировки и хранения. Из-за небольшого размера их удобно перевозить в пакетах или контейнерах. А также стоит отметить их универсальность. Области применения пеллет начинаются от отопления домов, квартир, офисов до производства целлюлозы, пластика и даже биотоплива.

В качестве объектов исследования были выбраны древесный луб (мелкая фракция: 0,25–0,8 мм и крупная фракция: 2,5–5,0 мм) и иголки сосны (фракция: 0,2–0,25 мм).

Для определения эффективной концентрации сосны в смеси с древесным лубом были сформированы различные пеллеты с помощью пресса лабораторного гидравлического ПГР-10 (Рисунок) с соотношением луб:сосна 1:0; 1:1; 5:1; 7:1: 10:1; 15:1 и 20:1. Давление было выбрано фиксированное p=70 бар для всех образцов.

Рисунок. Пресс лабораторный ПГР-10

При проведении эксперимента было установлено, что при равном соотношении древесный луб и сосны (1:1) формирование пеллет невозможно (разваливается). Скорее всего, это связано с тем, что в составе сосны нет никакого склеивающего вещества, по сравнению с лубом (лигнин), поэтому для дальнейших исследований данное соотношение не рассматривалась.

Для всех образцов были определены такие показатели как: плотность, зольность, механическая прочность и энергия активации (табл. 2).

Для определения эффективной концентрации хвои сосны в пеллет была проведена экспоненциальная нормировка полученных данных для сравнения и агрегации значений нескольких переменных из различных шкал по формуле 1.

$$y(x) = 1 - exp\ exp\ \left(1 - \frac{x}{x_{min}}\right), \quad (1)$$

где x − исходное значение параметра, x_{min} − минимальное значение параметра.

Если объект имеет несколько признаков, как в данной работе, то на основе нормированных данных нужно найти целевую функцию. Целевая функция − числовая функция от нескольких переменных, которая помогает в оптимизации поставленной задаче. Рассчитывается по формуле 2.

$$F(x) = a_1 \cdot x_1 + a_2 \cdot x_2 + \cdots + a_n \cdot x_n, \quad (2)$$

где x_i − нормированные параметры, a_i − коэффициенты (веса).

Таблица 2. **Сводные данные для всех экспериментов**

	Соотношение	Фото	Плотность, кг/м^3	Зольность, %	Прочность, МПа	Энергия активации, кДж
Фракция луба 0,25–0,8 мм Фракция сосны 0,2–0,25 мм	1:0		1152,65	2,30	5,00	78,57
	5:1		1101,32	2,18	1,93	73,16
	7:1		1118,42	2,38	2,53	72,72
	10:1		1167,55	2,56	3,70	71,81
	15:1		1205,88	2,58	5,00	73,51
	20:1		1159,99	2,47	5,00	75,12
Фракция луба 2,5–5,0 мм Фракция сосны 0,2–0,25 мм	1:0		1166,28	1,71	5,00	62,24
	5:1		1103,35	1,87	1,86	48,06
	7:1		1127,47	1,95	3,87	53,02
	10:1		1210,67	1,61	2,85	64,39
	15:1		1311,99	1,40	5,00	76,05
	20:1		1200,59	1,73	5,00	58,02

Определим требования, которые должны быть учтены при составлении целевой функции:

1. Все параметры одинаково важны (значит, никакие коэффициенты для целевой функции использовать не нужно).
2. Если образцы различаются только значением плотности, то предпочитаем образец с большим значением плотности.
3. Если образцы различаются только значением зольности, то предпочитаем образец с меньшим значением зольности.
4. Если образцы различаются только значением механической прочности, то предпочитаем образец с большим значением механической прочности.
5. Если образцы различаются только значением энергии активации, то предпочитаем образец с меньшим значением энергии активации.

Нормировка экспериментальных данных используется для приведения значений измеренных параметров к единому масштабу или стандартному формату, что позволяет проводить сравнения, анализировать полученные данные и обеспечит корректную работу вычислений [5]. Результаты представлены в таблице 3.

Теперь можно легко увидеть, что максимальное значение целевой функции соответствует образцам с соотношением 15:1 как для крупной, так и для мелкой фракции луба. Следовательно, данное соотношение является самым целесообразным на основе тех исследований, что были проделаны в данной работе.

Таблица 3. **Пронормированные значения для всех экспериментов**

	Соотношение	**Плотность**	**Зольность**	**Проч-ность**	**Энергия активации**	**Целевая функция**
Фракция луба 0,25-0,8 мм Фракция сосны 0,2-0,25 мм	1:0	0,05	0,05	0,80	0,09	0,68
	5:1	0,00	0,00	0,00	0,02	-0,02
	7:1	0,02	0,09	0,27	0,01	0,18
	10:1	0,06	0,16	0,60	0,00	0,50
	15:1	0,09	0,17	0,80	0,02	**0,69**
	20:1	0,05	0,13	0,80	0,04	0,68
Фракция луба 2,5-5,0 мм Фракция сосны 0,2-0,25 мм	1:0	0,06	0,20	0,81	0,26	0,42
	5:1	0,00	0,28	0,00	0,00	-0,28
	7:1	0,02	0,32	0,66	0,10	0,26
	10:1	0,09	0,13	0,41	0,29	0,08
	15:1	0,17	0,00	0,81	0,44	**0,55**
	20:1	0,08	0,21	0,81	0,19	0,50

В ходе работы были определены основные ГОСТирумые и нормируемые показатели качества пеллет – плотность, зольность, механическая прочность и энергия активации основной лимитирующей ступени. На основе полученных нормированных данных была получена целевая функция для каждого образца и выбран один оптимальный состав. Для фракций луба 0,25–0,8 мм и 2,5–5,0 мм был найден образец с наилучшими теплофизическими свойствами, полученный с соотношением компонентов луба и хвои сосны 15:1.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Белова Н.А. Солнечная энергия как источник электрической энергии // Современные научные исследования: актуальные вопросы. Достижения и инновации. 2021. С. 13.
2. Шорохова К.С. Геотремальная энергия в Исландии // Современные материалы, техника и технологии. 2021. С.496-499.
3. Khalil M. Waste to energy technology: The potential of sustainable biogas production from animal waste in Indonesia. 2019. Pp. 323-331.
4. Erensoy A. The system design of the peat-based microbial fuel cell as a new renewable energy source: The potential and limitations // Alexandria engineering journal. 2022. Pp. 8743-8750.
5. Орлов Г.М., Игнатьева О.А., Васин А.Г., Низомутдинов Б.А. Современные методы обработки и анализ данных: учебное пособие. 2021. С. 147.

Выпускник
Медведев Анатолий Андреевич
факультет цифровых трансформаций
Направление подготовки: 01.04.02 – Прикладная математика и информатика
e-mail: anatolmdvdv@gmail.com

Научный руководитель
Басов Олег Олегович
д.т.н., доцент
e-mail: oobasov@itmo.ru

УДК 004.8

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УВЕРЕННОСТИ ВЫСКАЗЫВАНИЙ ЧЕЛОВЕКА НА ОСНОВЕ МУЛЬТИМОДАЛЬНОГО АНАЛИЗА НЕВЕРБАЛЬНЫХ СИГНАЛОВ

Работа выполнена в рамках темы НИР № 622279 «Разработка сервиса оценки состоятельности экспертного мнения на основе динамического интеллектуального анализа видеоконтента».

Современный рынок труда требует от работодателей ускорения процесса подбора и сокращения затрат на найм новых сотрудников. В условиях пандемии COVID-19 онлайн-конференции стали все более распространенным способом проведения собеседований. Однако, проведение собеседований в онлайн-формате может создать дополнительные сложности в оценке уровня подготовки кандидата, что может снизить эффективность процесса найма. Основной проблемой научно-исследовательской работы является определение взаимосвязи между коммуникативными сигналами и уверенностью кандидата. В этой связи, актуальной задачей является разработка модели для анализа поведения человека в процессе онлайн-собеседования. С помощью данной модели HR-специалисты и работодатели могут получить дополнительную информацию об уверенности кандидата для более точной оценки его навыков. При этом основой для формирования уверенности служит позитивный опыт решения кандидатом социальных задач и успешного достижения поставленных целей.

Объектом научно-исследовательской работы является анализ коммуникативных сигналов в задаче определения уверенности высказываний человека.

Предметом научно-исследовательской работы является применение методов компьютерного зрения и глубокого обучения в задаче анализа коммуникативных сигналов человека.

Целью научно-исследовательской работы является разработка алгоритма и модели для определения уверенности высказываний человека на основе мультимодального анализа вербальных и невербальных сигналов с использованием методов глубокого обучения.

Микро- и макровыражения – это невербальные сигналы, которые возникают в ситуациях, когда человек вынужден скрывать свои истинные эмоции или лгать. Теория утечки эмоций предполагает, что лжецы испытывают тревогу и страх, которые невозможно скрыть, когда они лгут [1]. Другие исследования показывают, что агрегация признаков из звукового и визуального каналов позволяет превзойти качество унимодальных систем [2]. Одним из распространенных методов определения невербальных сигналов человека является отслеживание движений мимики лица, их частоты и амплитуды, взаимосвязи между движениями и вербальными сигналами. Для распознавания мимических движений используется метод лицевых ориентиров. Лицевые ориентиры – это определенные точки на лице человека, которые включают области глаз, бровей, носа, губ, подбородка и мимических мышц.

Задача распознавания выражений лица и вербальных сигналов подразумевает использование обширного и разнообразного набора данных. Набор данных должен включать

видео, снятые в естественных условиях, с различными условиями освещения и разрешения камеры. Комплексность задачи, а также уникальные сферы применения в таких областях, как психология, неврология, медицинская статистика, профайлинг и ораторское искусство, требуют индивидуального подхода к каждой конкретной задаче, что не позволяет использовать открытые наборы данных, собранные в строго контролируемых условиях, либо не имеющих разметки.

Эксперимент научно-исследовательской работы включал в себя сбор набора данных, состоящего из записей реальных видеоинтервью, в которых участники давали заранее определенные уверенные или смоделированные ложные ответы на вопросы. Таким образом, появляется возможность сформировать портрет уверенного кандидата, который можно использовать в дальнейшей задаче классификации уверенности/не уверенности человека при ответах на поставленные вопросы. Данные были собраны с помощью сервиса для прохождения видеоинтервью «Аватар» Национального центра когнитивных разработок Университета ИТМО. Использование сервиса «Аватар» позволило приблизить условия сбора данных к тем, в которых планируется использовать разработанный алгоритм, а именно к условиям профессиональных интервью. Сбор видеоинтервью проходил в 3 этапа: общего, профессионального и личного характера. Первый этап заключался в сборе ответов на вопросы о личном и профессиональном портрете человека. Вопросы на профессиональном и личном этапах видеоинтервью были подготовлены психологической группой после просмотра ответов человека на первом этапе. Вопросы были сосредоточены на ситуациях и объектах, напрямую связанных с человеком. Экземпляры набора данных представляют собой видеофрагменты, записанные участником видеоинтервью с помощью веб-камеры. При этом в кадр полностью попадает лицо участника. Изображение лица четкое, строго в анфас. Каждое видео содержит аудиоканал. Каждый из участников находился в естественной обстановке.

На рисунке 1 изображено сравнение общей длительности видеофрагментов в разрезе выборки данных и класса уверенности высказываний кандидата.

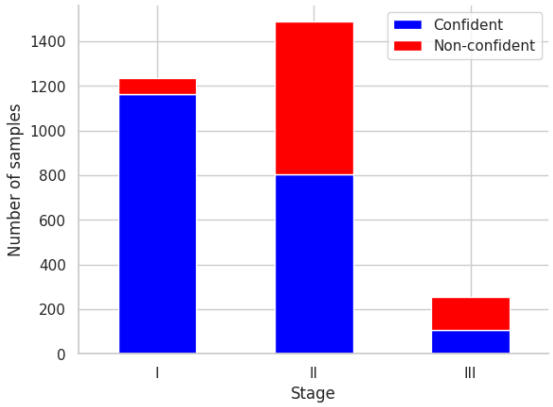


Рис. 1. Исследование объема собранного набора данных

В ходе научно-исследовательской работы был разработан алгоритм для оценки уровня уверенности человека через следующие показатели:

1. Вербальные сигналы (изменения громкости голоса, темп речи, изменения тона, доля неречевых звуков, эмоциональный окрас речи).
2. Невербальные сигналы (изменения мимики лица, повороты головы).

Алгоритм определения уверенности принимает на вход видео выступления человека, из которого извлекаются последовательности кадров и аудио сэмплов продолжительностью 10 секунд. Для анализа мультимодального потока используется модель трансформер [3].

Для извлечения невербальных признаков из видео существует два сценария:

1. Извлечение вектора выражения лица человека. Для этого используется сверточная нейронная сеть BlazeFace с модулем Face Mesh [4]. Сеть BlazeFace принимает на вход изображение кадра видеоряда в тензорном представлении, сжатом до 256×256 пикселей, из которого модуль Face Mesh извлекает вектор из 478 точек лица, как изображено на

рисунке 2. Изучение отдельных групп точек мимики позволяет определить моменты мимической активности по движениям губ, взгляду и положению головы. Для этого по 478 координатам рассчитывается вектор мимики человека в каждом изучаемом временном окне. Изменения мимического вектора интерпретируются как движения. Характеристика поворота головы отражает состояние того, повернута ли голова или нет в данный момент времени.

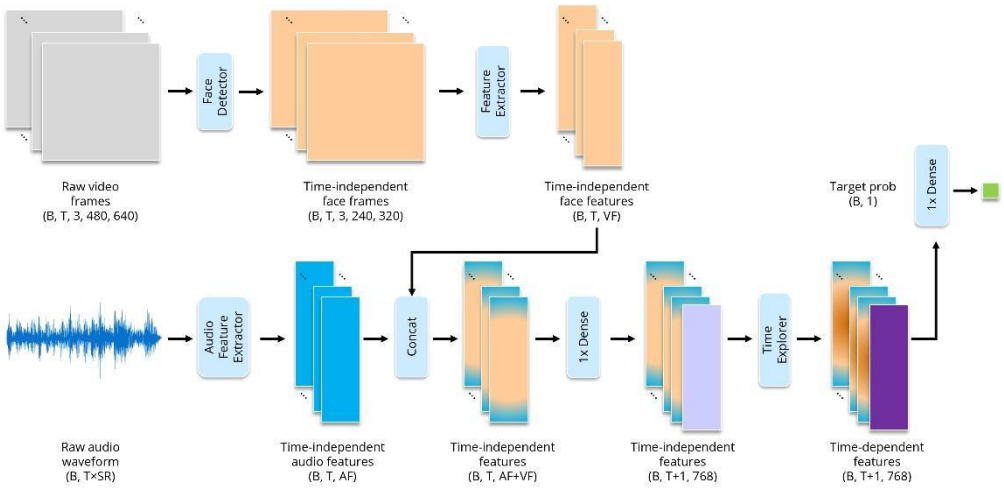


Рис. 2. Схема предлагаемого подхода

2. Во втором сценарии вместо точек лица используются высокоуровневые признаки, извлеченные непосредственно из изображения, как изображено на рисунке 3. Для этого используется сверточная нейронная сеть TinaFace, которая извлекает из кадра изображение лица человека в реальном размере и векторизует его [5].

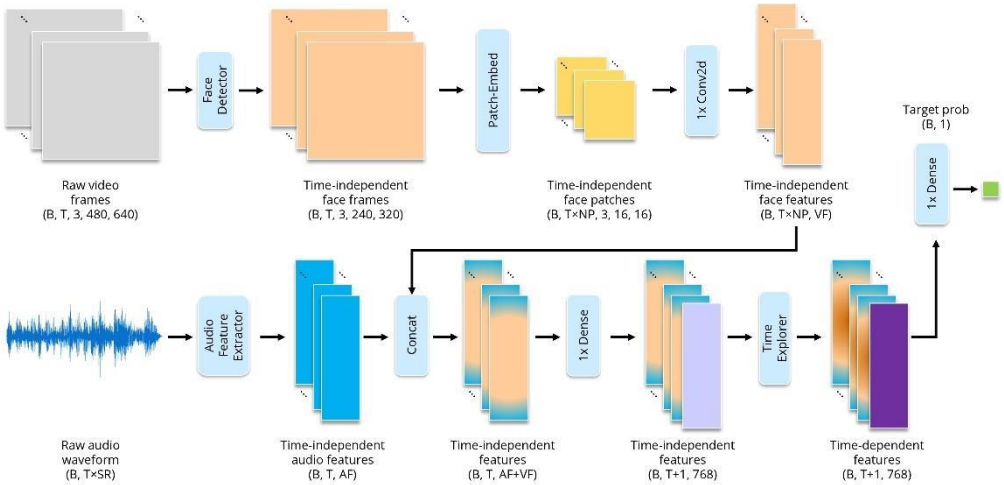


Рис. 3. Схема предлагаемого подхода, в котором черты лица заменяются картами признаков

Для извлечения вербальных признаков из аудиопотока также существует два сценария:

1. Извлечение из аудиопотока интерпретируемых атрибутов, таких как эмоции, дрожание голоса, тон, частота, амплитуда, количество и продолжительность пауз.
2. Использование мел-кепстральных коэффициентов. Для этого аудиопоток преобразуется в спектрограмму, по которой рассчитываются мел-кепстральные коэффициенты.

Аудио и видео признаки объединяются в соответствии с их размерностью, образуя поток мультимодальных функций. К этому потоку добавляется обучаемый вектор, в группе с которым поток относительно размерности времени передается в сеть трансформер. Обогащенный вектор передается на вход полносвязного слоя для финальной классификации.

На выходе модели находятся два нейрона с сигмоидной функцией активации. Значение в пределах 50% соответствует низкой степени уверенности кандидата. Значения от 50% до 70% соответствуют средней степени уверенности эксперта. Значения, превышающие 70%, соответствует более высокой степени уверенности.

Для оценки точности собранный набор данных был разделен на обучающую и валидационную выборки. Данные для валидационную выборки составляют 20% от общего размера набора данных.

Таблица. **Результаты эксперимента**

Accuracy	Precision	Recall	F1	ROC AUC
0.831 ± 0.04	0.834 ± 0.04	0.833 ± 0.04	0.83 ± 0.04	0.83

По результатам, представленным в таблице, предложенный метод использования лицевых точек, углов поворота лица и аудио признаков показывает среднюю точность 83,1%. В научно-исследовательской работе также сравниваются различные звуковые и визуальные характеристики и комбинации, демонстрируя, что представленный подход обеспечивает сопоставимый баланс между точностью и производительностью. С ростом популярности онлайн-собеседований как инструмента найма новых сотрудников возникает необходимость в разработке новых методов и технологий, способных повысить эффективность данного процесса.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Ekman P., Friesen W.V. Non-Verbal Leakage and Clues to Deception // Social Encounters: Contributions to Social Interaction. 2017. Pp. 132-148.
2. Gupta V., Agarwal M., Arora M., Chakraborty T., Singh R., Vatsa M. Bag-Of-Lies: A Multimodal Dataset for Deception Detection // Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. 2019. Doi: 10.1109/CVPRW.2019.00016.
3. Sinko M.V., Medvedev A.A., Smirnov I.Z., Laushkina A.A., Kadnova A., Basov O.O., Method of constructing and identifying predictive models of human behavior based on information models of non-verbal signals // Procedia Computer Science. 2022. №. 212. Pp. 171-180.
4. Kartynnik Yu., Ablavatski A., Grishchenko I., Grundmann M., Real-time Facial Surface Geometry from Monocular Video on Mobile GPUs // CVPR Workshop on Computer Vision for Augmented and Virtual Reality. 2019. arXiv:1907.06724.
5. Zhu Y., Cai H., Zhang S., Wang C., Xiong Y. TinaFace: Strong but Simple Baseline for Face Detection // Proceedings of the Computer Vision and Pattern Recognition. 2020. arXiv:2011.13183v3.

Выпускник
Набилкова Александра Олеговна
научно-образовательный центр фотоники и оптоинформатики
Направление подготовки: 12.04.03 – Фотоника и оптоинформатика
e-mail: aonabilkova@itmo.ru

Научный руководитель
Цыпкин Антон Николаевич
д.ф.м.н., в.н.с.
e-mail: tsypkinan@itmo.ru

УДК 535.14

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ТЕРАГЕРЦОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В ЖИДКИХ ДИСПЕРСИОННЫХ НЕЛИНЕЙНЫХ СРЕДАХ

Работа выполнена в рамках темы НИРМА №621317 «Температурная зависимость нелинейного показателя преломления жидкой воды в ТГц диапазоне спектра».

Аналитическая формула для нелинейного показателя преломления включает коэффициент теплового расширения в степени двойки, который зависит от температуры. В случае жидкой воды этот коэффициент равен нулю вблизи 4°C, что должно приводить к нулевому нелинейному показателю преломления при этой температуре. Научная группа Новелли [1] сообщили, что нелинейный отклик жидкой воды на частоте 1 ТГц аналогичен при 21°C и 4°C, и на основании этого результата заявили, что теория колебательной нелинейности в терагерцовом диапазоне является неверной теорией. Однако стоит отметить, что нет оснований оценивать нелинейный отклик показателя преломления в терагерцовом диапазоне частот по нелинейному поглощению. Чтобы экспериментально продемонстрировать это утверждение, была проведена серия экспериментов по температурной зависимости нелинейного показателя преломления в жидкой воде и полученные результаты были сравнены с кривой, рассчитанной с использованием теории колебательной нелинейности. Измерения проводились методом z-сканирования с центральной частотой одноперiодного импульса 0,75 ТГц.

1. **Экспериментальное получение зависимости n_2 от температуры.**

Верификация зависимости нелинейного показателя преломления n2 от температуры воды состояла из серии экспериментов, основанных на классическом методе z-сканирования с использованием импульсного источника терагерцового излучения на основе кристалла ниобата лития. Экспериментальная установка представлена на рисунке 1. Генерация высокоинтенсивных ТГц импульсов осуществляется за счет эффекта оптического выпрямления в кристалле MgO:LiNbO3 фемтосекундного оптического импульса со следующими параметрами: энергия импульса 1 мДж, длительность импульса 35 фс, центральная длина волны 790 нм и частота повторения 1 кГц. Интенсивность ТГц излучения при фокусировке параболическим зеркалом с фокусным расстоянием 1 дюйм составляет 10^8 Вт/см^2.

Отличительной особенностью эксперимента было использование струи жидкости [2], а не ячейки. Струя имела плоскую водную поверхность с ламинарным течением толщиной 100 мкм и была ориентирована по нормали к падающему излучению. Постоянная плоскостность контролировалась с помощью автокоррелятора второго порядка. Из-за субволновой толщины струи (центральная длина волны используемого терагерцового импульса 0,4 мм) погрешность оценки n_2 методом z-сканирования составляет всего 2% [3]. Таким образом, делаем вывод, что параметры струи жидкости не могли мешать измерениям и позволяли избежать накопительного теплового эффекта, вызывающего тепловую нелинейность, мешающую измерениям колебательной нелинейности, что было показано в предыдущих работах. Вклад тепловой нелинейности был рассчитан в дополнительных материалах [2] и очень мал в случае использования струи.

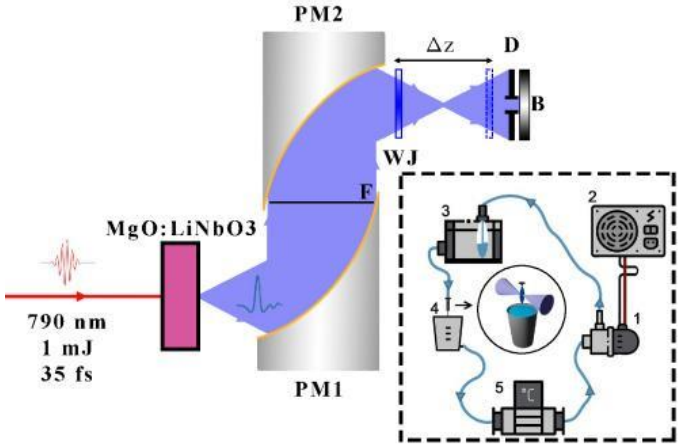


Рис. 1. Оптическая схема состоит из параболических зеркал (PM1 и PM2) для фокусировки; тефлонового фильтра (F) для фильтрации излучения накачки; болометра (B), диафрагмы (G). Система формирования струи воды (WJ), которая состоит из: 1 – насоса, 2 – источника питания, 3 – накопительного бака, 4 – сопла, 5 – блока регулирования температуры

Температура воды контролировалась коммерческим чиллером с погрешностью ± 0,1%. Чиллер был размещен перед водяным насосом. Учитывая тот факт, что каждый новый импульс взаимодействовал с новым объемом воды, а импульсы генерировались с частотой 1 кГц, и также принимая во внимание, что струя находится в открытой среде и температура жидкости может изменяться при откачке из резервуара чиллера, в эксперименте именно под струю помещался датчик температуры (с указанной погрешностью). Таким образом, контролировалась температура жидкости, непосредственно участвующей во взаимодействии с ТГц импульсами. Температура в экспериментах изменялась от 14°C до 21°C, что объясняется особенностями проведения эксперимента. Для перемещения вдоль оси распространения излучения сопло устанавливалось на линейную подвижку. Измерение распределения ТГц поля проводилось методом открытой и закрытой апертуры [3] для исключения влияния нелинейного поглощения на результаты.

На рисунке 2 показаны результирующие кривые z-сканирования, полученные путем деления данных для случая с закрытой апертурой на данные для случая с открытой апертурой. Эти кривые нормированы на энергию терагерцового импульса в режиме линейного распространения. Диапазон смещения струи вдоль оси распространения излучения составлял 10 длин Рэлея, которая при используемых параметрах фокусировки составляет 0,96 мм.

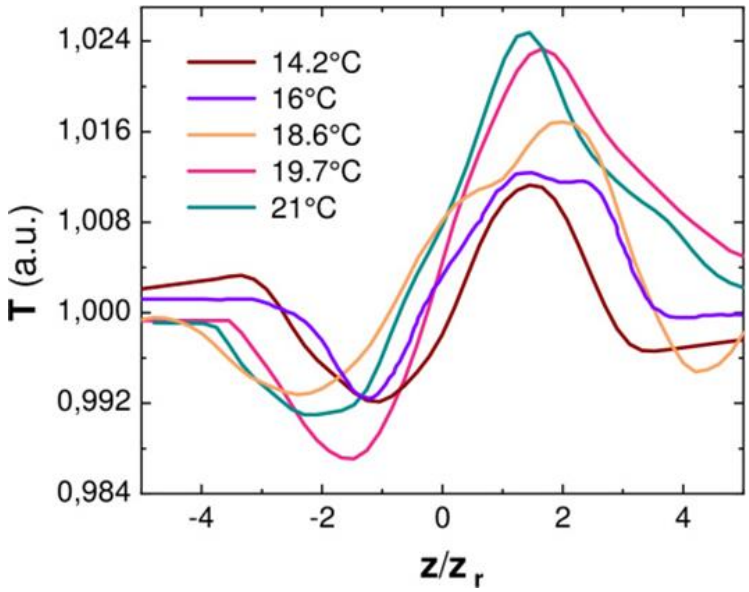


Рис. 2. Экспериментальные z-скан кривые для различных температур

Как видно из рисунка 2, отношение пика к впадине резко меняется с увеличением температуры воды. Используя стандартную формулу расчета n_2, при соблюдении рекомендаций по работе с одноперiодными импульсами были получены значения n_2 для различных температур.

2. Теоретическое получение зависимости n2 от температуры.

Используя математическую модель нерезонансного колебательного вклада в нелинейный показатель преломления [4], зависимость $n_2(t)$ от температуры можно записать в виде (выражение 1). Показано, что слагаемым, сильно влияющим на вид кривой нпп в зависимости от температуры, в выражении (1) является коэффициент теплового расширения αT (t), значения которого для воды были уточнены в [5]. На рисунке 3 представлена зависимость n_2 от температуры для воды, рассчитанная по формуле (1) по значениям коэффициента теплового расширения αT(t) и наложенная на экспериментальные данные. Наборы экспериментальных данных были взяты независимо друг от друга для подтверждения повторяемости. Полученные результаты показывают, что снижение температуры воды приводит к уменьшению значения n_2, что полностью согласуется с представленной теоретической моделью. Это подтверждает, что возникающая кубическая нелинейность имеет колебательную природу.

$$n_{2,\nu}(T) = \frac{n_{2,\nu}^{(1)}(0)}{n(T)\backslash n_0}\,\frac{1-8\left(\frac{\nu}{\nu_0}\right)^2}{\left(1-\left(\frac{\nu}{\nu_0}\right)^2\right)^4\left(1-\left(2\frac{\nu}{\nu_0}\right)^2\right)} - \frac{n_{2,\nu}^{(2)}(0)}{n(T)\backslash n_0}\,\frac{1}{\left(1-\left(\frac{\nu}{\nu_0}\right)^2\right)^4},$$

$$n_{2,\nu}^{(1)}(0) = \frac{3a(T)_1^2 m^2 \omega_0^4 \alpha_T^2(T)}{32 n_0(T)\pi^2 q^2 N(T)^2 k_B^2}\left[n_{0,\nu}^2 - 1\right]^3,$$

$$n_{2,\nu}^{(2)}(0) = \frac{9}{32\pi N(T) n_0(T)\hbar\omega_0}\left[n_{0,\nu}^2(T) - 1\right]^2. \qquad (1)$$

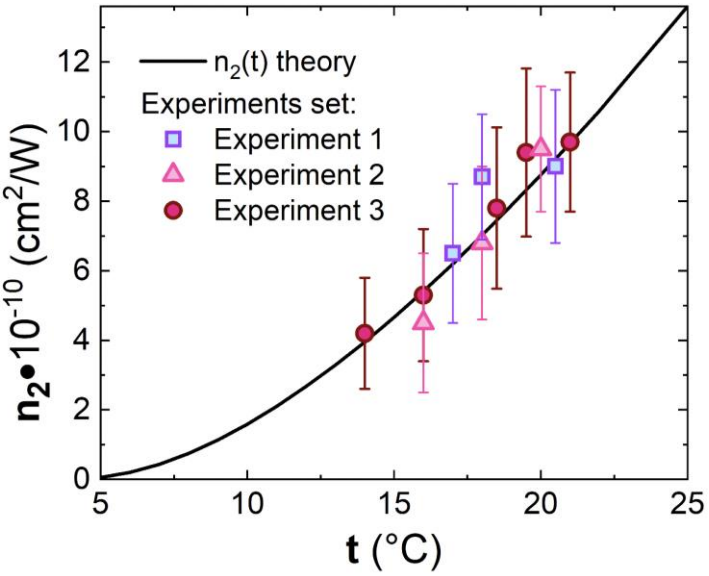


Рис. 3. Сравнение экспериментальных данных с аналитической кривой зависимости n_2 от температуры

Из результатов видно, что использование библиотек набора RAPIDS позволяет значительно ускорить процесс выполнения математических операций при работе с большим объемом данных.

3. Зависимость других параметров от температуры.

Далее был проведен подробный анализ компонентов выражения (1) для выявления тех, которые могу зависеть от температуры также сильно, как и коэффициент термического расширения α_T (t). В выражении (1) присутствуют следующие параметры: a_1 – молекулярный диаметр, m – приведенная масса колебательной связи, ω_0 – центральная частота валентной колебательной связи, α_T (T) – коэффициент теплового расширения, n_0(T) – линейный показатель преломления в ТГц диапазоне, q – эффективный заряд колебательной связи, N(T) – плотность числа колебательных единиц, k_B – постоянная Больцмана, $n_{\omega \ll \omega 0,v}$ (T) – колебательный вклад в нерезонансную низкочастотный показатель преломления, h – приведенная постоянная Планка. Температурные зависимости перечисленных параметров уточняются в работах [5]. Включение температурной дисперсии показателя преломления в ТГц диапазоне в выражение (1) ведет к сильному разбросу аналитических кривых: чем меньше показатель преломления, вокруг которого существует температурных разброс значений, тем меньше значения нелинейного показателя преломления, что продемонстрировано на рисунке 4.

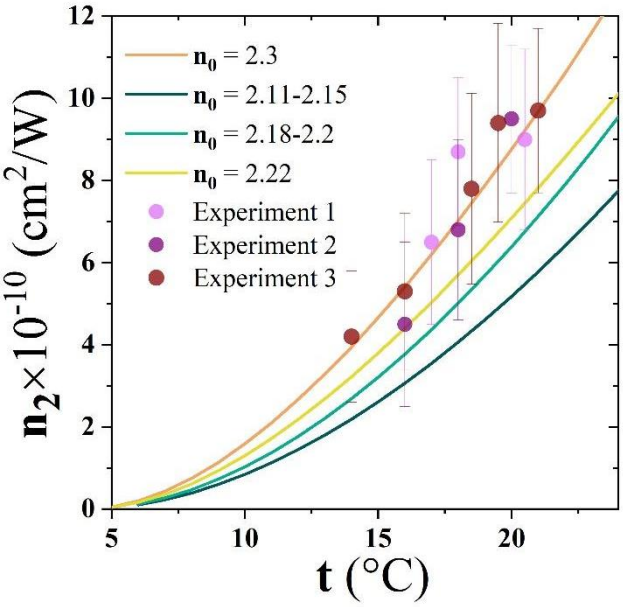


Рис. 4. Сравнение экспериментальных данных с аналитическими кривыми зависимости n_2 от температуры при различных параметрах линейного показателя преломления в ТГц диапазоне

4. Теоретический расчет дисперсии нелинейного показателя преломления на основе теории колебательной нелинейности.

Методом z-сканирования измерены нелинейные коэффициент преломления n_2 на терагерцовых частотах для нескольких жидкостей, что на рисунке 5 отмечено точками с отметками диапазонов погрешности. Точки, обозначенные зеленым и красным, являются результатами измерения на z-скан стенде нашей лаборатории. Стоит отметить, что для корректного и правильного получения точки на оси частот необходимо использовать непрерывные источники излучения, где эффект от широкого спектра импульса минимален и не влияет на измерения. Значения дисперсии n_2 для воды, изопропанола и этанола рассчитаны для терагерцового диапазона спектра и показаны на рисунке 5 линиями. Расчетная дисперсия значений n_2 для этих жидкостей различается в зависимости от диапазона частот и типа жидкости. В частности, значения n_2 для воды колеблются от $3{,}9 \times 10^{-10}$ см^2/Вт до $5{,}9 \times 10^{-10}$ см^2/Вт, а для изопропанола варьируются от $1{,}8 \times 10^{-9}$ см^2/Вт до 2×10^{-9} см^2/Вт, а для этанола – от $7{,}8 \times 10^{-9}$ см^2/Вт до $8{,}8 \times 10^{-9}$ см^2/Вт. Эти высокие нелинейности в терагерцовом диапазоне могут быть использованы в самоуправляемых системах радиационной фотоники. Например, их можно использовать для создания простых, недорогих, компактных и работающих при комнатной температуре ТГц-источников с

широким диапазоном перестройки. В то время как дисперсия нпп весьма заметна при приближении к двухфотонному резонансу с основной колебательной модой среды, далекой от резонансной частоты, ее вклад весьма мал, поэтому многие модели распространения высокоинтенсивного излучения через среды с нелинейностью не учитывали вклад дисперсии нпп. Однако в возникает вопрос о целесообразности пренебрежения этим вкладом в связи отклонением 15–20% от постоянной величины.

Дополнительно были проведены экспериментальные измерения значения нелинейного показателя преломления для изопропанола на частоте 0,75 ТГц и максимальной интенсивности в перетяжке лазерного пучка равной 1×10^8 Вт/ см^2. Полученное значение составляет $1{,}8 \times 10^{-9}$ см^2/Вт, следовательно полученная кривая дисперсии нпп попадает в диапазон погрешности проведенного измерения.

5. Выводы.

В настоящем проекте впервые измерена температурная зависимость нелинейного показателя преломления воды в терагерцовом диапазоне спектра. Экспериментально показано, что при изменении температуры от 14°C до 21°C значение нелинейного показателя преломления воды в спектральном диапазоне от 0,2 до 1 ТГц изменяется от 4×10^{-10} см^2/Вт до 10×10^{-10} см^2/Вт. Влияния накопительного теплового эффекта на нелинейность удалось избежать за счет использования струи жидкости вместо ячейки.

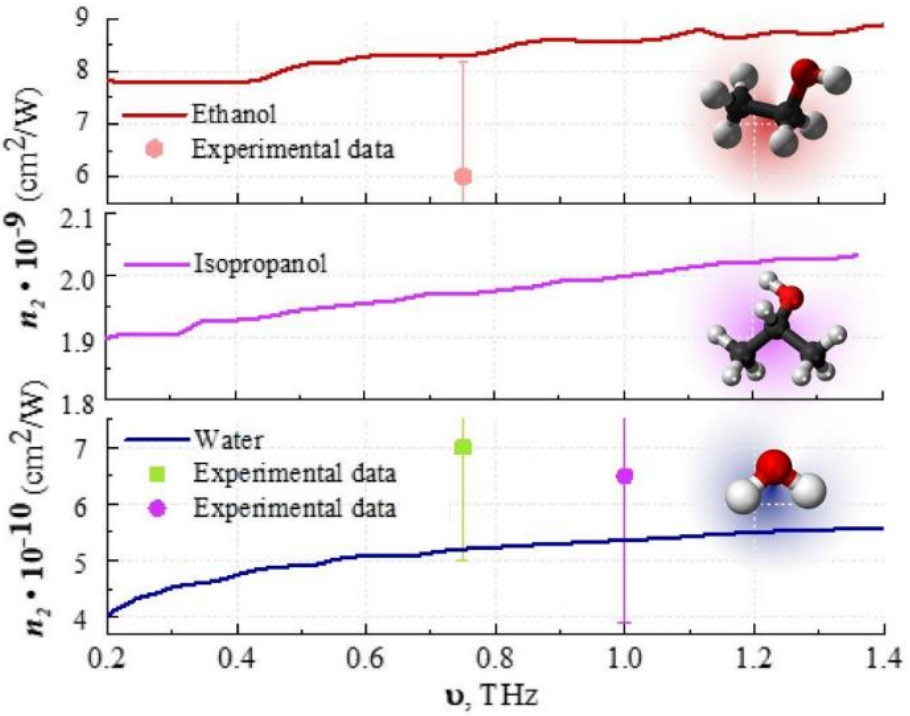


Рис. 5. Дисперсионные кривые нелинейного показателя преломления для воды, этанола и изопропанола

Теоретически показано, что измеренная зависимость нелинейного показателя преломления воды от температуры соответствует зависимости квадрата коэффициента теплового расширения воды от температуры. Это новое и значимое подтверждение колебательной природы гигантской малоинерционной нелинейности показателя преломления в терагерцовом диапазоне жидкостей.

Востребованность нелинейных оптических явлений в устройствах фотоники обусловлена их сверхбыстрым откликом. Например, имеются возможности создания модулятора на основе нелинейного интерферометра Фабри-Перо для терагерцового диапазона спектра. Модуляция излучения происходит за счет быстрого изменения показателя преломления материала при изменении его интенсивности. Более медленный процесс изменения температуры и, соответственно, управление величиной нелинейного коэффициента

преломления может изменить сам характер модуляции: от бистабильного режима интерферометра, который используется для создания оптической памяти, к нелинейному режиму передачи, который является особенностью оптического транзистора.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Novelli F., Millon C., Schmidt J., Ramos S., van Dam E.P., Buchmann A., Saraceno C., Havenith M. Temperature-independent non-linear terahertz transmission by liquid water // Chemical Physics. 2022. arXiv preprint arXiv:2206.03998.
2. Fülöp J.A., Pálfalvi L., Klingebiel S., Almási G., Krausz F., Karsch S., Hebling J. Generation of sub-mJ terahertz pulses by optical rectification / Opt. Lett. 2012. №. 37(4). DOI: 10.1364/OL.37.000557.
3. Melnik M., Vorontsova I., Putilin S., Tcypkin A., Kozlov S., Direct Nonlinear Refractive Index Coefficient Measurement of Water in THz Frequency Range / Sci.Reports. 2019. P. NTu2B.4.
4. Dolgaleva K., Materikina D.V., Boyd R.W., Kozlov S.A. Prediction of an extremely large nonlinear refractive index for crystals at terahertz frequencies // Phys. Rev. 2015. A 92. P. 023809.
5. Nabilkova A., Ismagilov A., Melnik M., Tsypkin A., Guselnikov M., Kozlov S., Zhang X.-C. Controlling water giant low-inertia nonlinear refractive index in the THz frequency range via temperature variation // Opt. Lett. 2023. №. 48. Pp. 1312-1314.

Выпускник
Петров Вячеслав Сергеевич
факультет технологического менеджмента и инноваций
Направление подготовки: 27.04.05 – Инноватика
e-mail: Vyacheslav-petrov-99@bk.ru

Научный руководитель
Соловьева Дина Витальевна
к.э.н., доцент
e-mail: dvsoloveva@itmo.ru

УДК 339.138

УПРАВЛЕНИЕ ОПЫТОМ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ КОНЦЕПЦИИ КОГНИТИВНОГО МАРКЕТИНГА

Работа выполнена в рамках темы НИР №621280 «Методы проектирования и развития инновационных и предпринимательских систем в условиях изменений трендов, вызовов и бизнес-моделей».

Когнитивный маркетинг как теория может дать целостное представление о закономерностях развития потенциального спроса на рынке, базируясь на изучении когнитивных процессов, характеризующих сознание потребителя. Теория когнитивного маркетинга – это результат тесной интеграции маркетинга, психологии и когнитивной нейробиологии в попытке объяснить способы формирования и стимулирования потенциального спроса на продукты и услуги субъектов рынка. При этом когнитивный маркетинг не ограничивается только объяснением поведения потребителя и процесса принятия им решений, а активно разрабатывает инструментарий для управления опытом потребителей [1].

Актуальность темы выпускной квалификационной работы с научной точки зрения обусловлено тем, что исследование является комплексным, объединяет эффективные инструменты маркетинга, психологии, когнитивной нейробиологии для управления иррациональным поведением потребителей.

С прикладной точки зрения управление опытом потребителей на иррациональном уровне позволяет выстроить долгосрочные и устойчивые отношения потребителей с брендом. Метод направлен на построение системы управления опытом потребителей на всех этапах взаимодействия потребителей с брендом, учитывая модели поведения.

Объектом исследования, как уже упоминалось выше являются B2C бренды, которые уже применяют когнитивный маркетинг или потенциально могут его применить. Предмет исследования – теоретические, методологические и прикладные аспекты управления опытом потребителей на основе концепции когнитивного маркетинга.

Цель исследования – разработать метод управления опытом потребителей на основе концепции когнитивного маркетинга.

В основе большой идеи авторского метода управления опытом потребителей на основе концепции когнитивного маркетинга лежит идея: «Управление опытом потребителей на основе концепции когнитивного маркетинга – это направленное на достижение взаимовыгодного результата долгосрочное путешествие самоосознанных личностей бренда и потребителя, объединенных совместными усилиями, общими ценностями, интересами каждой из сторон».

Используемая метафора «Путешествие» отражает основные черты, присущие процессам управления опытом потребителей. Она показывает, что бренд и потребители, как спутники, имеют свои ценности, интересы, желаемые выгоды. Путешествие – возможность для них достигнуть желаемых выгод за счет непрерывного сотрудничества.

Метод отражает комплексный подход к управлению опытом потребителей, так как включает в себя аналитический этап, этап целеполагания, этапы формирования стратегических альтернатив и тактических решений, этап оценки эффективности. Кроме того, в основе метода лежит концепция когнитивного маркетинга, которая применяется на всех этапах.

1 этап. Аналитический этап разделен на несколько важных частей [2, 3]. В первую очередь проводится анализ бренда – самоосознание личности бренда. Это реализовано посредством применения ряда авторских и существующих моделей. Анализ бренда начинается с прихода к пониманию бизнес–процессов, так как управление опытом потребителей тесно связано не только с маркетинговой деятельностью компании. Для этого предлагается использовать модель анализа компании.

Далее анализируется непосредственно бренд. Для этого автором предлагается применять авторскую модель багаж бренда «Luggage». Она позволяет комплексно и всесторонне взглянуть на бренд. Определить цели путешествия, характеристики бренда, RTB, позиционирование, самовосприятие и самоосознание, кратко описать эмоции. Данная модель представлена на рисунке.

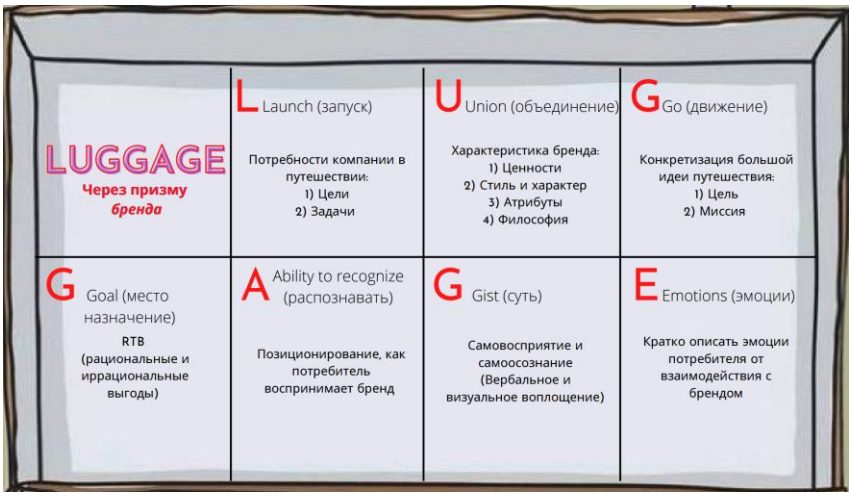


Рисунок. Багаж бренда Luggage

После анализа бренда необходимо реализовать следующий аспект – обеспечить самоосознанность личность потребителя. Целесообразно провести не менее пяти глубинных интервью и количественный опрос для понимания рациональных и иррациональных аспектов поведения потребителей. Данная информация является достаточной базой для анализа потребностей и поведения аудитории посредством авторской модели и представлена в таблице 1.

После анализа потребителей важно провести оценку внешней среды и трендов. Для этого рекомендуется использовать PEST-анализ и модель оценки трендов.

Следующим этапом аналитической части является анализ конкурентной среды. Для это необходимо проанализировать, как конкуренты взаимодействуют с потребителем, как другие бренды управляют опытом потребителей и устанавливают тесные связи. Здесь важно помнить о том, что каждый конкурент – спутник со своим целевым потребителем. Поэтому важным условием становится не только описание бренда-конкурента, но и проанализировать, как он «борется» за потребителей, совершает с ним «путешествие». В таблице 2 представлена авторская модель оценки конкурентов.

Таблица 1. **База для анализа потребностей и поведения аудитории посредством авторской модели**

Стадии пути потребителя	**Потреб-ности**	**Типичная ситуация потребления**	**Рациональные факторы**	**Иррациональные факторы**	**Итог**
Формирование осведомленности о бренде					
Принятие решения о взаимодействии с брендом					
Целевое действие					
Потребление					
Отношения с брендом (лояльность, воспоминания о бренде)					
Искомая выгода					

Таблица 2. **Авторская модель оценки конкурентов**

Стадии пути потребителя	**Конкурент 1**	**Конкурент 2**	**Конкурент 3**	**Конкурент 4**
Продукт				
Цена				
Каналы коммуникаций				
Аудитория				
Позиционирование				
Коммуникации				
Продвижение				
Восприятие качества				
Дополнительные фишки				
Используемые механики во взаимодействии с потребителем				

Итогом этапа становится анализ лучших «бенчмарок» по авторской модели багаж бренда и составление более детального, проработанного багажа бренда рассматриваемой компании.

Итогом аналитического этапа является определение типа B2C бренда в авторской классификации, а также формирование пути взаимодействия бренда и потребителей с учетом когнитивных аспектов.

2 этап. Следующим этапом после аналитического является этап целеполагания [2, 3]. На данном этапе бренду необходимо соотнести цели более высокого уровня с целями управления опытом потребителей. Кроме того, здесь необходимо смоделировать желаемые улучшения системы управления опытом потребителей.

3 этап. На основе информации, полученной на аналитическом этапе и этапе целеполагания осуществляется формирование стратегических альтернатив управления опытом потребителей [3, 4]. Затем на основании специальной модели выбирается одна стратегическая альтернатива, которая более подробно наполняется содержанием.

В рамках авторского метода управления опытом потребителей на основе концепции когнитивного маркетинга были разработаны три стратегические альтернативы.

Стратегия пользы – стратегия, направленная на получение взаимной выгоды — пользы. Стратегия удобства – стратегия, направленная на получение взаимной выгоды — удобства.

Стратегия удовольствия – стратегия, направленная на получение взаимной выгоды — удовольствия.

Стратегические альтернативы отличаются по ряду критериев, однако наиболее ключевой – преобладающий аспект – рациональный или иррациональный. Выбор стратегических альтернатив осуществляется с помощью контрольных вопросов:

- Соответствует ли стратегия управления опытом бренд-стратегии?
- Соответствует ли ориентир типу бренда?
- Какая из стратегий соответствует желаемым рациональным выгодам со стороны аудитории?
- Какая из стратегий соответствует желаемым иррациональным выгодам со стороны аудитории?
- Соответствует ли ключевой месседж взглядам, ценностям аудитории?
- Соответствует ли опыт потребителя типичной модели поведения?

4 этап. На следующем этапе формируются тактические решения для управления опытом потребителей посредством нестандартных маркетинговых коммуникаций. Для удобства представления тактических решений, а также реализации концепции когнитивного маркетинга была разработана модель формирования тактических решений, представленная в таблице 3.

Таблица 3. **Модель формирования тактических решений**

Название проекта	**Решение 1**	**Решение 2**
Цель проекта		
Содержание		
Сегмент целевой аудитории		
Рациональное поведение		
Иррациональное поведение		
Часть пути потребителя		
Точки контакта		
KPI		

5 этап. Процесс управления опытом потребителей на основе концепции когнитивного маркетинга требует постоянного анализа и тестирования предлагаемых решений как на стратегическом, так и на тактическом уровне.

Для оценки эффективности управления опытом потребителей на основе концепции когнитивного маркетинга предлагается использовать качественные и количественные метрики.

Авторский метод управление опытом потребителей на основе концепции когнитивного маркетинга был апробирован на ряде практических кейсах: «Почта России» – оператор российской почтовой связи общего пользования, «Mytimefitness» – сеть фитнес-клубов в Санкт-Петербурге, «Joki Joya» – семейный парк развлечений, «Azori» и «Eletto Ceramica» – бренд отечественной керамической плитки [2, 3].

В рамках работы над кейсами были сделаны следующие работы:

- проанализирован бренд: модель анализа компании, модель багаж бренда «Luggage», SWOT-анализ;
- проанализирована внешняя среда: модель оценки внешней среды, модель оценки трендов, анализ конкурентной среды, бенчмаркинг, модель багаж бренда «Luggage»;
- анализ целевой аудитории: авторская модель оценки иррационального и рационального поведения потребителей, CJM, массовый опрос, глубинные интервью, модель багаж бренда «Luggage»;
- выбор стратегии, разработка тактических решений и рекомендаций по их оценки;
- разработана новая система управления опытом потребителей на основе когнитивного маркетинга.

Первый апробационный текст в рамках разработки стратегии управления опытом потребителей на основе концепции когнитивного маркетинга компания «Почта России».

Цель: повышение лояльности потребителей, узнаваемости новых продуктов/услуг и улучшения качества взаимодействия с конечными потребителями.

Стратегия управления опытом: стратегия-пользы. Данная стратегия характеризуется преобладанием в коммуникациях рациональных паттернов.

Коммуникационное сообщение: мультисервисная компания на рынке услуг почтовой связи.

Бренд-стратегия: спутник-рутина. Этой стратегии характерно: путешествие может быть как долгосрочным, так и краткосрочным, низкая вовлеченность потребителей, самообраз и отражение бренда могут не совпадать, выбирая бренд, аудитория в основном ориентируется на рациональные характеристики.

В рамках аналитической части были сформированы следующие решения по управлению потребительским опытом исходя из CJM:

- формирование осведомленности: развитие социальных сетей; имиджевый проект «Письмо в будущее» – пользователь может отправить самому себе письмо в будущее; продвижение «Почта Маркет» – создание и размещение фирменных стендов, добавление услуги «Почта Доставка», размещение POS-материалов, продвижение; работа с репутацией;
- выбор компании: расширение ассортимента, работа с их продвижением на рынок; платформа по обучению почтальонов; работа и модернизация программы лояльности;
- взаимодействие потребителей с компанией: ряд мероприятий по сбору обратной связи.

Еще одним апробационным кейсом в рамках стратегии выступала компания – семейных парков развлечений «Joki Joya».

Цель новой стратегии: повышение узнаваемости бренда, активные коммуникации с потребителями/дизайнерами, отстройка от конкурентов, анализ восприятия бренда.

Стратегия управления опытом: стратегия-удовольствия. Характеризуется преобладанием иррациональных коммуникаций во взаимодействии с аудиторией.

Коммуникационное сообщение: наш продукт – это дверь в мир оригинальных решений. Где мы архитекторы, которые станут вашим проводником в мир красивого декор.

Тип бренда: спутник-эмоционал, которые ориентирован на долгосрочное путешествие с высокой вовлеченностью, высокая заинтересованность, вовлечение, яркие эмоции, самообраз и отражение бренда совпадают, аудитория выбирает бренд на основании общего эмоционального фона.

В рамках аналитической работы были предложены следующие тактические решения.

- для аудитории «Мужчины и женщины от 25 до 35 лет»: библиотека ароматов; советы экспертов; челлендж #НаВстречуРоскоши; челлендж #ВыборМиллионов;
- для аудитории «Мужчины и женщины от 36 до 50 лет»: бизнес-тренинг по обучению продавцов в торговых точках; работа с контентом в социальных сетях; участие в передачах, роликах в сфере строительства; конфигуратор подбора плитки по предпочтениям/вкусам;
- для дизайнеров/архитекторов: бонусная программа «Eletto Bonus Club».

Таким образом, авторский метод управления опытом потребителей на основании концепции когнитивного маркетинга является перспективным инструментом в рамках теории и практики современного маркетинга.

Во–первых, управление опытом потребителей позволяет бренду формировать устойчивые и взаимовыгодные отношения с целевой аудиторией, которые положительно влияют на достижение поставленных целей.

Во–вторых, метод развивает такую новую концепцию маркетинга, как когнитивный маркетинг. Авторское исследование и наработки аккумулируют в себе важные и полезные инструменты не только из маркетинга, но и из когнитивной психологии и биологии.

Авторский метод управления опытом потребителей на основе концепции когнитивного маркетинга может быть эффективно применен B2C брендами различных отраслей. Это

подтверждено апробацией метода на примере прикладных проектов, соответствующих различным типам авторской классификации объекта исследования.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Агафонова А., Чванов А. Эмоциональный маркетинг как ключ к иррациональному поведению потребителей // Экономика и менеджмент. – М.: Издательство «ЭСКМО». 2017. С. 15-20.
2. Петров В.С. Концепция когнитивного маркетинга: теоретические основы, применение в прикладных проектах // Альманах научных работ молодых ученых Университета ИТМО 2022. Т. 3. Часть 2. С. 95-98.
3. Соловьева Д.В., Петров В.С., Бритина А.А. Когнитивный маркетинг как инструмент формирования эмоциональной связи потребителей с брендом на рынке товаров по уходу за домашними животными // Экономика. Право. Инновации. 2021. №. 4. С. 10-14.
4. Савостин Д.А., Землянная А.С. Управление потребительским опытом, как основа сильных брендов // Скиф. 2020. №. 6(46). С. 547-551.

Выпускник
Соловьева Евгения Олеговна
международный научно-образовательный центр физики наноструктур
Направление подготовки: 12.04.03 – Фотоника и оптоинформатика
e-mail: eugeniasoloveva11@gmail.com

Научный руководитель
Старовойтов Антон Андреевич
к.ф.-м.н., доцент
e-mail: anton.starovoytov@gmail.com

УДК 535.3, 535-47

НОВЫЕ ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ КОМПЛЕКСЫ ДЛЯ СВЕТОИЗЛУЧАЮЩИХ УСТРОЙСТВ

Соловьева Е.О.
Научный руководитель – к.ф.-м.н., доцент Старовойтов А.А.

Работа выполнена в рамках темы НИР № 621317 «Фундаментальные и прикладные вопросы фотоники».

Люминесценция является важным инструментом для понимания многих физических, химических и биологических процессов. В последние годы все больше исследований направлено на изучение и синтез люминесцентных материалов, таких как квантовые точки, нанокомпозиты на основе неорганических матриц и материалов, легированных лантаноидами, для создания высокочувствительных устройств в различных областях от фотоники до биомедицины. Среди них исключительный интерес в силу своих уникальных физико-химических свойств представляют два класса наноматериалов: нанопористые матрицы оксида алюминия, активированные органическим красителем, и нанокристаллы, легированные лантаноидами.

Гибридный материал на основе мембран из анодного оксида алюминия, активированных молекулами органических красителей, имеет практический потенциал в области создания новых фотонных устройств. Мембраны оксида алюминия характеризуются уникальными оптическими и электрохимическими свойствами, большой площадью поверхности и высокой термической стабильностью [1]. Все эти характеристики делают оксид алюминия подходящим наноматериалом для применения в химических и биологических сенсорах, устройствах для хранения энергии и создании фотонных кристаллов [2]. Также, нанопористый анодный оксид алюминия (НАА) является перспективной средой, которая может быть использована в качестве матрицы для внедрения органических красителей для создания случайного лазера с обратной связью на многократном рассеянии. Уникальным материалом, привлекающим внимание в качестве активной среды, является органический псевдоизоцианиновый краситель. Для данного красителя характерно образование высокоупорядоченных молекулярных кластеров – J-агрегатов. Они демонстрируют узкие спектры поглощения и излучения, малое значение Стоксового сдвига и высокую оптическую анизотропию по сравнению с мономолекулами [3].

Еще одним перспективным люминесцентным наноматериалом для исследований являются нанокристаллы, легированные ионами редкоземельных металлов. Нанокристаллы (НК), легированные лантаноидами, представляют исключительный интерес благодаря своим уникальным свойствам: высокой эффективности люминесценции, узкими спектрами эмиссии, длительным временем жизни в возбужденном состоянии, и большими значениями стоксовых сдвигов [4]. Важным свойством нанокристаллов с редкоземельными ионами является хиральность. Хиральность — это геометрическая характеристика, согласно которой структура объекта не совпадает с его зеркальным отображением. Например, хиральные комплексы

европия(III) хорошо известны своими эмиссионными линиями с сильным фактором диссимметрии [5]. Поэтому люминесцентные хиральные НК на основе лантаноидов являются перспективными системами для изучения спонтанного нарушения симметрии и явления направленного усиления хиральности [6].

В качестве технологии для получения композитных образцов на основе мембраны НАА, активированной J-агрегатами красителя, был использован метод термостимулированной самосборки псевдоизоцианинового красителя в этаноле без использования полярных растворителей. В предварительно нагретый до 75°C раствор красителя погружались мембраны оксида алюминия, потом осуществлялась импрегнация в течении различных интервалов времени, затем образцы просушивались при комнатных условиях. В ходе исследования оптических свойств полученных гибридных образцов были получены спектры поглощения и люминесценции. Взаимодействие внедренного красителя с поверхностью нанопор приводит к агрегации и изомеризации молекул, что видно по уширению спектра поглощения гибридного образца по сравнению со спектром красителя на рисунке 1, а.

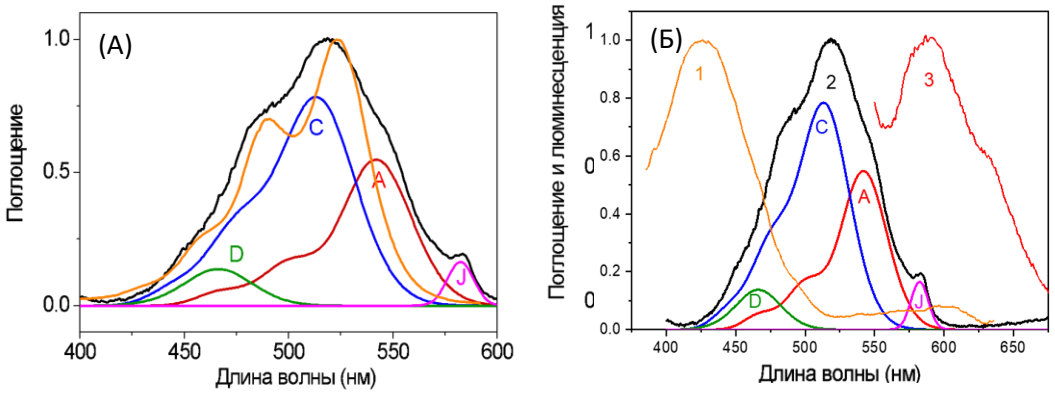


Рис. 1. Нормированные спектры гибридного образца: а) спектр поглощения образца и псевдоизоцианинового красителя; б) спектры (2) поглощения красителя, фотолюминесценции гибридного образца с длиной волны возбуждения (1) 340 нм и (3) 510 нм

Максимум люминесценции мембран оксида алюминия при их возбуждении на длине волны 340 нм может быть связан с F-центрами [7] кислородных вакансий, которые образуются в процессе анодирования оксида алюминия. Возбуждение композитного материала в полосе поглощения нанопористого оксида алюминия на длине волны 340 нм приводит к люминесценции как самого оксида, так и к люминесценции J-агрегатов псевдоизоцианинового красителя, которые имеют значительно меньшую интенсивность как видно из рисунке 1, б. Данный процесс может свидетельствовать о переносе энергии оптического возбуждения от кислородных вакансий к J-агрегатам красителя.

Для реализации генерации вынужденного излучения на основе гибридного образца без внешнего резонатора был собран экспериментальный стенд (рис. 2), где в качестве источника накачки использовалась вторая гармоника Nd:YAG-лазера. Параметры лазерного излучения, использованного в ходе эксперимента, были следующими: длина волны 532 нм, длительность импульса 10 нс, диаметр пучка 8,25 мм, выходная энергия 17,8 мДж (предварительно ослабленная фильтрами НЛ1 с пропускание 50% и НЛ8 с пропусканием 15%). Сигнал от образца отделяли от рассеянного света возбуждающего излучения с помощью интерференционного фильтра (на длине волны 590 нм при пропускании 41% и полуширине 14 нм), фокусировали, после чего регистрировали спектры излучения с помощью оптоволоконного спектрометра.

При возбуждении композитного материала мощным лазерным излучением на длине волны 532 нм наблюдались признаки вынужденного излучения в композитном образце без использования внешнего резонатора. Как видно на рисунке 3, а увеличение мощности источника накачки приводит к нелинейному сужению полосы вынужденного излучения и увеличению интенсивности излучения образца. Существенное сужение спектра гибридного

образца по сравнению со спектром флуоресценции, полученного на спектрофлуориметре свидетельствует [8] о переходе спонтанного излучения в вынужденное при увеличении излучения накачки. По спектрам излучения, полученным в ходе серии экспериментов, построены зависимости интенсивности выходного излучения мембраны НАА, активированной красителем, от ослабления энергии накачки за счет светофильтров.

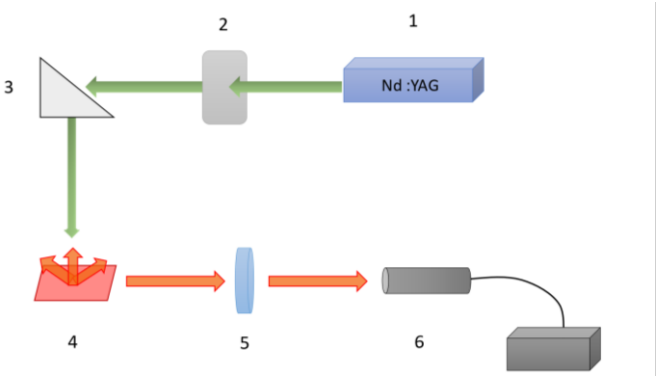


Рис. 2. Схема экспериментальной установки: 1 – лазер, 2 – светофильтр, 3 – призма, 4 – образец, 5 – интерференционный фильтр, 6 – спектрометр

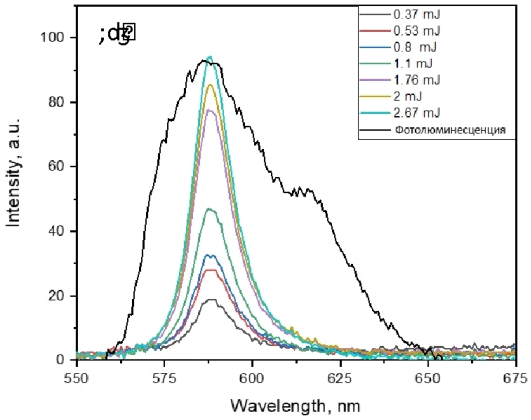


Рис. 3. Спектры излучения образца в зависимости от энергии накачки и фотолюминесценции гибридного образца с длиной волны возбуждения 510 нм

Вторая часть работы связана с исследованием люминесцентных свойств нанокристаллов легированных ионами лантаноидов. Для синтеза нанокристалов на основе $TbPO_4$ было подготовлено два водных раствора. Один из них раствор соляной и винной кислоты с добавлением $TbCl_3$ и $EuCl_3$ в молярном соотношении 95:5%, другой представляет собой раствор гидрофосфата натрия Na_2HPO_4 с добавлением соляной кислоты. Оба раствора нагревались, перемешиваясь, в течение 30 минут до достижения температуры синтеза около 70°C. Затем второй раствор быстро добавили в первый. Добавление раствора фосфата к раствору с ионами Tb^{3+} приводило к осаждению НК $TbPO_4$, что сопровождалось помутнением раствора со временем. Синтез НК фосфата гадолиния $GdPO_4$ происходил аналогичным образом, только в качестве прекурсоров были использованы $GdCl_3$, $TbCl_3$ и $YbCl_3$ в молярном соотношении 65:30:5%.

В ходе экспериментов по синтезу НК $GdPO_4$ легированных ионами тербия Tb^{3+} и иттербия Yb^{3+} было показано влияние чистой L-винной кислоты на формирование хиральности, полученных нанокристаллов. Для исследования оптической активности НК использовали установку для измерения люминесценции с круговой поляризацией (CPL), которая представляет собой разность интенсивностей между левополяризованным и правополяризованным излучением $CPL=I_L-I_R$. На рисунке 4 представлены спектры люминесценции НК $GdPO_4$ легированных ионами Tb^{3+}.

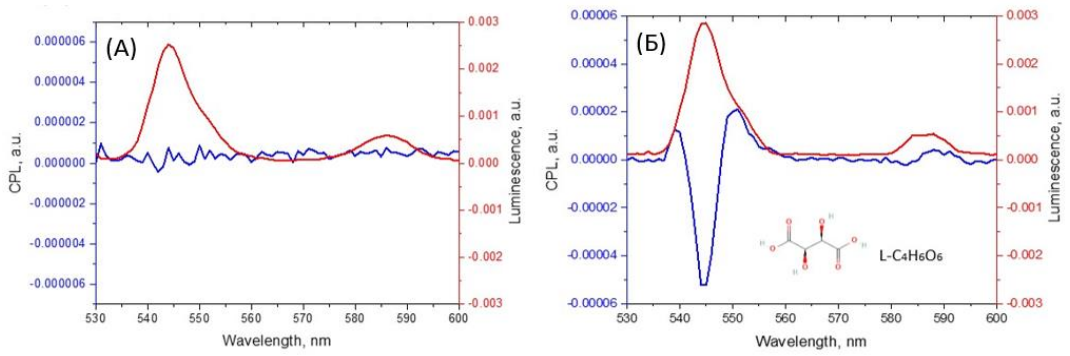


Рис. 4. Спектры люминесценции и люминесценции с круговой поляризацией (λ_{ex} = 365 нм) НК GdPO4 легированные ионами Tb^{3+}: а) синтезированных, без использования винной кислоты; б) синтезированных, с использованием L-винной кислоты

На рисунке 4, а на спектре люминесценции с круговой поляризацией (синяя кривая) видно, что НК, синтезированные без использования винной кислоты, представляют рацемическую смесь и не обладают оптической активностью. Напротив, на рисунке 4, б на спектре CPL наблюдается избыток правовращающих энантиомеров НК при использовании в синтезе L- энантиомера винной кислоты.

На рисунке 5, а в спектре люминесценции НК $TbPO_4$, легированных ионами Eu^{3+}, пики на длинах волн 490 и 545 нм соответствует излучению ионов тербия, оставшиеся четыре пика соответствуют переходам $^5D_0 \rightarrow {}^7F_J$ в ионе европия, где J=1,…,4. На основании результатов исследований, проведенных научной группой профессора Марковича, представленных в работе [9], можно контролировать избыток энантиомеров одной из поляризаций НК используя определенный энантиомер винной кислоты.

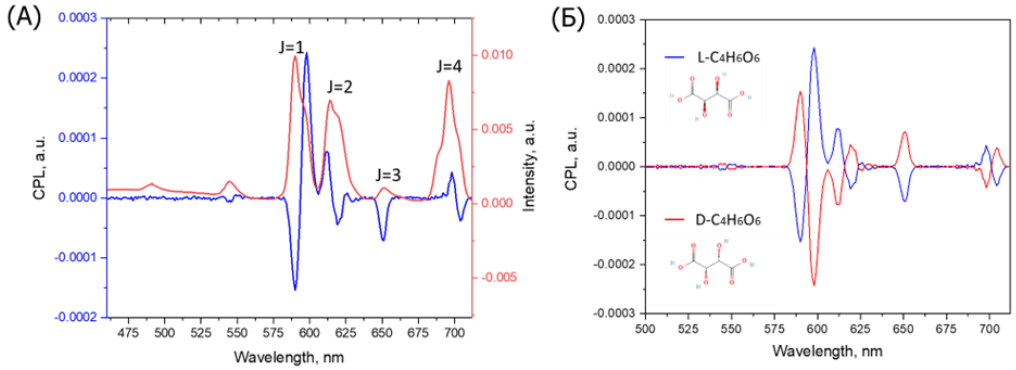


Рис. 5. Спектры люминесценции (λ_{ex} = 365 нм) НК $TbPO_4$ легированные ионами Eu^{3+}: (А) спектры люминесценции НК синтезированных, с использованием L-винной кислоты, (Б) спектры люминесценции с круговой поляризацией НК, синтезированных с использованием энантиомеров винной кислоты

Как видно на рисунке 5, б спектр люминесценции с круговой поляризацией меняется в зависимости от энантиомера винной кислоты, используемого в процедуре синтеза. На основании этого можно сказать, что использование определенного энантиомера винной кислоты направленно создает хиральность кристаллов определенной ориентации. Причем комбинация ионов редкоземельных металлов Tb/Eu была выбрана, поскольку ионы тербия поглощает более эффективно, чем ионы европия, при выбранной длине волны возбуждения 365 нм, передавая энергию излучающей легирующей примеси ионов европия.

В результате экспериментов были изучены люминесцентные свойства нанокристаллов $GdPO_4$ легированные ионами Yb^{3+}, Er^{3+} и Eu^{3+}, нанесенных на стеклянную подложку и подвергнутых отжигу при температуре 650°C. Как видно из спектров на рисунке 6, интенсивность люминесценции увеличивается для НК, подвергнутых высокотемпературному отжигу. Однако сигнал люминесценции с круговой поляризацией уменьшается, что может быть связано с трансформацией кристаллической структуры нанокристаллов из гексагональной в моноклинную фазу при отжиге.

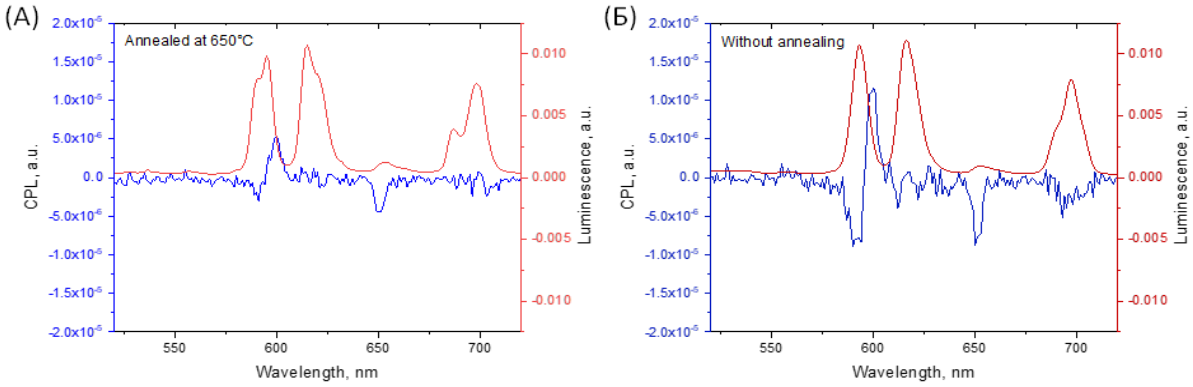


Рис. 6. Спектры люминесценции (λ_{ex} = 365 нм) НК $GdPO_4$ легированные Yb^{3+}/Er^{3+} /Eu^{3+}: а) отожжённых при 650°C, б) нанесенных на стеклянную подложку

Таким образом, данная работа является исследованием люминесцентных свойств двух классов нанокомпозитов на основе нанопористого оксида алюминия, активированного псевдоизоцианиновым красителем, и нанокристаллов, легированных ионами редкоземельных металлов. В ходе работы были установлены оптические характеристики нового гибридного материала на основе мембраны, активированной красителем и реализован режим вынужденного излучения в композиционном материале без использования внешнего резонатора за счет обратной связи на многократном рассеянии. Также было исследовано влияние энантиомера винной кислоты определенной поляризации на хиральные свойства полученных нанокристаллов. Добавление энантиомера винной кислоты при синтезе приводит к направленному усилению хиральности нанокристаллов, что создает энантиомерный избыток ансамбля НК с определенной поляризацией. Показано, что нанокристаллы осажденные на стеклянную подложку обладают оптической активностью после высокотемпературного отжига.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Liu S., Tian J., Zhang W. Fabrication and application of nanoporous anodic aluminum oxide: a review // Nanotechnology. 2021. Vol. 32. №. 22. P. 222001.
2. Feng S., Ji W. Advanced Nanoporous Anodic Alumina-Based Optical Sensors for Biomedical Applications. 2021. Vol. 3. Pp. 1-18.
3. Bricks J.L., Slominskii Y.L., Panas I.D., Demchenko A.P. Fluorescent J-aggregates of cyanine dyes: basic research and applications review // Methods Appl. Fluoresc. 2017. Vol. 6. №. 1. P. 012001.
4. Sarkar D., Ganguli S., Samanta T., Mahalingam V. Design of Lanthanide-Doped Colloidal Nanocrystals: Applications as Phosphors, Sensors, and Photocatalysts / Debashrita Sarkar // Langmuir. 2019. Vol. 35. №. 19. Pp. 6211-6230.
5. Hananel U., Schwartz G., Paiss G., Arrico L., Zinna, F. Di Bari L., Cheshnovsky O., Markovich G. Time-resolved circularly polarized luminescence of Eu3+-based systems // Chirality. – John Wiley & Sons, Ltd. 2021. Vol. 33. №. 3. Pp. 124-133.
6. Hananel U., Ben-Moshe A., Diamant H., Markovich G. Spontaneous and directed symmetry breaking in the formation of chiral nanocrystals / Uri Hananel // Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A. 2019. Vol. 166. №. 23. Pp. 11159-11164.
7. Cantelli L., Santos J.S., Silva T.F., Tabacniks M.H., Delgado-Silva A.O., Trivinho-Strixino F. Unveiling the origin of photoluminescence in nanoporous anodic alumina (NAA) obtained by constant current regime // J. Lumin. — Elsevier B.V. 2019. Vol. 207. Pp. 63-69.
8. Tiwari A.K., Shaik S., Ramakrishna S.A. Lasing in dye-infiltrated nanoporous anodic alumina membranes // Appl. Phys. B. 2018. Vol. 124. №. 7. P. 127.
9. Vinegrad E., Hananel U., Markovich G., Cheshnovsky O. Determination of Handedness in a Single Chiral Nanocrystal via Circularly Polarized Luminescence // ACS Nano. American Chemical Society. 2019. Vol. 13. №. 1. Pp. 601-608.

Выпускник
Тирский Богдан Дмитриевич
факультет программной инженерии и компьютерной техники
Направление подготовки: 09.04.01 – Информатика и вычислительная техника
e-mail: bogdanhakimov@mail.ru

Научный руководитель
Авксеньтева Елена Юрьевна
к.п.н., доцент
e-mail: eavksenteva@itmo.ru

УДК 004.62

ЭФФЕКТИВНЫЙ АЛГОРИТМ ПРОВЕРКИ ЭКВИВАЛЕНТНОСТИ СТРОК С УЧЕТОМ АББРЕВИАТУР ДЛЯ POSTGRESQL

В современном мире практически каждая компания использует для решений своих бизнес-задач базы данных (БД). Одними из самых популярных являются БД PostgreSQL. Оптимизация работы БД PostgreSQL является актуальной задачей для предприятий, поскольку это существенно влияет на производительность, использование ресурсов, безопасность и издержки. Важно проводить систематический анализ и оптимизацию БД PostgreSQL, чтобы обеспечить эффективное функционирование всей информационной системы предприятия.

Так как при увеличении количества сотрудников и пользователей БД становится все сложнее и сложнее быстро обрабатывать запросы, при этом операции по объединению таблиц в реляционных системах управления БД требуют значительного количества ресурсов, то задачи оптимизации времени работы и производительности возникают сами собой. Таблицы в основном объединяются по принципу эквивалентности, то есть проверяются ячейки с текстом и в случае совпадения одинаковые строки сопоставляются в одну. Но могут возникнуть ситуации, когда одно и то же по смыслу предложение пишется разными словами или же [1], используются аббревиатуры, то есть возникает потребность определения семантической близости слов. Для того, чтобы точно проверять строки на эквивалентность нужно разработать алгоритм, который будет проверять строки на семантическую близость, в том числе и расшифровывать аббревиатуры.

В связи с этим появилась задача, чтобы разработать алгоритм для оптимизации проверки строк на эквивалентность строк и расшифровки аббревиатур в базе данных PostgreSQL. Для реализации данного алгоритма использовать тестовая база данных PostgreSQL, интегрированная среда разработки PyCharm, язык программирования Python, также множество библиотек и среда разработки Jupyter Notebook для проверки работы алгоритмов машинного обучения.

Для расшифровки аббревиатур понадобиться полный словарь с большим количеством возможных вариантов расшифровок аббревиатур, путем анализа различных онлайн словарей самым полным и актуальным оказался онлайн словарь аббревиатур русского языка sokr.ru 5.0. Ниже на рисунке 1 продемонстрирован интерфейс этого сайта.

После процесса сбора данных и подготовки словаря предстоит обучить модель. С помощью библиотеки scikit learn и функции TfidfVectorizer обучается модель на исходных данных – это своего рода предложения, по которым будут происходить сравнения [2]. На рисунке 2 представлена блок-схема процесса сбора и обучения.

После обучения модели и создания матрицы весов требуется подготовить предложения, которые будут сравниваться с исходными предложениями, это делается для того, чтобы проверить семантическую составляющую между предложениями. Далее нужно обнаружить аббревиатуры, если они есть в предложениях для проверки, реализовывается это с помощью регулярных выражений, если в слове две или больше заглавных букв подряд, то это слово идентифицируется как аббревиатура. После обнаружения перебираются все возможные

варианты аббревиатур с помощью онлайн-словаря и подставляются в предложения. Блок-схема, которая описывает данный процесс представлена на рисунке 3 ниже.

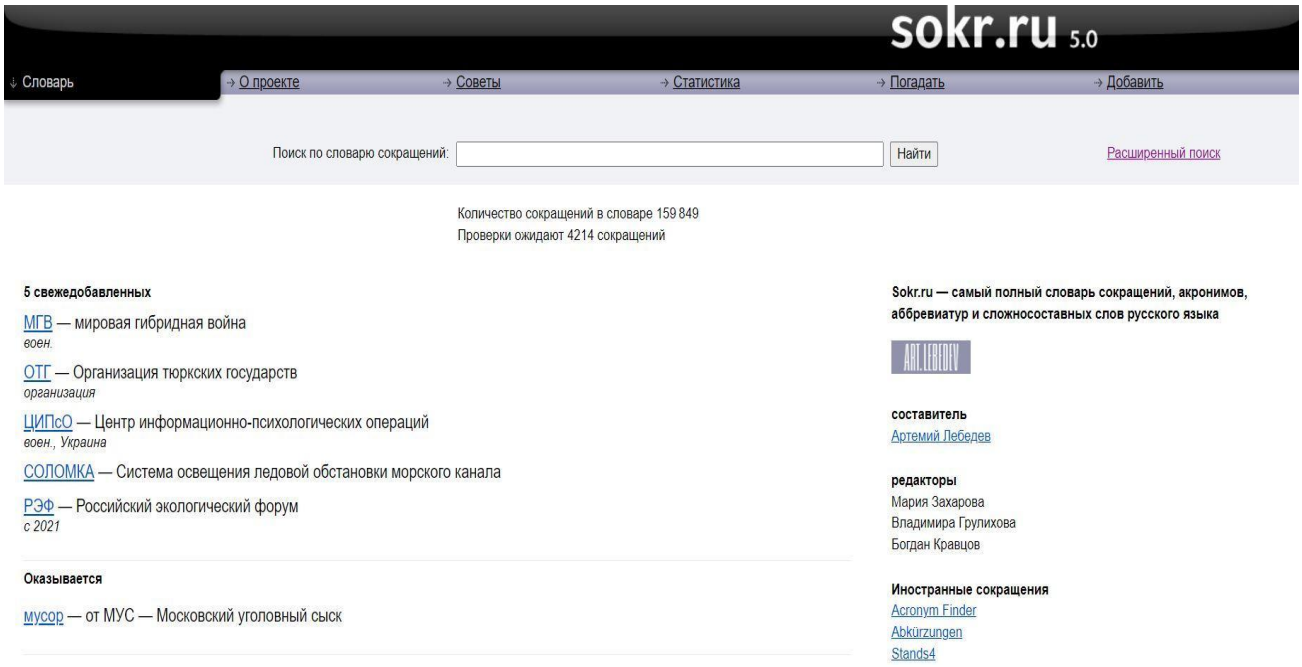


Рис. 1. Сайт онлайн словаря

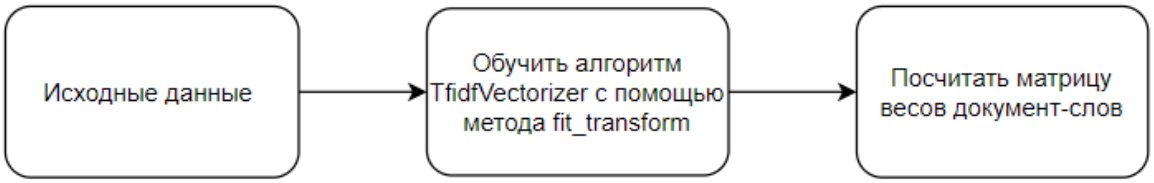


Рис. 2. Схема процесса обучения и подсчета весов

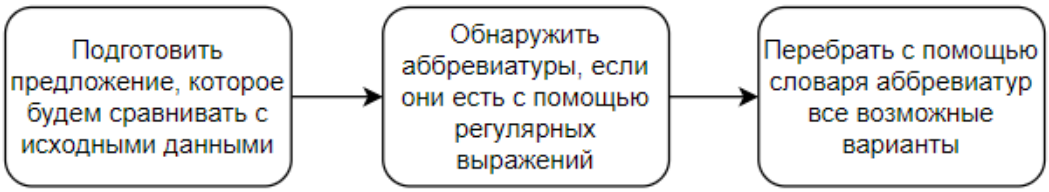


Рис. 3. Алгоритм перебора и подстановки аббревиатур

Конечным этапом алгоритма является реализации уже сравнения строковых данных между собой0, то есть сравниваются исходные данные, по которым обучался алгоритм TF-IDF и предложения, которые используются для тестирования модели.

Проверки строк на семантическую близость осуществляется с помощью косинусного расстояния. Косинусное расстояние – это отличный способ для проверки схожести между векторами. После векторизации строк методом TF-IDF не приходится производить различные манипуляции с данными для проверки их на эквивалентность, данные уже находятся в нужном формате для сравнения. На рисунке 4 отображена блок-схема с описанием алгоритма по этапам.

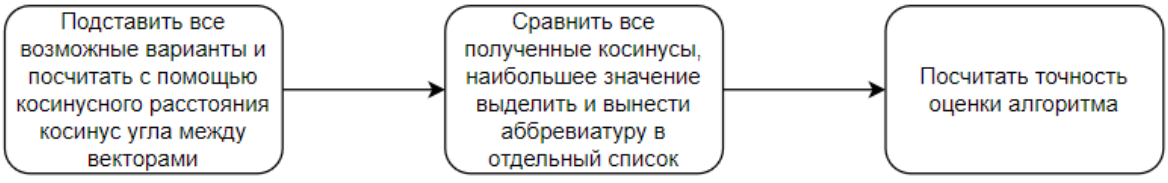


Рис. 4. Блок-схема алгоритма проверки строк на эквивалентность

После проверки строк на эквивалентность получается большой список с косинусным расстоянием между исходным текстом и каждой строкой, в которую был подставлен каждый вариант возможной расшифровки аббревиатуры. По результатам оценки косинусного расстояния можно определить наибольшее пороговое значения для определения эквивалентности. Пороговое значения уже определяется из запроса бизнеса по степени эквивалентности.

Также сравнивались несколько наиболее популярных алгоритмов в проверке строк на эквивалентность. Результаты эффективности будут продемонстрированы в таблице.

Таблица. **Сравнение реализаций различных алгоритмов**

Алгоритм	Время, затраченное на расчет в секундах	Оценка точности расшифрованной аббревиатуры и эквивалентности строк
Word2vec	6.45	0.55
TF-IDF и cosine similarity	0.49	0.62
Jaro-Wrinkler	0.53	0.53

По результатам тестирования комбинированный алгоритм с использованием TF-IDF векторизацией и косинусным расстоянием показал наилучший результат и по производительности с точки зрения затраченного времени на реализацию алгоритма и по оценке точности расшифрованных аббревиатур. Для алгоритма Word2vec можно заметить значительный выброс по времени, затраченному на подсчет модели проверки строк на эквивалентность, это связано с особенностями алгоритма, в частности с машинным обучением, хоть этот алгоритм и не учитывает контекстные составляющие, тем не менее происходит проверка каждого с каждым, что затрачивает большое количество времени [3].

Также есть и плюсы у всех алгоритмов, например, word2vec гораздо лучше себя показывает в рекомендательных системах и в неязыковых задачах. Многие компанию используют эту технологию в своих рекомендательных системах.

Метод Джаро-Винклера же в свою очередь достаточно хорошо себя показывает в префиксном сравнении, то есть, когда идет сравнение двух строк с похожим началом, то алгоритм Джаро-Винклера сразу идентифицирует эти строки, как схожие и благодаря как раз префиксам дается хорошая оценка.

Что касательно недочетов этих методов, то Джаро-Винклера сильно сбивает оценку расстояния, если у предложений разные префиксы, то есть вопрос именно семантической близости в русском языке достаточно сложно решить, ведь могут использоваться синонимичные конструкции.

Для алгоритма Word2vec недостатки такие, что он очень плохо работает с конструкциями, которые не встречаются в обучающей выборке, что как раз, наверное, и вызывает затруднения в задаче расшифровки аббревиатур. Нужно сильно расширять обучающую выборку, из-за чего опять же потребуются значительно большие ресурсы для подсчета и обучения модели.

Если говорить о минусах комбинированного подхода, то тут из-за использования косинусного расстояния очень сильная зависимость он формы слова, аббревиатура может не расшифроваться из-за того, что в словаре попадется другая форма слова, из-за этого же не получается сильно улучшить оценку точности. Но есть очевидный плюс – это работа на разреженных данных, видимо этот показатель важнее в задаче расшифровки аббревиатур и проверки строк на эквивалентность.

Реализованный алгоритм, представляет собой комбинацию из TF-IDF векторизации для того, чтобы представить словесные предложения в числовом виде для более точной оценки, и метода для оценки расстояния между векторами – косинусного угла между векторами, который отражает схожесть или различие, исходя из скалярного произведения двух матричных векторов.

Алгоритм можно применять в области сравнительного анализа, так как он хорошо справляется с такими задачами, как расшифровка аббревиатур, а также анализ семантической близости между предложениями. Для анализа семантической близости требуется, исходя из контекста подобрать нужное пороговое значение для того, чтобы минимизировать ошибочные решения. Алгоритм, также можно масштабировать и для других целей, например, применять не только к базам данных, но и к другими автоматизированным системам.

Помимо русского языка, можно использовать и английский, только для этого потребуется поменять подход к подбору словаря, так как словарь используется исключительно для расшифровки русских аббревиатур.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Современный русский язык: Теория. Анализ языковых единиц: В 2 ч. / Под ред. Е.И. Дибровой. М., 2001. Ч. 1. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://russkiiyazyk.ru/leksika/aktivnaya-passivnaya.html (дата обращения: 05.05.2023).
2. Manning C.D., Raghavan P., Schütze H. An Introduction to Information Retrieval. Cambridge University Press Printed on April 1. 2009. [Электронный ресурс]. – Режим доступа:: http://www.informationretrieval.org/ (дата обращения: 03.05.2023).
3. Deerwester S.C., Dumais S.T., Landauer T.K., Furnas G.W., Harshman R.A. Indexing by latent semantic analysis // Journal of the American Society of Information Science. 1990. Pp. 391-407.

Выпускник
Тюлин Александр Андреевич
химико-биологический кластер
Направление подготовки: 19.04.01 – Биотехнология
e-mail: tyulin@scamt-itmo.ru

Научный руководитель
Штиль Александр Альбертович
д.м.н, доцент
e-mail: shtilaa@yahoo.com

Научный консультант
Остроумова Ольга Сергеевна
д.б.н., доцент
e-mail: ostroumova@incras.ru

УДК 57.085.23

ЛИПИДНЫЕ ДЕТЕРМИНАНТЫ ПОРООБРАЗУЮЩЕГО И ПРОТИВООПУХОЛЕВОГО ДЕЙСТВИЯ ЛАНТИБИОТИКА НИЗИНА

В последние годы велись поиски молекул, которые могли бы быть использованы в противоопухолевой терапии. В связи с развитием множественной лекарственной устойчивости, множество таких молекул быстро становятся неэффективными. Следовательно, существует потребность в новых химиотерапевтических препаратах. Учитывая тот факт, что плазматическая мембрана здоровых и раковых клеток значительно отличается, включая липидный состав [1], таргетирование липидных молекул кажется многообещающим решением в противораковой терапии. Антимикробные пептиды (АМП) являются привлекательными агентами для данной цели. Они обладают низкой токсичностью к здоровым клеткам, а некоторые из них селективно выбирают мембраны раковых клеток в качестве своей цели [2]. Некоторые АМП обладают противоопухолевой активностью, инициируя апоптоз, уменьшая пролиферацию и метастазирование в случае множества клеточных культур. Одним из представителей этого класса является лантибиотик низин, короткий катионный пептид (34 аминокислотных остатка). Низин был одобрен всемирной организацией здравоохранения и управлением по санитарному надзору за качеством пищевых продуктов и медикаментов для его использования в качестве пищевого консерванта. Его противоопухолевая активность была продемонстрирована в ряде работ [3].

Несмотря на широкое обсуждение механизмов действия низина, точный механизм действия на клетку до сих пор не был установлен. Помимо этого, низин до сих пор не находится на стадии клинических испытаний в связи с рядом недостатков, включающих низкую растворимость и стабильность, дорогостоящее массовое производство и чувствительность к протеазам *in vivo*. Поэтому, целью данной работы было уточнить имеющиеся представления об механизме действия низина, а также исследователь его синергизм с флоретином для устранения некоторых недостатков использования низина в клинической практике.

Липидная селективность порообразующей активности низина была продемонстрирована с использованием модельных липидных бислоев различного состава в присутствии мембрано-омывающего раствора 0.1 M KCl 10 мМ HEPES pH 7.4. Согласно полученным результатам, низин обладает селективностью к кардиолипин-содержащим мембранам, поскольку в этом случае его способность образовывать поры увеличивается (увеличение амплитуды тока проводимости одноканальных событий, более частое появление таких событий). Более того, наблюдалось уменьшение предельной концентрации детергентной активности (концентрация, при которой бислой разрушается) с 2000 мкМ до 600–700 мкМ в присутствии

фосфатидилсерина. Селективность низина к мембранам, содержащим кардиолипин, может свидетельствовать о том, что низин таргетно воздействует на внутреннюю мембрану митохондрий с последующей активацией внутреннего пути апоптоза. Уменьшение же детергентной концентрации низина в фосфатидилсерин-содержащих мембранах может служить доказательством его селективность к раковым клеткам, так как фосфатидилсерин переходит на внешний монослой плазматической мембраны во время трансформации клетки в раковую. Флоретин в концентрации 20 мкМ продемонстрировал потенциирующую активность в отношении порообразующей активности низина, увеличив стационарный ток проводимости, индуцированный низином, в шесть раз в кардиолипин-содержащих мембранах (рис. 1). Такой синергетический эффект может быть объяснен способностью флоретина уменьшать дипольную составляющую граничного потенциала мембраны, тем самым облегчая движение положительно заряженных ионов и молекул через мембрану.

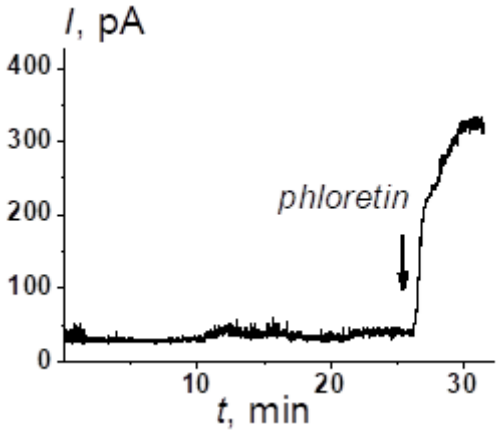


Рис. 1. Эффект 20 мкМ флоретина на стационарный трансмембранный ток, индуцированный низином. Момент введения флоретина отмечен стрелкой

Для того чтобы охарактеризовать поры, образованные низином, их ионная селективность была измерена с использованием модельных липидных бислоев. Согласно результатам, такие поры обладают слабой катионной селективностью с числом переноса $t^+ = 0.65 \pm 0.05$ как в случае буфера, содержащего соль кальция, так и буфера, содержащего соль калия. Это может свидетельствовать о том, что низин способен пропускать через образованные поры преимущественно катионы.

Цитотоксический эффект низина, флоретина и их комбинации был продемонстрирован на двух линиях злокачественной природы и одной линии здоровых фибробластов человека (Таблица). Комбинация соединений показала усиленный цитотоксический эффект во всех случаях по сравнению с низином (флоретин не продемонстрировал какой-либо значительный эффект), однако в случае здоровых фибробластов (HPF) комбинация сработала менее эффективно в сравнении со злокачественными линиями.

Таблица. **Ингибирующие концентрации (IC_{50}) низина и его комбинации с флоретином для рака молочной железы (MDA-MB-231), гепатоцеллюлярной карциномы (HepG2) и здоровых фибробластов человека (HPF). Значения представлены с указанием стандартного отклонения**

Клеточная линия	Время инкубации, часы	Ингибирующая концентрация (IC_{50}), мкМ		
		Низин	Флоретин	Комбинация
HepG2	24	322 ± 23	-	99 ± 21
	48	210 ± 40	-	95 ± 34
MDA-MB-231	24	1613 ± 75	-	487 ± 19
	48	1315 ± 114	-	276 ± 13
HPF	24	1343 ± 112	-	1005 ± 69
	48	1023 ± 72	-	462 ± 55

Для того чтобы проверить гипотезу об таргетировании кардиолипинов низином, был измерен трансмембранный потенциал митохондрий в уже упомянутых выше клеточных линиях (рис. 2). Согласно результатам, после 48 часов инкубации с низином и флоретином раковые клетки демонстрируют значительный прирост деполяризованной мембраны митохондрий. В случае здоровых фибробластов такого эффекта не наблюдается. Похожий эффект наблюдается на тех же линиях в отношении накопления subG1 фазы клеточного цикла, которая демонстрирует фрагментацию ДНК. Однако, никаких значительных изменения в распределении остальных фаз цикла обнаружено не было.

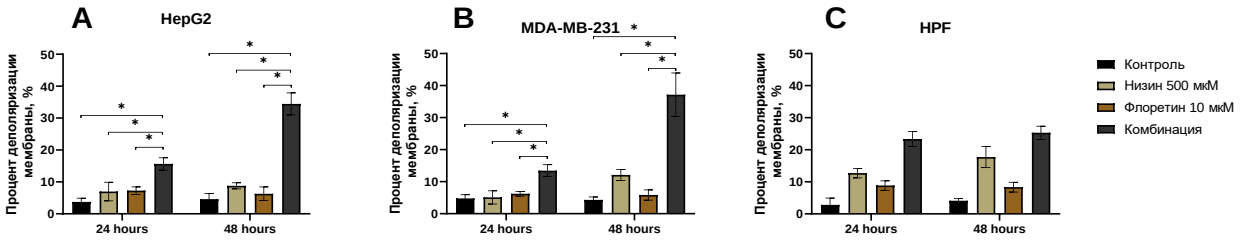


Рис. 2. Столбчатые диаграммы, демонстрирующие процент деполяризации трансмембранного потенциала митохондрий после 24 и 28 часов инкубации с препаратами: a) Гепатоцеллюлярная карцинома (HepG2); b) Рак молочной железы (MDA-MB-231); c) Здоровые фибробласты человека. Статистическая значимость была оценена с помощью критерия Манна-Уитни; *p<0.05

Существуют доклады о том, что низин способен индуцировать накопление ионов кальция в цитоплазме клетки [4]. Чтобы проверить эту теорию и уточнить её механизм, был измерен внутриклеточный уровень кальция линии MDA-MB-231 под воздействием низина в присутствии и отсутствии селективного ингибитора белка SERCA (рис. 3), который закачивает кальций внутрь эндоплазматического ретикулума, тапсигаргина. Обнаружено, что низин действительно способен влиять на накопление кальция внутри клетки. Более того, в присутствии тапсигаргина уровень кальция всё равно повышался, что может означать его выход из митохондрий (с учётом предыдущих результатов).

Таким образом, в ходе работы была продемонстрирована липидная специфичность низина и его синергизм с флоретином на модельных липидных бислоях, а также была показана ионная селективность пор, образованных низином. Низин специфичен к кардиолипин-содержащим мембранам, а его поры имеют слабую катионную селективность. Комбинация низина с флоретином показала усиленных эффект на раковых клеточных линиях, включая цитотоксический эффект, деполяризацию трансмембранного потенциала митохондрий и накопление фрагментриованной ДНК, при этом таких эффектов не наблюдалось на здоровых клетках фибробластов. Это может свидетельствовать о специфичности низина к раковым клеткам. В дополнение, была продемонстрирована способность низина влиять на накопление кальция в цитоплазме клетки, при этом уровень кальция поддерживается за счёт его выхода из митохондрий. Исходя из всех выводов, можно предположить следующий механизм действия низина: молекулы лантибиоттика вызывают дезинтеграцию плазматической мембраны, способствуя проходу кальция и самого низина внутрь клетки. Митохондрии, отвечая на такой стресс, закачивают кальций внутрь матрикса, а низин, в свою очередь, не даёт задержаться этому кальцию в матриксе митохондрий, формируя поры во внутренней мембране митохондрий. Таким образом поддерживается высокий уровень кальция в цитоплазме клетки, что приводит к активации кальпаинов и последующему апоптозу.

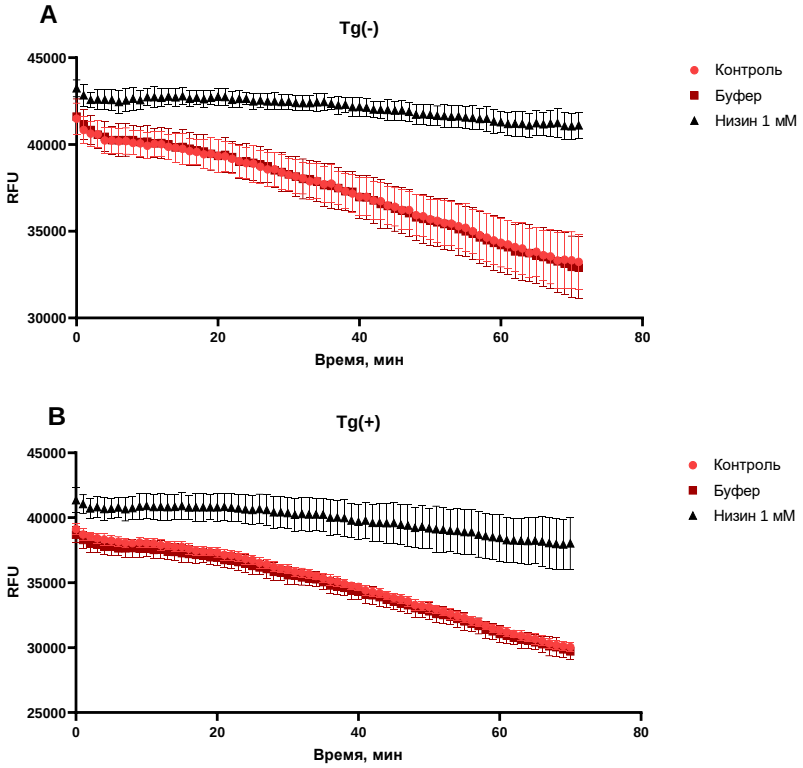


Рис. 3. Уровень кальция в цитоплазме клеток MDA-MB-231 под воздействием низина. Перед внесением низина клетки были инкубированы с тапсигаргином (B) или без него (A). В качестве контроля клетки были инкубированы с буфером, в котором был растворён низин (буфер) или раствором без кальция (контроль). RFU – относительные единицы флуоресценции. Tg(-) – образцы без тапсигаргина, Tg(+) – образцы с тапсигаргином

В дальнейшей работе планируется расширение панели клеточных линий, уточнение рабочих концентраций веществ, проведение экспериментов с использованием конфокальной микроскопии для дальнейшего уточнения механизмов действия.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Hoskin D.W., Ramamoorthy A. Studies on anticancer activities of antimicrobial peptides // Biochimica et Biophysica Acta (BBA) – Biomembranes. Elsevier. 2008. Vol. 1778. №. 2. Pp. 357-375.
2. Berraondo P. et al. Antimicrobial Peptides As Biologic and immunotherapeutic Agents against Cancer: A Comprehensive Overview // Antimicrobial Peptides As Biologic and Immunotherapeutic Agents against Cancer: A Comprehensive Overview. Front. Immunol. 2017. Vol. 8. P. 1320.
3. Jaye K. et al. The role of key gut microbial metabolites in the development and treatment of cancer // Gut Microbes. Taylor and Francis Ltd. 2022. Vol. 14. №. 1. DOI: 10.1080/19490976.2022.2038865.
4. Joo N.E. et al. Nisin, an apoptogenic bacteriocin and food preservative, attenuates HNSCC tumorigenesis via CHAC1 // Cancer Med. 2012. Vol. 1. №. 3. Pp. 295-305.

Выпускник
Хажжуз Абдулкадер
факультет инфокоммуникационных технологий
Направление подготовки: 11.04.02 – Инфокоммуникационные технологии и системы связи
e-mail: abdulkaderhajjouz@gmail.com

Научный руководитель
Грудинин Владимир Алексеевич
к.т.н., н.с.
e-mail: grudinin@itmo.ru

УДК 004.75

LAYER 2 BLOCKCHAIN-BASED INFORMATION AND PAYMENT SYSTEM FOR SMART PARKING

This study introduces a blockchain-based smart parking system composed of several interlinked components. The system employs Ethereum's Layer-2 (Polygon) [1] for a scalable blockchain layer, which allows secure, transparent parking reservations, payments, and evaluations. This is coupled with a smart contracts layer, which uses parking rules to manage reservations and payments.

The system also incorporates a computer vision layer, utilizing YOLO v5, Craft Network, and ResNet algorithms, for license plate detection and recognition. The distributed web application layer enables user-friendly interaction, where users log in with their vehicle numbers, reserve parking spaces, and make payments through a MetaMask wallet.

Furthermore, a camera verifies and monitors compliance and QR scanning layer provides added verification when needed. These layers work together to create a comprehensive smart parking solution that enhances efficiency and user experience while reducing costs. Users can check slot availability, pay, charge their account balance, and evaluate service quality via the web application in real-time.

On the management side, they can view and withdraw profits, alter reservation prices, and temporarily halt reservations. The computer vision and the smart contract collaborate in verification operations, employing Message Digest Method 5 encryption for license plate numbers. The smart contract manages interactions across the system components, handles financial transactions, and verifies customer reservations. The blockchain is the decentralized platform for managing parking data and processing payments, forming the system's foundation.

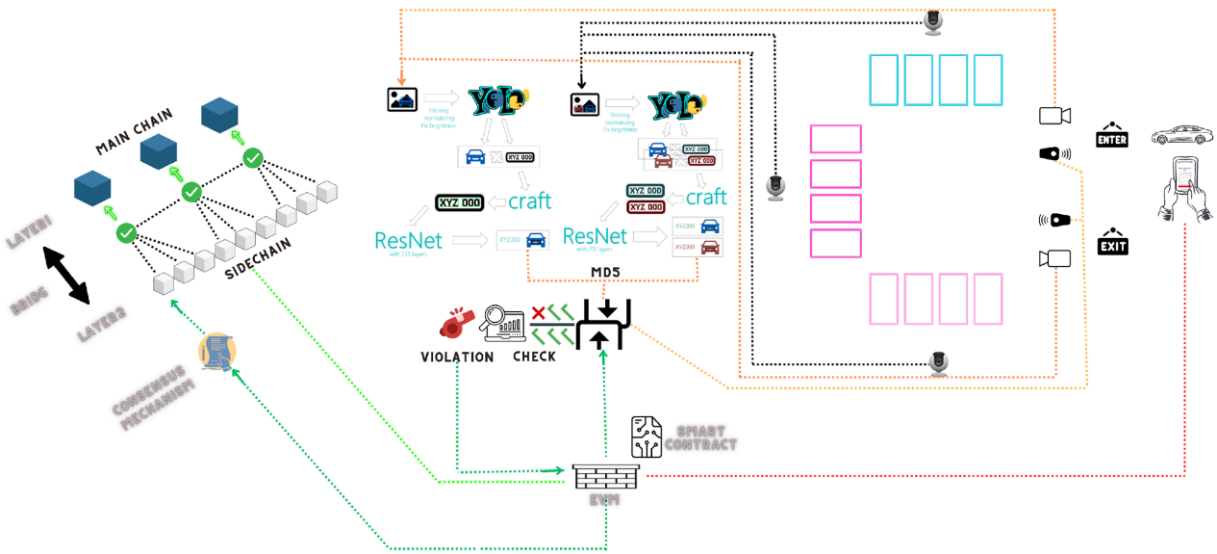


Fig. 1. An overview of the proposed system and its components

The smart contract for the proposed blockchain-based smart parking system facilitates numerous functionalities:

- rental costs and status inquiries: It returns the rental price of a slot, allows the owner to set the rental price, and shows whether a tenant's account is active. It also provides information about tenants such as car plate number, rented slot's camera number, and free slots available per camera or in total;
- tenant management: The contract returns the tenant's address for specific slots. It also allows adding a tenant with customizable parameters like the wallet address, car plate number, and reservation timings;
- reservation control: The contract enables reservation of parking slots after verifying certain conditions like unpaid dues and availability. Similarly, it handles termination of reservations, updating the slot status, and automatically calculating the total cost based on reservation duration;
- contract control: It allows the owner to pause, unpause, and verify the contract status. The contract also returns contract balance and owner's account balance, allowing the owner to withdraw the account balance;
- financial management: The contract keeps track of tenants' account balances, calculates the total cost of a slot reservation, and facilitates credit addition for tenants, with automatic payment if there are funds in the tenant's wallet;
- evaluation system: Users can rate parking slots and the contract can return the average rating and total number of evaluations;
- violation handling: The contract allows for setting and getting the address of an observer responsible for reporting violations;
- booking management: It allows the owner to stop and resume the acceptance of new bookings, and returns the booking status of the smart contract.

These features enable comprehensive control over the smart parking system, ensuring smooth, secure, and automated operations.

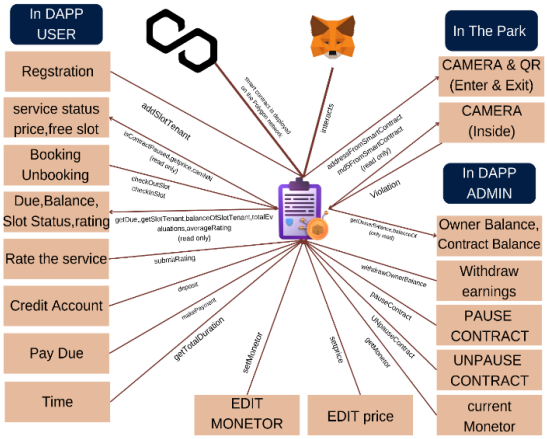


Fig. 2. Interactions of a Smart Contract with Components in a Parking Management System on the Polygon Network

The User Interface (UI) for the decentralized application (dApp) is designed to be intuitive and user-friendly, contributing to an enhanced user experience. The main interface, called "main page", provides primary information like smart parking status, reservation details, time consumed, cost, service evaluation, and the current reservation price. Another section, "STATISTICS," showcases data such as available slots, the number of service evaluations, and the average rating.

The "ADMIN" section, exclusively for the smart contract publisher, handles functions like contract balance, profit withdrawal, setting reservation price per time unit, stopping and starting the smart contract, and assigning a monitored address for violation handling. A top-right button quickly links the wallet to the distributor's application for transactions and payments.

The dApp integrates with several components to offer a seamless and efficient user experience. It connects with the smart contract deployed on the Polygon network, allowing users to register car numbers, reserve parking slots, and process payments. The dApp is also linked to the Polygon network, taking advantage of faster transactions and lower gas fees, and the MetaMask wallet, facilitating transactions and asset management on the Polygon network. The primary interface for users to interact with the smart parking system, the dApp connects with users, the smart contract, Polygon network, and MetaMask wallet, enhancing the parking experience with quicker transaction times and lower gas fees.

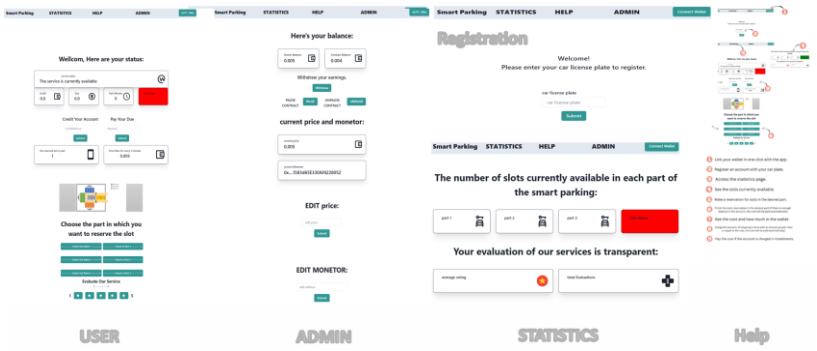


Fig. 3. Distributed web application interface

The license plate recognition system utilizes image processing techniques to detect and recognize license plates from images or video streams. The process involves preprocessing the input data, detecting and locating license plates using the YOLOv5 algorithm, extracting the region of interest, segmenting the license plate image into characters using the CRAFT network, and recognizing each character with a custom ResNet-based model. Confidence thresholding and region-specific rules are applied to ensure accurate recognition.

The system relies on cameras and computer vision technology to identify license plates and manage parking. Cameras are installed at the entrance, exit, and select parking spots to capture images of vehicles and their license plates. Computer vision algorithms are used to process these images and compare the license plate numbers with the smart contract to verify parking permissions. The system also monitors payment through the MetaMask wallet and allows exit from the parking lot accordingly. Cameras and computer vision technology play a crucial role in accurately identifying license plates for effective parking administration and payment collection.

Here's a summary of the blockchain-based smart parking system in a concise way:

- user Registration: The system verifies if the wallet address is for a regular user and if not registered, the user is asked to register by providing the car plate number. This car plate number is saved and encoded using MD5;
- deposit: Users can charge their account with the desired amount at any time. The amount is used for reservations and automatically deducted after the reservations are completed;
- reservation: The user checks for available slots and reserves the desired parking spot. The smart contract ensures the user doesn't have any unpaid amounts and there is a slot available for reservation;
- entry to the car park: After reserving a slot, the user can enter the parking lot. Cameras at the entrance use computer vision technology to extract and encrypt the license plate number. The system verifies the user's reservation by comparing the encrypted license plate with the reservation details in the smart contract;
- inside the car park: Cameras within the parking lot monitor for any parking violations. If any violations are detected, the violating user is charged an additional amount;
- finalize the reservation: When the user wants to end the reservation, the smart contract calculates the total amount due based on the reservation time. If the user's account has sufficient balance, the due amount is automatically deducted. If not, the user needs to deposit the due amount;

- exit the car park: When exiting, the camera once again identifies the vehicle and checks if all charges have been paid. If all payments are cleared, the user can exit the parking lot;
- service evaluation: Users can evaluate the quality of the service at any time through the distributed web application;
- admin Role: The admin can access profits of the smart contract, withdraw profits, activate/deactivate new slot bookings, adjust parking prices, and set a monitor address;
- monitor Role: Monitors, which are part of the executed code, can detect violations and send transactions to the smart contract to add additional amounts to the violator's account.

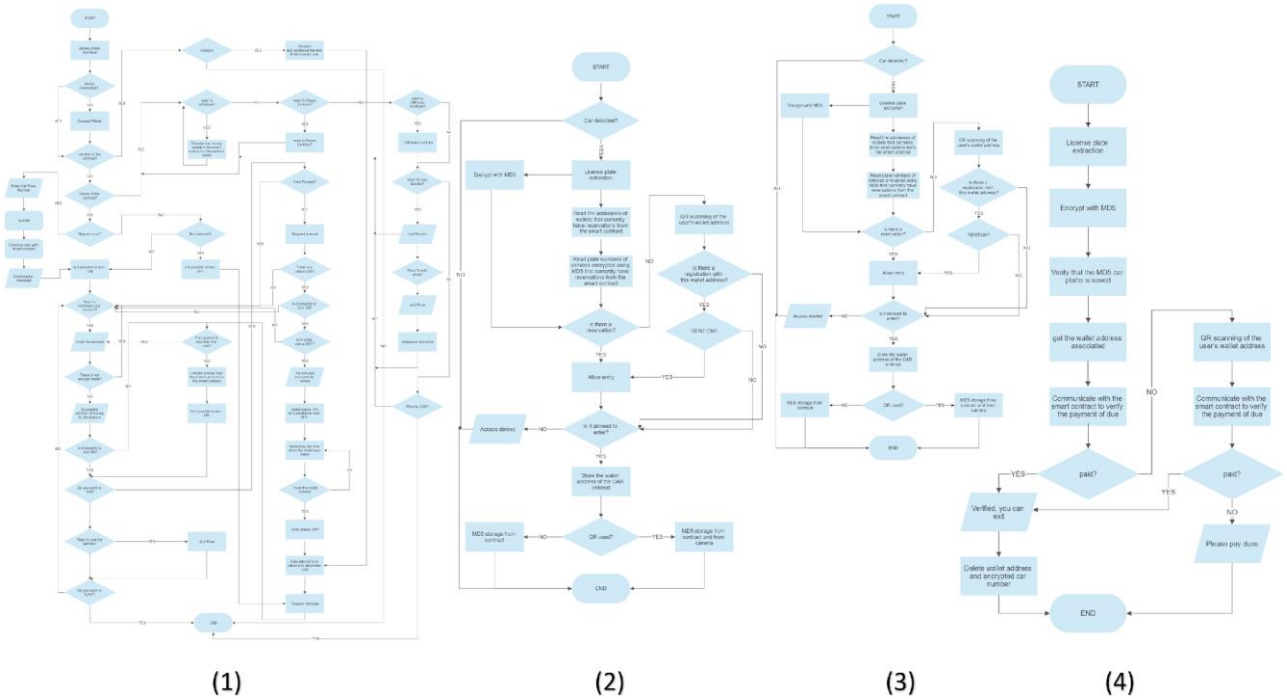


Fig. 5. Flow chart of the smart contract (1) and how the system works at the entrance (2), inside (3) and exit (4) of the smart parking

The smart contract-based system employs a range of security features to protect users and maintain data integrity. Key features include the SafeMath library to prevent arithmetic overflows, ReentrancyGuard to protect against reentrancy attacks, and Pausable for emergency contract pausing. Access control restrictions are in place for different roles, and a time-lock mechanism prevents frequent check-outs. Moreover, proper state management and user evaluation systems are implemented. Importantly, MD5 encryption is utilized for safeguarding license plate numbers, preventing unauthorized access even in case of system breaches.

Table 1. **Estimate gas costs and the dollar cost of smart contract functionality**

Function	Execution cost	Cost in Ether	Cost in USD
Registration	81775	0.00000489	0.0094
Reservation	103032	0.00000614	0.0118
End the reservation	94272.5	0.00000562	0.0108
Deposit	68834.67	0.00000411	0.0079
Make Payment	24202	0.000001457	0.0028
Violation	25278	0.000000745	0.0029

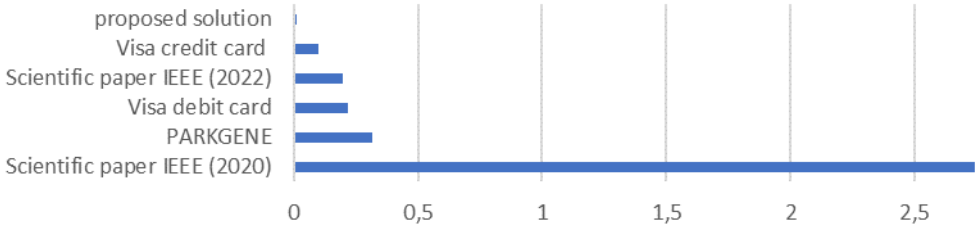


Fig. 6. Average transaction fees (usd)

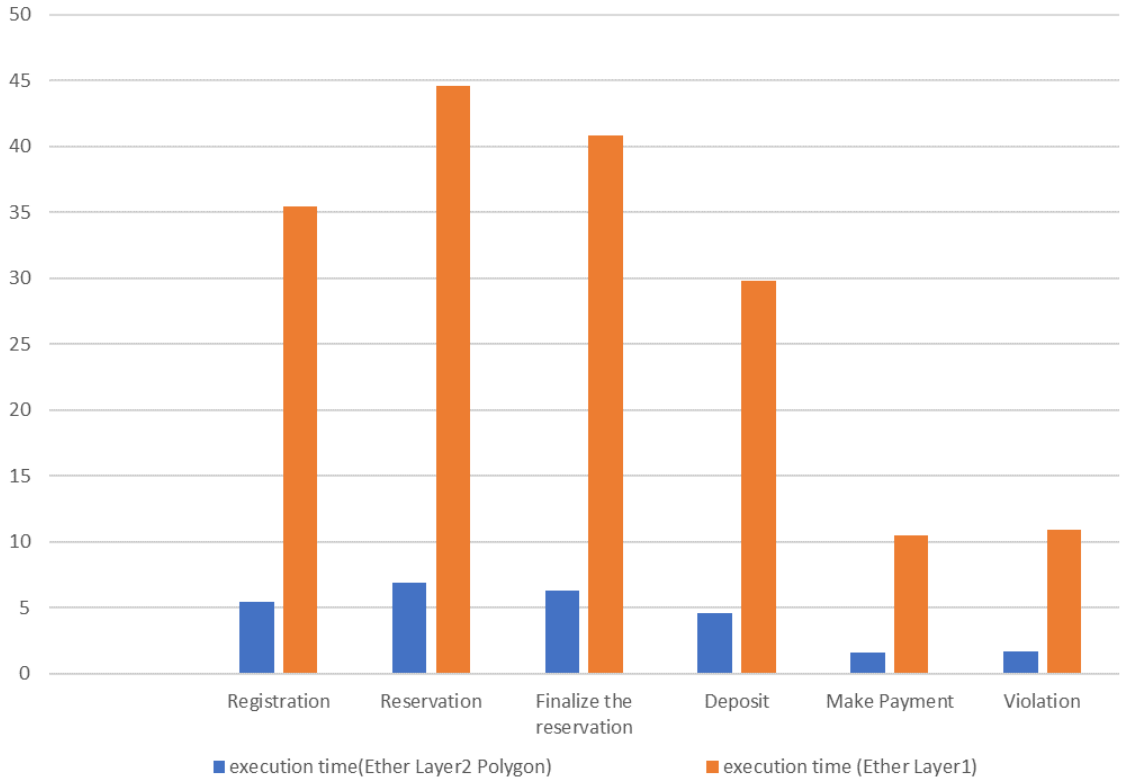


Fig. 7. Estimating the execution time of functions (ms)

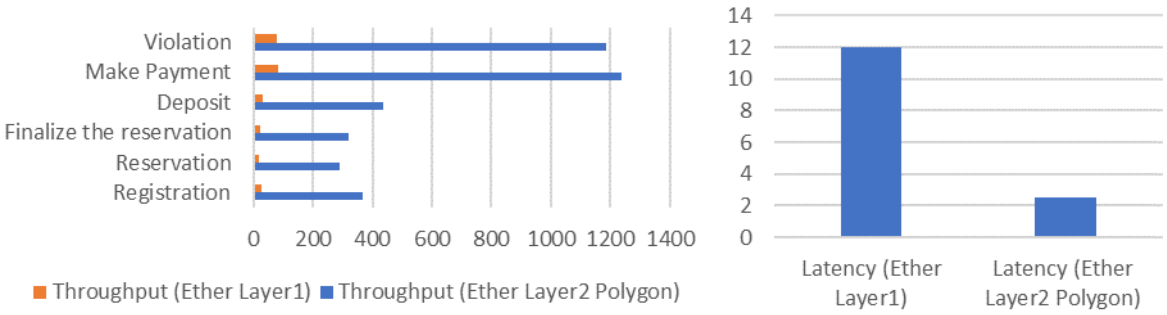


Fig. 8. Estimate the Throughput (tps) and Latency (s)

Table 2. **Performance Metrics of computer vision**

Metric	Value
Total Images Processed	2686
Correctly Recognized Plates	2491
Accuracy	92.74%
F1 Score	95.35%
False Positive Rate	5.57%
False Negative Rate	1.89%
Character Error Rate (CER)	7.26%

A blockchain-based parking system is designed using layer 2 solutions with an excellent average transaction fee of $0.01 compared to the current payment method and another projects [2-4]. An average latency of 2 seconds was obtained in our system, compared to Visa Card [2], which has an average latency of 10 seconds, and Ethereum's first layer solutions with a latency of 13 seconds on average, about 15 times higher throughput than Ethereum's layer 1 and execution time less are achieved. License plate detection and recognition Accuracy of 92.74% and the average time taken to process one photo was approximately 0.3874 seconds. With a system design that ensures it works efficiently even with incorrect license plate recognition. The functions of the smart contract and the distributed application were tested with some security-related tests and connectivity between the parts of the whole system through some scenarios.

Utilizing a robust Dell 3579 laptop with Core i7 8th processor, 20 GB RAM, NVMe 250 GB and GPU 1060 TI, we implemented a comprehensive solution focusing on smart contract development, a distributed web app, computer vision, and security aspects. This has optimized parking management and payment procedures, ensuring a secure, seamless user experience.

Future work includes expanding scope, integrating with other transport systems, improving computer vision algorithms, exploring cross-chain compatibility, updating security measures, developing user adoption strategies, and investigating environmental impacts.

In conclusion, our proposed Layer 2 blockchain-based smart parking system shows promise in revolutionizing the parking industry by addressing the inefficiencies, high costs, and security issues inherent in current parking systems. It provides a more secure, efficient, and user-friendly smart parking experience by using blockchain and smart contracts to establish fair and transparent fee structures, thereby addressing the issue of unfair fees. The system is designed to enhance efficiency, effectively combating the challenge of inefficient manual management. It offers a decentralized web application that can provide real-time data to users and administrators, addressing the issue of a lack of real-time information. Blockchain technology inherent in our system ensures decentralization and transparency, tackling issues of centralization and lack of transparency. In terms of security, Ethereum and blockchain technologies are known for their robust measures, minimizing vulnerability to attacks. Finally, our proposed Layer 2 solution speeds up transaction times and overall system performance, reducing the slow processing times commonly encountered in current systems.

REFERENCES

1. Sutopo A.H. Blockchain Programming Smart Contract on Polygon. Topazart. 2023.
2. Visa. Visa USA interchange reimbursement fees. 2022.
3. Turki M., Dammak B., Mars R. A Private Smart parking solution based on Blockchain and AI // 2022 15th International Conference on Security of Information and Networks (SIN). 2022. Pp. 1-7.
4. Parkgene PTE Ltd. (2018). PARKGENE: Decentralized peer-to-peer parking on the blockchain (White paper).
5. Sammut E., Inguanez F., Cortis A. Automating car park management with blockchain and computer vision // 2020 IEEE 10th International Conference on Consumer Electronics (ICCE-Berlin). 2020. Pp. 1-6.

Выпускник
Хлынов Руслан Дмитриевич
центр прикладной оптики
Направление подготовки: 12.04.02 – Оптотехника
e-mail: super.ryslan3@yandex.ru, ruslan384ruslan3@gmail.com

Научный руководитель
Рыжова Виктория Александровна
к.т.н., доцент
e-mail: victoria_ryz@mail.ru

УДК 535.51
ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ПОЛЯРИЗАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ НЕИНВАЗИВНОГО МОНИТОРИНГА УРОВНЯ ГЕМАТОКРИТА КРОВИ

Работа выполнена в рамках темы НИР № 621281 «Разработка методов и средств для решения прикладных задач в области световодной фотоники».

В настоящее время поляризационно-оптические методы показали свою эффективность для исследования явлений, сопровождающихся распространением оптического излучения в оптически неоднородных средах, показатель преломления которых не является постоянным, а зависит от координат, то есть в средах, обладающих анизотропией. Поляриметрия может быть использована в биологии и медицине для изучения свойств крови, связанных с агрегацией эритроцитов, что способствует получению новой информации о состоянии пациентов с сахарным диабетом и ишемической болезнью сердца [1].

Одной из значимых гомеостатических констант крови является гематокрит, который дает представление о соотношении между эритроцитами и плазмой в общем объеме крови. Его отклонение от нормы свидетельствует о риске наличия сердечно-сосудистого заболевания у пациента. Поэтому особое внимание уделяется ранней диагностике заболеваний у пациентов без явных признаков их наличия или со скрытыми формами их тяжелых осложнений.

Традиционные методы выявления сердечно-сосудистых заболеваний основаны на длительном анализе результатов инвазивного исследования крови, которые удовлетворяют требованиям ГОСТ Р 51352-2013, согласно которым погрешность измерения параметров крови должна составлять менее одного процента. Данные методы имеют ряд ограничений [2]. В связи с этим наиболее привлекательными представляются неинвазивные технологии количественной оценки состояния крови пациентов на основе оптико-электронных, и в том числе, поляризационных приборов и средств, которые по точности должны быть соизмеримы с инвазивными методами.

Поляризационные приборы содержат оптически анизотропные элементы, неидеальность изготовления и позиционирования которых может внести существенную погрешность в результаты измерения параметров биологических сред. Поэтому наиболее востребованы метрологические процедуры, снижающие погрешность и обеспечивающие достоверность и сопоставимость результатов измерений в медицине.

Проблема оценки неопределенности измерений в медицине является необходимым элементом формирования метрологической прослеживаемости. Эта оценка может быть реализована с использованием калибровочных процедур поляризационных приборов.

Калибровка средства измерений позволяет учесть в качестве поправок влияние на результат систематической погрешности, обусловленной отличием свойств реальных элементов оптического тракта от идеальных.

При этом возможности метода поляриметрии изображений для решения задачи ранней диагностики сердечно-сосудистых заболеваний остаются недостаточно изученными. В связи с этим представляется актуальным исследование оптико-электронных систем, предназначенных для неинвазивного мониторинга кровесодержащих сред методом изображающей поляриметрии, а также разработка метрологических подходов к повышению достоверности полученных результатов.

Выбор метода и методики калибровки поляризационной системы

На основе сравнительного анализа изображающих поляризационных систем и методов их калибровки было установлено, что по функциональному назначению данные приборы разделяются на Стокс- и Мюллер-поляриметры, а по схемам построения на многоканальные – схемы с разделением интенсивности излучения, падающего на вход прибора по амплитуде без вращающихся элементов и на одноканальные – схемы с пространственным разделением интенсивности излучения, падающего на вход прибора по апертуре; схемы с непрерывным измерением параметров поляризационных элементов поляризационного прибора; схемы с дискретным измерением параметров поляризационных элементов поляризационного прибора.

Активные схемы построения Мюллер-поляриметров трудно поддаются автоматизации. В отличие от них, активные и пассивные схемы Стокс-поляриметров по типу построения могут быть адаптированы для решения различных научно-технических задач с возможностью автоматизации измерительной процедуры. Таким образом, определение параметров полного вектора Стокса отличается достаточной простотой практической реализации, что позволяет реализовать поляризационную систему для неинвазивного мониторинга уровня гематокрита крови преимущественно на базе Стокс-поляриметра.

Каждая схема построения поляриметра имеет достоинства и недостатки, которые были представлены в работе [2] и которые необходимо учитывать при выполнении калибровки поляризационного прибора. Для проведения калибровки и решения задачи неинвазивного мониторинга уровня гематокрита предпочтительной является схема с дискретным измерением параметров поляризационных элементов поляризационного прибора, которая позволяет поэтапно исследовать выбранный метод калибровки.

При анализе поляриметрических изображений важное значение имеют вопросы калибровки поляризационных приборов [3].

Было установлено, что калибровку изображающих поляризационных приборов необходимо выполнять в определенной последовательности: 1 этап – радиометрическая калибровка; 2 этап – геометрическая калибровка; 3 этап – поляриметрическая калибровка. В зависимости от сферы использования и схемы построения поляриметра поляриметрическую калибровку можно проводить с помощью трех различных методов: матричный метод сокращения данных; метод калибровки по собственным значениям; метод калибровки поляризатора.

Использование матричного метода сокращения данных подразумевает определение приборной матрицы поляриметра в целях дальнейшего нахождения матрицы сокращения данных и числа обусловленности. Использование метода калибровки по собственным значениям подразумевает использование калибровочных образцов: воздух, идеальный линейный поляризатор или зеркало, у которых заранее известны параметры состояния поляризации, а сам метод калибровки заключается в определении матрицы генератора состояния поляризации и приборной матрицы поляриметра, в которой можно учесть систематические погрешности поляризационного прибора, возникающие в процессе измерения поляризационных параметров излучения. Использование метода калибровки поляризатора также, как и в методе калибровки по собственным значениям, подразумевает определение двух приборных матриц. Однако калибровка в данном методе осуществляется только с применением одного эталонного образца – линейного поляризатора.

В рамках матричного метода сокращения данных в зависимости от сгенерированного набора линейно независимых калибровочных векторов (известного; произвольного; нормированного) может использоваться три методики калибровки. Первая методика

калибровки реализована на использовании известного набора линейно независимых калибровочных векторов и основана на определении реальных приборных матриц поляриметра для всех пикселей изображения. Погрешность данной методики составляет несколько процентов. Вторая и третья методики калибровки с произвольным и с нормированным набором линейно независимых калибровочных векторов позволяют установить значительно более точную оценку относительных погрешностей при нахождении элементов приборной матрицы Стокс-поляриметра путем учета погрешностей элементов калибровочных векторов и получении на их основе токовых откликов. При этом вторая методика калибровки Стокс-поляриметров позволяет добиться в четыре раза большей точности определения погрешностей, обусловленных неидеальностью оптических компонентов схемы.

Поэтому выбор матричного метода сокращения данных в рамках поляриметрической калибровки обоснован тем, что он позволяет учесть систематические погрешности в единой приборной матрице системы, а наиболее предпочтительной в рамках данного метода является методика калибровки с произвольным набором линейно независимых калибровочных векторов.

Разработка поляризационной системы

На основании выбранной схемы с дискретным измерением параметров поляризационных элементов поляризационного прибора разработана структурная схема для неинвазивного мониторинга уровня гематокрита крови, которая представлена ниже.

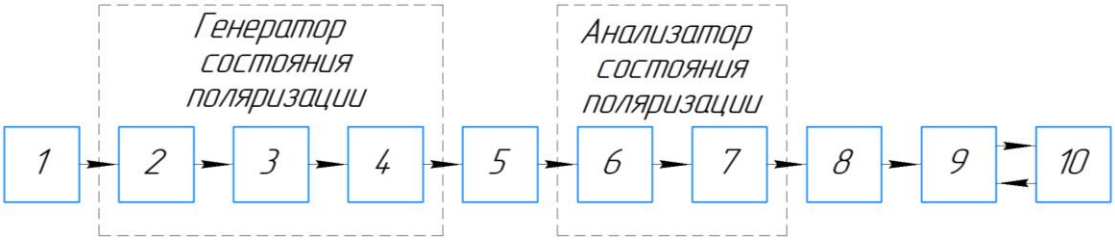


Рисунок. Структурная схема поляризационной системы

Передающая часть схемы состоит из источника когерентного оптического излучения 1 и генератора состояния поляризации, зондирующего объект 5 излучения. Генератор содержит блок фазовых пластинок 2, поляризатор 3 и четвертьволновую фазовую пластинку 4. Приемная часть схемы содержит блок анализатора состояния поляризации рассеянного объектом 5 излучения, в состав которого входит ахроматическая фазовая пластинка 6 и анализатор 7. Оптическая система 8 преобразует распределение яркости кружка рассеянного под углом излучения в распределение облученности на матрице видеокамеры 9. Для обработки и визуализации цифровых изображений используется блок 10 с разработанным программным обеспечением.

В работе [4] было подробно описано обоснование выбора оптических характеристик лазерного излучения при исследовании биологически активной среды – крови. Было установлено, что для реализации метода неинвазивной видеополяриметрии для мониторинга уровня гематокрита крови рекомендуется проводить измерения в режиме когерентного зондирования кровесодержащих тканей через ногтевую пластинку мизинца левой руки человека в диапазоне длин волн 0,63–0,68 мкм с мощностью излучения не более 1,0 мВт, под углом 50° относительно нормали к поверхности исследуемого образца. В связи с этим, в качестве передающей части схемы изображающего Стокс-поляриметра используются поляризационные элементы блока эллипсометра с источником оптического излучения, который представляет собой гелий-неоновый лазер с длиной волны 0,63 и мощностью 1,0 мВт.

В качестве приемника оптического излучения предлагается использовать матричный приемник оптического излучения с объективом. Матричный приемник оптического излучения позволяет сфокусировать получаемое пятно рассеянного излучения, имеет высокий и относительно бесшумный коэффициент усиления, быстрые временные характеристики и

относительно низкую стоимость. Использование цветной видеокамеры позволит применять источник оптического излучения с различными длинами волн. Это необходимо для более детального анализа структур биологических образцов, в частности, крови.

Экспериментальное исследование

Известны клинически апробированные результаты авторов [1], которые показали, что в качестве диагностических параметров физиологического состояния биологических объектов могут быть использованы статистические моменты высших порядков.

Цель настоящего экспериментального исследования заключалась в анализе возможностей применения метода активной видеополяриметрии для неинвазивного мониторинга уровня гематокрита крови, а также в адаптации предложенных ранее [1] информативных критериев применительно к задаче определения различий уровня гематокрита крови при разных состояниях биологического объекта.

Было проведено экспериментальное исследование анизотропных параметров биообъекта с использованием разработанной нами поляризационной системы. Эксперимент строился на некоторых положениях и допущениях, которые подробно были рассмотрены в работе [4]. В ней также представлены координатные распределения и гистограммы параметров состояния поляризации излучения (степени поляризации, азимута и эллиптичности) для состояний организма двух испытуемых с изначально разными и изменяющимися в процессе эксперимента уровнями гематокрита крови. В рамках статистического подхода к обработке цифровых изображений проведен комплексный анализ распределений поляризационных параметров рассеянного излучения. Объективная оценка полученных координатных распределений параметров поляризации выполнялась на основе построения гистограмм и вычисления статистических моментов первого-четвертого порядков.

Статистический анализ распределений поляризационных параметров рассеянного объектами излучения позволил установить, что наиболее информативными для оценки различных состояний уровня гематокрита крови являются центральные моменты второго-четвертого порядков.

Теоретическое рассмотрение выбранной методики калибровки

Методика калибровки с генерацией произвольного набора линейно независимых калибровочных векторов основана на следующем положении: все элементы оптической схемы поляризационной системы рассматриваются идеальными и все неопределенности измерений, вносимые в состояние поляризации излучения, приписываются четвертьволновой фазовой пластинке, которая используется для формирования круговой и эллиптической поляризации на входе поляризационного прибора.

При этом имеется возможность определить часть уникальной приборной матрицы во внутренней системе координат без участия четвертьволновой фазовой пластинки, а оставшуюся часть – на основе генерации околокруговых состояний поляризации с участием четвертьволновой фазовой пластинки.

Согласно данной методике для определения первых трех столбцов приборной матрицы **A** поляризационной системы с помощью генератора состояния поляризации были сгенерированы три произвольных набора линейно независимых калибровочных векторов и определены пространственные распределения интенсивности излучения в плоскости изображения на выходе разработанной поляризационной системы.

Приборную матрицу **A** Стокс-поляриметра можно записать в терминах его столбцов в следующем виде [5]:

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} \mathbf{A}_0 & \mathbf{A}_1 & \mathbf{A}_2 & \mathbf{A}_3 \end{bmatrix}. \quad (1)$$

Вектор Стокса падающего линейно поляризованного света с азимутом P задается в следующем виде [5]:

$$\mathbf{S}_{LP}(P) = \begin{bmatrix} 1 & \cos 2P & \sin 2P & 0 \end{bmatrix}^T, \quad (2)$$

где надстрочный индекс T означает транспонирование.

Если уравнение (1) и (2) использовать в классическом уравнении **I**=**A**·**S**, то отклик Стокс-поляриметра на падающий линейно поляризованный свет получается в виде [5]:

$$\mathbf{I}_{LP}(P) = \mathbf{A}_0 + \mathbf{A}_1 \cos 2P + \mathbf{A}_2 \sin 2P. \quad (3)$$

Показано, что если вектор выходного тока **I**(P) записывается как функция P в течение одного периода (диапазон 180°) при повороте поляризатора и подгоняется (в смысле наименьших квадратов) под простой ряд Фурье уравнения (3), то векторные коэффициенты Фурье дают непосредственно первые три столбца приборной матрицы **A** Стокс-поляриметра. Таким образом, три четверти приборной матрицы **A** определяются свободно от несовершенств четвертьволновой фазовой пластинки в передающей части схемы поляризационной системы.

Решение системы уравнений из двенадцати неизвестных по методу наименьших квадратов позволило получить первые три столбца реальной приборной матрицы **A** поляризационной системы, которые будут иметь следующий вид:

$$\begin{aligned}\mathbf{A}_0 &= [0{,}580 \quad 0{,}420 \quad 0{,}509 \quad 0{,}497]^T \\ \mathbf{A}_1 &= [0{,}080 \quad -0{,}080 \quad 0{,}011 \quad 0{,}019]^T \\ \mathbf{A}_2 &= [-0{,}061 \quad 0{,}061 \quad -0{,}001 \quad 0{,}015]^T\end{aligned}.$$

Оставшийся (четвертый) столбец $\mathbf{A}_3$ приборной матрицы Стокс-поляриметра определяется с помощью уравнения [5]:

$$\mathbf{A}_3 = \left(\frac{1}{2}\right) \cdot (\mathbf{I}_R - \mathbf{I}_L), \quad (4)$$

где $\mathbf{I}_R$ и $\mathbf{I}_L$ отклики поляриметра на падающий правосторонний и левосторонний циркулярно-поляризованный свет, которые определяются как $\mathbf{I}_R$=$\mathbf{A}_0$+$\mathbf{A}_3$; $\mathbf{I}_L$= $\mathbf{A}_0$–$\mathbf{A}_3$.

С помощью генератора состояния поляризации поляризационной системы были сформированы выше представленные поляризационные состояния и произведен расчет недостающего столбца реальной приборной матрицы **A** поляризационной системы:

$$\mathbf{A}_3 = [0{,}005 \quad -0{,}005 \quad -0{,}034 \quad -0{,}008]^T.$$

Вся реальная приборная матрица **A** поляризационной системы представлена ниже:

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} 0{,}580 & 0{,}080 & -0{,}061 & 0{,}005 \\ 0{,}420 & -0{,}080 & 0{,}061 & -0{,}005 \\ 0{,}509 & 0{,}011 & -0{,}001 & -0{,}034 \\ 0{,}497 & 0{,}019 & 0{,}015 & -0{,}008 \end{bmatrix}.$$

Таким образом, получена уникальная приборная матрица, в которой учтены систематические погрешности, возникающие в процессе неинвазивного измерения относительных значений уровня гематокрита крови.

Заключение

В результате проведенного исследования составлена классификация, позволившая обосновать выбор схемы построения систем для поляризационного анализа биологической ткани и систематизировать этапы и методы их калибровки. Сформирована методика поляриметрической калибровки поляризационной системы на основе матричного метода сокращения данных и генерации произвольного набора линейно независимых калибровочных векторов.

Результатом научного проекта является разработка поляризационной изображающей системы для неинвазивного мониторинга уровня гематокрита крови. Результатом исследования является разработка статистических критериев для количественной оценки изменения уровня гематокрита крови при его неинвазивном мониторинге. На основе физического моделирования определена уникальная приборная матрица разработанной поляризационной системы, в которой в качестве поправок учтены систематические погрешности анизотропных элементов системы.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Ushenko A.G., Dubolazov A.V., Ushenko V.A. et al. Mueller-matrix mapping of optically anisotropic fluorophores of molecular biological tissues in the diagnosis of diagnosis of death causes // Applications of Digital Image Processing XXXIX. – SPIE, 2016. T. 9971. Pp. 753-762.
2. Khlynov R.D., Ryzhova V.A., Konyakhin I.A., Korotaev V.V. Robotic Polarimetry System Based on Image Sensors for Monitoring the Rheological Properties of Blood in Emergency Situations // Smart Electromechanical Systems. Studies in Systems, Decision and Control. Cham: Springer International Publishing. 2022. Pp. 201-218.
3. Peña-Gutiérrez S., Royo S. Polarization calibration assessment for a broadband imaging polarimeter based on a division of aperture architecture // Optics Express. 023. T. 31. №. 3. Pp. 3839-3856.
4. Khlynov R.D., Ryzhova V.A., Korotaev V.V., Yarishev S.N., Djamiykov T.S., Marinov M.B. Noninvasive polarization-based technique for hematocrit monitoring // Journal of Optical Technology. 2023. T. 90. №. 1. Pp. 33-41.
5. Azzam R.M. A., Lopez A.G. Accurate calibration of the four-detector photopolarimeter with imperfect polarizing optical elements // JOSAA. 1989. T. 6. №. 10. Pp. 1513-1521.

Выпускник
Чубова Софья Дмитриевна
образовательный центр «Энергоэффективные инженерные системы»
Направление подготовки: 16.04.03 – Холодильная, криогенная техника и системы жизнеобеспечения
e-mail: chubova_sd@itmo.ru

Научный руководитель
Баранов Александр Юрьевич
д.т.н., профессор
e-mail: abaranov@itmo.ru

УДК 621.59

МОДЕРНИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ ТРЕТЬЕЙ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ЛИНИИ ЗАВОДА ПО СЖИЖЕНИЮ ГАЗА ПРОЕКТА «САХАЛИН-2»

Работа выполнена в рамках темы НИР №620151 «Выбор и обоснование технологии изменения теплофизических параметров сжиженного природного газа для сокращения потерь от испарения при его накоплении, хранении и транспортирования».

Строительство новых СПГ-проектов в России планируется уже несколько лет, но современные реалии ставят под угрозу строительство большинства проектов. Стоит отметить, что СПГ-проекты до последнего времени проектировались за счет использования иностранного оборудования и технологий. Самый первый завод СПГ в России, который начал свою работу в 2009 году, был построен совместно с иностранными специалистами компании Shell. После 2009 года глобально ничего не изменилось и новые проекты по сжижению природного газа, также осуществлялись с привлечением иностранных компаний. Российские проекты зачастую используют и импортные технологии сжижения, к примеру технологии компании Air Products, также, на отечественных заводах используются разработки компании Linde. Стоит отметить, что на первом заводе СПГ в России используется технология сжижения, разработанная компанией Shell.

Зачастую, иностранные компании работают со своими компаниями-партнерами и уже предписывают использование определенного оборудования на объектах: компрессоров, теплообменных аппаратов, газовых турбин. Данное обстоятельство ограничивает использование российских технологий и мешает развитию их производства на отечественных предприятиях. Монополистами на рынке оборудования для производства СПГ являются компании Linde, Air Products, также, в производстве компрессорного и газотурбинного оборудования преуспели компании General Electric и Siemens [1].

В сложившихся обстоятельствах России предстоит пройти через ряд этапов проб и ошибок, но все же создать отечественные технологии и промышленное оборудование полного цикла, от установок по очистке газа до криогенных теплообменных аппаратов. Также, необходимо учесть и резервуары для хранения продукта, танкеры и цистерны для транспортировки. Кроме этого, следует наладить логистические цепочки, а также регазификационные станции.

Данная работа посвящена решению актуальной проблемы отсутствия собственных технологий крупнотоннажного сжижения природного газа в России. В качестве прототипа мной была выбрана классическая каскадная технология ожижения газа, которая претерпела ряд изменений и усовершенствований в ходе научной работы. Данный цикл выбран не случайно, а из-за ряда важных преимуществ.

Технология получение СПГ с использованием трехкаскадного цикла, работающего на чистых веществах, была использована на самом первом заводе в мире, прежде всего из-за

низкого уровня развития низкотемпературных циклов. Рабочими веществами цикла являлись: пропан, этилен и метан. Неоднократно эта технология подвергалась критике из-за большого количества компрессорного оборудования, которое требовалось для сжатия каждого рабочего вещества. Одним из самых дорогостоящих элементов цикла охлаждения является компрессор, в данном случае требуется сразу три компрессора. Много лет компании разработчики стремились к тому, чтобы уменьшить количество оборудования, в первую очередь компрессорных установок, задействованных в составе ожижителей природного газа. Большая часть производителей СПГ используют технологии ожижения на смешанных хладагентах, в первую очередь для того, чтобы сократить капитальные затраты проекта. Несмотря на критику каскадной технологии, она используется на 19% мировых производств СПГ [2].

Известная компания в СПГ отрасли Air Products считает каскадный цикл эталоном энергоэффективности и ставит наравне с циклами, работающими на смешанных хладагентах. Используют этот цикл и потому, что чистые вещества упрощают расчет и проектирование оборудования цикла. Указанные выше рабочие вещества легко извлечь из состава природного газа. В рамках своей работы придерживаюсь такого же подхода, чем проще расчет технологии, тем легче и доступнее ее воспроизводство.

Единственное, что вызывает некоторые сомнения при использовании каскадного цикла – это использование этилена на одной из ступеней охлаждения. Этилен не входит в состав природного газа. Чтобы использовать этилен в процессе сжижения природного газа, его надо произвести из этана на самом заводе, либо покупать и транспортировать до место сжижения газа. Если использовать этан вместо этилена, можно избавиться от проблемы приобретения этилена в качестве хладагента, но тогда повысится нагрузка на метановую ступень охлаждения, либо появится проблема недостаточно низкой температуры сырьевого потока после последней ступени охлаждения. Недостаточно низкая температура природного газа на выходе из цикла присуща и новым технологиям сжижения, что является недостатком, потому что значительная часть потока полученной жидкости испаряется при снижении давления потока до уровня хранения.

Очевидным решением проблемы недостатка охлаждения газа может быть дополнительная ступень охлаждения. Чистым веществом с достаточно низкой температурой кипения является азот, поэтому его использование является целесообразным в данном случае. При этом установки для производства азота из воздуха есть на каждом производстве СПГ. Дополнительная ступень охлаждения повышает долю полученного сжиженного газа, и цикл становится практически идеальным, потому что коэффициент ожижения близок к 1.

За исходные данные были приняты условия завода по производству СПГ проекта «Сахалин-2», который функционирует уже 14 лет в условиях субарктического климата. Принципиальная схема четырехкаскадного цикла ожижения природного газа представлена на рисунке.

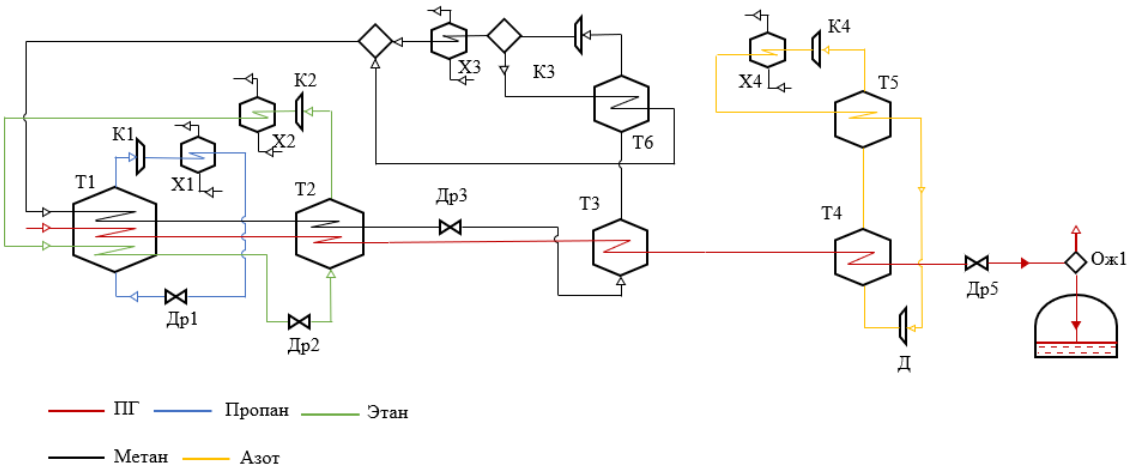


Рисунок. Схема четырехкаскадного цикла ожижения природного газа

Газ поступает после очистки и осушки на сжижение при средней температуре 10°C и давлении 5,9 МПа (5 870 000 Па) и сразу поступает в первый теплообменный аппарат Т1 на предварительное охлаждение пропаном. После прохождения теплообменника температура газа опускается до -40°C. Далее поток газа направляется во второй теплообменный аппарат Т2, где охлаждается с помощью этана до температуры -85°C. После этановой ступени охлаждения газ поступает в третий теплообменный аппарат Т3 на метановую ступень охлаждения, после которой температура сырьевого потока опускается до -133°C. Проходя через последнюю ступень охлаждения – метановую, природный газ охлаждается до температуры -158°C и полностью переходит в жидкое состояние. Далее природный газ проходит через дроссельный вентиль, чтобы сбросить избыточное давление до показателей приближенных к атмосферному давлению.

Помимо добавления четвертой ступени охлаждения, в разработанной схеме получения СПГ присутствует еще несколько значительных изменений. Добавлен детандер, предназначенный для того, чтобы расширить поток азота, при этом снизим его температуру перед вхождением в теплообменный аппарат Т4. Детандер предназначен и для того, чтобы получать из кинетической энергии потока газа механическую энергию, которая легко преобразуется в электрическую. Следует отметить, что четвертая ступень охлаждения не зависит от других теплообменных аппаратов, так как прямой поток азота, направляемый в детандер, охлаждается собственным обратным потоком.

Большая нагрузка в цикле приходится на пропановую ступень, так как она охлаждает не только сырьевой поток газа, но и рабочие вещества этановой и метановый ступеней. Этановая ступень охлаждения, в свою очередь, охлаждает сырьевой и метановый газовые потоки. Метановый каскад имеет отличие от двух аналогичных каскадов, на выходе из теплообменника Т4 поток метана отогревается частью потока, выходящего из компрессора. Дополнительный теплообменник Т6 нужен для того, чтобы отогревать холодный поток метана из Т4 перед входом в компрессор, за счет этого уменьшается потери холодопроизводительности от недорекуперации теплоты.

Цикл работает на чистых хладагентах (пропан, этан, метан, азот), что позволяет легко подстраивать температуру теплоносителей под потребности производства и под условия окружающей среды. Цикл рассчитан на производство в 3 млн тонн СПГ в год, но это число может меняться в большую или меньшую сторону. В данном цикле можно варьировать количество хладагента, чтобы увеличить или уменьшить производство СПГ. Также, можно использовать в качестве охлаждения природного газа отпарной газ из хранилища и/или с танкеров, данный вариант будет рассчитан в процессе дальнейшей работы проекта.

Для каждого контура хладагента предусмотрен свой компрессор и охладитель, а также в каждом контуре хладагента предусмотрен свой дроссельный вентиль или детандер. Массовые расходы хладагентов на единицу СПГ представлены в таблицы 1. Предполагается, что чистые хладагенты будут выделяться в блоке фракционирования из состава природного газа, но в данной работе этот расчет представлен не будет.

Таблица 1. **Массовые расходы хладагентов каскадного цикла**

Название хладагентов	Количество, кг/кг СПГ
Пропан	4,31
Этан	1,96
Метан	1,46
Азот	2,10

Стоит отметить, что использование в качестве хладагентов чистых веществ является достоинством и объясняет простоту цикла. Все компоненты легкодоступны и содержатся в природном газе в достаточном количестве, чтобы обеспечить работу цикла.

Ниже представлены результаты расчета энергетического анализа криогенного каскадного цикла ожижения природного газа. В таблице 2 указаны энергетические удельные затраты на ожижения природного газа.

Таблица 2. **Энергетические затраты каскадного цикла**

Поток	Удельные энергозатраты *l*, кДж/кг СПГ	Удельные энергозатраты *l*, кВт·ч/кг СПГ
Пропан	176,58	0,049
Этан	286,42	0,080
Метан	487,91	0,136
Азот	156,56	0,043
Всего:	2542,93	0,706
Всего с учетом детандера:	2351,01	0,653

В данной работе разработана новая технология ожижения природного газа на базе классического каскадного цикла. Новый цикл представляет собой четырехкаскадную технологию, работающую на чистых хладагентах (пропан, этан, метан, азот). Такой подход выбран неслучайно, каскадные циклы обеспечивают высокую производительность при вариативности условий эксплуатации. Также, расчет цикла достаточно прост из-за того, что теплофизические свойства чистых веществ хорошо изучены. Цикл подходит для разного состава природного газа, как для «сухого», так и для «жирного» (с высоким содержанием тяжелых углеводородов). Единственное, в чем может заключаться неудобство цикла – это количество оборудования, так как для каждого хладагента требуется компрессор, охладитель, теплообменный аппарат, а также резервуары для хранения запаса рабочего вещества.

Российские нефтегазовые компании, возможно, столкнутся с проблемой эксплуатации и техническим обслуживанием оборудования на существующих объектах, так как большинство установок технологического процесса сжижения газа построили с использованием импортного оборудования. Ротационное оборудование, компрессоры, насосы обслуживались совместно с иностранными компаниями-производителями, но в настоящее время это сотрудничество находится под угрозой. Сейчас самое подходящее время для компаний развивать новые проекты и заниматься импортозамещением, чтобы больше не сталкиваться с подобными ситуациями. Также, проект важен для производителей и поставщиков отечественного оборудования, которое вероятнее всего будет использоваться на новой линии сжижения природного газа.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Фёдорова В.А. Роль СПГ в экспортной стратегии России // Neftegaz.ru. 2019. №. 10. С. 98-104.
2. Баранов А.Ю., Тихонов К.А., Андреев А.М., Березин Н.А. Энергоэффективные циклы сжижения природного газа // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Холодильная техника и кондиционирование». 2016. №. 1. С. 1-8.
3. Изотов Н.И. Сжиженный природный газ. Технологии и оборудование / Под ред. Одишария Г.Э. – М.: Газпром ВНИИГАЗ. 2013. 306 с.

Выпускник
Ширманкин Антон Васильевич
институт лазерных технологий
Направление подготовки: 12.04.05 – Лазерная техника и лазерные технологии
e-mail: shirmankin123@gmail.com

Научный руководитель
Самохвалов Андрей Александрович
к.т.н.
e-mail: samokhvalov.itmo@gmail.com

УДК 544.032.65

СИНТЕЗ УГЛЕРОДНЫХ НАНОСТРУКТУР НА ПОВЕРХНОСТИ ПОЛИМЕРОВ НЕПРЕРЫВНЫМ ЛАЗЕРНЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ

В настоящее время наноматериалы на основе графена широко изучаются благодаря их свойствам: электрическим, механическим, тепловым и другим [1]. Благодаря различным технологиям синтеза графен может иметь пористую и трехмерную (3D) структуру, что обеспечивает широкий спектр применений от различных устройств гибкой электроники до устройств накопления энергии.

Тем не менее, несмотря на огромные достижения, современные методы синтеза графена требуют либо высокотемпературной обработки [2], либо многоэтапных способов химического синтеза [3], что уменьшает их коммерческий потенциал. Таким образом, прямой – одноэтапный синтез графена для массового производства является технологически важной целью для создания коммерчески доступных микроустройств и, в частности, для развивающейся отрасли гибкой электроники.

Для исследования в качестве прекурсора и одновременно подложки был выбран полимерный материал Polyimide Kapton (полиимид каптон) толщиной примерно 100 мкм. Для формирования ЛИГ на поверхности пленки использовались непрерывный диодный УФ и инфракрасный Co_2 лазер с длиной волны 405 нм и 10,6 мкм соответственно. Образцы облучались с шагом по мощности и скорости сканирования. Так, были получены режимы от начала видимой модификации и вплоть до признаков разрушения материала. Таким образом, определялись пороговые и граничные параметры обработки.

Изначально оценка полученных структур производилась по визуальным критериям, что включало получение снимков на оптическом микроскопе Zeiss. Далее, при помощи спектроскопии комбинационного рассеяния (СКР) и сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) производилось определение полученных форм углеродных структур, а также анализ поверхности.

В качестве примера устройств, которые можно создавать на основе полученного материала. Был сделан резистивный нагревательный элемент. Пленка Polyimide Kapton для этого эксперимента облучалась диодным лазером с оптимальными параметрами обработки:

1) мощность лазерного излучения 148 мВт;
2) скорость сканирования 10,5 мм/с.

Записывалась данная структура длиной 40 мм и шириной 8 мм. Построчным сканированием с перекрытием линий 30 мкм. Это делалось для того, чтобы избежать возникновения дефектов структуры лазерно – индуцированного графена (ЛИГ) на краях треков. Количество треков составило 260 штук.

Лазерно – индуцированный графеновый нагреватель подключался к блоку питанию постоянного напряжения фирмы Wanptek. Для лучшего электрического соединения на места соприкосновения контактов с ЛИГ была нанесена алюминиевая фольга. Внешний вид изготовленного нагревательного элемента приведен на рисунке 1.

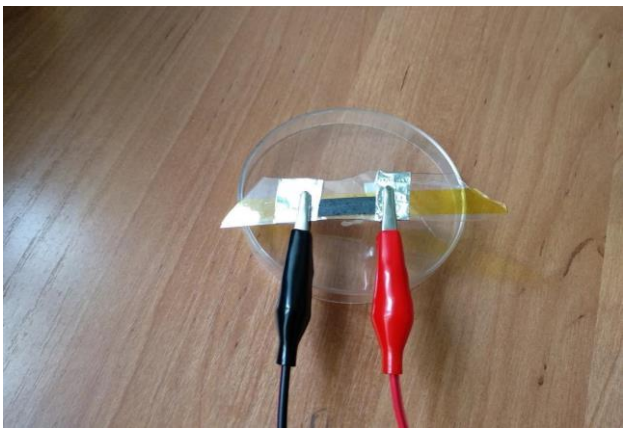


Рис. 1. Цифровое изображение нагревательного элемента длиной 40 мм и шириной 8 мм

Электротермические характеристики ЛИГ нагревателей, определялись путем приложения к образцу постоянного напряжения и измерения его температурного профиля в зависимости от времени. Температуры нагрева и остывания регистрировали с помощью тепловизора фирмы FLIR SISTEMS модели SC7000. В ходе экспериментов были получены температуры нагрева и остывания при приложенных напряжениях 10 В, 20 В и 31 В, представленные на рисунке 2.

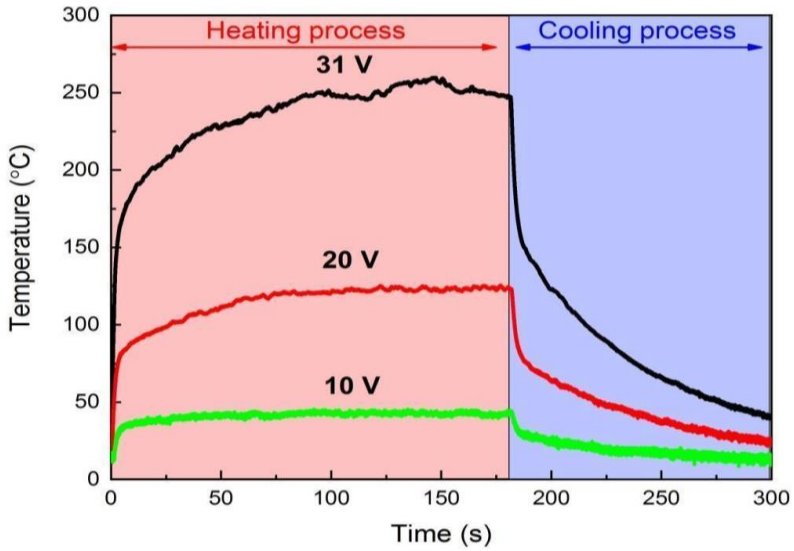


Рис. 2. Зависимости температуры поверхности от времени приложения напряжения

Как видно из рисунке 2, нагревательный элемент, приготовленный на пленке polyimide kapton, быстро нагревается до своей максимальной температуры и стабильно поддерживает ее при прикладываемом значение напряжения, а затем также быстро остывает после снятия напряжения. Скорость нагревания составляет примерно 5 секунд, что касается охлаждения, то в течение пяти секунд нагревательный элемент остывает примерно на половину от набранной температуры, а затем в течение минуты полностью остывает до комнатной температуры. В связи с чем можно предположить, что данные нагревательные элементы потенциально найдут применение в качестве гибких нагревателей или носимых и портативных устройств.

Тепловое инфракрасное изображение, полученное с тепловизора FLIR SISTEMS, представлено на рисунке 3. Как видно из этого изображение данный нагревательный элемент обеспечивает равномерный нагрев на всей области графена. Максимальная достигнутая температура составила 305°C.

Далее, рассмотрим зависимость количества теплоты от напряжения, представленную на рисунке 4.

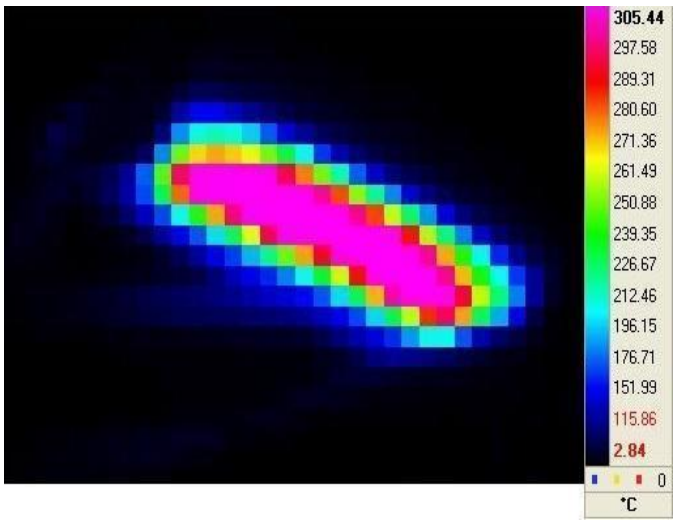


Рис. 3. Тепловое инфракрасное изображение нагревательного элемента длиной 40 мм и шириной 8 мм

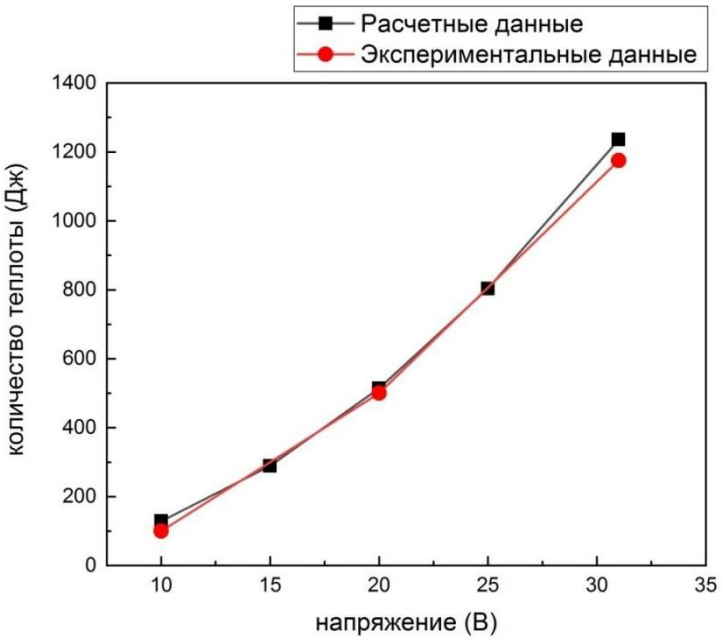


Рис. 4. Количество теплоты нагревательного элемента длиной 40 мм и шириной 8 мм от приложенного напряжения

Если обратить внимание на рисунок 4, то можно заметить, что данная температурная зависимость хорошо описывается законом Джоуля–Ленца.

$$Q = \frac{V^2}{R}, \quad (1)$$

где Q – количество теплоты, V – входное напряжение и R – сопротивление.

Отсюда можно сделать вывод, что, если уменьшать сопротивление нагревателей, то больший электрический ток может проходить через данный элемент при постоянном входном напряжении, что приведет к более высокой частоте столкновений между электронами и соответственно к увеличению температуры в результате потери энергии. Для того чтобы уменьшить общее сопротивление, было решено уменьшить площадь нашего резистивного нагревательного элемента, поэтому были изготовлены нагревательные элементы разной площадью, и измерено их сопротивление, значение которых приведено в таблице.

Далее, нагревательный элемент длиной 20 мм и шириной 4 мм, нарисованный тем же способом, что описан выше, был также измерен с помощью тепловизора фирмы FLIR SISTEMS, что продемонстрировано на рисунке 5.

Таблица. **Сопротивление нагревательных элементов разной площади**

L, мм	b, мм	Rср, Ом	S, мм
20	8	140,6	160
16	8	124,8	128
12	8	86,18	96
8	8	65,78	64
4	8	55,9	32

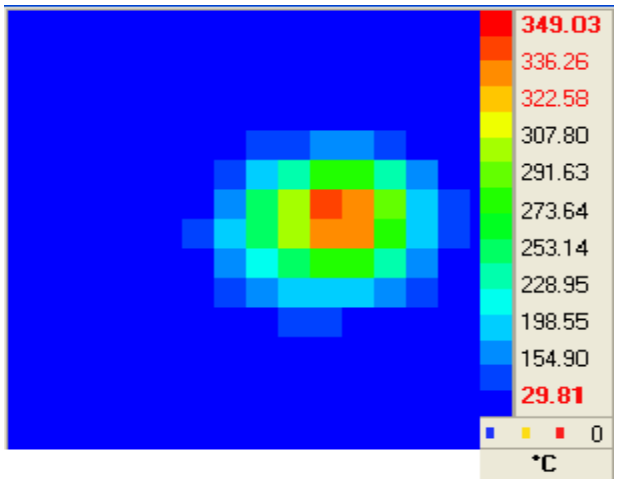


Рис. 5. Тепловое инфракрасное изображение нагревательного элемента длиной 20 мм и шириной 4 мм при приложенном напряжении 31 В

Анализируя рисунок 5, заметно, что температура при приложении максимального напряжения 31 В составляет примерно 350°С, что практически на 100°С выше, чем при прошлых параметрах нагревательного элемента. Эти данные подтверждают, что сопротивление данных резистивных элементов можно понизить всего лишь уменьшая их площадь. Стоит также отметить, что удалось достигнуть температуру выше 350°С, но при достижении данной температуры пленка polyimide kapton начинает рваться.

Основными результатами диссертационной работы являются:

1) синтез углеродных структур на поверхности полимерной пленки polyimide Kapton при облучении непрерывными ИК и УФ лазерами. При помощи спектроскопии комбинационного рассеяния света и СЭМ доказано, что данные структуры являются лазерно – индуцированным графеном;
2) определены параметры обработки для формирования ЛИГ на поверхности polyimide Kapton;
3) показано различие в механизмах образования ЛИГ при использовании ИК и УФ лазеров;
4) показана практическая значимость проделанной работы. В качестве примера устройств, которые можно создавать на основе полученных структур, был сделан резистивный нагревательный элемент. Максимальная температура полученного нагревательного элемента составила 350°С. Стоит отметить, тот факт, что данные нагревательные устройства имеют высокие скорости нагрева и охлаждения, которые составляют примерно 3 – 4 секунды;
5) данная технология может быть использована в различных областях от носимых и портативных устройств до применения в микрофлюидике, фильтрации, а также водородной энергетике.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Geim A.K. Graphene: status and prospects // Science. 2009. С. 1530-1534.
2. Wang X.B. et al. Three-dimensional strutted graphene grown by substrate-free sugar blowing for high-power-density supercapacitors // Nat. Commun. 2013. №. 4. С. 2905. 7.
3. Chen Z.P. et al. Three-dimensional flexible and conductive interconnected grapheme networks grown by chemical vapour deposition // Nat. Mater. 2011. №. 10. С. 424-428.

Выпускник
Семенов Юрий Евгеньевич
Институт дизайна и урбанистики
Направление подготовки: 07.04.04 – Градостроительство
e-mail: je.sem@mail.ru

Научный руководитель
Репкин Александр Игоревич
к.э.н., доцент
e-mail: airepkin@gmail.com

УДК 711.4-16

МОДЕЛИРОВАНИЕ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО И ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАЗВИТИЯ СУБУРБАНИЗИРОВАННОЙ ЗОНЫ ГОРОДСКОЙ АГЛОМЕРАЦИИ (НА ПРИМЕРЕ ИРКУТСКОЙ АГЛОМЕРАЦИИ)

Понятие «субурбанизированная зона городской агломерации» образуется на стыке междисциплинарных и отраслевых исследований. К первой четверти XXI в. стала очевидной стихийность и фрагментарность образования пригородных территорий в практиках постсоветских стран [1, 2]. Исследователями отмечается экстенсивность развития крупных городов в их субурбанизированных зонах [3]. В связи с этим эффективность социально-экономического и пространственного развития зависит от применения и адаптации кросс-дисциплинарных стратегических и планировочных решений [4].

Перспективность исследования процесса субурбанизации заключается в обеспечении оптимального сценария развития агломерационной системы при стратегировании ее позиционирования в системе расселения регионов. На основе исследования социально-экономических и пространственных аспектов возможно предложение типовой модели субурбанизации, учитывающей глобальные градостроительные тенденции. Субурбанизированная зона агломерационной системы нуждается в моделировании, позволяющем обеспечить реализацию наиболее перспективного вектора развития и предотвратить сложно обратимые экологические и необратимые антропогенные изменений биосферы.

Объектом исследования является субурбанизированная зона городской агломерации. Предметом исследования выступают процессы социально-экономического и пространственного развития субурбанизированной зоны городской агломерации. Цель исследования состоит в разработке модели социально-экономического и пространственного развития субурбанизированной зоны городской агломерации на основе теоретического и прикладного исследования градостроительных систем и возможности ее применения в Иркутской агломерации.

Задачи исследования:

1. Предложить систему методов и методик, необходимых для моделирования социально-экономического и пространственного развития субурбанизированной зоны городской агломерации.
2. Разработать основные положения и структуру модели социально-экономического и пространственного развития субурбанизированной зоны городской агломерации в условиях ведения градостроительной деятельности в Российской Федерации.
3. Предложить сценарий устойчивого развития субурбанизированной зоны ядра Иркутской агломерации, а также вариант его внедрения в градостроительную документацию с учетом практик реализации городских агломераций в Российской Федерации.

Гипотезой исследования является предположение о возможности обеспечения сбалансированного развития субурбанизированной зоны городской агломерации на основе

системы методов, методик и принципов, универсальных и масштабируемых при различных социально-экономических и пространственных характеристиках территории.

Теоретическо-методологическая база исследования выступают классические экономические, социологические, географические и экологические концепции.

Социально-экономическое развитие исследуется на основе работ экономистов Й. фон Тютена, А. Вебера, социолога Э. Берджесса и экономиста Г. Хойта, разработавших основы концентрических сегментарных функциональных зон, а также географов Э. Ульмана и Ч. Харриса, определивших теоретические основы многоядерности городских систем.

Пространственное развитие изучается на основе работ Й. Коля, смоделировавшего иерархическую транспортную структуру, географа В. Кристаллера, определившего сущность концентрации населения городов, авторов «Правила Ципфа», описывающего закономерности распределения населения поселений, а также экономиста В. Алонсо, предложившего экономико-пространственную модель города.

Экологически ориентированного развитие обеспечивается теориями, заложенными в концепцию устойчивости городской среды.

При укрупненной классификации урбанизированных территорий по критерию типа антропогенного воздействия выделяются сельскохозяйственные ландшафты и селитебные зоны, которые в модельном отношении разделяются на городские и сельские территории. В условиях существующих градостроительных систем классификация неоднородных урбанизированных территорий усложняется фрагментарным функционально смешанным и динамичным развитием, разграничение которого по принадлежности к городком или сельскому невозможно по одному критерию. Ввиду превалирования формальных критериев, среди которых земельно-имущественные отношения, административно-территориальное деление и нормативно-правовая обоснованность решений, границы градостроительных систем не отражают социально-экономических и пространственных процессов, определяющих векторы устойчивого роста урбанизированных территорий. Таким образом, не действуют сущностные составляющие развития – закономерность, поступательность и качественный рост.

Граница между селом и городом не является линией. Урбанизированные территории образуют системы более высокого порядка, нежели город сам по себе. Одним из базовых процессов является маятниковая миграция. На стыке между городом и селом формируется «буферная зона», обладающая признаками как городской, так и сельской среды, получившая название «пригород» (рис. 1).

Рис. 1. Модель процесса формирования и развития субурбанизированных территорий

По мнению Д. Андерсона, пригороды стали продуктом антиутопических концепций и борьбы за безопасность [5]. Тезис подтверждается размышлениями Ле Корбюзье о жизнеспособном рассредоточенном городе в условиях войны и идеями Фрэнка Ллойда Райта о регламентированных параметрах земельных участков и зданий [6]. Сущность этих и многих других аналогичных исследований заключается в гипотезе о возможности объединения сильных сторон городов и сел, среди которых городские блага, зеленые пространства и чистый воздух, что поможет избежать проблем массовой бедности, инфраструктурной недоступности, сегрегации, монофункциональности и формирования трущоб. Попытки моделирования идеального пригорода принимались архитектором А. Гауди, планировщиком Д. Нэшем, проектными организациями, среди которых DPZ CoDesign, Sasaki and Associates, Berkus Group

Architects, а также множеством участников ICDC (от англ. – International City Design Competition) [5]. Современный образ пригородов включает низкую плотность застройки, доступный общественный транспорт и пешеходно-ориентированную планировку.

Пригороды аккумулируют в себе ресурсы в процессе субурбанизированного развития территорий, включая плановое и самотечное формирования зон расселения, центробежные и центростремительные миграции населения региональных, агломерационных и конгломератовых градостроительных систем. Внимание научного сообщества к процессу субурбанизации экспоненциально возрастает, начиная с 1950-х гг. [1]. На основе данных исследований субурбанизации можно составить классификацию пригородных территорий, учитывающую социально-экономические и пространственные аспекты (рис. 2) [7, 8]. Стоит заметить, что окраинный город образует границы потенциального расширения муниципального образования, к которой относится город. Модель образования ближних и дальних пригородов или же пост-пригородов и «псевдо-деревень» (от англ. – preudo-countryside) отличается от контекста развития урбанизированных территорий, культурных, социальных, экономических и политических условий, образующий характер миграции населения [7].

Рис. 2. Классификация субурбанизированных территорий

Причины образования ближних и дальних пригородов лежат в основе классификации процесса субурбанизации. Выделяются базовые модели субурбанизации: англо-американская модель, модель постсоциалистических стран, а также азиатская модель. Наиболее массовый характер получила англо-американская модель, которая вплоть до 2000-х гг. формировала мировой тренд осуществления градостроительной политики [1, 9]. Модель постсоциалистических стран сформировалась в результате проведения плановых мероприятий и нерегулируемого роста – «постсоциалистическая пригородная революция», характеризующая государства, прошедшие период культурной трансформации и апроприации [1]. Азиатская модель имеет значительные отличия от остальных в силу мегарегионального планирования, характеризующегося культурным своеобразием и решениями уникальных социально-экономических вызовов [10]. В частности, китайский пригород формируется преимущественно сельским населением, а не городским. Для предотвращения неконтролируемого роста вводятся инструменты искусственного сдерживания мегаполисов и сглаживания качественной неоднородности урбанизированных территорий [10, 11].

Процесс субурбанизации в Российской Федерации имеет внесистемный нормативно-правовой характер [12]. На момент 2023 г. законодательно определено понятие «городская агломерация» [13]. Планомерность и устойчивость пригородного развития – комплексная задача, решение которой возможно путем моделирования, стратегирования и планирования. К условиям пригородного развития относится повсеместное внедрение информационно-коммуникационных технологий, цифровизация услуг, расширение форм и видов занятости в условиях четвертой промышленной революции [12, 14, 15]. Помимо этого, пространство пригорода требует урегулирования, обеспечения инфраструктурными благами, создания условий комфортности и доступности среды.

Реализуемость мероприятий социально-экономического и пространственного развития в субурбанизированной зоне ядра городской агломерации обеспечивается системным подходом, включающим использование методов, методик и моделей, эффективных при решении прикладных градостроительных задач. В связи с этим посредством ретроспективного анализа выявлены исследования и идеи, объясняющие внутрисистемные и межсистемные процессы развития урбанизированных территорий.

Социально-экономический аспект развития урбанизированных территорий находит отражение в модели «Тюненских колец», описывающей специфику концентрического агрокультурного зонирования [16]. Наряду с сельским хозяйством стратегическое значение имеет производственная отрасль, функционирование которой тесно связано с логистическим связями. Эта закономерность была описана В. Лаунхардтом и А. Вебером в виде модели штандортов – размещения производств с учетом транспортных издержек, факторов рабочей силы и агломерирования [17]. В дальнейшем А. Лешем были внесены корректировки в модель штандортов посредством встраивания механизмов рыночной экономики и максимизации прибыли [18]. Исследования А. Вебера и А. Леша тесно связаны с теорией центральных мест В. Кристаллера, постулирующей существование экономических центров, которые влияют на местоположение, количество и значение административных центров. Совокупность центров образует урбанизированный регион, обладающий неоднородным экономическим потенциалом. Ф. Перру описал эту особенность через полюса роста, которыми выступают крупные предприятия и организации, капитализирующие глобальное, национальное, региональное пространства [19]. Экономический потенциал также изменяется при продвижении от окраины к центру города. Э.В. Берджесс объяснил эту закономерность через регламенты землепользования и методы конкуренции, разнообразие форм которых возрастает по направлению к центру города [20]. Экономический потенциал территории раскрывается в секторной теории городского развития Г. Хойта. По его мнению, организация городского пространства происходит за счет правил и норм землепользования, функционирования транспорта и инвестиционного потенциала недвижимости [20]. Хаотичность и неограниченность роста городов привели к формированию множества полюсов роста. В результате формируются многоядерные структуры, описание которых произведено Э. Ульманом и Ч. Харрисом в виде многоядерной модели города [21].

Сменяющиеся промышленные революции сформировали тренд экологизация экономики. Внедрение инноваций в процесс развития городов формирует городскую ткань. Концепция креативного класса Р. Флориды описывает городское развитие через взаимодействие деятелей науки, культуры и бизнеса, формирующих эффективные инструменты городской экономики и самоорганизующуюся креативную среду [14]. Тренд экологизации экономики находит отражение в идеях о развитии агломераций. По мнению М. Сторпера, необходим переход от частных интересов к благам, сочетающим как индивидуальные, так и общественные интересы [22].

В условиях пространственного развития урбанизированных территорий процесс формирования городов осуществляется через взаимоотношения между человеком и природой путем расширения и увеличения антропогенной нагрузки. Й. Коль систематизировал этот процесс в виде модели, описывающей принцип определения транспортно-планировочной сети и зон расселения через вертикальные и горизонтальные пространственные формы [23]. Модель Й. Коля дополняется теорией «центральных мест», утверждающей равномерное гексагональное покрытие урбанизированного региона. Геометрическими центрами гексагонов выступают административные центры, города-спутники, поселения и деревни, включенность и количество которых определяется коэффициентом вложенности – математической зависимостью между градостроительными объектами разных уровней [24]. Коэффициент вложенности тесно связан с принципом «наименьших усилий», лежащим в основе распределения Парето и распределения Ципфа, описывающих закономерность распределения размеров городов, доходов, частоты землетрясений и иных природных явлений [25]. В рамках исследования особое значение имеет распределение Ципфа, на основе которого возможно моделирование развития субурбанизированной зоны ядра городской агломерации через призму нелинейной зависимости между размером и рангом градостроительного объекта [26]. Динамичность развития процесса субурбанизации также зависит от качественных характеристик ядра городской агломерации. Моделированием распределения плотности в пределах урбанизированных территорий занимался У. Алонсо. Исследователь адаптировал теорию потребительского выбора в условиях землепользования и пришел к выводу о снижении стоимости земли по мере удаления от центра города [27]. Описанная тенденция роста урбанизированных территорий объясняется также

теорией «эскалатора региона»: выбор типа жилья связан с возрастом, социальным статусом и видом профессиональной деятельности [7]. По мнению Р. Харриса, развитие субурбанизированных территорий связано с особенностями роста и опытом жителей. В связи с этим исследователь связывает устойчивое развитие пригородных территорий с плотностью, новизной и периферийным расположением. Точки зрения У. Алонсо и Р. Харриса находят отражение в модели пространственной кластеризации Э. Глейзера, указывающей на роль различных форм сотрудничества и городских инноваций в эффективном и гармоничном развитии пригородного образа жизни [28].

При оценке описанных характеристик и тенденций урбанизированных территорий проводится пространственный анализ посредством метода главных компонентов (с англ.– principal component analysis – PAC), метода k-means кластеризации и иерархической агломерационной кластеризации [29]. Эффектным инструментами комплексной пространственной оценки являются дистанционное зондирование территории, пространственные метрики и городское моделирование [30]. Указанные методы и инструменты применимы в условиях географического пространства, отличающегося сложной геоморфологической структурой и неоднородным строем поверхности.

Наблюдения проведенного ретроспективного анализа показывают, что неэффективное использование земли, высокая зависимость от личного автотранспорта, низкая плотность населения и высокая функциональная сегрегация являются проблемами современного города и его субурбанизированной зоны.

Данным исследованием предлагается модель социально-экономического и пространственного развития субурбанизированной зоны городской агломерации. Ключевой особенностью модели является ориентированность на межмуниципальное сотрудничество. Критериями для разработки модели приняты универсальность, полезность и обоснованность. Теоретическим допущением моделирования приняты моноцентрическая структура городской агломерации, а также расположенность городской агломерации в пределах одного субъекта федерации. Вызовы развития пригородных территорий находят отражение в принципах разработанной модели – в фундаментальных ценностях пригородных территорий, общих для всех стейкхолдеров. В модели принципами социально-экономического развития являются: инновационность, разнообразие и инклюзия услуг, принципами пространственного развития – доступность и компактность, принципами комплексного развития – эффективность потребления ресурсов, связанность территории, а также гибкость и адаптивность.

Структура модели состоит из подсистемных блоков, соответствующих аспектам развития, среди которых принцип распределения градостроительных объектов субурбанизированной зоны, модель аспектов градостроительных объектов процесса субурбанизации, принцип перераспределения ресурсной базы в условиях постиндустриального развития пригородных территорий, а также миграционная модель «пригород-город» (рис. 3). Предлагаемые модели и принципы развития субурбанизированной зоны городской агломерации выступают в качестве основы социально-экономического и пространственного развития, необходимых для реализации стратегических решений и мероприятий согласно объективным характеристикам территории.

Управление устойчивым социально-экономическим и пространственным ростом агломерационных систем приобретает законодательно определенную структуру [13]. Для применения модели и реализации проектных решений исследованием предлагаются методы и методики, разработанные в составе исследования и традиционно используемые при градостроительном проектировании. В числе традиционно используемых методов:

1. Метод геоморфологической структуры: оценка ландшафта с точки зрения пригодности освоения и уплотнения урбанизации.
2. Метод ретроспективного анализа: выявление тенденций урбанизации путем сравнения темпоральных характеристик территории.

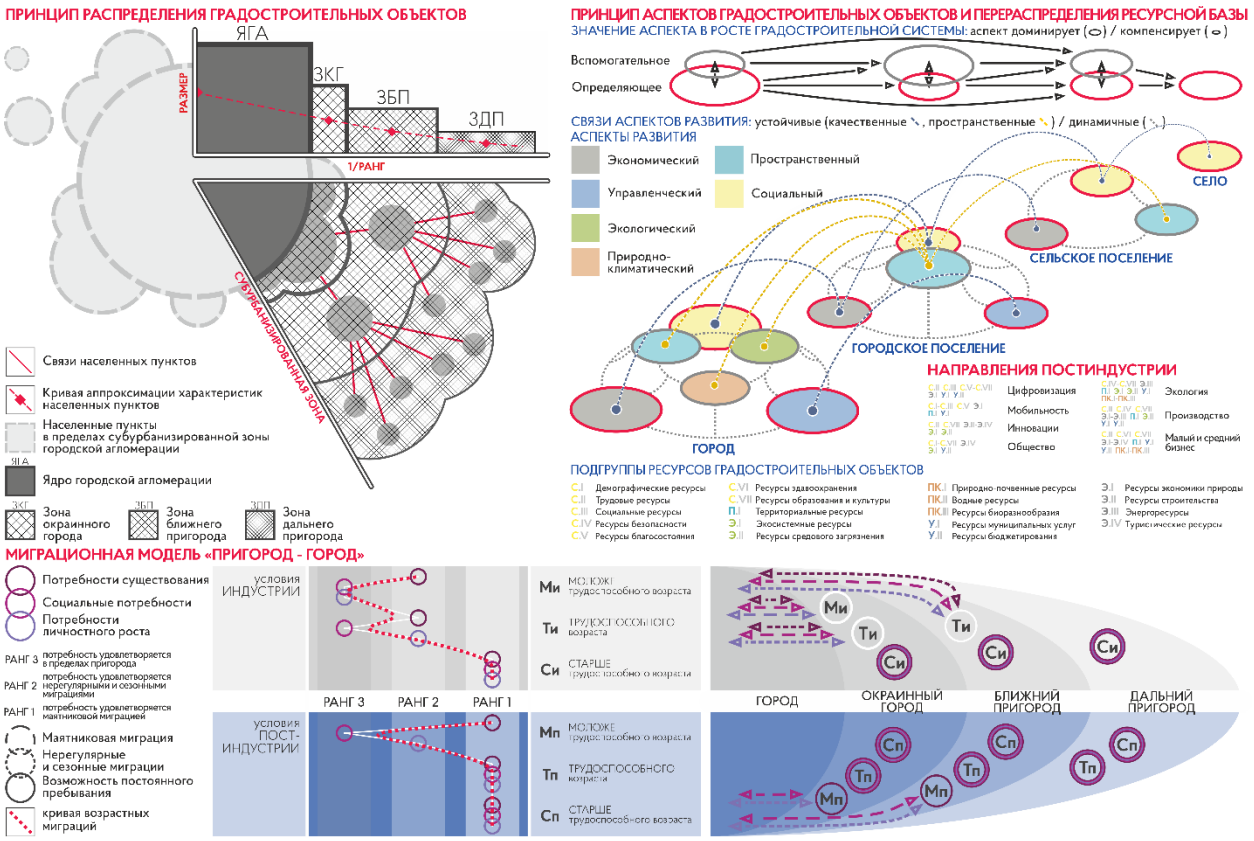


Рис. 3. Структура модели социально-экономического и пространственного развития субурбанизированной зоны городской агломерации

Среди разработанных исследованием методов определены:

1. Метод определения границ городских и агломерационных систем.

Границы определяются для установления связи между агломерацией и городом путем оценки временной доступности «точек роста» урбанизированных территорий, степени застроенности и освоенности территории, оценки пространственной целостности и связанности территории, а также административно-территориального деления, землепользования и регулирования пространственного развития (рис. 4) [31].

2. Метод оценки доступности урбанизированных территорий.

На основе данных опросов и геоинформации о перемещении населения трудоспособного возраста определяется зона доступности территории, исходя из фактической готовности человека в процессе ежедневной жизнедеятельности преодолевать расстояние между «якорными точками». «Якорными точками» являются локации, регулярно посещаемые человека, в т. ч. место проживания, место приложения труда, третьи места. Результат анализа соотносится с зонами нормативной доступности объектов социальной инфраструктуры с целью установления пространственных ограничений развития урбанизированных территорий (рис. 5).

3. Метод расчета регламентированной численности населения.

В результате обработки данных дистанционного зондирования и расчета коэффициентов плотности жилой застройки, заложенных в количественные и качественные характеристики территории согласно регламентам документации градостроительного зонирования, определяется численность ночного населения урбанизированных территорий. Преимуществом метода является высокая точность полученных сведений – расчет численности населения для территории площадью до 2,25 га (рис. 5).

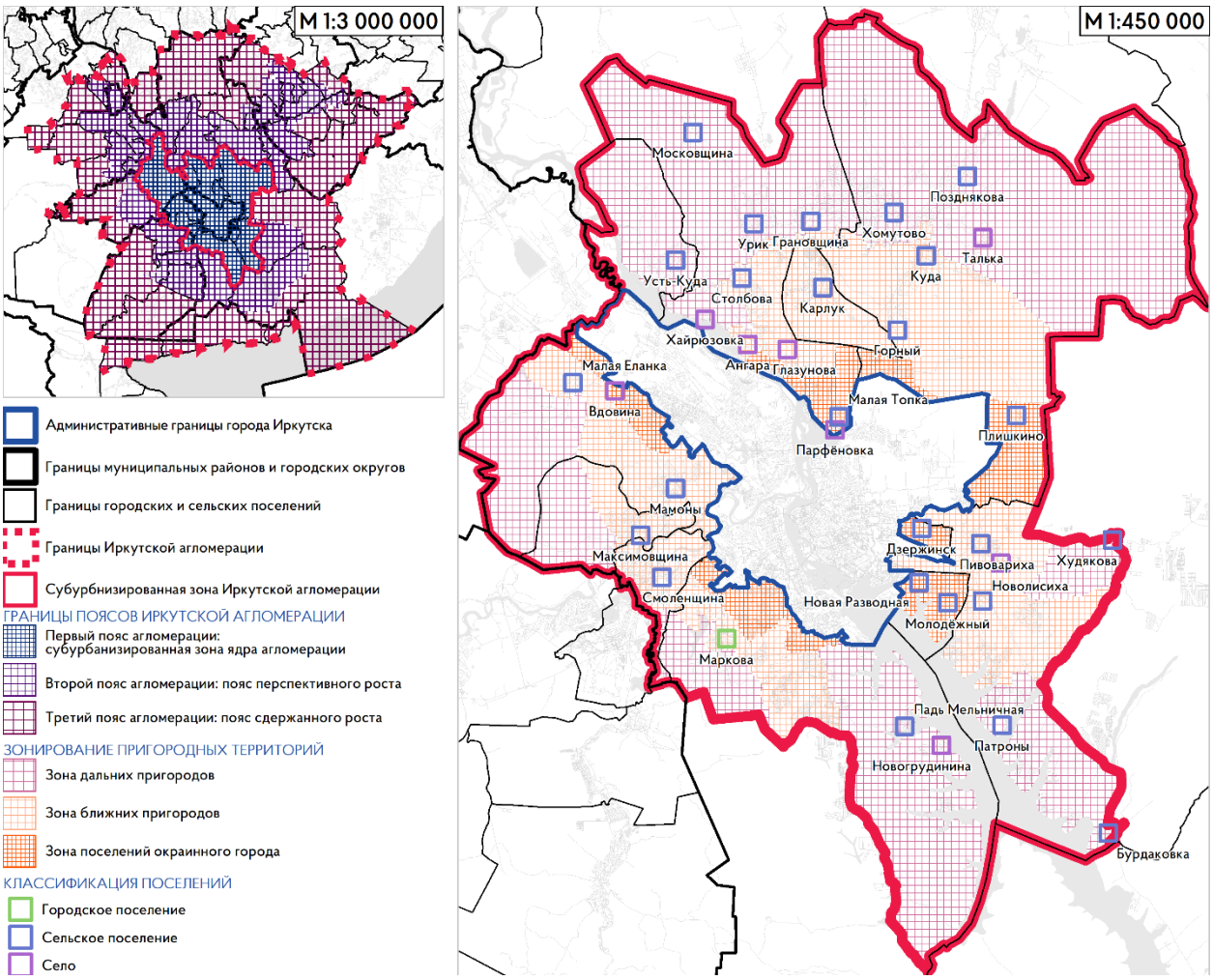


Рис. 4. Границы агломерационной системы и субурбанизированная зона ядра Иркутской агломерации

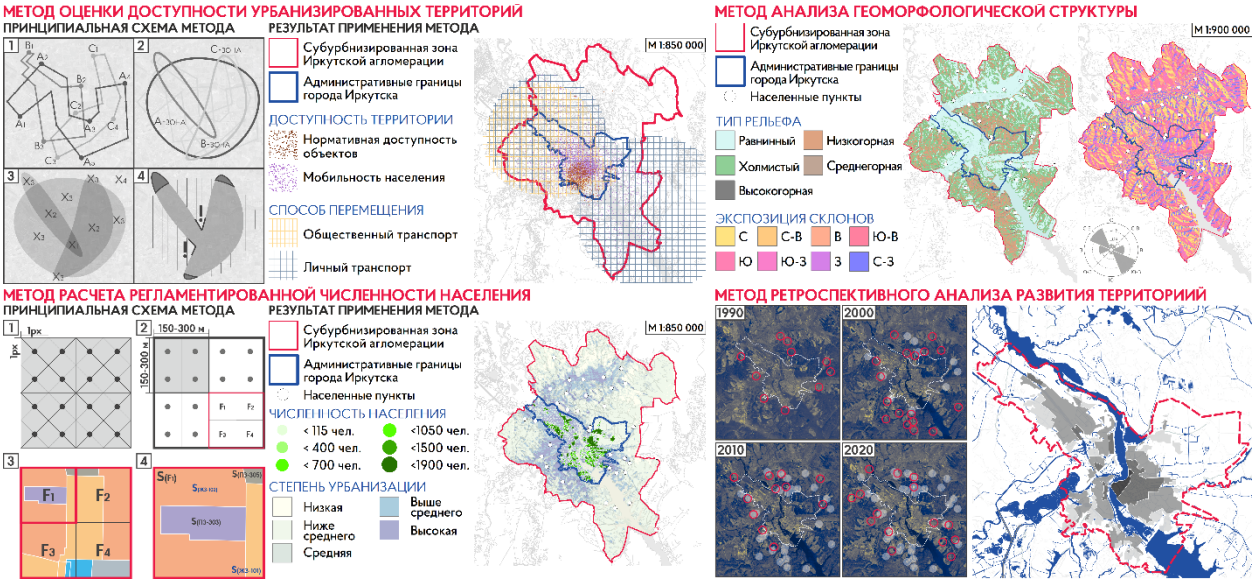


Рис. 5. Методы моделирования социально-экономического и пространственного развития субурбанизированной зоны городской агломерации

Разработанная модель наиболее эффективна при стратегировании и планировании развития городской агломерации. Для данного исследования проведен анализ существующих моделей управления агломерационными системами в целях выявления оптимального варианта

в условиях субурбанизированного развития. В результате анализа определено, что наиболее эффективная модель управления характеризуется:

- принципом управления «снизу вверх» в двух уровнях: приоритет использования внутренних ресурсов муниципальных образований с установлением стабильных экономических и социальных связей;
- укрупнением административно-территориальной структуры, включающей муниципальные и городские округа;
- сохранением опорных населенных пунктов агломерационной системы в целях обеспечения полицентрического сценария роста;
- проектами в рамках межмуниципального сотрудничества.

Применимость и полезность модели управления развитием агломерационной системы оценивается посредством доли реализованных мероприятий, заложенных в состав градостроительной документации, и системой показателей эффективности проектных решений. Исследованием предлагается 22 показателя в составе восьми групп для определения тенденций развития субурбанизированной зоны городской агломерации.

Объектом исследования выбрана Иркутская городская агломерация, расположенная в Иркутской области Сибирского федерального округа. Население Иркутской области, Иркутской агломерации и города Иркутска распределяется нелинейно и характеризуется интенсивными центростремительными миграционными процессами по направлению к ядру агломерации, а также обратными миграциями по направлению в пригородные территории.

В соответствии с методическими указаниями по определению характеристик агломерации рассчитаны коэффициент развитости городской агломерации, коэффициент компактности территории городской агломерации, коэффициент агломеративности и индекс агломеративности. Выявлено, что Иркутская агломерация относится к сформировавшимся и слаборазвитым, ее развитие проходит по экстенсивной модели, существует дисбаланс в распределении ресурсов, чем обусловлена интенсивность процесса маятниковой миграции. Город Иркутск находится в условиях демографического равновесия – посредством метода демографического сдвига определено, что численность постоянного населения до 2033 года изменится за счет внутренних ресурсов не более чем на 2,5%. Для города Иркутска характерны внутрисистемные маятниковые миграции – от окраин и спальных районов в направлении исторического центра города, межсистемные маятниковые миграции – из пригородной зоны города Иркутска, а также, в меньшей степени, нерегулярные и сезонные миграции. В связи с этим транспортная инфраструктура города находится в состоянии стрессовой нагрузки, снижающей доступность и эффективность иных инфраструктурных услуг города.

На основе метода определения границ городских и агломерационных систем установлена конфигурация границы субурбанизированной зоны ядра Иркутской агломерации (рис. 4) [31]. Выявлено, что площадь субурбанизированной зоны составляет 1335 км^2 – 3,03% от площади Иркутской агломерации, численность постоянного населения на 01.01.2022 г. составляет 112 908 чел. – 11,11% от численности постоянного населения Иркутской агломерации. В результате оценки среднегодового прироста населения определено, что существует устойчивая корреляция в изменении численности населения города Иркутска и поселений его субурбанизированной зоны, например, установлена сильная корреляция миграции между Карлукским СП и Правобережным округом города Иркутска – 0,74 (рис. 6).

Проведено исследование тенденций развития субурбанизированной зоны ядра Иркутской агломерации посредством выборки методов. Результаты применения методов моделирования социально-экономического и пространственного развития субурбанизированной зоны ядра Иркутской агломерации отображены на рисунке 5. Выявлено, что наиболее интенсивно развиваются северное, юго-восточное, юго-западное и западное направления субурбанизированной зоны. Рост обусловлен концентрацией федеральных и региональных объектов транспортной инфраструктуры на северо-западе и юго-востоке, благоприятными ландшафтными условиями на юго-западе, севере и востоке, а также нормативно-правовыми ограничениями хозяйственной деятельности на северо-востоке и юге относительно ядра Иркутской агломерации.

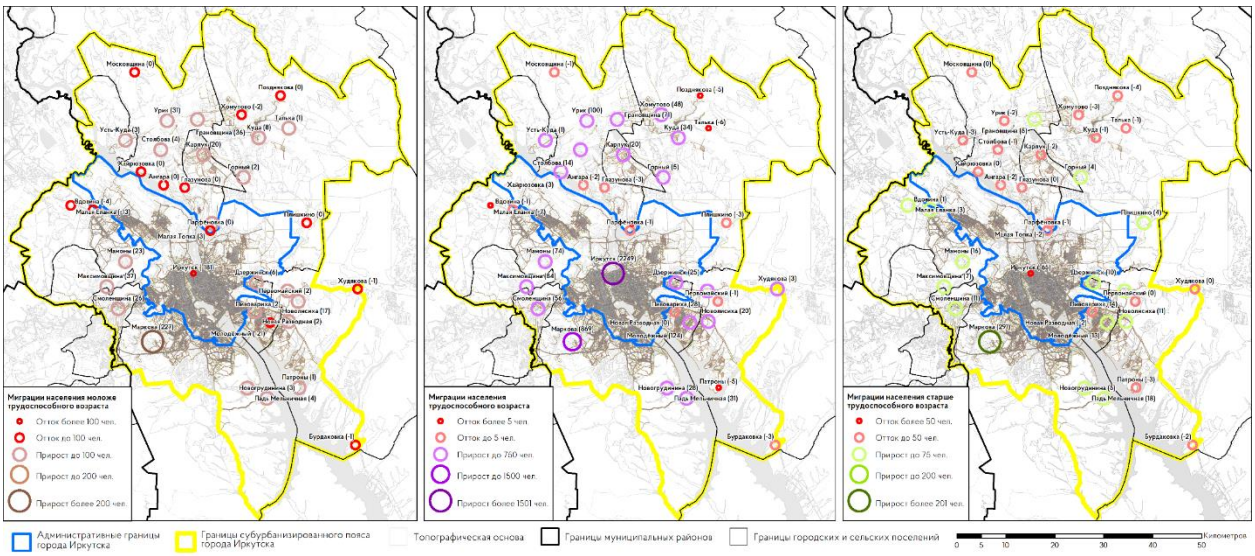


Рис. 6. Распределение миграций населения субурбанизированного пояса города Иркутска на начало 2022 г.

В соответствии с предложенным принципом распределения градостроительных объектов субурбанизированной зоны проведена классификация поселений и осуществлено зонирование пригородных территорий. Зонирование пригородных территорий позволяет определить характеристики, которые необходимо учитывать при выборе сценариев развития агломерационных систем, расширения (роста) городских систем, а также предложения вариантов по комплексному развитию субурбанизированного пояса ядра Иркутской агломерации. Для зоны окраинного города определен поступательный рост, сопровождающийся расширением ядра агломерации, для зоны ближнего пригорода предлагается сценарий реализации мероприятий по созданию полицентрической структуры агломерации, сопровождающийся укреплением «точек роста» и межмуниципальных связей, для зоны дальнего пригорода – реализация комплексных решений, сдерживающих отток населения поселений посредством установления устойчивого маятникового миграционного потока путем создания комфортной жилой среды (рис. 4). Предложенное зонирование субурбанизированной зоны ядра Иркутской агломерации лежит в основе разработанной модели социально-экономического и пространственного развития (рис. 7). Моделирование происходит в четыре этапа.

На первом этапе определяются ключевые аспекты развития населенных пунктов, расположенных в границах субурбанизированной зоны ядра городской агломерации. Выбор аспектов развития для каждого населенного пункта происходит на основе типовых решений подготовленной модели аспектов градостроительных объектов процесса субурбанизации (рис. 3). Результатом этапа является модельная структура субурбанизированной зоны, включающая населенные пункты, проранжированные на городские поселения, сельские поселения и села, ключевые аспекты развития каждого населенного пункта и связи, установленные на основе транспортного каркаса территории исследования (п. 1 рис. 7).

На втором этапе модельная структура субурбанизированной зоны сопоставляется с предложенным исследованиями границами поясов (рис. 4). Для каждого пояса определяются административные центры муниципальных образований (п. 2 рис. 7). Указанные населенные пункты выступают «точками роста» субурбанизированной зоны, аккумулирующими и распределяющими ресурсы в условиях межмуниципального сотрудничества.

Третий этап заключается в оценке потенциала «точек роста» для дальнейшего предложения мероприятий по переформатированию традиционной модели социально-экономического и пространственного развития (см. п. 3 рис. 7). Потенциал оценивается посредством ресурсной базы «точек роста», задействованной при реализации постиндустриальных решений. Постиндустриальными направлениями определены блоки «мобильность», «производство», «экология», «инновации», «цифровизация», «общество», «малый и средний бизнес» (рис. 3).

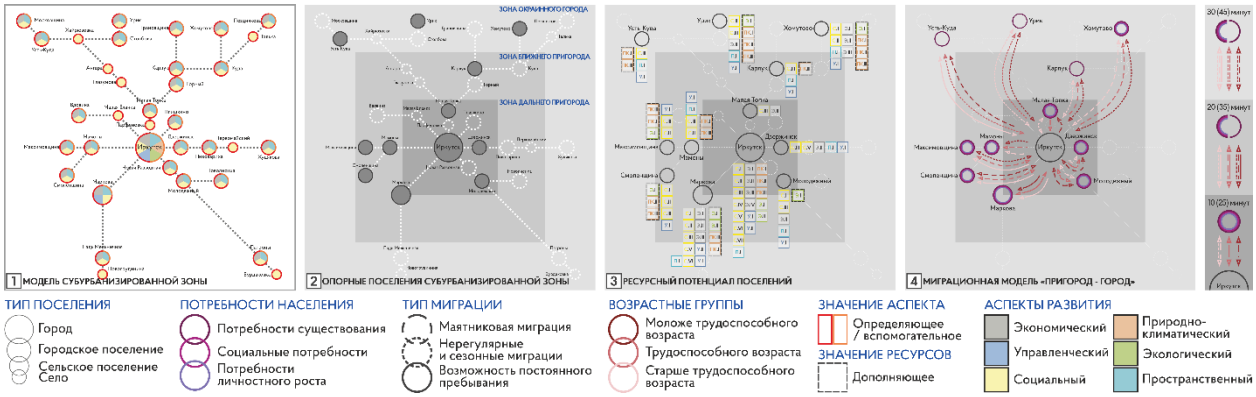


Рис. 7. Модель социально-экономического и пространственного развития субурбанизированной зоны ядра Иркутской агломерации

Завершающий этап предлагает миграционную модель, базирующуюся на потребностях населения различных возрастных групп, на типах миграции и на структуре субурбанизированной зоны. Полезность миграционной модели заключается в определении доступности «точек роста», объективной оценке угроз и возможностей для развития, а также в обосновании сценария, эффект которого масштабируется как на перспективное развитие города Иркутска, так и на устойчивость всей агломерационной системы (п. 4 рис. 7).

Независимо от управленческих и стратегических решений относительно сценария социально-экономического и пространственного развития субурбанизированной зоны ядра Иркутской агломерации рекомендуется укрепить позиции поселений зоны ближнего пригорода для создания устойчивости пространственных связей, необходимых для интенсивной урбанизации. В связи с этим первоочередность мероприятий закрепляется за постиндустриальным направлением «мобильность». Для зоны дальнего пригорода приоритетны жилищные решения, обеспечивающие конкурентоспособность поселений в условиях динамично развивающегося рынка труда, компьютеризации и цифровизации. В связи с этим рекомендуется акцентировать внимание на мероприятиях постиндустриальных направлений «общество» и «малый и средний бизнес».

Моделирование социально-экономического и пространственного развития субурбанизированной зоны городской агломерации необходимо при стратегировании развития городских агломераций и планировании развития муниципальных образований. В связи с этим исследование базируется на подходе, ориентированном на эволюционную преемственность между теоретическими заключениями о природе субурбанизации и ее сущностных характеристиках, прикладными решениями, зарекомендовавшими свою эффективность на практике, а также идеями и тенденциями, отражающими современные выводы об устойчивости градостроительных систем.

Методологическая основа исследования имеет междисциплинарный характер в силу многоплановости развития урбанизированных территорий. Таким образом, рассмотренные социальный, экономический и пространственный аспекты урбанизации являются неотъемлемой частью комплексных решений, необходимых в условиях самоорганизации субурбанизированных территорий.

Исследованием предлагается эффективный и масштабируемый инструмент управления агломерационным развитием территорий, имеющий фундаментальное значение в отечественной практике стратегического планирования. Исследованием подготовлены структурные принципы и модели, вошедшие в комплексную модель социально-экономического и пространственного развития. Ключевой особенностью модели является ее ориентированность на постиндустриальный рост градостроительных систем. Модель внедряется на территории посредством выборки методов анализа развития территорий. Выборка содержит как методы, применяемые при подготовке градостроительной документации, так и методы, подготовленные для исследования развития субурбанизированной зоны городской агломерации. Анализ развития территорий также

необходим для оценки тенденций роста субурбанизированной зоны относительно ядра городской агломерации. В зависимости от выявленных характеристик поселений предлагаются типовые мероприятия по социально-экономическому и пространственному развитию.

Для повышения эффективности мероприятий предлагается модель системы управления территориальным развитием, встраивающая городские агломерации в иерархическую структуру исполнительных органов государственной власти и в состав градостроительной документации. Мониторинг реализуемости мероприятий осуществляется посредством системы показателей, подготовленной исследованием по направлениям постиндустриального развития.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Бреславский А.С. Какой может быть российская субурбанизация? // Мир России. Современное общество: территориально-поселенческий аспект. 2016. №. 1. С. 79-102.
2. Григоричев К.В. Постсоциалистическая пригородная революция: российский колорит // Городские исследования и практики. 2020. №. 4. С. 7-12.
3. Шубенков М.В., Хомяков Д.А. Городские агломерации: мысли о настоящем и будущем // Academia. Архитектура и строительство. 2015. №. 3. С. 86-91.
4. Кондрашихин А.Б. Методология экономического исследования в кросс-дисциплинарном анализе // Вестник РМАТ. 2020. №. 3. С. 34-39.
5. Андерсон Д. URBS, субурбанизация и (не)состоявшееся будущего прошлого века // Неприкосновенный запас. Дебаты о политике и культуре. 2019. №. 1 (123). С. 201-210.
6. Wright F.L., Cohen J.-L. Frank Lloyd Wright and the Living City. 1-ed. Weil am Rhein: Vitra Design Museum. 1998. 334 p.
7. Booi H., Boterman W.R. Changing patterns in residential preferences for urban or suburban living of city dwellers // Journal of Housing and the Built Environment. 2020. №. 35. Pp. 93-123.
8. Garreau J. Edge city: life on the new frontier.1-ed. New York: Anchor Books. 1991. 582 p.
9. Duany A., Plater-Zyberk E., Speck J. Suburban nation: the rise of sprawl and the decline of the American Dream. 1-ed. NY: North Point Press. 2000. 312 p.
10. Погудина Ю.Ю. Особенности процесса урбанизации в Китае // Вестник Санкт-Петербургского университета. 2011. №. 9. С. 171-177.
11. Kikuchi T., Sugai T. Tokyo as a Global City: New Geographical Perspectives. Singapore: Springer Nature Singapore Pte Ltd. 2018. 334 p.
12. Визгалов Д. Дачи – это массовая субурбанизация по-русски // Научно-образовательный портал IQ. [Электронный ресурс]. – Режим доступа:: https://iq.hse.ru/news/177680081.html (дата обращения: 21.11.2021).
13. Стратегия развития строительной отрасли и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации на период до 2030 года с прогнозом до 2035 года от 31.10.2022 № 3268-р.
14. Флорида Р. Кто твой город? Креативная экономика и выбор места жительства. М.: Strelka Press. 2014. 368 с.
15. Репкин А.И., Митягин С.А., Дрожжин А.И. Социально-экономическое значение внедрения технологий электронного правительства на субурбанизированных территориях России // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия Экономика и экологический менеджмент. 2019. №. 4. С. 20-30.
16. Jürgen Georg Backhaus Handbook of the History of Economic Thought. Insights on the Founders of Modern Economics. LLC: Springer Science+Business Media. 2012. 728 p.
17. Weber A. On the location of industries // Spring. 1909. Pp. 120-128.
18. Леш А. Пространственная организация хозяйства. М.: Наука. 2007. 663 с.
19. Belu M. Growth poles and national competitiveness // Annals of Faculty of Economics. 2009. №1. Pp. 33-39.
20. Beauregard R. More Than Sector Theory: Homer Hoyt's Contributions to Planning Knowledge // JOURNAL OF PLANNING HISTORY. 2007. №. 3. Pp. 248-271.

21. Lichtenberger E. Harris and Ullman's «The Nature of Cities»: The Paper's Historical Context and Its Impact on Further Research // Urban Geography. 1997. №. 1. Pp. 7-14.
22. Scott A., Storper M. Regions, Globalization, Development // Regional Studies. 2010. №. 6–7. Pp. 579-593.
23. Peucker T.K., Johann Georg Kohl. A theoretical geographer of the 19th century // The Professional Geographer. 1968. №. 20:4. Pp. 247-250.
24. Sonic M. Central Place Theory after Christaller and Losch: Some further explorations. // 45th Congress of the European Regional Science Association: «Land Use and Water Management in a Sustainable Network Society». 2005. Pp. 23-27.
25. Zhu Y., Zhang B., Wang Q.A., Li W., Cai X. The principle of least effort and Zipf distribution // Journal of Physics: Conf. Series. 2018. №. 1113. Pp. 1-11.
26. Фартышев А.Н. Идентификация уровня межрегиональной и внутрирегиональной дифференциации с помощью правила Ципфа // География и природные ресурсы. 2020. №. 5. С. 221-226.
27. Mcdonald J.F. William Alonso, Richard Muth, Resources for the Future, and the Founding of Urban Economics // Journal of the History of Economic Thought. 2007. №. 1. Pp. 67-84.
28. Глейзер Э. Триумф города. Как наше величайшее изобретение делает нас богаче, умнее, экологичнее, здоровее и счастливее. М.: Институт Гайдара. 2015. 432 с.
29. Cockings S., Martin D., Harfoot A. Developing a National Geodemographic Classification of Workplace Zones // Spatial Analysis and Policy. 2020. №. 13. Pp. 959-983.
30. Herold M., Goldstein N.C., Clarke K.C. The spatiotemporal form of urban growth: measurement, analysis and modeling // Remote Sensing of Environment. 2003. №. 86. Pp. 286-302.
31. Семенов Ю.Е., Репкин А.И., Беломестных С.С. Метод определения границ городских и агломерационных систем // Архитектон: известия вузов. 2022. №. 4 (80). DOI: 10.47055/1990-4126-2022-4(80)-19.

Выпускник
Якимов Ярослав Дмитриевич
факультет безопасности информационных технологий
Направление подготовки: 23.04.03 – Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов
e-mail: yaroslav@itmo.ru

Научный руководитель
Попов Илья Юрьевич
к.т.н.
e-mail: iupopov@itmo.ru

УДК 004.052.32

РАЗРАБОТКА АРХИТЕКТУРЫ ДЛЯ ИНФРАСТРУКТУРЫ МОНИТОРИНГА И АНАЛИТИКИ СИСТЕМЫ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ БЕСПИЛОТНОГО МАНЕВРОВОГО ЛОКОМОТИВА

На современном этапе развития технологий особое внимание приковывают темы, связанные с распространением и автоматизацией транспортировки с использованием автономных транспортных средств (АТС). Современные АТС интегрируют в себе сложные многокомпонентные аппаратно-технические комплексы, которые включают в себя широкий спектр технологий [1]. Обеспечение бесперебойной работы системного, сетевого и вспомогательного оборудования является основным условием для надежной работы АТС. В этом контексте возникает вопрос о своевременном сборе и агрегации гетерогенных метрик от различных узлов системы - например, сетевого оборудования или датчиков - для их последующей обработки. Эта задача существенно усложняется потребностью в доступном для анализа и оценки представлении большого объема технических данных о состоянии транспортных систем.

В традиционно управляемых поездах данные обычно сохраняются в виде текстовых файлов непосредственно на поездах и доступны водителю на приборной панели. Аппаратные ограничения, в то же время, препятствуют сбору и передаче информации о этих параметрах во внешние системы, такие как станции железнодорожного транспорта. Эта проблема привела к недостаточному развитию в области мониторинга и аналитики состояния железнодорожных локомотивов. Однако, при разработке автономных локомотивов, благодаря присутствию вычислительных ресурсов и технической оснащенности, включая модули связи, возможности агрегации данных стали более доступными. Это предоставляет возможность обнаруживать и учитывать ошибки в реализации программного обеспечения (ПО), например, при управлении аппаратными системами, и в дальнейшем использовать эту информацию для корректировки выявленных ошибок на определенных границах параметров.

Анализ различных метрик становится неотъемлемым, поскольку это напрямую влияет на функциональную безопасность не только автономных маневровых локомотивов, но и в общем АТС. Недостатки в работе систем обнаружения могут представлять угрозу для жизни пассажиров, пешеходов и вызывать экономические потери из-за возможных поломок [2].

Соответственно, целью работы является повышение отказоустойчивости системы блока обнаружения препятствий беспилотного маневрового за счет уменьшения времени на обнаружение возможного отказа в рамках показателя среднего времени восстановления (MTTR) [3]. Задачами данного исследования являются анализ существующих систем сбора и хранения показателей из систем компьютерного зрения беспилотных маневровых локомотивов, проведение сравнительного анализа этих систем, предложение требований к схеме мониторинга и аналитики, и разработка архитектурной модели инфраструктуры мониторинга.

Критерии для сравнительного анализа систем мониторинга

После описания существующих систем следующий шаг включает в себя установление критериев для сравнительного анализа этих систем. Критерии основаны на различных факторах, которые имеют решающее значение для функциональной безопасности и эффективности беспилотных маневровых локомотивов. Эти факторы включают, но не ограничиваются ими:

- точность и надежность данных;
- масштабируемость;
- возможности обработки данных в режиме реального времени;
- эффективность хранения и извлечения данных;
- интеграция с другими системами.

Требования направлены на устранение ограничений существующих систем при одновременном использовании их сильных сторон. Они включают в себя:

- сбор и обработка данных в режиме реального времени;
- масштабируемые решения для хранения данных;
- расширенные аналитические возможности, включая прогностическую аналитику;
- интеграция с существующими системами и датчиками;
- соответствие стандартам функциональной безопасности;
- удобные интерфейсы для мониторинга и управления;
- используемые инструменты и технологии.

Сравнительный анализ существующих систем

В рамках исследования было проанализировано несколько существующих систем сбора и хранения показателей от систем компьютерного зрения в беспилотных маневровых локомотивах. Анализ был основан на критериях, установленных ранее, включая точность данных, масштабируемость, возможности обработки в режиме реального времени, эффективность хранения данных, интеграцию и экономическую эффективность.

Анализ показал, что, хотя некоторые системы, такие как Prometheus, Zabbix и Elasticsearch превосходно справлялись с обработкой данных в режиме реального времени, им не хватало масштабируемых решений для хранения данных. И наоборот, некоторым системам с надежными решениями для хранения данных не хватало возможностей обработки в режиме реального времени. Кроме того, интеграция с существующими системами и датчиками была определена в качестве проблемы в нескольких системах. Таким образом, в рамках данной работы было выбрано ПО, предоставляемое компанией Influx. Это база данных временных рядов, с открытым исходным кодом, которая имеет собственных агентов для конечных узлов. Данные агенты поддерживают резервирование, буферизацию данных, а также широкий спектр плагинов для сбора полной информации. Данное ПО используется в том числе и крупными коммерческими компаниями, такими как: Adobe, Cisco, Dell и IBM.

Разработка архитектуры мониторинга

Основываясь на выводах, полученных в результате сравнительного анализа, была начата разработка архитектуры мониторинга. Архитектура разработана таким образом, чтобы устранить ограничения, выявленные в существующих системах, и при этом соответствовать требованиям, установленным для схем мониторинга и аналитики.

Разработанная архитектура состоит из следующих компонентов (рисунок):

- уровень сбора данных: Этот уровень включает в себя различные датчики и камеры, которые собирают данные из окружающей среды локомотива. Он разработан таким образом, чтобы обеспечить высокую точность и надежность данных с использованием плагинов для агентов Telegraf;
- уровень обработки данных: этот уровень отвечает за обработку собранных данных в режиме реального времени. Он включает в себя передовые вычислительные возможности для локальной обработки данных на локомотиве, сокращая задержку. Данная обработка происходит в рамках заданной конфигурации агентов Telegraf;
- уровень хранения данных: на этом уровне используются масштабируемые решения для хранения данных, в частности размещенные в ЦОД несколько реплицируемых баз

данных InfluxDB. Это гарантирует, что система сможет эффективно обрабатывать большие объемы данных;

- уровень аналитики: этот уровень оснащен аналитическими инструментами, включая предиктивную аналитику, для анализа данных и выявления закономерностей, тенденций и аномалий. В рамках работы были рассмотрены несколько методов обнаружения аномалий. Методы с использованием машинного обучения больше подходят для работы с историческими данными, в то время как статистические методы могут использоваться для работы с данными в реальном времени, так как требуют меньшего времени обработки;
- уровень пользовательского интерфейса: этот уровень предоставляет удобные интерфейсы для мониторинга и управления. Это позволяет операторам легко отслеживать состояние локомотива и принимать обоснованные решения.

Одна из систем предложенной архитектуры – это система оповещений. Система представляет собой ПО на языке программирования Python, которая исходя из заданных правил оповещения опрашивает InfluxDB и далее направляет уведомление об обнаруженной аномалии или же о превышении порогового значения в Telegram чат для удобства конечных пользователей системы. Бот работает в асинхронном режиме и способен обрабатывать до сотни правил при запуске в одном экземпляре.

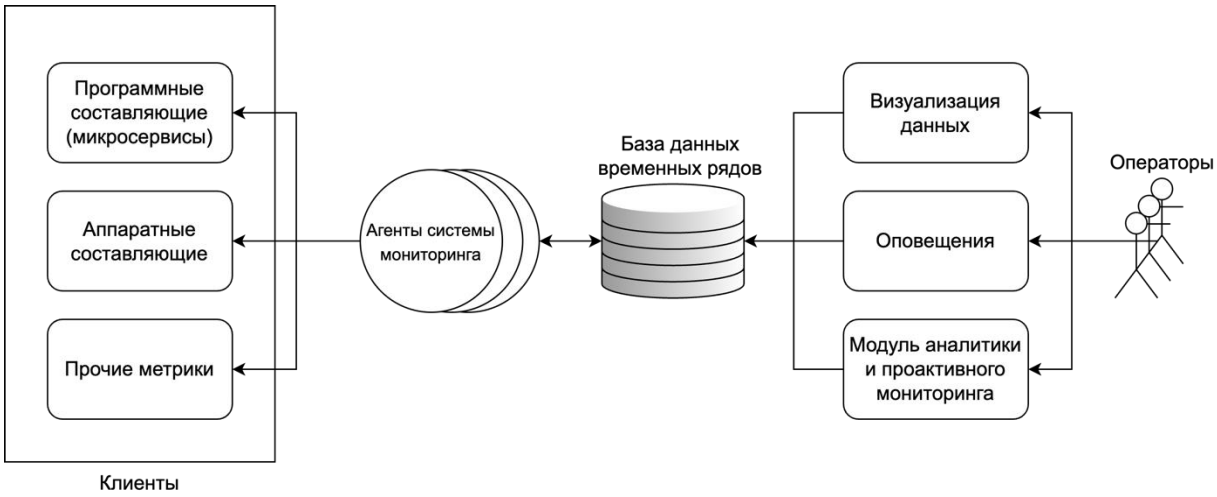


Рисунок. Визуальное представление архитектуры мониторинга

Реализация разработанной архитектуры

Разработанная архитектура была реализована в рамках работы центра систем компьютерного зрения Санкт-Петербургского филиала АО «НИИАС». Была проведена серия экспериментов для вычисления количественной оценки эффективности предложенной архитектуры. Эксперимент заключался в расследовании инцидентов, связанных с ошибками в работе блока обнаружения препятствий. При использовании системы аналитики и мониторинга показатель среднего восстановления системы снизился в среднем на 25%, что положительно сказывается на общей функциональной безопасности. Также с добавлением системы мониторинга увеличилось количество обнаруживаемых багов на этапе тестирования, до релиза. Таким образом, снижается вероятность непредвиденных опасных ситуаций при работе ПО.

Результаты свидетельствуют о том, что разработанная архитектура мониторинга и аналитики успешно соответствует установленным требованиям и оказывает положительное влияние на функциональную безопасность беспилотных маневровых локомотивов. Сокращение MTTR с помощью систем мониторинга позволяет организациям демонстрировать соответствие стандартам функциональной безопасности и нормативным актам, таким как IEC 61508, ISO 61511 и другим [4]. Архитектура демонстрирует потенциал для изменения способов мониторинга и анализа систем компьютерного зрения в беспилотных маневровых локомотивах, способствуя более безопасной и эффективной эксплуатации.

Кроме того, по мере развития технологий могут появляться новые инструменты и методологии, которые могут еще больше расширить возможности инфраструктуры мониторинга и аналитики. Непрерывные исследования и разработки необходимы для того, чтобы быть в курсе этих достижений и внедрять их в архитектуру.

В заключение следует отметить, что это исследование вносит свой вклад в накопление знаний в области функциональной безопасности беспилотных маневровых локомотивов и обеспечивает основу для разработки более совершенных и надежных систем компьютерного зрения.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Van Brummelen J. et al. Autonomous vehicle perception: The technology of today and tomorrow // Transportation research part C: emerging technologies. 2018. Т. 89. Pp. 384-406.
2. Leilabadi S.H., Schmidt S. In-depth analysis of autonomous vehicle collisions in california // 2019 IEEE Intelligent Transportation Systems Conference (ITSC). 2019. Pp. 889-893.
3. Alavian P. et al. The (α, β)-precise estimates of MTBF and MTTR: Definitions, calculations, and induced effect on machine efficiency evaluation // IFAC-PapersOnLine. 2019. Т. 52. №. 13. Pp. 1004-1009.
4. Smith D.J., Simpson K.G.L. The Safety Critical Systems Handbook: A Straightforward Guide to Functional Safety // IEC 61508 (2010 Edition), IEC 61511 (2015 Edition) and Related Guidance. – Butterworth-Heinemann. 2020. 332 p.

Выпускник
Ячкула Варвара Николаевна
институт перспективных систем передачи данных
Направление подготовки: 16.04.01 – Техническая физика
e-mail: yachkula.varvara@gmail.com

Научный руководитель
Ковалев Антон Владимирович
к.ф.-м.н.
e-mail: avkovalev@itmo.ru

УДК 621.373.826

ИССЛЕДОВАНИЕ ДВУХГРЕБЕНЧАТОГО ОПТИЧЕСКОГО СПЕКТРА ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО ЛАЗЕРА С ОПТОЭЛЕКТРОННОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ

Обеспечение доступности и качества передачи информации в настоящее время является основной задачей, которая стоит перед проектированием телекоммуникационных систем. Использование сигналов с микроволновой модуляцией для передачи по оптоволокну — одно из наиболее перспективных решений, поскольку сигналы в таком случае не подвержены такому уровню потерь, как в микроволновых волноводах или в свободном пространстве, и могут обеспечить доступ к областям, где радиосвязь в противном случае была бы невозможна. Более подробное рассмотрение режимов и динамических явлений в полупроводниковых лазерах позволит проектировать множество устройств микроволнового и инфракрасного диапазона с меньшими габаритами благодаря возможности перестройки длин волн и самомодуляции. Такие устройства повсеместно применяются как в промышленности, так и в других областях экономики.

Реализация оптоэлектронной обратной связи полупроводниковых излучателях с временной задержкой позволяет раскрыть богатый физический и прикладной потенциал их лазерной динамики. В частности, оптоэлектронная обратная связь, при которой сигнал лазерного излучения преобразуется в электрический посредством фотодиода и возвращается в область инжекции лазера, может приводить к возникновению периодических колебаний оптической интенсивности. Оптические дублеты наблюдались ранее для прямоугольных импульсов волоконных лазеров с синхронизацией мод. В работе [1] была численно исследована стабилизация одиночного прямоугольного импульса в волоконном лазере с аномальной дисперсией, приводящей к появлению оптического дублета.

В отличие от предыдущих исследований, данная работа рассматривает эффекты, возникающие в оптическом спектре лазера с оптоэлектронной обратной связью. Экспериментальная установка аналогична представленной в работе по динамическим свойствам оптических прямоугольных импульсов [2], эксперименты проводились партнерской лабораторией Georgia Tech-Europe (г. Метц, Франция). Экспериментальная сила обратной связи η является относительной мерой уровня обратной связи, определяемой углом между осью линейного поляризатора и направлением лазерного диода. Экспериментальные и теоретические результаты представлены в работе [3], опубликованной в рамках настоящего исследования. Принципиальная схема эксперимента приведена на рисунке 1.

В результате эксперимента были получены спектральные дуплеты для всех гармоник прямоугольных импульсов. При снижении тока накачки J наблюдались следующие тенденции: амплитуда модуляции прямоугольных импульсов оставалась практически неизменной, скважность уменьшалась, частота повторения импульсов оставалась постоянной, а расстояние ΔS между пиками уменьшилось незначительно. Форма спектральных дублетов оставалась практически неизменной, но их расположение изменялось при изменении J.

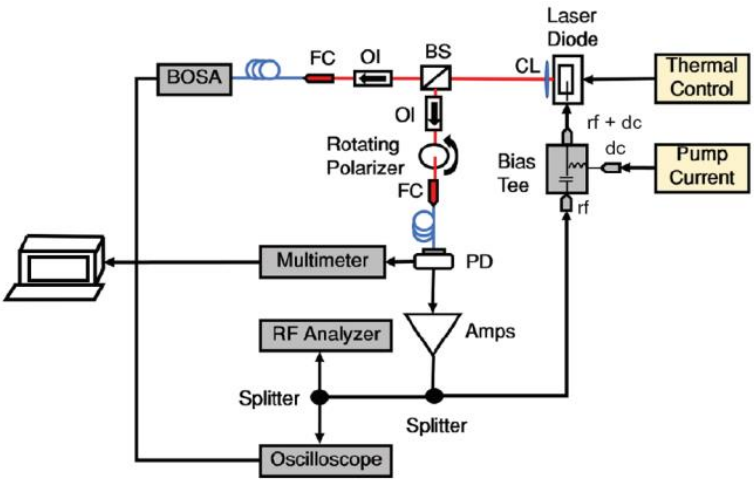


Рис. 1. Принципиальная схема эксперимента. CL: коллимационная линза, BS: светоделитель, OI: оптический изолятор, FC: оптоволоконный соединитель, PD: фотодиод, усилители: усилители, BOSA: анализатор оптического спектра [3]

На рисунке 2 показана зависимость скважности прямоугольных импульсов DC и расстояния между пиками ΔS от тока накачки J и силы обратной связи η при фиксированных прочих параметрах.

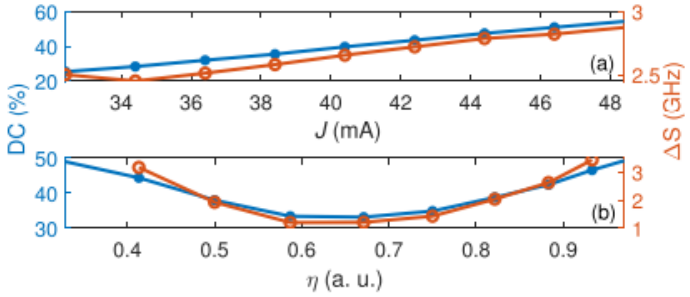


Рис. 2. На правой вертикальной оси приведено расстояние между пиками дублета ΔS как функция (a) J при η = 0.88 и (b) η при J = 48.40 мА. На левой вертикальной оси приведена соответствующая скважность импульсов [3]

Видно, что DC следует за изменением ΔS, однако эти характеристики не являются прямо коррелированными, но связаны общей причиной, которую предстоит определить в дальнейших исследованиях.

Для описания рассмотренных выше наблюдений, использовалась модель одномодового полупроводникового лазера, представленная в работе [4] с добавлением нелинейной обратной связи, подверженной фильтрации, как в работе [2]. Модель описывает связанную нелинейную динамику плотности носителей $N(t)$, плотности фотонов $P(t)$ и оптической фазы $\Phi(t)$. Ток обратной связи задается как:

$$I_{fb} = s\tanh(k(I_{FL,M}(t-\tau)-\theta)), \quad (1)$$

где $I_{FL,M}(t)$ соответствует сигналу после фильтра низких частот M-го порядка; k – коэффициент усиления слабого сигнала; s – максимальный ток обратной связи, обеспечиваемый усилителем; θ – параметр асимметрии (смещения) функции усиления.

Параметры модели были частично выведены из экспериментальных релаксационных колебаний, частично взяты из литературы. Полная модель и параметры приведены в [3].

Результаты численного моделирования представлены на рисунке 3.

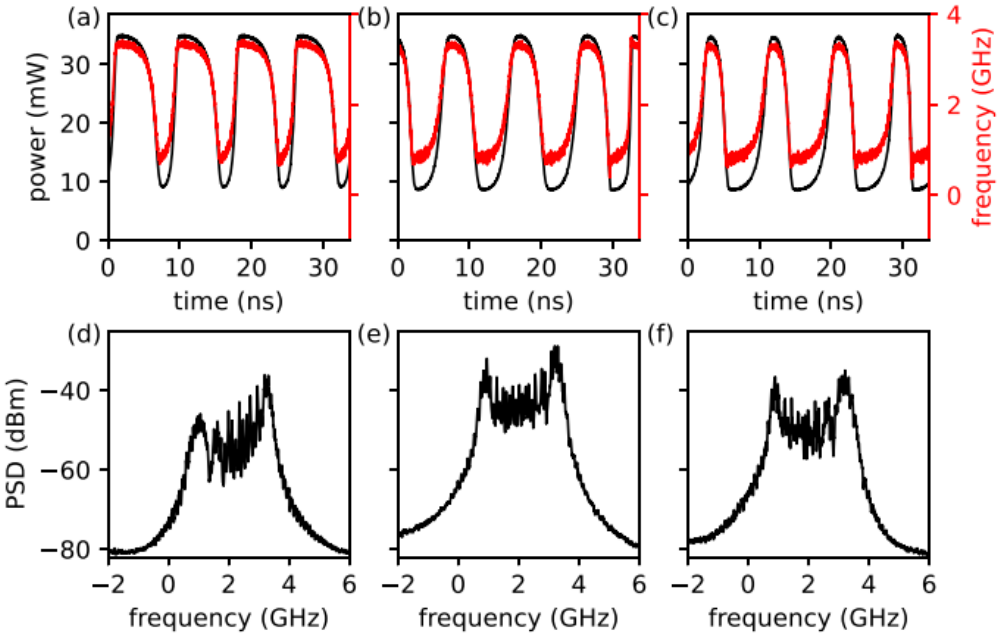


Рис. 3. Результаты, полученные при численном моделировании; ток инжекции I_{bias} = 48.4 мА, сила обратной связи η = 2.6×10^{-3}, и θ = –1.2 мкВт (a, d), θ = 0 мкВт (b, e), θ = 1.2 мкВт (c, f). Черные (красные) кривые на (a)-(c) показывают оптическую мощность $p_{out}P(t)$ (мгновенную частоту $\dot{\Phi}(t)/2\pi$) [3]

Асимметричная скважность прямоугольных импульсов предполагает асимметрию в нелинейном усилении, которое моделируется сигмоидальной функцией (1). Для моделирования асимметрии вводится параметр θ, который сдвигает сигмоидальную функцию в сторону ненулевого смещения, нарушая S-образную симметрию усиления. Предполагается, что θ линейно зависит от J через среднюю мощность сигнала в нелинейной петле обратной связи.

Для выяснения причин появления дублетов в настоящей работе был проведен анализ при прямой модуляции тока накачки с помощью численного моделирования. Такой подход позволяет изолировать лазер и исследовать схожие процессы в более сложных системах с обратной связью. Проводился анализ изменения оптического спектра при увеличении α-фактора. Результаты моделирования приведены на рисунке 4.

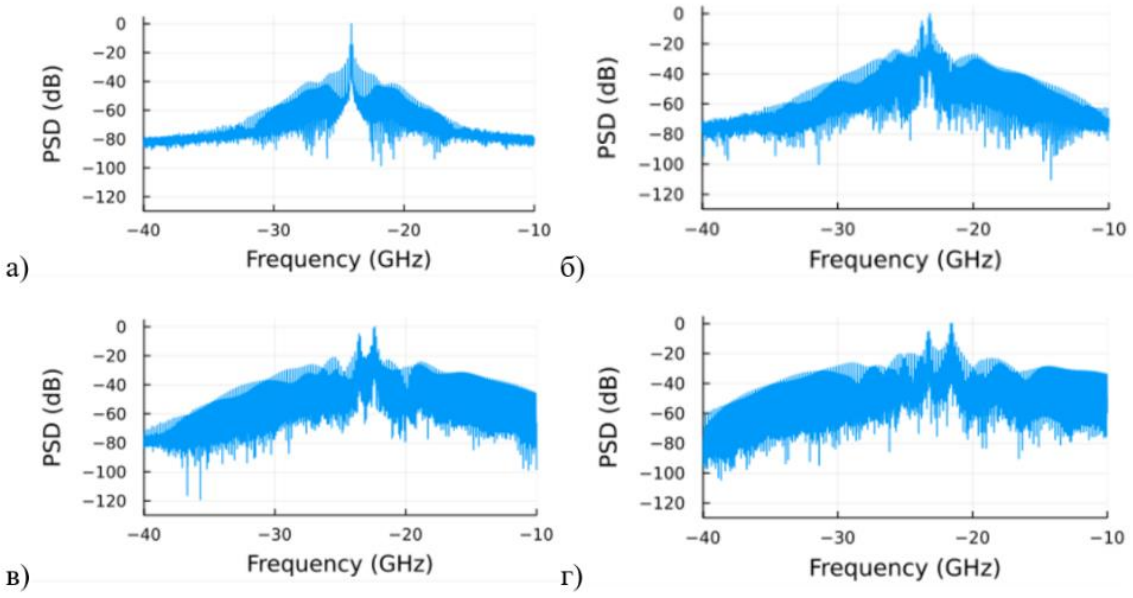


Рис. 4. Результаты исследования зависимости дуплета в оптическом спектре при прямой модуляции тока накачки от α-фактора, а) α = 0, б) α = 3, в) α = 6, г) α = 9

Как видно из полученных результатов, α-фактор действительно оказывает влияние на оптический спектр в отношении образования дуплета. Можно заметить прямую зависимость увеличения численного значения α-фактора и увеличения расстояния между пиками. Также для рассмотрения полного воздействия изменения фактора необходимо провести моделирование с целью получения временных диаграмм интенсивности и мгновенной частоты для следующих значений α-фактора: 0, 3, 5 и 10. Результаты представлены на рисунке 5.

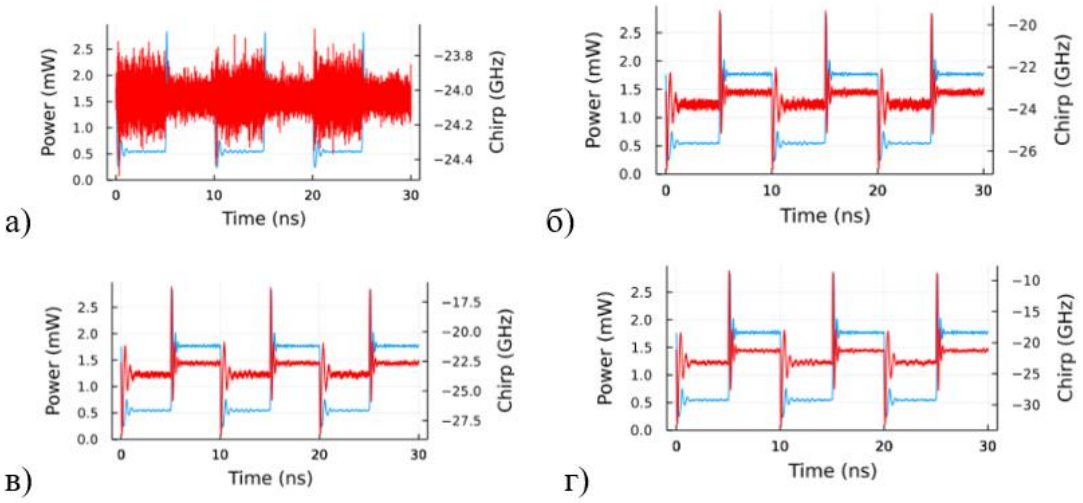


Рис. 5. Результаты исследования влияния изменения α-фактора на временные диаграммы интенсивности и мгновенной частоты, а) α = 0, б) α = 3, в) α = 5, г) α = 10

Смоделированные диаграммы доказывают верное определение α-фактора: при значении, равном 0, частота лазерной генерации не подвержена изменениям в зависимости от уровня интенсивности и/или тока накачки. Обратная ситуация наблюдается при увеличении α-фактора, что объясняется проявлением только фазовых шумов относительно определенной частоты.

Для дальнейшего исследования было выбрано значение параметра α-фактора равное 3. Также потребовалось ограничить диапазон отображения оптического спектра для лучшего рассмотрения появления дуплетов. Моделирование проводилось при аналогичных значениях параметров с варьированием скважности (dc) импульсов тока накачки. Результаты приведены на рисунке 6.

В спектре при достижении значения параметра скважности равного 0.25 появляется выраженное увеличение уровня сигнала, при 0.45 уже заметен второй пик. При значении скважности порядка 0.5 наблюдаемый дуплет будет наиболее заметен. Также при больших значениях скважности второй пик исчезает и можно заметить появление оптической гребенки частот, возможность генерации которой востребована для систем передачи данных.

Для уточнения механизма появления спектрального дублета проанализируем генерацию прямоугольных импульсов. Прямоугольные импульсы демонстрируют два плато интенсивности, которые определяются максимальным и минимальным суммарными уровнями инжектируемого тока ($I_{bias} + s$) и ($I_{bias} - s$) соответственно. Насыщение усиления, описываемое параметром ε, приводит к увеличению плотности носителей $N(t)$ с увеличением плотности фотонов $P(t)$, поскольку для компенсации потерь в резонаторе требуется большее усиление. В свою очередь, это изменение в прямоугольных импульсах приводит к двум различным частотам генерации, связанным с плато через изменение показателя преломления активной среды, характеризуемое коэффициентом уширения линии α. Эти частоты образуют структуру с двумя хорошо разделенными пиками в оптическом спектре, при наблюдаемом переключении между частотами на временных диаграммах.

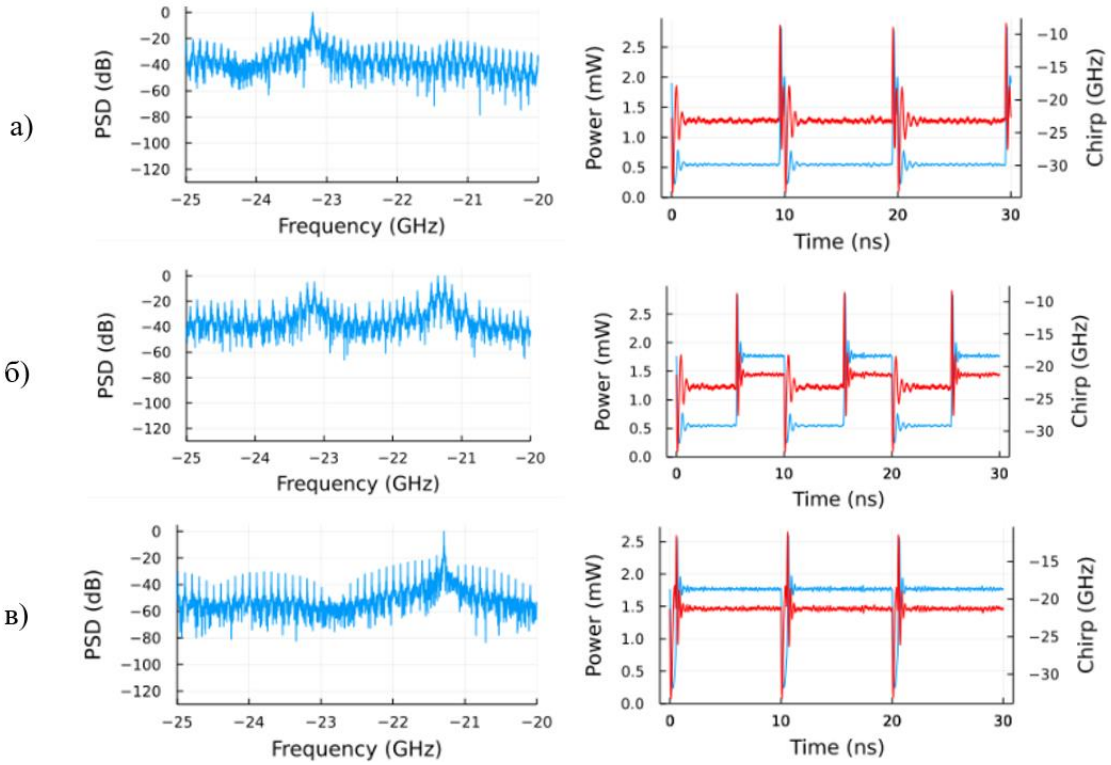


Рис. 6. Исследование влияния изменения скважности dc на появление спектрального дуплета, а) dc = 0.05, б) dc = 0.45, в) dc = 0.95

В заключение, по результатам анализа экспериментального и численного получения дублетов определено влияние скважности на демонстрируемое явление. Нелинейная модель показывает, что дублет возникает на разных частотах лазера, соответствующих высоко- и низкоинтенсивному плато прямоугольных импульсов. Это изменение частоты связано с эффектом насыщения усиления и зависимостью показателя преломления усиливающей среды от плотности носителей. Перспективами данного научного проекта является возможность применения разработанных средств и моделей для дальнейших научных исследований. Наблюдение дублета в режиме прямоугольных импульсов может представлять интерес для компактных фотонных устройств, имеющих приложения в метрологии, зондировании и картографировании.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Komarov A. et al. Spectral-doublet rectangular pulses in passive mode-locked fiber lasers with anomalous dispersion // Phys. Rev. A. 2016. Vol. 94. №. 4. https://doi.org/10.1103/PhysRevA.94.043827.
2. Islam M.S. et al. Optical square-wave generation in a semiconductor laser with optoelectronic feedback // Opt. Lett. 2021. Vol. 46. №. 24. DOI: 10.1364/OL.444055.
3. Islam M.S. et al. Doublet structure in the optical spectrum of a semiconductor laser with optoelectronic feedback in a square-wave regime // Appl. Phys. Lett. AIP Publishing LLC. 2022. Vol. 121. №. 26. P. 261101.
4. Rosado A. et al. Numerical and Experimental Analysis of Optical Frequency Comb Generation in Gain-Switched Semiconductor Lasers // IEEE J. Quantum Electron. 2019. Vol. 55. №. 6. DOI: 10.1109/JQE.2019.2943482.

МАГИСТРЫ

Лауреаты III степени конкурса на «Лучшую научно-исследовательскую выпускную квалификационную работу магистров Университета ИТМО»

Выпускник
Белов Павел Андреевич
образовательный центр «Энергоэффективные инженерные системы»
Направление подготовки: 16.04.03 – Холодильная, криогенная техника и системы жизнеобеспечения
e-mail: mr.belofff99@gmail.com

Научный руководитель
Пронин Владимир Александрович
д.т.н., профессор
e-mail: vapronin@itmo.ru

УДК 621.514.5
ПОСТРОЕНИЕ CAE-МОДЕЛИ ТЕПЛОВЫХ ДЕФОРМАЦИЙ РАБОЧЕЙ ЧАСТИ ВИНТОВОГО ОДНОРОТОРНОГО КОМПРЕССОРА

Работа выполнена в рамках темы НИР №621285 «Развитие компрессорной техники в концепции smart- и green-технологий».

В связи с растущими экологическими и экономическими проблемами, повышение энергоэффективности имеет большое значение для решения этих аспектов. Многие высокотехнологичные современные системы, такие как системы выработки солнечной энергии, выпарные установки с механической рекомпрессией паров, низкотемпературные тепловые насосы, системы опреснения воды [1] и т.д. невозможно представить без компрессора – одного из наиболее важных компонентов. Поэтому промышленность всегда стремится к более эффективным и надежным энергетических машинах. Это стремление подталкивает к углубленному исследованию машин объемного принципа действия.

Винтовые компрессоры на данный момент одни из самых востребованных машин, которые почти полностью вытеснили собой поршневые машины, благодаря отличным механическим свойствам, длительному сроку эксплуатации и широкому диапазону работы [2].

Все большую популярность получают одноротоpные винтовые компрессоры, которые имеют определенные преимущества перед двухвинтовыми в своем классе производительности и перепадов давлений. Конструкция ВКО является перспективной в плане повышения энергоэффективности различных технологических процессов и систем [3, 4].

Во время работы компрессора на рабочие органы действует давления и температурные напряжения, которые вызывают тепловые деформации, приводящие к изменению величины зазоров между конструктивными элементами ВКО. Слишком большие зазоры приводят к увеличению утечек рабочей среды, а слишком малые увеличивают силу трения, а также могут привести к заклиниванию машины [5]. Поэтому, анализируя различные литературные источники, актуальной задачей является повышение надежности и эффективности работы ВКО при помощи модернизации его рабочих органов, а именно назначение безопасных зазоров.

Объектом исследования тепловых деформаций является одноротоpный винтовой компрессор с окружной формой зуба отсекателя, на рисунке 1 представлена твердотельная модель, которая спроектирована в программе Компас-3D.

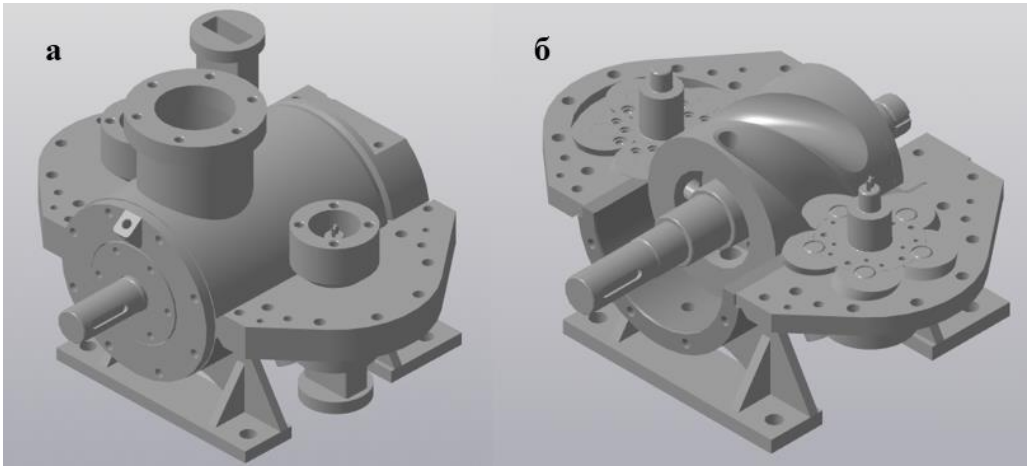


Рис. 1. Модель ВКО: а – с верхней крышкой; б – без верхней крышки

В процессе работы рассматривались зазоры, которые представлены на рисунке 2:

- А – зазор, образованный периферийной частью зуба отсекателя и днищем канавки центрального винта;
- Б – зазор, образованный цилиндрической частью центрального винта и внутренней поверхностью крышки корпуса в области зуба отсекателя;
- В – зазор, образованный цилиндрической частью центрального винта и внутренней поверхностью верхней крышки корпуса;
- Г – зазор, образованный цилиндрической частью центрального винта и внутренней поверхностью нижней крышки корпуса;
- Д – зазор, образованный уплотнительным кольцом центрального винта и внутренней поверхностью задней крышки корпуса.

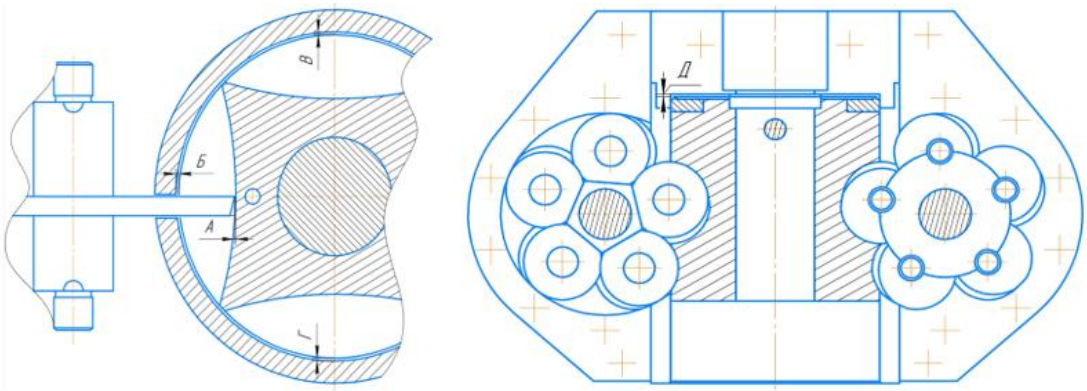


Рис. 2. Рассматриваемые зазоры

Для изучения тепловых деформаций применялись различные конструкционные материалы, а именно классические металлические, такие как сталь 45, чугун СЧ20, бронза БрОФ10-1. Применение различных инженерных пластиков на данный момент является одной из тенденций повышения энергоэффективности в области компрессоростоения, поэтому также был сделан выбор в пользу неметаллических материалов, таких как – полиэфирэфиркетон PEEK Ketron-1000, полифениленсульфид PPS Fortron 1140L4, синтетический полимер Фторопласт-4 и термостабилизированный полиамид Армамид ПА СВ 30-2Т.

Расчет проводился в программе ANSYS Workbench с использованием модулей Steady-State Thermal и Static Structural для следующих исходных данных:

- рабочая среда: воздух;
- давление рабочей среды на всасывании и нагнетании: $P_{вс}$ = 0,1 МПа, $P_{нг}$ = 0,7 МПа;
- температура рабочей среды на всасывании и нагнетании: $T_{вс}$ = 20°С, $T_{нг}$ = 120°С;
- объемная производительность компрессора: V = 3,4 м^3/мин.

В результате расчета были получены картины распределения тепловых деформаций рабочих органов и корпуса ВКО, которые представлены на рисунке 3.

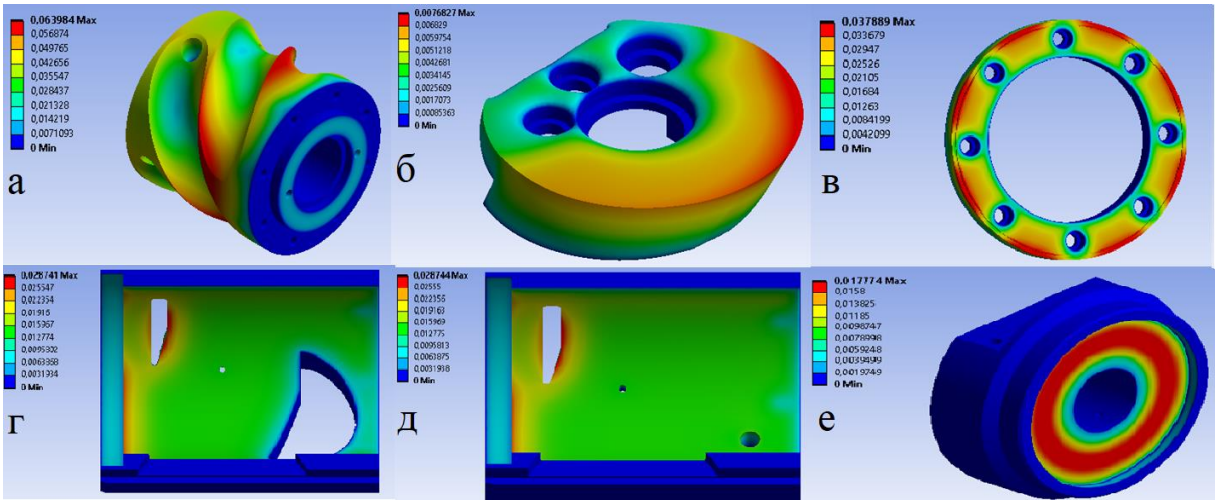


Рис. 3. Распределение тепловых деформаций элементов ВКО:
а – центральный винт-ротор; б – зуб отсекателя; в – регулировочное кольцо винта;
г – верхняя крышка; д – нижняя крышка; е – задняя крышка

В таблице 1 представлены результаты расчета для каждого элемента ВКО и материала.

Таблица 1. **Результаты расчета тепловых деформаций в программе ANSYS**

Элемент	Материал	Максимальное расширение, мм	Рассматриваемый зазор, мм
Винт-ротор	Сталь 45	0,064	А = 0,01 ± 0,03 Б = 0,04 ± 0,08 В = 0,09 ± 0,13 Г = 0,01 ± 0,08
	Бронза БрОФ 10-1	0,0874	
	PEEK Ketron-1000	0,3228	
	PPS Fortron 1140L4	0,202	
	Фторопласт-4	0,5058	
	Армамид ПА СВ 30-2Т	0,0236	
Зуб отсекателя	Сталь 45	0,0296	А = 0,01 ± 0,03
	Бронза БрОФ 10-1	0,0409	
	PEEK Ketron-1000	0,1455	
	PPS Fortron 1140L4	0,0919	
	Фторопласт-4	0,231	
	Армамид ПА СВ 30-2Т	0,0077	
Крышка корпуса верхняя	Сталь 45	0,0377	Б = 0,04 ± 0,08 В = 0,09 ± 0,13
	Чугун СЧ20	0,0287	
Крышка корпуса нижняя	Сталь 45	0,0377	Б = 0,04 ± 0,08 Г = 0,01 ± 0,08
	Чугун СЧ20	0,0287	
Крышка корпуса задняя	Сталь 45	0,0236	Д = 0,01 ± 0,03
	Чугун СЧ20	0,0178	
Кольцо винта-ротора	Фторопласт-4	0,2382	
	Бронза БрОФ 10-1	0,0379	
	PEEK Ketron-1000	0,1504	
	Армамид ПА СВ 30-2Т	0,0077	

На основании выполненных расчетов наименьшие технологические зазоры между элементами в рабочей зоне ВКО будут обеспечивать материалы, представленные в таблице 2.

Согласно полученным результатам расчета тепловых деформаций одноротorного винтового компрессора с окружной формой рабочих органов все элементы компрессора подвержены тепловым деформациям, а наибольшие изменение геометрических размеров, и как следствие изменение величины зазоров, для корпуса и центрального винта наблюдается в

области окон нагнетания, а максимальные деформации зуба отсекается наблюдаются на периферии элемента.

Таблица 2. **Назначение зазоров в рабочей части ВКО**

Элемент	Материал	Максимальное расширение, мм	Минимальный зазор, мм
Винт-ротор	Армамид ПА СВ 30-2Т	0,0236	А = 0,0313
Зуб отсекателя		0,0077	
Крышка корпуса верхняя и нижняя	Чугун СЧ20	0,0287	Б=В=Г=0,0523
Винт-ротор	Армамид ПА СВ 30-2Т	0,0236	
Крышка корпуса задняя	Чугун СЧ20	0,0178	Д=0,0255
Кольцо винта-ротора	Армамид ПА СВ 30-2Т	0,0077	

Выбраны материалы, которые меньше всего подвержены тепловым деформациям. Соответственно для исполнения рабочих органов выбран материал Армамид ПА СВ 30 - 2Т, а для элементов корпуса чугун СЧ 20, а также заданы минимальные рабочие зазоры с учетом геометрических деформаций элементов.

Принятое решение обеспечит меньшее количество протечек компримируемой среды через рассмотренные зазоры и предотвратит возможное заклинивание машины в результате теплового расширения деталей.

В дальнейших работах планируется разработать газодинамическую CAE-модель компримирования, протечек и перетечек рабочего тела в ВКО.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Jamil M.A., Zubair S.M. Effect of feed flow arrangement and number of evaporators on the performance of multi-effect mechanical vapor compression desalination systems // Desalination. 2018. Т. 429. Pp. 76-87.
2. Сакун И.А. Винтовые компрессоры: Основы теории, методы расчета, конструкции. – Л.: Машиностроение. 1970. 400 с.
3. Пронин В.А. Винтовые одноротрные компрессоры для холодильной техники и пневматики: дис. докт. тех. наук. / Пронин Владимир Александрович – СПб. 1998. – 226 с.
4. Патент № 199030 Российская Федерация, МПК F04C 18/16 (2006.01) F04C 29/02 (2006.01). Одноротрный винтовой маслозаполненный компрессор: № 2020114579: заявл. 21.04.2020 опубл. 07.08.2020 / Л.Г. Кузнецов, Ю.Л. Кузнецов, В.А. Пронин, А.В. Бураков и др. – 10 с. : ил.
5. Zhang Z., Wu W. Numerical investigation of thermal deformation of meshing pairs in single screw compressor //Applied Thermal Engineering. 2021. Т. 188. P. 16.

Выпускник
Боков Глеб Алексеевич
химико-биологический кластер
Направление подготовки: 19.04.01 – Биотехнология
e-mail: bobkov@scamt-itmo.ru

Научный руководитель
Виноградов Владимир Валентинович
к.х.н., профессор.
e-mail: vinogradov@scamt-itmo.ru

УДК 577.2

DEVELOPMENT OF MULTIVALENT OLIGONUCLEOTIDE AGENTS FOR GENE THERAPY

Работа выполнена в рамках темы НИР № 620156 «Разработка инновационных подходов к диагностике и терапии заболеваний на основе технологий геномики, иммунологии, микробиологии и наноинжиниринга».

Cancer is a complicated and diverse illness, cancer develops when aberrant cells in the body proliferate and spread out of control [1]. The incidence and mortality rates of cancer vary based on the kind and stage of the disease, which can affect any organ or tissue in the body.

The traditional therapy does not meet modern clinical needs, fails to address cancer recurrence and metastasis [2], newly developed treatments significantly improved cancer survival rates. However cancer recurrence, side effects, and drug resistance indicate the urgent need for new therapeutic strategies.

A promising method for treating a number of illnesses, such as cancer is oligonucleotide therapy. Oligonucleotide therapy is a type of treatment that uses short sequences of nucleic acids (oligonucleotides) to target specific genetic or molecular targets in the body. These oligonucleotides may be created to suppress the action of particular proteins or biological processes, or to interfere with the expression of genes that cause disease. Oligonucleotide treatments can be injected or infused into the body to be given as a systemic treatment [3].

Synthetic antisense oligonucleotides (ASO) are one of the agents used as drugs for a wide range of diseases that are caused by modified or unmodified short nucleic acid molecules. The problem of ASO as therapeutic medicine based on nucleic acids is a reduced affinity and specificity to target RNA [4]. It can be explained by the secondary and third RNA structure. It influences the affinity of TNOs with RNA targets and often folded into structures that interfere with TNOs hybridization [5].

In this work, was applied the idea of increasing the ASO-RNA hybridization by integration of multivalency (bivalency) in ASO. Biv-ASO consists of 2 ASO. Second agent in construction increases the hybridization of the entire construct to RNA and, as a result, will work more efficiently with folded targets.

Results confirm the data obtained by Prof. Kolpashchikov [6]. Separately our agents are not effective (approximately 26% and 58% in case of each agent and 78% in case of bivalent agent). There is the same result in case of al agents with different length: long ASO and short ASO, bivalent agent more effective.

The most effective type of binding ASOs for the creating bivalent system is using construction with two ASO fragments attached to the opposite ends of a dsDNA platform (open structure). It can be explained by greater spatial freedom of ASO fragments in comparison with other constructions tested. The lowest cleavage percent was obtained with two ASO fragments connected to 5’–3’ linked by HEG. This can be explained by probable HEG inhibiting RNase H but it should be checked in future experiments where activity of RNAse H will be checked by the adding HEG in tube with ASOs and compared with tubed without HEG.

Short ASOs acting as components of bivalent ASO expectedly demonstrated greater selectivity than long ASO. This confirms our hypothesis that applying the concept of bivalents improves selectivity in comparison with long uninterrupted ASO sequences of classical design.

The full-size RNA targets were not cleaved in that study, but we were unable to accept the notion that our approach was ineffective because RNA in cells has a different structure and could be less accessable than *in vitro* due to complex tertiary structure and association with proteins.

The bivalent agents can't cleave all targets, which was shown in experiments with *in vitro* transcribed RNA and RNA extracted from the cell culture.

The interesting result is that different types of bivalent based agents need different types of linkers. For ASO bases it is better to use a open type of construction from oligonucleotides (type of binding shows in Figure).

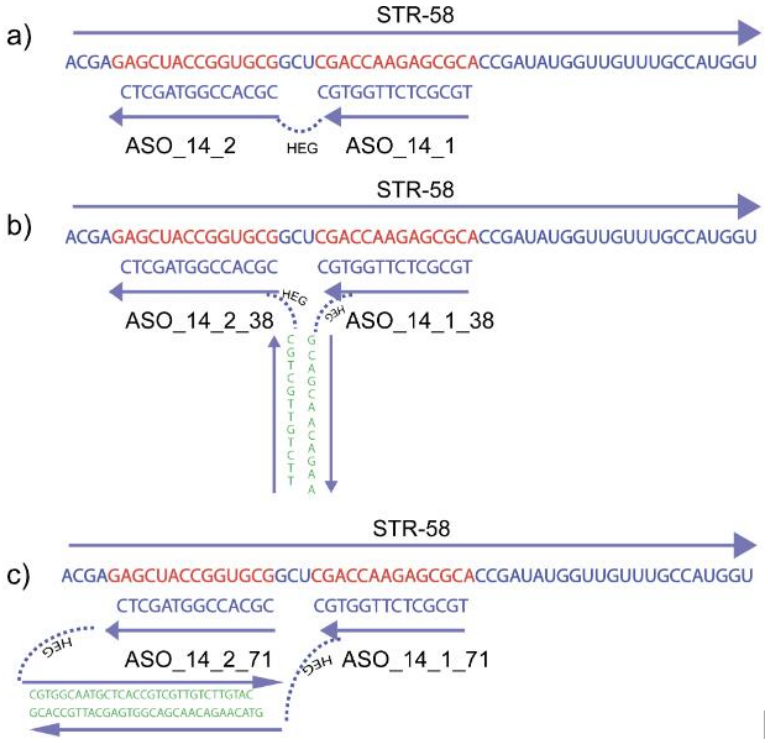


Figure. Different types of linkers between two ASO agents: a) binding with HEG linker; b) close structure c) open structure.

REFERENCES

1. Hanahan D., Weinberg R.A. Hallmarks of cancer: the next generation // cell. 2011. T. 144. №. 5. Pp. 646-674.
2. Wan J. et al. Oligonucleotide therapeutics in cancer // RNA and Cancer. 2013. Pp. 213-233.
3. Hvas C.L. et al. Current, experimental, and future treatments in inflammatory bowel disease: a clinical review // Immunopharmacology and immunotoxicology. 2018. T. 40. №. 6. Pp. 446-460.
4. Miroshnichenko S. K. et al. Mesyl phosphoramidate antisense oligonucleotides as an alternative to phosphorothioates with improved biochemical and biological properties // Proceedings of the National Academy of Sciences. 2019. T. 116. №. 4. Pp. 1229-1234.
5. Li Y. et al. Structure-based design of antisense oligonucleotides that inhibit SARS-CoV-2 replication // bioRxiv. 2021.
6. Kolpashchikov D.M., Gerasimova Y.V., Khan M.S. DNA Nanotechnology for Nucleic Acid Analysis: DX Motif-Based Sensor // ChemBioChem. 2011. T. 12. №. 17. Pp. 2564-2567.

Выпускник
Демидова Алёна Игоревна
факультет программной инженерии и компьютерной техники
Направление подготовки: 09.04.04 – Мультимедиа-технологии, дизайн и юзабилити
e-mail: zytirfa@gmail.com

Научный руководитель
Смолин Артём Александрович
к.ф.н., доцент
e-mail: smolin@itmo.ru

УДК 004.946

СОВМЕСТНОЕ ПРИМЕНЕНИЕ КОГНИТИВНОГО VR-ТРЕНАЖЁРА И НЕЙРОМЕТАБОЛИЧЕСКОГО СТИМУЛЯТОРА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ КОГНИТИВНЫХ СПОСОБНОСТЕЙ ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

Работа выполнена в рамках темы НИР "Исследование совместного применения технологий виртуальной реальности и нейрометаболического стимулятора для повышения когнитивных способностей пользователя".

Тренировка когнитивных способностей, таких как память или внимание, – актуальный вопрос в современном темпе жизни. На данный момент происходит формирование культуры "нейрофитнеса" - тренировки мозга для людей без когнитивных нарушений. В общем смысле когнитивной тренировкой можно назвать любой целенаправленный процесс, сосредоточенный на улучшении таких навыков, как память, внимание, восприятие (включая задачи на решение проблем), воображение и т.д., то есть базовых когнитивных функций и их более сложных комбинаций. Простейшим примером когнитивной тренировки можно назвать заучивание стихов наизусть. Именно когнитивные тренировки, наряду с достаточной физической активностью, признаются сильнейшими факторами профилактики и сдерживания возникновения симптомов болезни Альцгеймера и деменции [1]. К когнитивным тренировкам прибегают и здоровые люди, с целью адаптации к ускоряющемуся темпу жизни, требующему повышенной сосредоточенности и способности к обработке больших объёмов информации даже в повседневных задачах. Дополнительной проблемой, ведущей к необходимости когнитивных тренировок среди здоровых людей, становится так называемый "информационный шум" – перегруженность окружающей среды и медиа информацией. Всплеск интереса к когнитивным тренировкам наблюдается, кроме того, среди людей, перенесших COVID-19, к побочным эффектам которого, помимо прочего, иногда относят снижение когнитивной активности и общую "заторможенность" сознания. Согласно исследованию, проведённому в 2020 году в университете Барселоны, частыми последствиями перенесённой инфекции становятся такие когнитивные нарушения, как снижение объёма памяти, уменьшение скорости переключения внимания, проблемы с концентрацией, депрессия, повысившаяся тревожность [2]. Эффективность когнитивных тренировок была подтверждена множеством исследований, а применение ВР её повышает. Так, например, в 2020 году уже существующий когнитивный тренажёр для профилактики деменции показал большую эффективность при объединении с ВР-гарнитурой – пользователи справлялись с заданием на переключение внимания в среднем на четыре секунды быстрее [3].

Другим популярным способом повышения продуктивности мозга являются ноотропы, или нейрометаболические стимуляторы. Так, например, согласно опросу, проведённому среди студентов Великобритании, к помощи ноотропов регулярно прибегают около 10% учащихся [4]. Ноотропы изначально разрабатывались в психиатрии для лечения когнитивных нарушений, например, при болезни Альцгеймера, однако сейчас вошли в обиход здоровых людей, сталкивающихся с высокой когнитивной нагрузкой – врачей, студентов,

преподавателей, топ-менеджеров и астронавтов МКС. Исследования ноотропов и их эффективности активно продолжаются.

Была выдвинута гипотеза о возможности наличия эффекта от приёма ноотропа на результаты, полученные пользователем в ходе игровой сессии в VR-тренажёре когнитивных способностей, при совместном одновременном применении. Проверка гипотезы, обозначенной выше, состоялась в рамках проведённого эксперимента. 66 респондентов без нарушений слуха и зрения, без склонности к эпилепсии, мигреням и иным заболеваниям, препятствующим нахождению в виртуальной реальности, без имплантированного кардиостимулятора и не подверженные никаким заболеваниям, влияющим на когнитивные функции (в том числе СДВГ), старше 18 лет, участвовали в двойном слепом плацебо-контролируемом исследовании. В качестве препарата применялся нейрометаболический стимулятор на растительной основе Mojo (производимый компанией Gwella), выпускаемый в форме мармелада, как безрецептурный, безопасный, легальный и, по заявлениям производителя, обладающий подтверждённой эффективностью. Действие этого препарата основано на принципе микродозинга функциональных грибов – в составе присутствуют кордицепс китайский (cordyceps sinensis), кордицепс военный (cordyceps militaris) и ежевик гребенчатый (lions mane). Применявшийся в эксперименте VR-тренажёр когнитивных способностей Enhance разработан при участии нейробиологов, аудиологов и учёных-когнитивистов. Эта программа относится к жанру serious game или applied game – они содержат игровой элемент, однако их основной целью является не развлечение. Enhance содержит набор приложений, направленных на тренировку различных когнитивных функций, для применения в исследовании была выбрано то приложение, которое позволяло задействовать в тренировке наибольшее число (активная рабочая память, скорость реакции, концентрация внимания пользователя).

Перед началом эксперимента все участники были ознакомлены с подробностями и дали информированное согласие, а также прошли скрининг на наличие аллергии, подверженность "motion sickness" и другие факторы, которые могут повлиять на результаты эксперимента. Далее, участники были случайным образом разделены на контрольную и экспериментальную группы. Обе группы проходили по две игровые сессии в VR-тренажёре Enhance, где одна сессия проводилась без применения стимулятора, а другая - с его применением (контрольная группа получала плацебо). Порядок игровых сессий был рандомизирован для снижения влияния "эффекта насмотренности". Основным показателем стала разница между игровыми баллами, полученными в первой и второй игровых сессиях.

Эта разница оказалась больше у группы, получавшей ноотроп (среднее арифметическое 7,1), чем у группы, получавшей плацебо (среднее арифметическое 2,8). На рисунке визуализированы расчёты доверительных интервалов для целевого показателя экспериментальной гипотезы (разницы игровых баллов, набранных в результате игровых сессий без применения и с применением нейрометаболического стимулятора либо плацебо) двух групп респондентов. Синий столбец – экспериментальная группа (получавшая ноотроп), красный – контрольная группа (получавшая плацебо).

Полученные результаты свидетельствуют о подтверждении гипотезы о наличии влияния приёма нейрометаболического стимулятора на результаты тренировки когнитивных способностей в VR-тренажёра. Также можно говорить об успешности совместного применения нейрометаболического стимулятора Mojo как дополнения к тренировке когнитивных способностей при помощи тренажёре на основе виртуальной реальности и положительном эффекте ноотропа на результаты пользователя, полученные в ходе игровой сессии. Подобный алгоритм может быть включён в повседневный цикл пользователя в качестве тренировки. Подобное решение соответствует наличию общественного запроса на регулярные когнитивные тренировки для усиления резистентности стрессу, повышения продуктивности, усиление сопротивляемости информационному шуму и профилактики возрастных когнитивных нарушений.

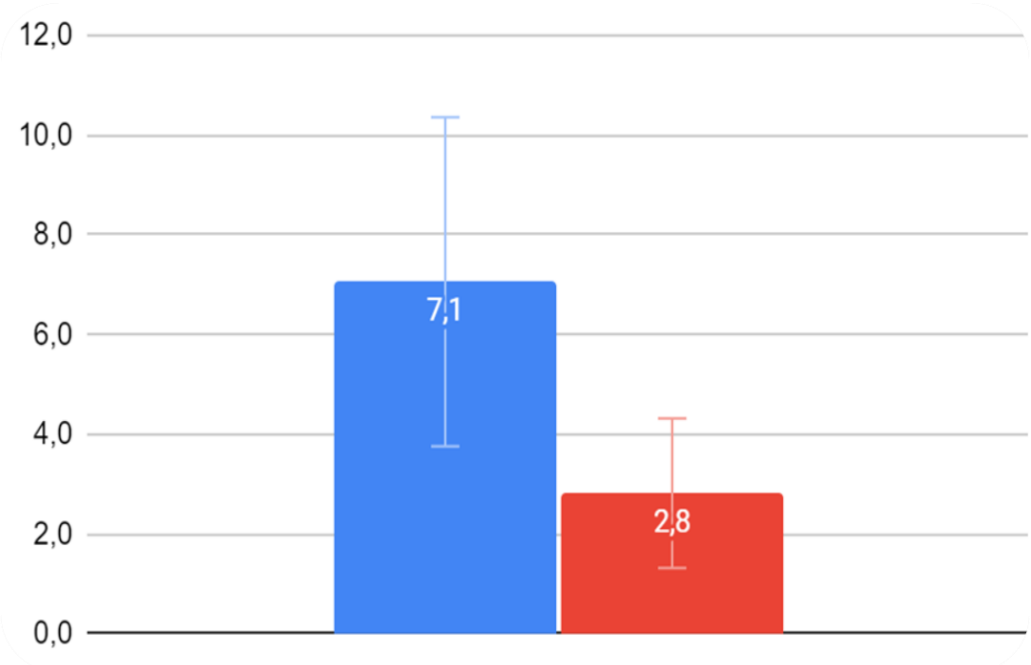


Рисунок. Средняя разница в игровых баллах для экспериментальной и контрольной группы

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Cheng S.T. Cognitive Reserve and the Prevention of Dementia: the Role of Physical and Cognitive Activities. // Current Psychiatry Reports. 2016. №. 18(9). Pp. 85-85. https://doi.org/:10.1007/s11920-016-0721-2.
2. Almeria M., Cejudo J. C., Sotoca J., Deus J., Krupinski J. Cognitive profile following COVID-19 infection: Clinical predictors leading to neuropsychological impairment. // Brain, Behavior, & Immunity - Health. 2020. №. 9. Pp. 100163-100163. https://doi.org/10.1016/j.bbih.2020.100163
3. Singh I., Bard I., Jackson J. Robust Resilience and Substantial Interest: A Survey of Pharmacological Cognitive Enhancement among University Students in the UK and Ireland. // PLoS One. 2014. №. 9. DOI: 10.1371/journal.pone.0105969.
4. Penaloza C.I., Segado M., Debergue P. BMI-VR based Cognitive Training improves Attention Switching Processing Speed. // 2020 IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON SYSTEMS, MAN, AND CYBERNETICS (SMC). 2020. DOI: 10.1109/SMC42975.2020.9283447.

Выпускник
Езерский Алексей Сергеевич
научно-образовательный центр фотоники и оптоинформатики
Направление подготовки: 12.04.03 – Фотоника и оптоинформатика
e-mail: a.ezerskii@itmo.ru

Научный руководитель
Петров Николай Владимирович
д.ф-м.н., доцент
e-mail: n.petrov@itmo.ru

УДК 535.4

АНАЛИЗ ДАННЫХ В ЦИФРОВОМ ГОЛОГРАФИЧЕСКОМ МИКРОСКОПЕ, ОСНОВАННОМ НА ЛИНЗЕ С ЭФФЕКТОМ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ФАЗЫ В ЗАДАЧЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МОРФОЛОГИИ КЛЕТОЧНЫХ КУЛЬТУР

В последние годы использование пространственно-временных модуляторов света (ПВМС) стало ценным инструментом для различных исследований в области создании голографических дисплеев, для исследований в микроскопии с высоким разрешением, определения характеристик рассеивающих сред и во многих других направлениях исследований.

Цифровое микрозеркальное устройство выделяется своими достоинствами среди множества различных ПВМС. По сравнению с другими модуляторами, DMD имеет высокую скорость переключения (микросекунды), высокий коэффициенты светоотдачи и заполнения (90%), и относительно низкую стоимость. Он обеспечивает высокий коэффициент усиления в задачах фокусировки через рассеивающую среду и повышения контраста оптических изображений, что позволяет использовать его для формирования пучков высокой точности.

Еще одной актуальной исследовательской задачей, которая может быть решена с использованием ПВМС, является оптопорация, которая предлагает селективный бесконтактный целевой метод введения молекул, непроницаемых для мембран, в цитоплазму клетки и является привлекательной альтернативой классическим методам внутриклеточной доставки лекарств. Облучение лазерным светом было использовано для введения целого ряда молекул и наночастиц, а также для подавления специфических генов или трансфекции клеток чужеродным генетическим материалом.

В настоящее время создание оптических схем, позволяющих изучать функциональное состояние живых клеток под воздействием лазерного излучения, является перспективным направлением исследований для развития биомедицины. Одним из возможных методов исследования особенностей воздействия структурированного лазерного излучения на исследуемый образец является цифровая голография фазового сдвига. За счёт использования поляризационной камеры в которой матричный фотодетектор сопряжён с массивом микрополяризаторов, и линзы с эффектом геометрической фазы, которая позволяет преобразовывать исходное излучение, разделяя его на два различных пучка, при этом изменяя их поляризацию, становится возможным одновременно регистрировать 4 различных распределения интенсивности с различной фазовой задержкой, что позволяет получать как амплитудные, так и фазовые изображения объекта, а также использовать для регистрации голограмм низкокогерентные источники излучения [1]. При этом, такая схема оказывается устойчива к вибрациям за счёт использования схемы интерферометра общего пути. Для создания работоспособного цифрового голографического микроскопа, основанного на линзе с эффектом геометрической фазы, необходимо было разработать программное обеспечение, способное анализировать получаемые при его помощи данные. Исходя из этого, целью данной работы является анализ данных, получаемых при разработке и использовании цифрового

голографического микроскопа, основанного на линзе с эффектом геометрической фазы и поляризационной камере, совмещённого со схемой для воздействия инфракрасным фемтосекундным излучением, для исследования изменений, происходящих в клеточных культурах в условиях управляемого лазерного воздействия.

Схема установки

Для проведения экспериментов по оптопопрации клеток лазерным фемтосекундным излучением, на основании результатов, полученных при помощи моделирования, была сконструирована схема, изображённая на рис. 1. Она позволяет модулировать волновой фронт при помощи цифрового микрозеркального устройства [2] для смещения точки фокусировки фемтосекундного излучения, а также оценивать волновой фронт и отслеживать изменения, происходящие в облучаемом образце при помощи восстановления по методу параллельного фазового сдвига амплитудных и фазовых изображений из записываемой цифровой голограммы.

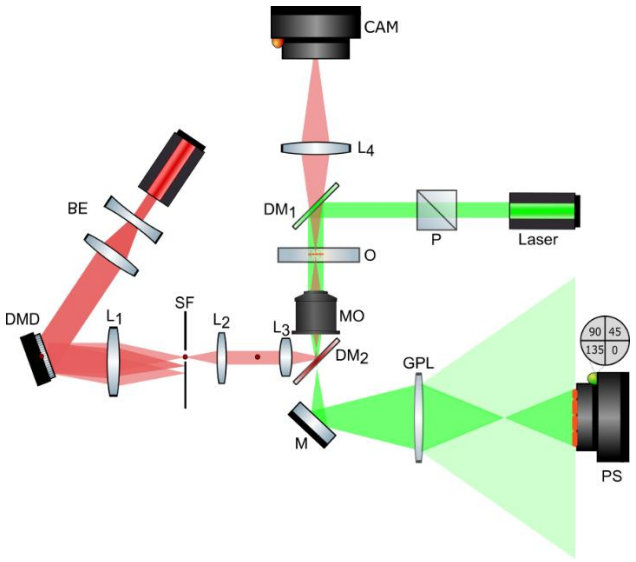


Рис. 1. Экспериментальная установка. Красным цветом выделена схема для оптопорации клеточных структур, зелёным- осевая голографическая схема записи на основе линзы с эффектом геометрической фазы. BE – расширители пучка, L – линзы, SF – пространственный фильтр, P – призма Глана-Тейлора, DM – дихроичное зеркало, GPL – геометрическая фазовая линза, PS –поляризационный матричный фотодетектор

В схеме для оптопорации клеточных структур, излучение фемтосекундного лазера с длиной волны 1040 нм увеличивалось в диаметре расширителем пучка BE, затем пучок падал на матрицу DMD (1920×1080 микрозеркал размером 7,56 мкм), на который через контроллер задавался бинарный паттерн, сформированный при использовании голографии Ли, для смещения точки фокусировки. Затем излучение фокусировалось линзой L1 в Фурье-плоскость, где первый дифракционный порядок подвергался фильтрации пространственным фильтром SF с изменяемым вдоль оси x размером апертуры. Затем, линза L2, которая вместе с линзой L1 формировала телескопическую 4f систему, коллимировала излучение, после чего заводилось в микрообъектив при помощи линзы L3, которая смещала точку фокусировки излучения дальше от фокуса микрообъектива. Далее излучение попадало на объект, и, при помощи матричного фотодетектора отслеживалось положение объекта относительно перетяжки светового пучка.

В схеме для регистрации голограмм исследуемого объекта излучение лазера с длиной волны 532 нм линейно поляризовалось, проходя через призму Глана-Тейлора, отражалось от дихроичного зеркала, после чего освещало объект и проходило через микрообъектив. Формируемое изображение переносилось линзой с эффектом геометрической фазы, которая разделяла линейно-поляризованный пучок на два – сходящийся с левой круговой поляризацией и расходящийся с правой круговой поляризацией. Результат интерференции

регистрировался при помощи поляризационного матричного фотодетектора, после чего восстанавливалось фазовое распределение исходного волнового фронта по методу параллельного фазового сдвига.

Используемые методики

Для восстановления распределения комплексного интерференционного поля, интенсивность которого регистрируется на матричном фотоприёмнике, используется алгоритм фазового смещения [3]:

$$\Delta \boldsymbol{u} = \frac{1}{4}\left[\left(\boldsymbol{I}_{\frac{3\pi}{4}} - \boldsymbol{I}_{\frac{\pi}{4}}\right) - \boldsymbol{i}\left(\boldsymbol{I}_{\boldsymbol{0}} - \boldsymbol{I}_{\frac{\pi}{2}}\right)\right], \quad (1)$$

где $\Delta \boldsymbol{u}$ – комплексный волновой фронт, а I − интенсивности, соответствующие различным сдвигам фаз.

Амплитуду и фазу интерференционного поля можно вычислить как:

$$\begin{gathered} \boldsymbol{A} = \frac{1}{2}\sqrt{\boldsymbol{I}_{\boldsymbol{0}} + \boldsymbol{I}_{\frac{\pi}{4}} + \boldsymbol{I}_{\frac{\pi}{2}} + \boldsymbol{I}_{\frac{3\pi}{4}}}, \\ \boldsymbol{\varphi} = \boldsymbol{angle}(\Delta \boldsymbol{u}) \end{gathered} \quad (2)$$

где $\boldsymbol{A}$ – амплитудное распределение, $\boldsymbol{\varphi}$ – фазовое распределение.

Фазовое изображение объекта возможно восстановить методом компенсации кривизны волнового фронта вычитанием фазы волнового фронта без объекта. Так как съёмка голограмм, содержащих информацию об объекте и опорной фазе источника излучения, производится в различные моменты времени, на восстановленном фазовом изображении наблюдается шум. Для компенсации негативного шумового влияния производится сглаживание полученного изображения алгоритмом анизотропной sin/cos фильтрации [4].

На основании восстановленной в ходе численной обработки разноси фаз, возможно рассчитать диаграмму распределения глубины рельефа калибровочного слайда численным расчётом разности хода оптических путей по формуле:

$$\boldsymbol{d} = \frac{\boldsymbol{\lambda \varphi}}{\boldsymbol{2\pi(n_1 - n_2)}}, \quad (3)$$

где $\boldsymbol{d}$ – глубина, $\boldsymbol{\lambda}$ – длина волны излучения, $\boldsymbol{\varphi}$ – восстановленная разность фаз, $\boldsymbol{n_1}$ – показатель преломления исследуемого объекта, $\boldsymbol{n_2}$ – показатель преломления окружающей среды.

Результаты

В ходе экспериментальной апробации собранной схемы, были зарегистрированы цифровые голограммы фазового калибровочного слайда PhaseFocus. Из них были восстановлены амплитудные и фазовые изображения, представленные на рисунке 2, которые в результате численной обработки были преобразованы в диаграммы распределения глубины по формуле (3). Согласно документации к калибровочному слайду, показатель преломления подложки из кварцевого стекла составляет n = 1,4668 для использующейся в установке длине волны λ = 532 нм, глубина канавок 303 нм.

На основании рассчитанных диаграмм были определены глубины канавок фазового объект микрометра. По результатам нескольких измерений, она составила 300 нм с максимальным отклонением 20 нм. Таким образом, было заключено, что метод может использоваться для построения профиля рельефа и оценки трёхмерных размеров исследуемого образца в режиме реального времени [5].

В качестве объекта для экспериментальной апробации схемы цифрового голографического микроскопа, совмещённого с модулем для воздействия на исследуемый образец фемтосекундным излучением, использовался образец крови. На рисунке 3 представлены восстановленные фазовые изображения группы лейкоцитов, подвергавшихся воздействию структурированного лазерного излучения. Облучение производилось со средней мощностью 30 мВт. Радиус излучения в точке фокусировки, измеренный по основанию профиля пучка, составил 30 мкм. Средняя плотность мощности 3 кВт/см^2.

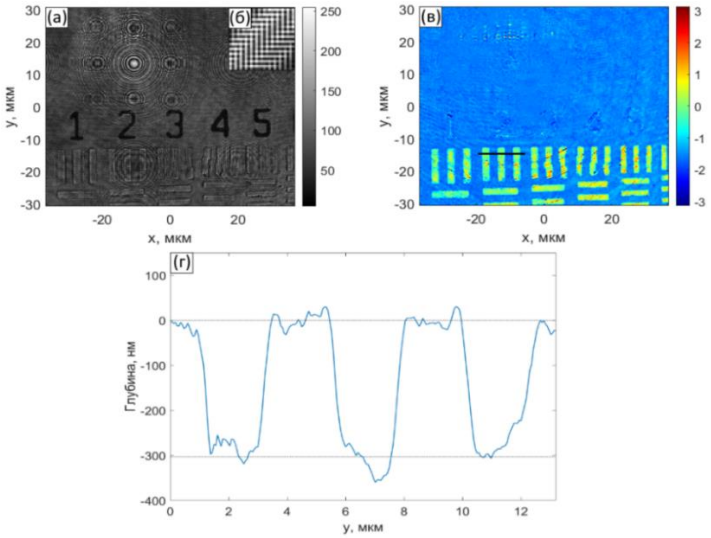


Рис. 2. Голограмма, записанная на поляризационном матричном фотоприемнике (а); типичный увеличенный фрагмент микроструктуры распределения интенсивности, регистрируемой на матрице размером 25 × 25 пикселов поляризационной камеры (б), восстановленное фазовое изображение калибровочного слайда, на изображении которого черной линией обозначено место проведения поперечного сечения (в); профиль поперечного сечения (г)

В ходе проведения эксперимента были зарегистрированы 2 серии цифровых голограмм с интервалом съёмки 1 минута – до воздействия инфракрасного импульсного фемтосекундного излучения (контрольная серия) и в течение облучения. Из них были восстановлены распределения фазы методом компенсации волнового фронта и был применён sin/cos фильтр. Результаты представлены на рис. 3.

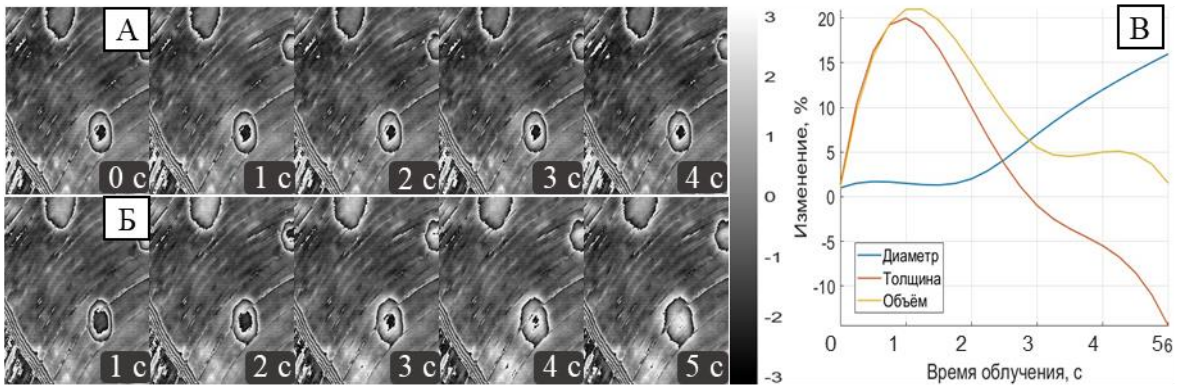


Рис. 3. Восстановленные фазовые распределения в моменты до (А) и в течение (Б) воздействия структурированного лазерного излучения; показаны изменения количественных характеристик исследуемого образца (В). Изображения получены с временным промежутком 1 секунда

Согласно полученным изображениям, до воздействия фемтосекундного излучения на исследуемый образец значительных изменений не наблюдается. Таким образом, можно заключить, что все наблюдаемые изменения происходят вследствие воздействия структурированного лазерного фемтосекундного излучения на исследуемый образец.

Анализ данных изображений в окрестности лейкоцита, после приведения фазы к абсолютному виду показал, что при освещении объекта импульсным лазерным излучением наблюдается сначала увеличение абсолютного фазового набега, вносимого клеткой (достигающее 20 % относительно изначального состояния), а затем его уменьшение (на 14,5 % относительно изначального состояния), которое также сопровождается аналогичным изменением толщины, как показано на рисунке 3 (В). Этот процесс также сопровождается

увеличением линейных размеров лейкоцита в плоскости регистрации на 16 %. При этом, вокруг границ клетки формируется область с добавочным фазовым набегом, относительно среднего значения фазового набега, вносимого окружающей средой. Это говорит об изменении показателя преломления в этой области и может свидетельствовать о разрушении клеточной мембраны и выходе цитоплазмы из тела в жидкость-носитель.

В настоящей работе был выполнен анализ данных, получаемых при разработке и использовании цифрового голографического микроскопа, основанного на линзе с эффектом геометрической фазы и поляризационной камере [1], совмещённого со схемой для воздействия инфракрасным фемтосекундным излучением, для исследования изменений, происходящих в клеточных культурах в условиях управляемого лазерного воздействия. Измеренная разность фаз, вносимая фазовым калибровочным слайдом, была пересчитана в диаграммы распределения глубины рельефа поверхности численным расчётом разности хода оптических путей в материале исследуемого образца и воздухе [5]. Таким образом была определена глубина канавок фазового объект микрометра и получена диаграмма распределения рельефа исследуемой поверхности. Также, был проведён эксперимент по воздействию управляемым фемтосекундным лазерным излучением на группу клеток крови. По восстановленным из зарегистрированных голограмм амплитудным и фазовым изображениям было исследовано поведение и выделены происходящие изменения в образце с клетками крови. В ходе анализа экспериментальных данных, было зафиксировано изменение формы, линейных размеров и толщины лейкоцита под воздействием фемтосекундного лазерного излучения. По результатам проведённого эксперимента можно заключить, что при такой мощности и длительному времени воздействия излучение наносит сильные повреждения исследуемому объекту, приводящие к смерти клетки. Таким образом, разработанная схема работоспособна и может использоваться для исследования поведения различных объектов при воздействии импульсным фемтосекундным лазерным излучением.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Chernykh A.V., Ezerskii A.S., Georgieva A.O., Petrov N.V. Simple self-interference microscope design with geometric phase lens and polarization camera // Frontiers in Optics + Laser Science 2021 (2021), paper JW7A.118. Optica Publishing Grou. 2021. P. JW7A.118.
2. Georgieva A.O., Ezerskii A.S., Chernykh A.V., Petrov N.V. Numerical Displacement of Target Wavefront Formation Plane with DMD-Based Modulation and Geometric Phase Holographic Registration System // Atmospheric and Oceanic Optics. Pleiades journals. 2022. Vol. 35. №. 3. Pp. 258-265.
3. Chernykh A.V., Georgieva A.O., Ezerskii A.S., Petrov N.V. Study on object wavefront sensing in parallel phase-shifting camera with geometric phase lens // Holography, Diffractive Optics, and Applications XI. 2021. Vol. 11898. Pp. 113-120.
4. Петров Н.В., Езерский А.С., Герасимов К.А., Мисюра А.А., Черных А.В. Численная обработка изображений, получаемых с помощью голографической системы регистрации на основе эффекта геометрической фазы и поляризационной камеры // HOLOEXPO 2022: XIX международная конференция по голографии и прикладным оптическим технологиям (Санкт-Петербург, 20–22 сентября): Тезисы докладов. – 2022. – С. 393-396.
5. Ezerskii A.S., Gerasimov K.A., Misura A.A. Analysis of the phase images obtained during the collection of a holographic registration system based on the geometric phase effect and a polarization camera // Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics. 2023. Vol. 23. №. 2. Pp. 227-235.

Выпускник
Кафеева Дарья Артуровна
международный научно-образовательный центр физики наноструктур
Направление подготовки: 12.04.03 – Физика и технология наноструктур
e-mail: kafeyeva@gmail.com

Научный руководитель
Дададжанов Далер Рауфович
PhD
e-mail: daler.dadadzhanov@gmail.com

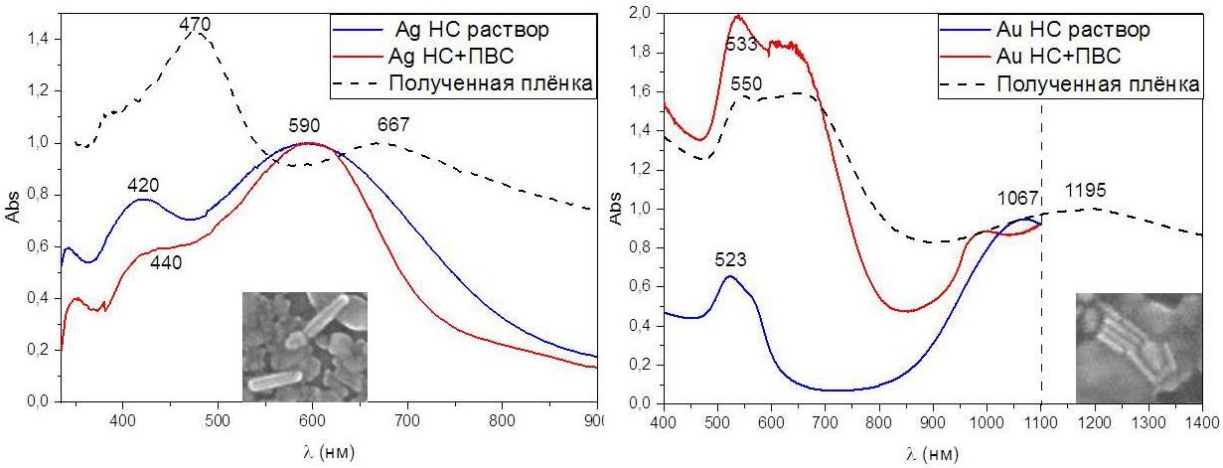
УДК 535.56

ОПТИЧЕСКАЯ АНИЗОТРОПИЯ ДВУМЕРНЫХ И ТРЕХМЕРНЫХ АНСАМБЛЕЙ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ НАНОЧАСТИЦ, ИНДУЦИРОВАННАЯ ОПТИЧЕСКИМИ И МЕХАНИЧЕСКИМИ ВОЗДЕЙСТВИЯМИ

Работа выполнена в рамках темы НИР № 621317 «Разработка новых фазовых элементов на основе метаповерхностей и нанопористых силикатных матриц для исследования генерации оптических вихревых пучков» и НИР № 322130 «Оптические методы мониторинга эндоцитоза микро- и нанообъектов живыми клетками».

Металлические наноструктуры уже давно являются объектом пристального внимания научного сообщества в области оптики, биотехнологии, магнетизма, катализа и фотоники [1]. Среди различных металлических наноструктур особое внимание привлекают наночастицы благородных металлов в виде наностержней из золота и серебра благодаря своим уникальным физико-химическим свойствам, в частности оптическим, которые проявляются в результате взаимодействия света и электронов на поверхности металлической наночастицы, что называется явлением локализованного поверхностного плазмонного резонанса (ЛППР). Это взаимодействие вызывает когерентные локализованные плазмонные колебания с резонансной частотой, сильно зависящей от состава, размера, геометрии, диэлектрического окружения и расстояния между частицами [2]. Метаповерхности на основе плазмонов достигают требуемого полного фазового контроля, в основном, используя подход, основанный на генерации двух резонансов, каждый из которых охватывает стандартный фазовый диапазон [3]. Такие планарные ансамбли плазмонных частиц могут быть получены как методами литографии, так и путем химического синтеза [4]. Однако приложения, основанные на возбуждении продольного плазмонного резонанса структур наностержней, могут работать с максимальной эффективностью только в том случае, если они используют либо одиночный стержень, либо ансамбль полностью выровненных стержней. Если стержни компонентов ориентированы или смещены случайным образом, их оптические свойства усредняются и наноструктуры функционируют менее эффективно [5].

В данной работе были предложены два альтернативных подхода к созданию поляризационно-зависимых систем на основе анизотропных ансамблей плазмонных наночастиц. Первый подход связан с явлением продольного плазмонного резонанса одноосно ориентированных ансамблей наностержней, полученных химическим методом направленного роста и внедрённых впоследствии в полимерные матрицы. В качестве полимерной матрицы был выбран поливиниловый спирт, так как пленки достаточно легко получить при обычной сушке, они прозрачны в видимом диапазоне, имеют низкую температуру стеклования, а величина возможного растяжения зависит от длины молекул. Спектры поглощения ансамблей серебряных и золотых наностержней в свежеприготовленном растворе, смеси с раствором полимера и результирующей плёнки представлены на рисунке 1.



а б

Рис. 1. Спектры поглощения ансамблей золотых (а) и серебряных (б) наностержней в свежеприготовленном растворе, смеси с раствором полимера и результирующей плёнки. На вставках приведены изображения сканирующей электронной микроскопии полученных наностержней

Выравнивание наностержней в полимерных плёнках осуществляется путем нагрева пленки до температуры размягчения при одновременном растяжении. В этом процессе наностержни, соприкасающиеся с полимерными цепями, сцепляются и достигают конечного положения ориентации, параллельного направлению растяжения. В этом случае степень ориентации наностержней прямо пропорциональна степени растяжения пленки. Подтверждение выравнивания частиц осуществляли спектральным анализом. Для полученных пленок были зарегистрированы спектры поглощения в различных поляризациях падающего света как в нерастянутом виде, так и в процессе растяжения (рис. 2). Спектры были получены в поляризациях зондирующего излучения от 0° до 90°, где 0° соответствует поляризации параллельно, а 90° – перпендикулярно оси растяжения. В качестве дополнительного доказательства измененной ориентации наностержней в плёнках были зарегистрированы спектры линейного дихроизма для пленок до и после растяжения, показанные на рисунке 2.

Как видно на рисунке 2 поляризационная зависимость абсолютно не проявляется для нерастянутой плёнки, каждый спектр десяти поляризаций повторяет форму следующего. Однако по мере растяжения наблюдается увеличение интенсивности длинноволнового пика при поляризации 0° и увеличение коротковолнового пика при переходе к поляризации 90°. Появление такой поляризационной зависимости после растяжения образца указывает на измененную ориентацию наностержней в пленке, поскольку продольная и поперечная плазмонные моды могут быть возбуждены только светом, поляризованным параллельно и перпендикулярно оси растяжения пленки, соответственно. Напротив, в нерастянутой пленке оптические свойства не зависят от поляризации света за счет усреднения индивидуальной анизотропии NR, связанной со случайной ориентацией частиц. В то же время спектры линейного дихроизма подтверждают появление поляризационно-зависимых свойств после растяжения образца. Явление линейного дихроизма определяется различной способностью вещества поглощать свет с взаимно перпендикулярными направлениями линейной поляризации. Полученные спектры линейного дихроизма характеризуются усилением сигнала со сменой знака для растянутых пленок, в отличие от нерастянутых, что возникает вследствие определенной упорядоченной ориентации анизотропно поглощающих частиц.

а

б

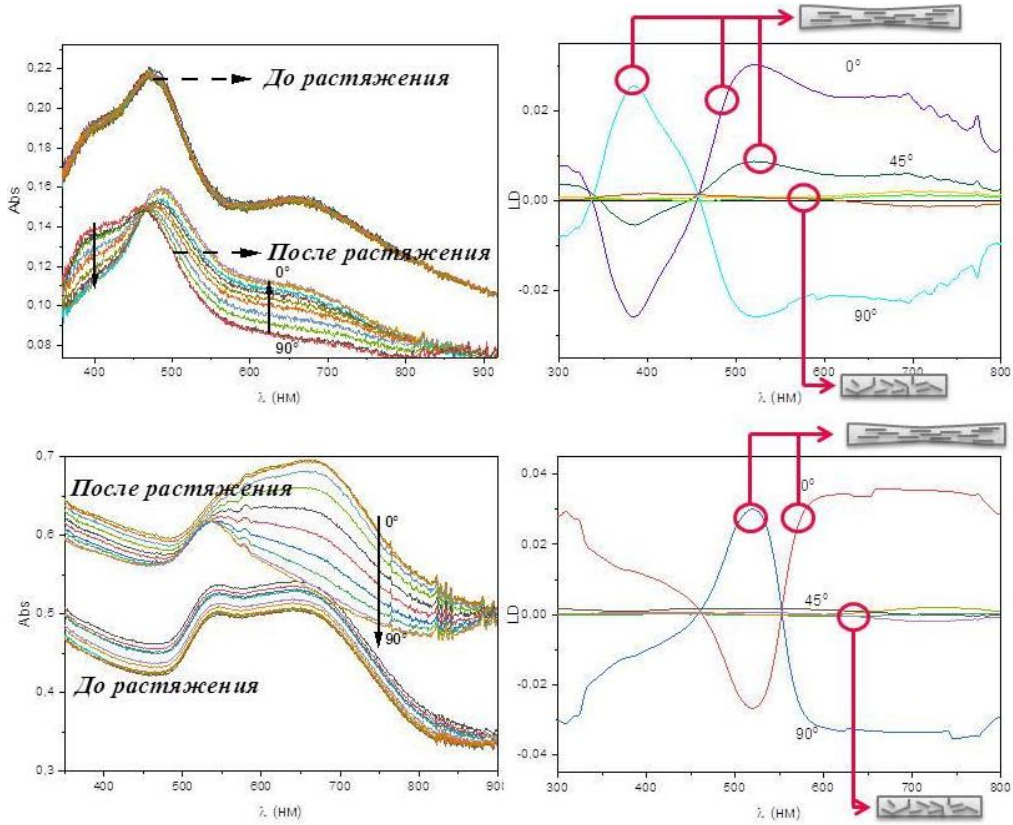


Рис. 2. Спектры поглощения в поляризованном свете и линейного дихроизма растянутых и нерастянутых плёнок с серебряными (а) и золотыми (б) наностержнями, демонстрирующие проявление поляризационной зависимости после растяжения образца

Второй подход для получения анизотропной метаповерхности был осуществлён путем воздействия на тонкие слои металла мощным линейно поляризованным излучением. Метод заключается в выжигании провалов в неоднородно уширенных спектрах наноструктур серебра. Под действием лазерного излучения резонансные наночастицы нагреваются и в зависимости от интенсивности нагрева изменяют свою форму и/или размер, а также теряют массу за счет испарения. Это приводит к соответствующим изменениям в спектрах поглощения. Действие поляризованного излучения на анизотропные частицы зависит не только от их размера и формы, но и от их ориентации, поэтому спектральные провалы для разных плотностей лазерного излучения и поляризаций излучения неодинаковы, что проявляется в спектрах линейного дихроизма.

Тонкая пленка серебра на стеклянной подложке подвергалась лазерному воздействию с переменными импульсами и плотностью потока энергии. Для этого использовались три типа импульсных источников с переменной мощностью: фемто-, пико- и наносекундные лазеры. Для достижения максимального воздействия лазерного излучения на зернистую металлическую пленку его длина волны должна быть близка к максимуму полосы плазмонного поглощения серебряной пленки. Поэтому было выбрано излучение второй гармоники 515 нм для фемтосекундного и 532 нм для пико- и наносекундного лазерного источника. Спектры ансамбля серебряных наночастиц до и после облучения приведены на рисунке 3.

Лазерное излучение избирательно нагревает частицы, для которых плазмонный резонанс совпадает с длиной волны излучения. При этом в спектрах оптической плотности появляется провал на длине волны, близкой к длине волны лазерного излучения, что особенно заметно на рисунках 3, б и в для пико- и нано-секундного лазера, в то время как малое значение длительности импульса вызывает незначительные изменения в металлической пленке, что также подтверждается разностным спектром, близким к нулю (рис. 3, а). Спектральные провалы образуются на длине волны с двумя полосами поглощения при низких мощностях, а при увеличении плотности энергии излучения происходит резкое снижение оптической плотности и радикальное изменение формы спектров поглощения, что обусловлено

изменением размеров и формы частиц с одновременной частичной абляцией. Кроме того, видно, что степень влияния сильно зависит от плотности энергии, а также от частоты повторения импульсов, что более четко видно из разностных спектров за счет повышения температуры соседствующих частиц, находящихся не полностью в резонансе с лазерным излучением, что приводит к большему поглощению энергии в соседнем регионе.

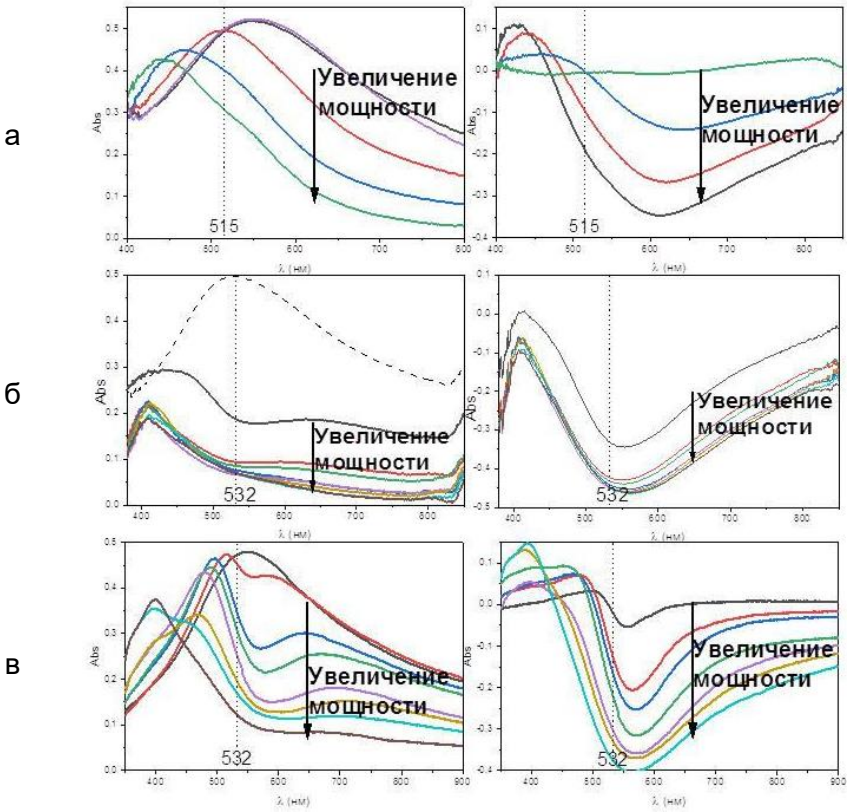
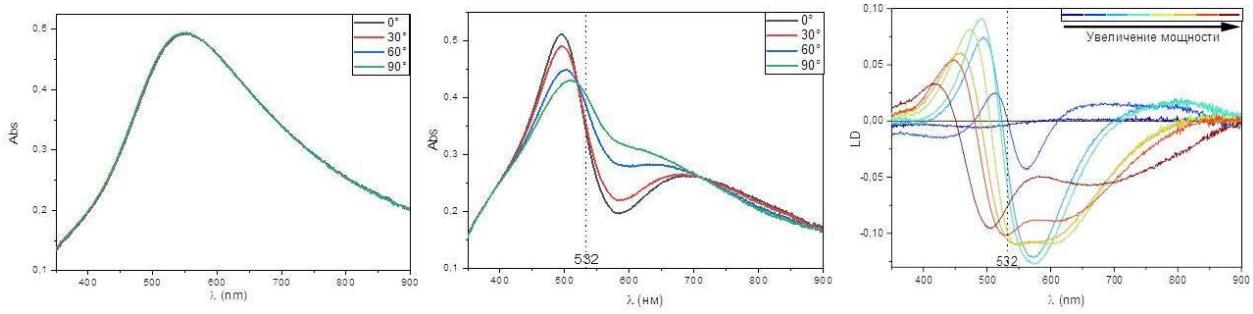


Рис. 3. Спектры поглощения и разностные спектры поглощения тонкой плёнки серебра на стеклянной подложке после воздействия фемто- (а), пико- (б) и наносекундным лазерным излучением

Из-за наличия спектральных провалов полученная структура имеет несколько плазмонных резонансов, подобно наностержням. Такие свойства позволяют говорить о том, что каждый плазмонный резонанс может возбуждаться в зависимости от ориентации падающего поля, что показано на спектрах поглощения облученной зоны в поляризованном свете (рис. 4, б) и спектрах линейного дихроизма (рис. 4, в).



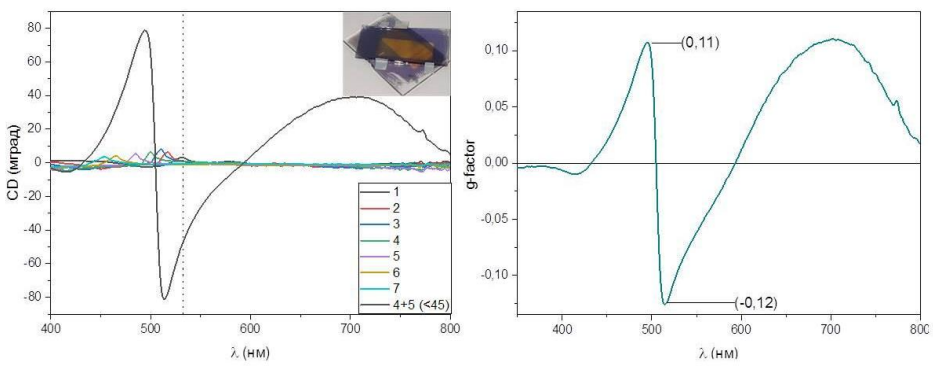
а б в

Рис. 4. Спектры поглощения необлученной (а) и облученной (б) серебряной пленки в поляризованном свете и линейного дихроизма в зависимости от мощности источника излучения (в)

Рисунок 4, а наглядно демонстрирует, что спектр поглощения тонкой серебряной пленки не претерпевает изменений в зависимости от направления поляризации зондирующего излучения. В то же время спектр облученной зоны демонстрирует явные изменения формы

при смене поляризации от 0° к 90°, где 0° – параллельно, 90° – перпендикулярно поляризации лазера. Спектры линейного дихроизма также подтверждают проявление поляризационной зависимости образца после лазерного воздействия, а также демонстрируют уменьшение дихроичных свойств при увеличении мощности излучения.

Дополнительно было показано, что структура, образованная при наложении друг на друга двух облученных образцов под углом, демонстрирует интенсивный сигнал кругового дихроизма, отсутствующий в обеих из двух перекрывающихся анизотропных зон (рис. 5, а). При этом максимальное значение g-фактора для такой структуры достигает g_{max} = 0,12 (рис. 5, б).



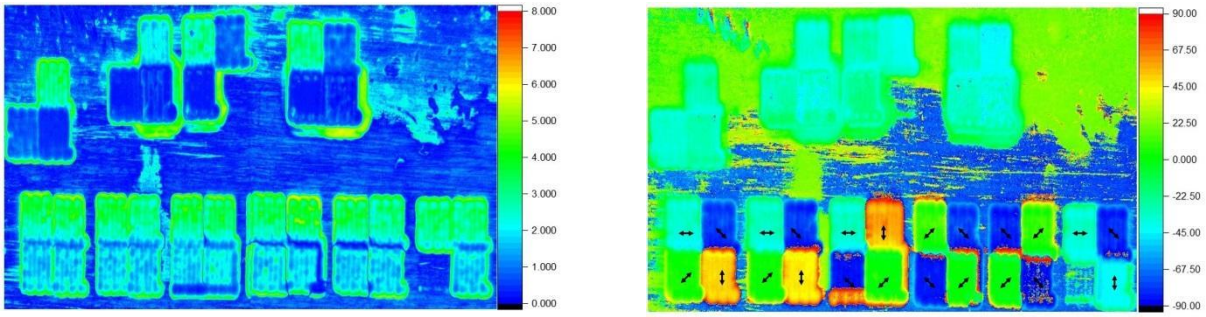
а б

Рис. 5. Спектр кругового дихроизма (а) и g-фактора (б) структуры, состоящей из двух облучённых зон, наложенных друг на друга под углом 45°

Спектр кругового дихроизма демонстрирует, что путем скручивания двух анизотропных ахиральных структур друг относительно друга может быть сформирована структура с сильным хиральным оптическим откликом в видимом диапазоне длин волн. Такая система может стать быстрой, доступной и простой заменой ДНК-оригами для получения хирооптического сигнала.

Секционные структуры из четырех квадратов с разной степенью воздействия были исследованы на двулучепреломляющие свойства. Величину фазовой задержки и азимутальный угол ориентации быстрой оси измеряли на двулучепреломляющем микроскопе Thorlabs LCC7201 методом сканирования лазерным излучением на длине волны 633 нм.

На рисунке 6 показано, что фазовая задержка на структурах довольно мала и едва достигает максимум 8°, а при увеличении мощности лазерного излучения значение фазовой задержки уменьшается вплоть до нулевых значений (рис. 6, а). Однако в то же время азимут быстрой оси образца изменяется от -90˚ до 90˚ в зависимости от поляризации лазерного излучения во время подготовки образца (рис. 6, б). Кроме того, очевидно, что направление главных осей совпадает с направлением поляризации работающего лазера.



а б

Рис. 6. Псевдоцветовая карта, показывающая распределение величины фазового сдвига (а) и азимута быстрой оси (б) на секционных образцах с разной степенью воздействия. Значения на измерительной шкале указаны в градусах

Таким образом, данная работа является исследованием настройки плазмонных свойств металлических нанообъектов и разработки дихроичных структур с поляризационно-зависимыми свойствами. В результате были получены ансамбли металлических наностержней с поляризационно зависимыми свойствами, а также плазмонные метаповерхности с хиральными и двулучепреломляющими свойствами. Полученные результаты представляют особый интерес в разработке новых фазовых пластин и регуляторов поляризации, в частности для изучения генерации оптических вихрей.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Solymar L., Shamonina E. Waves in metamaterials. Oxford University Press. 2009. 385 p.
2. Fedlheim D. L. F.C.A. Metal nanoparticles: synthesis, characterization, and applications. CRC press. 2001. 352 p.
3. He Y., Song B., Tang J. Optical metalenses: fundamentals, dispersion manipulation, and applications // Frontiers of Optoelectronics. 2022. Vol. 15. №. 1. P. 24.
4. Veroli A. et al. Planar chiral plasmonic 2D metamaterial: Design and fabrication. 2019. P. 020015.
5. Yadav P.R. et al. Plasmon-Coupled Gold Nanoparticles in Stretched Shape-Memory Polymers for Mechanical/Thermal Sensing // ACS Appl Nano Mater. 2021. Vol. 4. №. 4. Pp. 3911-3921.

Выпускник
Концевик Георгий Ираклиевич
институт дизайна и урбанистики
Направление подготовки: 09.04.03 – Прикладная информатика
e-mail: george.kontsevik@gmail.com

Научный руководитель
Митягин Сергей Александрович
к.т.н.
e-mail: mityagin.spb@gmail.com

УДК 004.04

РАЗРАБОТКА МЕТОДА ОЦЕНКИ ПРОСТРАНСТВЕННОГО НЕСООТВЕТСТВИЯ МЕСТ РАБОТЫ И ПРОЖИВАНИЯ ДЛЯ СПЕЦИАЛИСТОВ ПРИОРИТЕТНЫХ ИНДУСТРИЙ

Поездки на работу занимают не только время работника, но и связаны с расстоянием, выбросами и затратами [1]. Это является следствием несоответствия между работой и жильем, когда у работника нет возможности добраться до работы без использования транспорта (в развивающихся странах транспортная сеть часто развита плохо, поэтому необходимость иметь автомобиль возрастает). Чем больше времени человек проводит на работе, тем меньше у него остается времени на семью и личные дела, что приводит к дисбалансу между работой и личной жизнью. Связь между временем и комфортом поездки на работу с удовлетворенностью работой не была признана статистически значимой [2]. Однако было также установлено, что при некомфортном передвижении на работу работник склонен менять работу в более короткие сроки. Также, это может вызвать дополнительный стресс и привести к выгоранию [2].

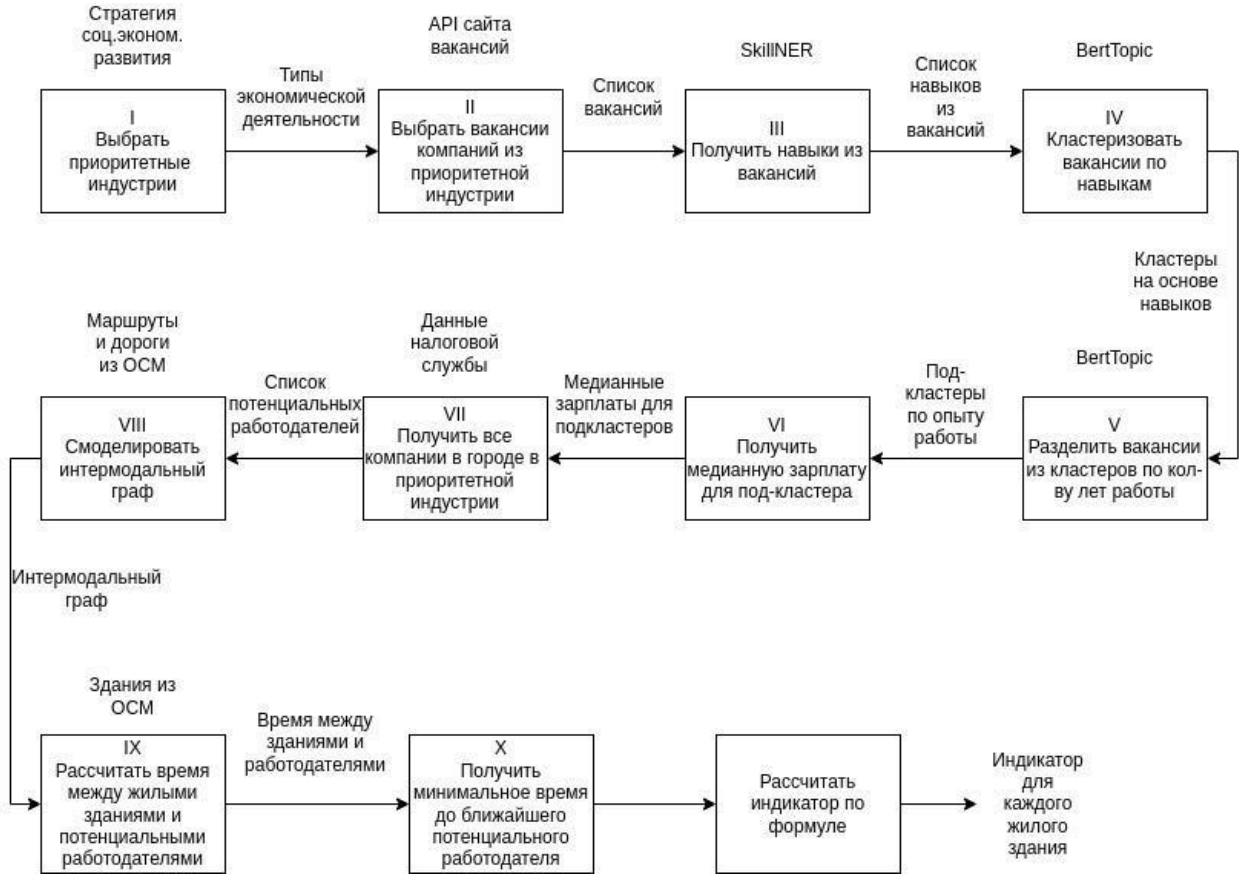


Рис. 1. Алгоритм расчета индикатора

Многие развитые страны инвестируют в компактность городской среды и удобный общественный транспорт, соединяющий многие точки города, чтобы решить проблему пространственного неравенства [3]. Другой подход заключается в инвестировании в доступное жилье, что также помогает низкоквалифицированным работникам [4]. Кроме того, города должны развиваться полицентрично, чтобы сгладить несоответствие квалификаций [5].

Привлекательность города — это, помимо прочего, то, за что его ценят и любят горожане. Комфорт, качество городской среды, количество зеленых насаждений и многое другое — все это влияет на привлекательность города. [6] Исследователи не опираются на статистические данные о средних расходах на аренду жилья и принимают их за 30% от заработной платы (принимая это соотношение за целевое и наиболее комфортное).

Дальнейшие примеры полученных результатов будут приведены для специалистов фармацевтической промышленности. Для расчета индикатора для заданной индустрии необходимо воспользоваться алгоритмом (рис. 1).

1. Найти сферу (вид деятельности) для каждого работодателя каждой вакансии Так, в перечень приоритетных сфер развития для Санкт-Петербурга входят:
   - фармацевтическая промышленность (производство основной фармацевтической продукции);
   - информационные технологии;
   - медицина (оказание меди цинских услуг и производство медицинского оборудования) и др.

Например, для Фармацевтической промышленности целевым будет 21-й ОКВЭД. Соответственно, из базы данных налоговой необходимо получить информацию о местоположении компаний с этими ОКВЭДами в границах города. Для решения задачи необходимо не только понять какого рода компании могли бы заниматься данной сферой, но и какие специалисты могли бы быть в ней задействованы.

2. Отфильтровать вакансии по целевым видам экономической деятельности. Необходимо отметить, что адрес работодателя не всегда может отражать реальное местоположение офиса, но, к сожалению, это наиболее точная информация, которую можно получить для большинства компаний.
3. Перевести описания вакансий на английский язык. К сожалению, не удалось найти готовых инструментов для выделения навыков из вакансий на русском языке. В данном случае нам не так принципиален порядок слов в предложении, поэтому потерями качества при переводе было решено пренебречь.
4. Использовать модель для получения навыков из текста SkillNer (SpaCy, натренированный на базе данных навыков Emsi). Emsi – компания, занимающаяся анализом данных в сфере рынка труда. Они предоставляют открытую базу данных навыков. SkillNer – модель, натренированная на этих данных, позволяющая извлекать точные и вероятные совпадения навыков из текста. Однако таком выборе обработки данных стало невозможно идентифицировать вакансии, специфичные для страны, например программист 1С или такой навык как владение инструментом КОМПАС-3D. Тем не менее инструмент справился со своей задачей и основные навыки были получены.
5. Удалить общие навыки, не характеризующие конкретные профессии (не помогающие их разделять), а также не учитывать софт-скиллы. Для некоторых групп вакансий (например, ит-специалисты, такие рас познанные навыки как алгоритмы, структуры данных или git – не являются определяющими, чтобы отделить одного ит-специалиста от другого).
6. Уменьшить размерность, использовав UMAP (задав нужное число соседей и компонент). Алгоритм уменьшения размерности UMAP позволяет перейти к 2D описанию данных навыков каждой профессии. Далее, данные с пониженной размерностью передаются в модель.
7. Сгруппировать вакансии по навыкам, учитывая контекст использования слов, с помощью модели BERTopic. На выходе получены кластеры вакансий, включающие в себя характеризующие их наборы навыков. К сожалению, из-за недостаточных описаний

вакансий, некоторые, по названию близкие вакансии могут попасть в разные кластеры. Однако это может помочь разделить, например, дата-специалистов по конкретным навыкам и избежать путаницы. Полученные группы навыков представлены на рисунке 2.

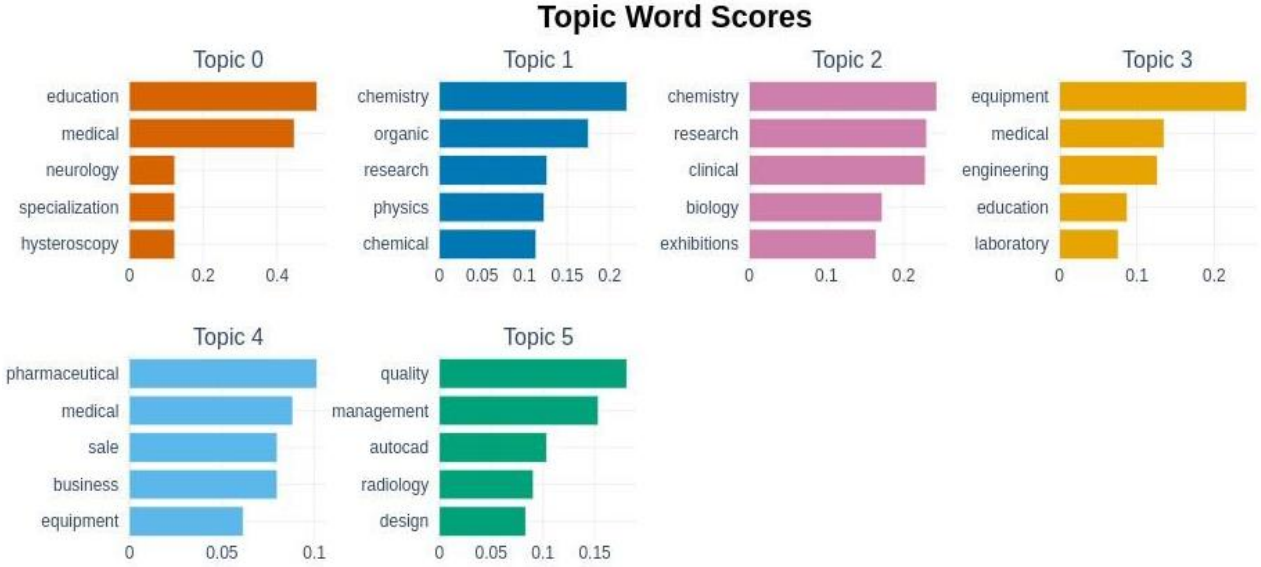


Рис. 2. Выделенные группы навыков

8. Названия для кластеров могут быть заданы вручную на основе наиболее часто встречаемых слов-навыков. Для этой цели имеет смысл нарисовать облако слов, использую WordCloud (рис. 3).

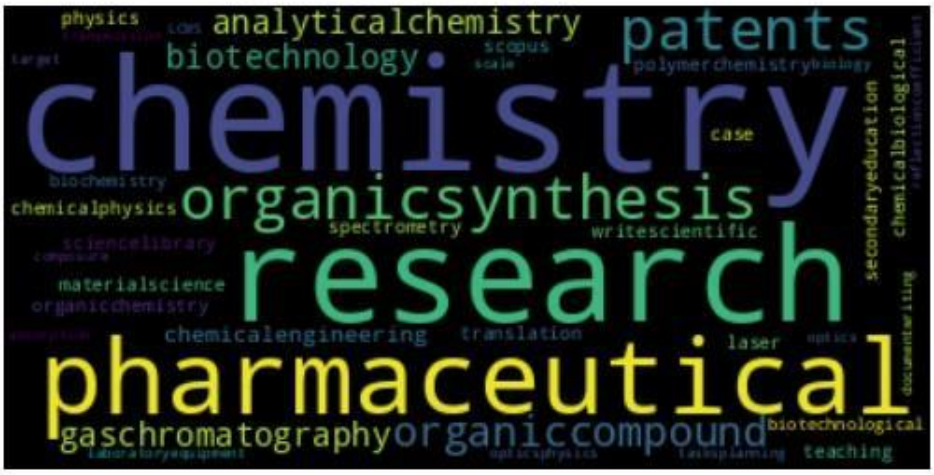


Рис. 3. Облако слов для кластера 1

9. Каждой компании (потенциальному работодателю) присвоить медианное значение зарплаты в кластере для определенного опыта работы (до года, от года до трех лет, от трех до шести лет). Каждая вакансия имеет требуемый опыт работы, что является еще одной градацией. Так как мы не знаем каких конкретно специалистов нанимают неизвестных компаниях, но знаем, что в похожих компаниях нанимают выделенных специалистов, мы можем предположить, что и там их нанимают тоже.
10. Умножить заданную зарплату на коэффициент разницы в зарплатах среди административных единиц города (источник – Росстат) – для поправки на местоположение. Однако Росстат имеет статистику по среднему (по всем профессиям) отношению зарплат между районами города относительно средней зарплаты в городе (как и ожидается, в центре больше – на периферии меньше). Это альтернатива возможной поправки уровня зарплат на географию, описанной в предыдущем пункте.

11. Для каждой административной единицы, используя транспортный граф с OSM, рассчитать время от каждого дома до каждой компании. В данной работе был рассмотрен интермодальный граф. Граф строится на маршрутах общественного транспорта из OSM и также включает в себя пешеходный граф для учета перехода между остановками. Расчет был произведён с помощью алгоритма Дейкстры между ближайшими точками графа к жилому дому и предприятию.
12. В полученной матрице между домами и компаниями взять минимальное время для каждого дома. Чтобы превратить время в коэффициент возьмем от него логарифм. Коэффициент для времени <=15 минут равен 1. Время доступности в 15 минут будем считать наилучшим. Время большее, чем 15 минут будет ухудшать рассчитываемый индикатор. Так, районы без работодателей будут априори иметь неудовлетворительное значение индикатора. В данной работе расчёт произведен внутри каждого округа, что не решает вопрос “соседних” работодателей в других округах. Такое допущение было сделано из-за недостатка вычислительных ресурсов и не влияет значительно на результаты метода.
13. Рассчитать итоговое значение. После получения искомого показателя для каждого района города возможно сравнить между собой не только районы (с детализацией до жилого дома), но и вакансии из одного кластера с различным опытом, из одной сферы из разных кластеров с одинаковым опытом, а также различный кластеры из разных сфер с одинаковым опытом. Итоговое значение рассчитывается по следующей формуле Rh:

$$I_e = argmin_e\left(\frac{R}{S_e} log(T_{he})\right),$$

где R – стоимость аренды, S – зарплата, T – время от жилого здания до потенциального работодателя. Индексы h и e обозначают место проживания и работодателя соответственно. Результаты расчетов представлены на рисунках 4 и 5.

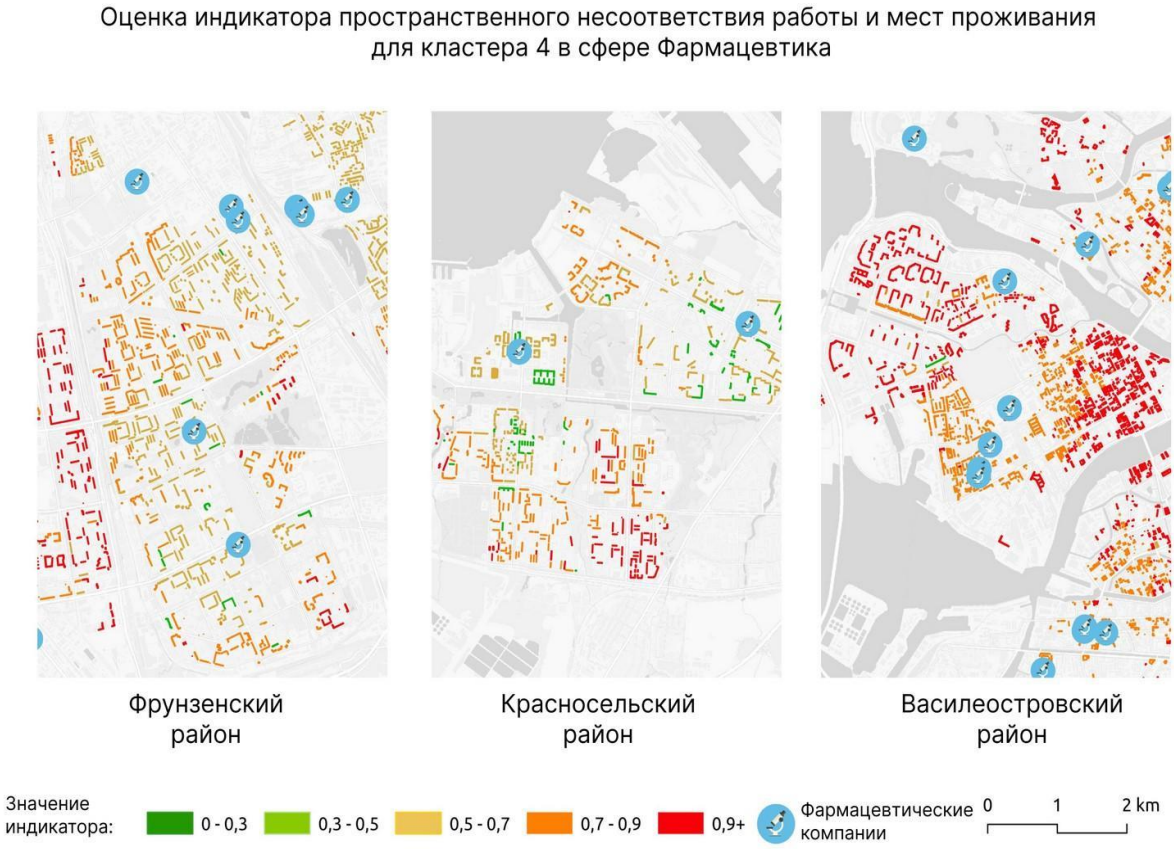


Рис. 4. Оценка индикатора на уровне домов для кластера 4 в сфере “Фармацевтика”

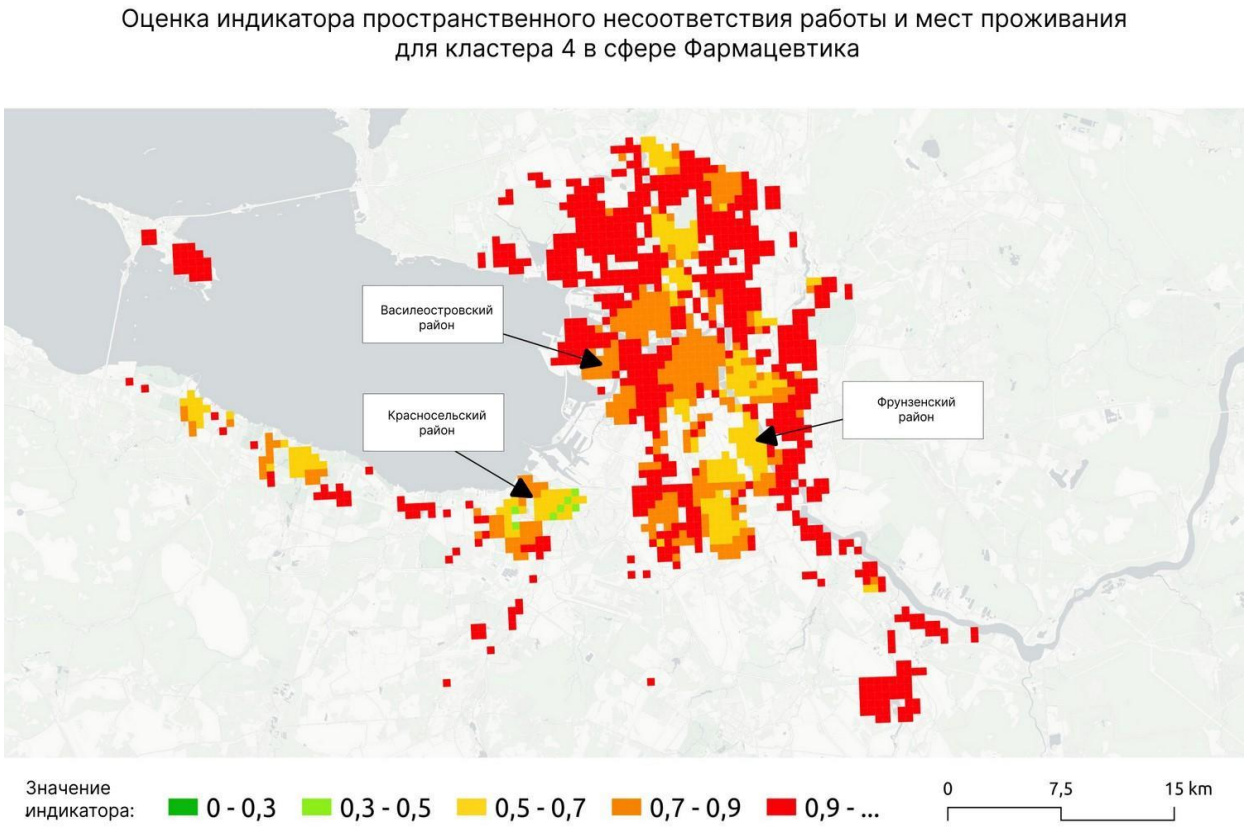


Рис. 5. Оценка индикатора на уровне города для кластера 4 в сфере “Фармацевтика”

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Zijlstra T., Verhetsel A. The commuters’ burden: The relation ship between commuting and wellbeing in Europe // Travel behaviour and society 23. 2021. Pp. 108-119.
2. Amponsah-Tawiah K., Annor F., Beckham Godfred A. Linking commuting stress to job satisfaction and turnover intention: The mediating role of burnout // Journal of Workplace Behavioral Health 31.2. 2016. Pp. 104-123.
3. Lyons T., Ewing R. Does transit moderate spatial mismatch? The effects of transit and compactness on regional economic outcomes // Cities 113. 2021. P. 103160.
4. Gold A., Champion E., Scally C.P. Funding Affordable Rental Housing through an Employer Payroll Tax. 2021. 34 p.
5. Weiye Xiao, Yehua Dennis Wei, Han Li. Spatial inequality of job accessibility in Shanghai: A geographical skills mismatch perspective // Habitat International 115. 2021. P. 102401.
6. Kourtit K., Nijkamp P., Hårsman Wahlström M. How to make cities the home of people–a ‘soul and body’analysis of urban attractiveness // Land use policy 111. 2021. P. 104734.

Выпускник
Лисицкий Никита Николаевич
факультет технологического менеджмента и инноваций
Направление подготовки: 38.04.01 – Экономика
e-mail: lisitskynn@yandex.ru

Научный руководитель
Максимова Татьяна Геннадьевна
д.э.н., профессор
e-mail: tgmaximova@itmo.ru

УДК 338.2

ТРАНСФОРМАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ В СОЦИОТЕХНИЧЕСКИХ И ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ (НА ПРИМЕРЕ ЦИФРОВИЗАЦИИ ЗДРАВООХРАНЕНИЯ Г. САНКТ-ПЕТЕРБУРГА)

В центре исследования – информационно-аналитическая система (ИАС) по мониторингу финансового состояния медицинских организаций региона. Ответственная организация за его проведение – региональный «Центр анализа медицинских данных» (Центр), сотрудники которого в инициативном порядке разработали ИАС для собственных нужд. Вопросом исследования стало то, как проблемы использования ИАС г. Санкт-Петербурга влияют на управление системой здравоохранения? Чтобы раскрыть данный вопрос, с социологической позиции был изучен пользовательский опыт работы с ИАС по мониторингу финансового положения МО, в качестве экономической составляющей были рассмотрены аспекты управления на основе данных, которые предоставляет данная ИАС.

Результатами исследования стали: основанные на проведенных интервью, анализе документов и наблюдениях выводы о необходимости институализации оценки технологий здравоохранения (HTA - health technology assessment).

В экономической части работы представлен перспективный бизнес-процесс мониторинга финансового состояния МО и анализ содержания отчетных форм.

Пользовательский опыт и контекст работы информационной системы. Темы интервью («функциональность ИС», «качество данных», «содержание ИАС») были составлены на основе детерминант, выведенных в ходе одного из зарубежных исследований проблем использования информационных систем здравоохранения [1]. Информантами стали сотрудники Центра и руководящие лица одной из медицинских организаций - всего проведено 6 глубинных интервью.

В ходе работы в поле был получен доступ к Методическим рекомендациям по оценке финансовых результатов работы медицинских организаций и Руководству пользователя программы. По итогу официальная документация значительно упрощает представление о реальном процессе проведения мониторинга и не отражает пользовательскую картину. Мониторинг представляется как «сравнительный автоматизированный анализ», что опровергают проведенные интервью и наблюдения. Сама ИС не имеет должного технического сопровождения в силу своего статуса. Интервью и наблюдение продемонстрировали, что непрерывные изменения в работе системы здравоохранения уже отражаются на процессе мониторинга – причины этого в изменениях в нормативно-правовой и справочной базе.

Исследование пользовательского опыта показало, что итоговый отчет по результатам мониторинга как документ не «рефлексивен» и не представляет ценности для сотрудников МО [2]. Выстроенная цифровая архитектура не способствует «перформативности данных» (свойство данных нести те или иные смыслы в зависимости от архитектуры базы данных), поскольку ИАС никак не связана с существующей региональной единой информационной системой здравоохранения, что лишает собираемые данные возможности обретать новые

смыслы [3]. Концепты «рефлексивность документов» и «перформативность данных» стали основой для проведения в дальнейшем экономической составляющей работы.

Технология по автоматизации мониторинга раскрыла его слабые стороны и продемонстрировала связь между успешностью технологии и условиями ее разработки и внедрения. ИС, в первую очередь, должна была способствовать выполнению работы сотрудников Центра. Но инициативный характер ее создания определил:

1) контекстуальную проблему – мониторинг и будущая технология затрагивают не только деятельность «разработчиков», а всех участников системы здравоохранения Санкт-Петербурга;
2) техническую проблему – технология не встроена в общую цифровую инфраструктуру здравоохранения, что существенно повлияло на удобство ее эксплуатации, в связи с изменениями в нормативно-правовой и справочной базе;
3) общую организационную проблему – технология не прошла какую-либо верификацию и не была согласована с пользователями, поскольку инициативность ставит разработку вне рамок потенциальных процедур оценки.

Данный кейс демонстрирует устоявшиеся в исследованиях STS (science and technology studies) концепции о том, что технологии не обладают какими-либо внутренними качествами, которые определены раз и навсегда и благодаря своему месту в сети они приобретают характеристики, связанные с другими ее частями [4].

Предложения по трансформации бизнес-процесса мониторинга финансового положения медицинских организаций г. Санкт-Петербурга. Для разработки бизнес-процесса учитывалась существующая цифровая инфраструктура, отраженная в Реестре информационных систем Санкт-Петербурга. На основе социологического исследования был составлен текущий процесс мониторинга («as is»). В настоящий момент, пользователи вынуждены работать в ручном режиме, что повышает вероятность ошибок в данных, и повторяющихся манипуляций, что не соответствует принципам бережливого управления.

Имеющаяся инфраструктура может стать основой для реинжиниринга. Проведение мониторинга на базе Региональной информационной системы здравоохранения (РЕГИЗ) становится целесообразно по следующим причинам:

- инициативные технологии более подвержены изменению внешних факторов. Тем самым принципы их работы не учитываются при изменении нормативной, справочной информации и нововведениям в отрасли;
- следуя принципам информатизации целесообразно установить взаимодействие системы ЕИС ОМС Санкт-Петербурга (Единая информационная система обязательного медицинского страхования) и РЕГИЗ и отказаться от передачи однотипных сведений по различным каналам;
- появляется возможность сопоставления передаваемых данных с имеющимися сведениями в информационно-аналитической подсистеме РЕГИЗ.

На рисунке 1 представлен перспективный бизнес-процесс мониторинга («to be»).

Организация процесса подобным образом также обеспечит постоянство передачи данных со стороны МО, поскольку загрузка данных в ЕИС ОМС СПб носит нормативный характер. В сущности, новый процесс предполагает отказ от использования «локального» программного обеспечения и перевод процессов на существующую глобальную инфраструктуру. Предлагаемый процесс содержит только пользовательские задачи, которые необходимы в связи с меняющимися переменными – объем планового задания, численность населения, финансовые результаты работы медицинских организаций.

Норвежским центром HISP были сформулированы «стратегии перехода» к функциональной архитектуре ИС здравоохранения [5]. Они сходятся с предлагаемыми в данном исследовании предложениями. Первая стратегия – «соединение». Она заключается в согласовании функционального разделения между действующими информационными системами с возможной интероперабельностью.

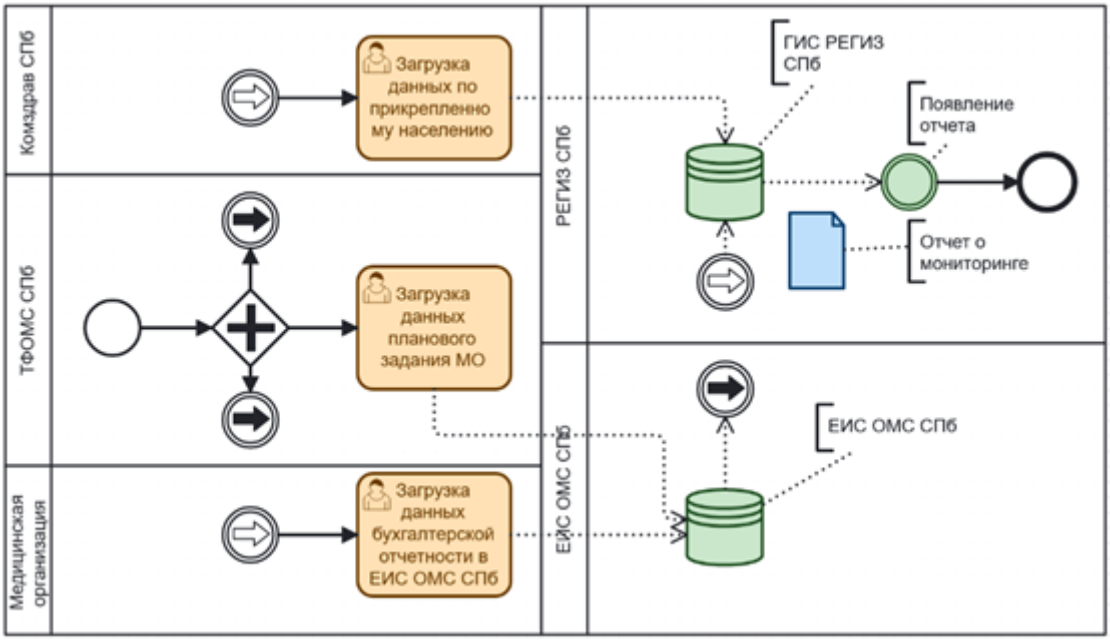


Рис. 1. Перспективный вариант реинжиниринга процесса мониторинга финансового положения МО

Вторая стратегия – «чартинг», основанная на развитии существующего ПО, через дополнительную функциональность, которая покрывает неудовлетворенные потребности. Данная стратегия, исходя из названия, предполагает составление графиков (диаграмм). Исследование на примере стран с развивающейся цифровой инфраструктурой здравоохранения показало, что такой подход наиболее распространен, поскольку компании-разработчики проявляют ограниченный интерес к заказам с низкой стоимостью, а государственные учреждения имеют меньше возможностей по реализации глобальных технических изменений. Дополнительной причиной становится то, что составление диаграмм требует глубоких знаний о предметной области.

Стратегия «чартинга» так же была спроецирована на кейс. Центр категоризирует МО на соответствующие 6 «групп» в зависимости от соотношения прогнозируемых доходов (Д), потребности в доходах (Потр) и утвержденного плана по доходам на год (планового задания – ПЗ) МО:

- группа 1 – отношение плана к потребности и доходов к потребности – положительные, а отношение прогнозируемых доходов к плану – отрицательные (ПЗ>Д>Потр);
- группа 2 – отношение плана к потребности, прогнозируемых доходов к плану и доходов к потребности – положительные (Д>ПЗ>Потр);
- группа 3 – отношение плана к потребности отрицательные, а отношение прогнозируемых доходов к плану и доходов к потребности – положительные (Д>Потр>ПЗ);
- группа 4 – отношение плана к потребности положительные, а отношение прогнозируемых доходов к плану и доходов к потребности – отрицательные (ПЗ>Потр>Д);
- группа 5 – Отношение плана к потребности и доходов к потребности – отрицательные, а отношение прогнозируемых доходов к плану – положительные (Потр>Д>ПЗ);
- группа 6 – отношение плана к потребности, прогнозируемых доходов к плану и к потребности – отрицательные (Потр>ПЗ>Д).

Предложения по отчетности основывались на экономическом анализе данных финансового мониторинга МО за 2022 г., запрошенных в Центре анализа данных. Для заполнения пропущенных значений мониторинга и сглаживания ряда использовался метод скользящей средней. На рисунке 2 представлены агрегированные данные по «группам» на основе 183 медицинских организаций Санкт-Петербурга.

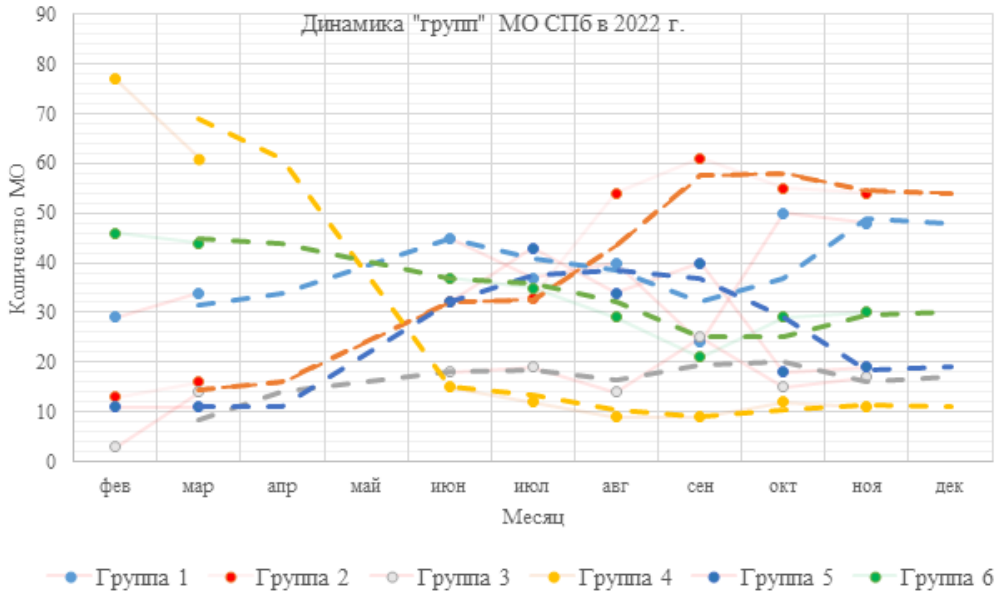


Рис. 2. Динамика «групп» медицинских организаций Санкт-Петербурга в 2022 г.

Отмечаются значимые изменения в динамике всех групп в период апреля и мая 2022 года, что говорит об изменении бюджетной политики в отношении МО. Произошло резкое падение количества МО Группе 4, сопровождающееся стабильным ростом Групп 1, 3 и 5. Рост МО, достигающих экономического баланса (Группа 2), сопровождается переходом через данные «субгруппы». Отнесение МО к той или иной группе зависит от стартовой (февральской) позиции в начале года, которые имеют большой разброс.

Снижение количества МО в Группе 4 говорит о стремительном снижении числа МО, для которых «не требуется увеличение плана (возможно его снижение)». Анализировать финансовые результаты целесообразно в разрезе конкретных видов медицинской помощи (амбулаторно и стационарно) и организаций (взрослых, детских и узкопрофильных). В ходе анализа взрослых стационарных организаций (больницах) можно отметить, что общая динамика «групп» сохраняется, за исключением существенно меньшего количества МО в группе 5, которая характеризуется необходимостью увеличения планового задания. Это объясняется более высокими тарифами на услуги в стационарных учреждениях.

В реальных условиях, имея возможность идентифицировать конкретную МО, Центр анализа медицинских данных мог бы анализировать динамику отдельных МО, в отношении, которых принимались решения по изменению планового задания и тарифов. Такой подход позволял бы отойти от ситуативных решений и принимать во внимание имеющиеся данные прошлых периодов.

Целесообразность включения описательного подхода заключается в том, что люди редко пользуются формализованными правилами выбора альтернатив и регулируются, скорее, эвристическими стратегиями выбора. Кроме того, роль эвристического подхода значительно повышается при решении слабоструктурированных и неструктурированных задач. Тенденции в области прогнозирования подтверждают переход от сугубо нормативного подхода к его сочетанию с дескриптивным, что, в настоящий момент, образует новое понятие рациональности. Так, например, дополнение математических моделей экспертными процедурами становится все более необходимым.

Инициативный характер создания технологии повлиял на качество реализации ИС и, как следствие, стал преградой к получению качественных данных, необходимых для принятия обоснованных решений. ИС по финансовому мониторингу МО выполняет исключительно технические функции по обмену сведениями. Работа пользователей осложняется несовершенной практикой сбора и обработки данных. Как следствие, данные в ИС носят фрагментарный характер, а предоставляемая количественная форма отчетности исключает ее

однозначную интерпретацию. Исследование вносит вклад в изучение практик, людей и технологий в сфере здравоохранения в российском контексте. В сфере здравоохранения тенденция цифровизации процессов подкрепляется высокой долей бюджетных медицинских организаций, в связи с чем возникает необходимость разработки единых индикаторов оценки технологий. Региональный контекст использования цифровых технологий здравоохранения имеет существенный потенциал для дальнейшего изучения. Перспективным направлением исследований может стать изучение сопоставимости сложившихся практик проектирования и внедрения ИС и целевыми установками по платформизации государственных ИТ-ресурсов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Hoxha K., Hung Y., Irwin B., Grepin K. Understanding the challenges associated with the use of data from routine health information systems in low- and middle-income countries: A systematic review // Health Information Management Journal. 2022. Vol. 51(3). Pp. 135-148.
2. Shankar K., Hakken D., Østerlund C. Rethinking documents // The Handbook of Science and Technology Studies, Fourth Edition. 2017. Pp. 59-85.
3. Blouin G.G. Data performativity and health: the politics of health data practices in Europe // Science, technology, & human values. 2020. Vol. 45. №. 2. Pp. 317-341.
4. Latour B. Reassembling the social: An introduction to actor-network-theory. – Oup Oxford. 2007. 281 p.
5. Nielsen P., Sæbø J. I. Three strategies for functional architecting: cases from the health systems of developing countries // Information Technology for Development. 2016. Vol. 22. №. 1. Pp. 134-151.

Выпускник
Ляховенко Юлия Александровна
факультет безопасности информационных технологий
Направление подготовки: 23.04.03 – Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов
e-mail: lyakhovenko.kam@gmail.com

Научный руководитель
Попов Илья Юрьевич
к.т.н., доцент
e-mail: ilyapopov27@gmail.com

УДК 004.942

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ИНФОРМАЦИОННОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ВНУТРЕННИХ СИСТЕМ БЕСПИЛОТНОГО ПОЕЗДА

Железнодорожный транспорт является важной частью транспортной системы в области логистики, пассажирских перевозок, бизнеса, военной промышленности и т.д. Как и в любой другой системе железные дороги считаются потенциально опасными [1]. В условиях функционирования в быстро изменяющейся среде невозможно достичь абсолютной безопасности работы. Из этого следует, что остаточный риск системы должен сводится к минимуму. Допустимым риском считают риск, если величина его ущерба “незначительна” в сравнении с реализацией защиты от такого риска. Концепция приемлемого или допустимого риска предполагает стремление функционирования системы к такой малой опасности, которая приемлема в юридических и социальных нормах.

Пусть беспилотный поезд имеет некоторую цель $g \in Goal$, где $Goal$ – множество целей группы БП. Для достижения цели g поезд должен перейти из состояния S в состояние S', которое соответствует цели поезда.

Для достижения цели g и перехода в состояние S' беспилотный поезд должен разработать и пройти некоторый алгоритм $AlgMove$. Так как беспилотный поезд должен состоять из некоторых подсистем управления, то можно утверждать, что для достижения цели g эти подсистемы управления должны осуществлять информационное взаимодействие. Это означает, что для перехода беспилотным поездом из состояния S в состояние S' для достижения цели g системами управления поезда должен быть разработан следующий план:

$$AlgMove = fun(CS, PU, Inf, Env), \quad (1)$$

где CS – система управления беспилотного поезда, PU – множества физических устройств поезда, Inf – множество информационных сообщений между системами поезда; Env – состояние окружающей среды.

Пусть $\underline{Inf}$ – неполное множество информационных сообщений систем БП, т.е. при информационном взаимодействии систем БП не были учтены все влияющие на работу поезда факторы. Тогда новый алгоритм достижения цели будет выглядеть следующим образом:

$$\underline{AlgMove} = fun(CS, PU, \underline{Inf}, Env). \quad (2)$$

Так как $\underline{Inf} \subset Inf$, но $\underline{Inf} \neq Inf$, то можно говорить о том, что при передаче неполного множества сообщений для построения алгоритма достижения групповой цели $\underline{AlgMove}$ невозможно достичь состояния S'. Тогда поезд теряет свою работоспособность и уровень полноты безопасности из-за невозможности достичь цели g.

Введем следующую метрику: λ - интенсивность опасных отказов системы при выполнении плана $AlgMove$. Опасное состояние в государственных и международных стандартах

обеспечения функциональной безопасности определяется неработоспособность системы, при котором значение хотя бы одного параметра, характеризующего ее способность выполнять заданные функции по обеспечению безопасности движения электропоезда, не соответствует нормативно-технической документации.

В соответствии с данным определением выделяют два вида отказов – защитные и опасные. Опасный отказ – событие, которое нарушает и работоспособность системы, и защитное состояние. Такой отказ может привести к опасным последствиям.

На рисунке представлена модель архитектуры беспилотного поезда в виде модульной системы, разделенной на модули, основанные на определенных ресурсах и функционале системы беспилотного поезда. Подобная архитектура позволяет оптимизировать работу беспилотного поезда за счет автоматизации принятия решений и распределению задач.

Также следует отметить, что в подобной архитектуре центральный модуль управления разгружен за счет выделения ключевого модуля автоматизированной защиты поезда, который на основе информации от модулей контроля ресурсов и состояния поезда и модуля контроля окружающей среды проводит постоянный контроль и выявляет потенциально опасные ситуации. Такой подход позволяет постоянно адаптировать алгоритм движения поезда и обеспечить его безопасность.

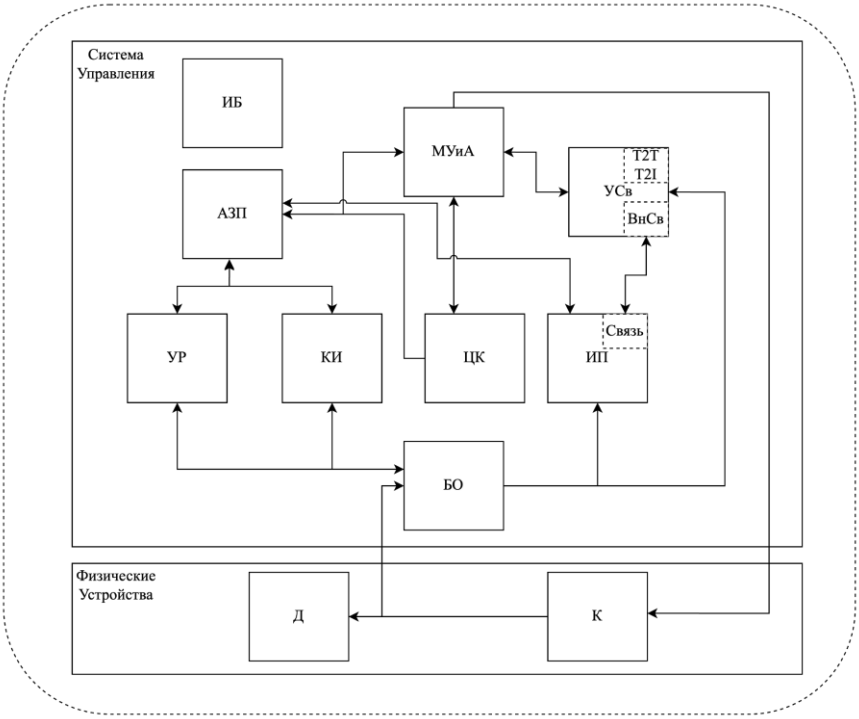


Рисунок. Архитектура внутренних модулей беспилотного поезда

Физические устройства должны обеспечивать сбор данных о состоянии поезда и об окружающей его среде, то есть должен быть обеспечен такой набор устройств сбора информации, способный покрыть требования для обеспечения безопасного движения беспилотного поезда. В множество сенсоров должны входить датчики сбора информации о поезде Sen_{tr} и датчики сбора информации об окружающей среде Sen_{env}. Для наблюдения за состоянием окружающей среды определенное нами множество сенсоров компьютерного зрения, комплексирование которых позволяет говорить о покрытии требований для наблюдением за окружающей средой [2].

Можно говорить, что Система управления беспилотным поездом делится на две части:

- система Автоматической Защиты Поезда (АЗП);
- система Автоматической Работы Поезда (АРП).

АЗП — это система безопасности, которая обрабатывает данные о ресурсах, состоянии поезда и окружающей среде и выдает предупреждения о необходимости остановки или смене плана. Например, АЗП контролирует скорость движения поезда, ресурсы в режиме реального

времени. Когда фактическая скорость превышает безопасную допустимую скорость, модуль АЗП автоматически отправляет информацию об этом.

Можно говорить о том, что АЗП является безопасной частью Системы Управления поезда, которая контролирует планирование и поведение АРП. В состав АРП входят следующие модули: модуль управления и автоматизации; модуль цифровой карты; модуль управления ресурсами; модуль блок обработки; модуль управления связью; модуль контроля инфраструктуры; модуль информации о пассажирах; модуль информационной безопасности.

Отдельным компонентом Системы управления беспилотным поездом является модуль информационной безопасности.

Функционал и назначение модулей, входящих в АРП представлен ниже.

Для управления автономным транспортным средством, разработки плана и взаимодействия других систем в рамках работы предлагается Модуль управления и автоматизации (МУиА). МУиА обладает следующим функционалом:

- анализирует данные о положении поезда, занятости пути и управлении движением;
- предотвращает конфликтующие движения и обеспечивает безопасность;
- прокладывает маршрут;
- контролирует маршрут;
- обеспечивает корректировку поведения беспилотного поезда;
- немедленное прекращения выполнения плана.

За хранение и передачу данных о картах, маршрутах, скоростных ограничениях и остановках отвечает модуль Цифровой карты (ЦК). Получаемые от системы Физических устройств данные Sen_{env} обрабатываются и объединяются с данными из модуля ЦК в АЗП для оценки текущей скорости и координат беспилотного поезда.

Для эффективного и автономного использования ресурсов используется модуль Управления ресурсами (УР). Основными функциями УР являются:

- получение информации о состоянии поезда (ресурсы, состояние физических устройств);
- анализ полученных данных;
- при обнаружении снижении ресурсов до указанных значений отправка отчета об этом в АЗП;
- контроль движения поезда согласно его профилю.

В модуль Блок Обработки (БО) поступают данные с сенсоров и датчиков и далее передаются другим модулям. Стоит отметить, что модуль БД передает полученные данные в виде логов в систему мониторинга для отслеживания инцидентов.

За обеспечение передачи информации отвечает модуль Управление Связью (УСв). Все информационные потоки беспилотного поезда можно разделить на:

- передачу информации от поезда к объектам инфраструктуры (Train-to-Infrastructure, T2I);
- передачу информации от поезда к поезду (Train-to-Train, T2T);
- передачу информации внутренних модулей поезда друг другу - внутренняя связь (ВнСв).

Поток T2I обеспечивает информационный обмен БП с внешними системами о состоянии поезда, его местоположении, получении целей, запрос направлений для поезда. Связь T2T отвечает за обмен данными между соседними поездами. В отличие от связи T2I, T2T играет важную роль в децентрализованном управлении группой поездов, которая имеет более короткую задержку. Эти две коммуникационные функции реализуются разными беспроводными каналами и устройствами, что делает обработку данных параллельной. ВнСВ отвечает за передачу сообщений между модулями беспилотного поезда, распределение информации, передачи запросов и управляющих воздействий.

Модуль Контроллер Инфраструктуры (КИ) отвечает за:

- непрерывное получение обработанных данных от модуля БО Sen_{env};
- комплексирование, полученной информации;
- обнаружение препятствий, светофоров, колеи, знаков;
- классификацию обнаруженных препятствий, светофоров, колеи и знаков;
- обнаружение излома рельс.

Вопрос информационной безопасности является неотъемлемой частью обеспечения безопасного функционирования поезда. Модуль Информационной Безопасности (ИБ) отвечает за защиту информации беспилотного поезда:

- контроль доступа;
- антивирусную защиту;
- криптографическую защиту;
- анализ защищенности;
- контроль конфигураций;
- резервное копирование;
- администрирование.

Для взаимодействия с пассажирами и обследования ситуации в салоне поезда в систему интегрирован модуль Информации о Пассажирах (ИП). Модуль ИП представляет пассажирам информацию о маршруте, расписании, остановках и внештатных ситуациях, реагирует на экстренные вызовы. Для системы АЗП модуль ИП передает информацию о девиантном поведении пассажиров, о чрезвычайных ситуациях в вагонах, отправляет оповещение об экстренной разблокировки дверей, а также производит контроль посадки и высадки пассажиров. При этом, в модуль ИП интегрирован свой подмодуль Связи для обеспечения пассажиров системами развлечения, Интернетом и связью.

Резервирование и проверка центрального модуля позволяют избежать условий работы беспилотного поезда с нарушениями требований функционирования, что также позволяет повысить уровень безопасности движения БП.

Разработанная модель информационных сообщений предполагает наличие трех типов приоритетов обработки, который основываются на степени угрозы безопасному движению поезда. Сообщения, передаваемые от МУиА другим модулям содержат в себе не только алгоритм работы для каждого модуля, а также некоторые пороги характеристик, обрабатываемые этими модулями, что позволяет проводить контроль сразу и отправлять сообщения об опасностях для переработки плана движения поезда. Установленные временные метки сообщений предупреждают проблемы рассинхронизации получаемых и отправляемых данных, что снижает уровень угроз при постоянной обработке сообщений с высокой интенсивностью этой обработки. Также стоит выделить наличие сообщений-предупреждений, которые позволяют заблаговременно реагировать и предупреждать опасные ситуации.

Анализ рисков необходим для идентификации возможных опасностей (неисправностей), возникающих во время работы системы, выявления последствий данных опасностей - оценки степени влияния возможных отказов на перевозочный процесс, а также вероятность наступления негативных последствий, касающихся жизни людей и материальных угроз, а также для определения уровней рисков, связанных с этими опасностями. Стоит уточнить, что под опасностью понимается потенциальный источник возникновения ущерба. Опасное событие – это событие, которое может причинить вред. Риск представляет собой сочетание вероятности наступления события и его возможных последствий.

Перечень угроз и опасностей включает в себя характеристику каждой опасности беспилотного поезда, причины, которые вызвали эту опасность, опасные события и последствия их возникновения, а также методы и мероприятия, которые контролируют правильность выполнения ответственных функций и переводят систему в безопасное состояние.

Для каждой опасности были определены функции контроля и предотвращения подобных ситуаций, которые указаны в таблице.

Таблица. **Функции контроля опасностей беспилотного поезда**

Опасность	Функции контроля
Ошибка определения расстояния до объекта (больше фактического)	1. Диагностика состояний датчиков МЗ модулем УР и АЗП 2. Комплексирование данных с сенсоров 3. Контроль функционирования датчиков МЗ 4. Сравнение обнаруженных объектов на полученных кадрах с объектами инфраструктуры из ЦК модулем АЗП
Определение пути следования поезда не соответствует фактическому	1. Определение и классификация препятствий объектов инфраструктуры 2. Контроль датчиков навигации (приемник ГНСС, ИИМ, одометр) модулем УР 3. Контроль решения модулем АЗП 4. Проверка наличия поправок от объектов инфраструктуры (УСв Т2I) 5. Контроль версии ЦК
Формирование информации об отсутствии препятствия на путях следования при его фактическом наличии	1. Диагностика состояний датчиков МЗ модулем УР и АЗП 2. Комплексирование данных с сенсоров 3. Контроль функционирования датчиков МЗ 4. Сравнение обнаруженных объектов на полученных кадрах с объектами инфраструктуры из ЦК модулем АЗП
Определение координат поезда с погрешностью, превышающей границы доверительного интервала	1. Постоянный контроль валидности данных модуля БО; 2. Диагностика состояния датчиков модулем УР 3. Сравнение полученных кадров с ЦК модулем АЗП 4. Контроль версии ЦК
Формирование признака неверного определения отсутствия объекта в створах дверей	1. Диагностика состояний датчиков МЗ модулем УР и АЗП 2. Диагностика работы модуля БО
Определение скорости поезда с погрешностью, выходящей за границы доверительного интервала	1. Постоянный контроль валидности данных модуля БО; 2. Диагностика состояния датчиков модулем УР
Превышение поездом разрешенной скорости	1. Контроль скоростного режима поезда модулем АЗП; 2. Постоянный контроль валидности данных модуля БО; 3. Диагностика состояния датчиков модулем УР 4. Контроль версии ЦК 5. Комплексирование данных ЦК и модуля ГНСС
Формирование сообщения об отсутствии задымления и/или возгорания в салоне поезда	1. Контроль безопасности в вагоне с помощью датчиков МЗ (LiDAR, камера); 2. Диагностика пожарной сигнализации модулем УР; 3. Контроль работы службы ИП модулем АЗП и МУиА
Выдача разрешения на отправку поезда при отсутствии его проверки	1. Согласование движение поезда только через модуль АЗП 2. Диагностика состояния АЗП 3. Диагностика состояния МУиА
Отсутствие предупреждения об изломе рельс	1. Диагностика состояний датчиков МЗ модулем УР и АЗП 2. Диагностика работы модуля БО 3. Контроль калибровки сенсоров модулем УР

По итогам проведенного анализа рисков можно сделать вывод сделать вывод, что при качественной оценке рисков опасности разработанной системы беспилотного поезда имеют уровень “**допустимый**”. Для допустимого риска ГОСТ 33433-2015 предусматривает следующее решение “Риск принимается при соответствующем мониторинге и контроле и при согласии руководства организации. Обработка риска не требуется или сводится к устранению последствий”.

В ходе проведенного анализа на основе деревьев опасностей, была установлена частота опасных отказов беспилотного поезда, которая вычисляется как сумма всех опасных отказов,

равная $3 \cdot 10^{-10}$, что значительно меньше, чем частота опасных отказов, возникших из-за влияния человеческих ошибок - $2 \cdot 10^{-2}$ [3]. На основе полученной частоты отказов разработанной модели присваивается уровень полноты безопасности 4 [4].

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Khaitan S.K., McCalley J.D. Design techniques and applications of cyberphysical systems: A survey // IEEE Systems Journal. 2014. Т. 9. №. 2. Pp. 350-365.
2. Siemens Mobility GmbH: World premiere: DB and Siemens present the first automatic train. [Electronic resource]. – Access mode: https://press.siemens.com/global/en/pressrelease/world-premiere-db-and-siemens-present-first-self-driving-train (date of access: 19.03.2023).
3. ГОСТ Р МЭК 61508-1-2012 Функциональная безопасность систем электрических, электронных, программируемых электронных, связанных с безопасностью. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://docs.cntd.ru/document/1200103191 (дата обращения: 07.03.2023).
4. ГОСТ 33433-2015 Безопасность функциональная. Управление рисками на железнодорожном транспорте. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://docs.cntd.ru/document/1200127759 (дата обращения: 17.04.2023).

Выпускник
Меньшутин Алексей Сергеевич
факультет информационных технологий и программирования
Направление подготовки: 01.04.02 – Программирование и искусственный интеллект
e-mail: alex.menshutin99@gmail.com

Научный руководитель
Аксенов Виталий Евгеньевич
PhD
e-mail: aksenov.vitaly@gmail.com

УДК 004.052.42

ВЕРИФИКАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ РАБОТЫ СТАТИЧЕСКИХ АНАЛИЗАТОРОВ КОДА ПРИ ПОМОЩИ СИМВОЛЬНОГО ИСПОЛНЕНИЯ

Вопросы надёжности и безопасности программного обеспечения в современном мире стали как никогда важны, поскольку системы, использующие те или иные программные средства, проникли буквально все сферы нашей повседневной жизни. Ошибки и уязвимости, скрытые в их исходном коде, могут привести к серьёзным подследствиям, начиная от финансовых потерь и утечек данных компаний и частных лиц, и заканчивая вредом здоровью или даже жизни множества людей. Поскольку решать задачу поиска подобных проблем вручную становится всё сложнее, уже давно начали применяться различные автоматические методы тестирования и верификации программного обеспечения, например, статический анализ.

К сожалению, использование данных решений на практике осложняется некоторыми проблемами. Одной из основных является большое число ложноположительных вердиктов статических анализаторов, то есть ситуаций, когда в результатах появляется информация об ошибке, которая на самом деле отсутствует в исходном коде [1]. На первый взгляд может показаться, что это не слишком важно, ведь это означает, что в отчёте мы просто получим лишние ошибки. Однако, можно заметить, что из этого не следует отсутствие ложноотрицательных срабатываний анализатора, то есть мы получаем не аппроксимацию множества ошибок сверху, а некоторое подмножество настоящих ошибок, к которым добавлены ещё и ложные. Кроме того, нужно понимать, что число сообщений о таких ошибок может быть очень велико, ведь проекты могут состоять из десятков и миллионов строк кода, что приведёт к появлению сотен и тысяч ложноположительных срабатываний анализаторов, каждое из которых придётся проверять вручную. Из-за этого с течением времени разработчики начинают всё чаще игнорировать полученные отчёты об ошибках, что приводит к проникновению настоящих уязвимостей в итоговые продукты.

Появляется необходимость каким-либо образом уменьшить число ложноположительных срабатываний. В рамках данной работы рассматривается идея осуществить это при помощи применения более точного и тяжеловесного анализатора на основе символьного исполнения. Самостоятельный анализ с использованием данной техники затруднён тем, что она требует огромного количества машинных ресурсов и времени (вплоть до бесконечности). Поэтому предлагаемое решение заключается в том, чтобы воспользоваться основным преимуществом легковесных анализаторов – скорость, – и скомпенсировать их неточность путём последующей верификации полученных результатов при помощи символьного исполнения.

Несмотря на значительное число академических работ, посвящённых данной теме, полноценного продукта, который мог бы быть применён на практике так и не существует. Сложность решения подобной задачи заключается в том, что для этого требуется обширная и сложная реализация виртуальной символьной машины для определённого языка программирования. Даже для популярных языков программирования, например, C++ и Java, реализованные машины можно пересчитать по пальцам. В рамках данной работы

использовалась символьная машина из продукта по автоматической генерации тестов UnitTestBot для языка программирования Java. Следует заметить, что это не умаляет общности рассуждений, поскольку описываемые решения не связаны со спецификой конкретного языка программирования. Данный анализатор был выбран, поскольку разработкой его ядра занимался я в рамках своей бакалаврской работы, и продукт, использующий его в своей основе, уже несколько лет подряд показывает лучшие результаты среди анализаторов на основе символьного исполнения в соревнованиях по направленному автоматическому тестированию [2].

Символьное исполнение. В основе символьного исполнения лежит идея об интерпретации программы в общем виду с использованием так называемых символов [3]. Можно воспринимать их как не интерпретированные переменные, которые поступают в качестве входных данных в анализируемую программу: это могут быть аргументы метода, статические данные системы или любые другие данные, которые используются в анализируемом коде, но не были созданы внутри него. При анализе некоторого фрагмента программы символьное исполнение интерпретирует инструкцию за инструкцией (или блоки инструкций), пользуясь правилами вывода. В процессе этого оно создаёт логические выражения, содержащие упомянутые ранее символы, формирует из них наборы, которые предстоит каким-либо образом решить. Под этим здесь подразумевается нахождение такого множества значений символов, при подстановке элементов которого в полученные логические выражения на соответствующие позиции, конъюнкция этих выражений стала бы истинной.

Конфигурация. Прежде всего необходимо задать для символьной виртуальной машины правила, по которым она будет определять, существует ли в некоторой произвольной точке программы ошибка или нет. В полученной реализации есть два способа сделать: задать правила, которые будут применяться всегда и для всех проектов (например, проверка на разыменование нулевого указателя), или передать о них информацию через конфигурацию. Поскольку второй способ добавляет существенную гибкость в механизм создания правил для конкретных методов и предоставляет возможность исследовать программы не только на ошибки времени исполнения, но и на более широкий спектр потенциальных уязвимостей, именно о нём пойдёт речь дальше.

Замечу, что конкретный формат конфигурации не имеет никакого значения, главное, чтобы каким-либо образом символьная машина получила информацию о наборе методов с описанием, какие ошибки и при каких условиях в них могут происходить. Далее будут использоваться термины, специфичные для анализа помеченных данных (англ. Taint analysis), поскольку именно на примере данного анализа будет рассмотрено решение, полученное в рамках данной работы. Требуется передать информацию о четырёх классах сущностей: источниках помеченных данных, их потребителях, а также о методах, которые умеют добавлять или снимать метки в течение исполнения. Для каждого метода должны быть известны следующие данные: регулярное выражение для его имени, набор уникальных идентификаторов меток, информация о взаимосвязи уязвимости и аргументов, необходимое и достаточное условие для признания существования уязвимости.

Формат входных данных в символьную машину очень прост: необходимо передать описанную выше конфигурацию и описание обнаруженных уязвимостей с указанием мест, где они произошли, и источников помеченных данных для них. Замечу, что это минимально необходимый набор информации для анализа, но он может быть дополнен различной информацией, которая позволит сократить пространство анализируемого кода для верификации вердиктов, например, путями распространения помеченных данных по программе.

В качестве **выходных значений** символьная машина выводит для каждого из полученных на вход дефектов сведения о его достоверности:

1. Дефект подтверждён, найден способ его повторения.
2. Дефект отсутствует, есть обоснование недостижимости.
3. Существование дефекта установить не удалось.

Следует отметить, что крайне важно не упустить ни одной действительно существующей уязвимости, поэтому символьная машина выдаёт второй вердикт только если ей удалось установить, что либо не существует ни одного пути в графе потока управления, по которому можно было бы из заданной точки достичь целевой локации в программе, либо при достижении этой точки ошибки обнаружено не было.

Третий же вердикт открывает широкий простор для интерпретации, поскольку он означает, что в силу различных причин не удалось ни найти способ повторения ошибки, ни доказать недостижимость. При этом символьная машина всё равно проделала какую-то работу, которую можно показать пользователю, например, сказав, что было исследовано 70% возможных путей, и уязвимость на них не была обнаружена. Далее пользователь может уже решать, дефекты с какой вероятностью будут считаться достойными внимания, а с какой – нет.

Модернизация ядра символьной виртуальной машины. Поскольку используемая символьная машина изначально была написана с целью автоматической генерации тестов, требуется внести некоторое множество изменений, которые позволяет переориентировать её на задачу проверки заранее определённого множества свойств программы. Это позволит существенно сократить требуемое время, поскольку при этом исчезает необходимость исследования всех путей в графе потока управления программы, достаточно просмотреть лишь интересные для подтверждения или опровержения уязвимостей. В данном тексте я опишу лишь несколько наиболее важных на мой взгляд изменений.

Моделирование классов и аппроксимация поведения их методов. Проблема заключается в отличии сложности реального исполнения и интерпретации его с целью анализа, так как для символьного исполнения различные оптимизации или детали реализации могут только мешать. Например, нет никакой необходимости работать с хешами для анализа хеш-таблиц, можно анализировать эквивалентный по поведению код, который будет устроен проще с точки зрения анализатора. При этом нужно понимать, что понятие простоты для анализа не формализовано, и стоит воспринимать это как некоторую эмпирическую характеристику. В рамках данной работы была реализована возможность подмены исходного кода на произвольный, предоставленный пользователем, причём на любом уровне – код статических методов, не статических классов целиком или не статических методов у определённых объектов. Выглядит это следующим образом: пользователь пишет некоторую аппроксимацию, которую хотел бы анализировать, указывает в специальной аннотации, что этот код должен заменять, и символьная машина будет использовать именно этот подменённый код. Благодаря этому пользователи получают мощный механизм, позволяющий управлять точностью и скоростью анализа при помощи замены исходного кода. Кроме того, этот же механизм используется для предоставления кода для анализа нативных функций, которые не имеют своей собственной реализации на анализируемом языке программирования. Вместе с этим были реализованы инструкции ядра символьной машины, доступные для использования в коде пользователей: они могут порождать новые символьные объекты, накладывать произвольные предикаты, указывать равенство типов и другое.

Работа со статическими секциями и конструкторами. Может быть неочевидно, в чём отличие анализа статических секций кода и обычных, но при более подробном рассмотрении выясняется, что существуют важные практические особенности, которые могут позволить существенно ускорить символьный анализ без существенного снижения точности. Всё дело в том, как обычно с семантической точки зрения устроены эти секции. Зачастую они служат только для инициализации каких-то переменных, чтения данных откуда-то, формирования каких-то массивов и так далее, другими словами, это довольно большой объём работы, но производящийся практически без ветвлений. Это означает, что если символьная машина будет проходиться по такому коду, она будет проделывать много бесполезной с точки зрения анализа работы, которая уйдёт на поддержание актуального состояния тяжеловесной символьной памяти.

Исходя из этого, было создано несколько стратегий работы со статическими данными: не анализировать их вообще, исполнять конкретно и использовать эту информацию или

анализировать как обычно. Следует заметить, что выбор конкретной стратегии должен производиться пользователем, поскольку в зависимости от проекта каждая из них может привести как к увеличению производительности символьной машины, так и к уменьшению. Это связано с тем, что если мы воспринимаем все статические данные как неограниченный символьные переменные, которые могут принимать любое значение из своего домена, это существенно увеличивает пространство состояний программы, что может вызвать существенное снижение скорости работы анализатора.

Подобным же образом были реализованы несколько стратегий автоматического мокирования, позволяющие пользователю задавать различные области пространства поиска, которые нет необходимости исследовать. Например, можно указать, что требуется анализировать только классы внутри одного пакета, а информацию изо всех остальных мест считать неинтерпретированной.

Выбор пути анализа в графе потока управления является одной из самых сложных и важных задач символьного исполнения, от которой критически зависит его производительность. Из-за ограничений объёма отчёта, перейду сразу к итоговому эвристическому алгоритму выбора символьных состояний из приоритетной очереди, который используется в полученном решении. Прежде всего следует заметить, что мы будем активно использовать информацию, полученную от статического анализатора – локации источников помеченных данных и их потребителей. Назовём такие места в коде точками интереса. Выбор состояний делится на две части: когда мы ещё не интерпретировали ни одной инструкции, содержащей источник помеченных данных, и когда у нас уже есть какие-то такие источники в памяти. В первом случае мы будем стремиться к ближайшему источнику, во втором же к ближайшей точке интереса – либо к другим источникам данных, либо к потребителю, ассоциированному с одной из уже исследованных локаций. Кроме этой особенности, алгоритм приоритизации состояний выглядит одинаково для обоих случаев:

1) получаем граф вызовов интересующего подмножества программы;
2) отмечаем на нём методы, в которых находятся точки интереса;
3) ищем отмеченный метод такой, что длина пути до него от текущего метода минимальная;
4) для данного пути строим графы потока управления;
5) при помощи данных графов ищем различные пути от текущей позиции через инструкции возврата и вызовов методов до интересующей нас локации в последнем методе пути;
6) среди полученных путей выбираем путь с наименьшей длиной.

Отмечу, что данный алгоритм не является оптимальным в общем случае, но показывает существенный выигрышь на практике по сравнению с другими алгоритмами выбора символьных состояний, поскольку он позволяет реализовать символьное исполнение, направляемое некоторым свойством, а не просто исследующее всё пространство состояний программы.

Кроме этого были реализованы различные оптимизации работы с решателями, разрешение семантических конфликтов на уровне самой символьной машины, методы оптимизации кодирования символьной типовой информации, моделирование появления исключений в замокированных методах и многое другое.

Тестирование полученного решения производилось на обычном персональном компьютере с *16GB RAM* и *Intel Core I8-8665U 1.9GHz* в однопоточном режиме. Для первоначального статического анализа, вердикты которого будут верифицироваться, использовался внутренний статический анализатор, использующийся в компании *Huawei*. Поскольку итоги его работы не являются предметом рассмотрения, будем считать, что они поступают в формате, описанном выше, без какой-либо дополнительной информации, и я не буду их комментировать. Для тестирования было выбрано три различных типа проектов:

1) искусственный набор тестов, размеченных руками;
2) закрытый код, использующийся в компании *Huawei*;
3) популярные проекты с открытым исходным кодом.

Для экономии объёма отчёта, я приведу сначала результаты, полученные на всех этих проектах, а затем прокомментирую их все вместе. Интерпретировать указанную информацию

стоит следующим образом – подтверждённые и опровергнутые случаи это то, что в дальнейшем не придётся вручную проверять пользователям, поэтому это успешные результаты работы. Если ничего установить не удалось, придётся проверять на истинность эти вердикты самим программистам. Поэтому чем ниже доля неустановленных результатов, тем выше эффективность работы реализованного подхода.

Искусственные тесты являются частью проекта, использующегося для верификации результатов упомянутого выше статического анализатора, и содержат в общей сложности 17 тысяч строк исходного кода. Всего для верификации было предоставлено 207 потенциальных проблем, которые требовалось проверить. В результате символьной виртуальной машине удалось установить достоверность 167 уязвимостей, ещё 26 были опровергнуты, для 14 ничего не удалось установить. Таким образом, за **354 секунды**, потребовавшихся для верификации, было подтверждено или опровергнуто **93.2%** всех уязвимостей.

Тестирование на **внутренних проектах** производилось в рамках доказательства работоспособности решения и демонстрации потенциала использования символьного исполнения. Один из проектов является сервисом по управлению персоналом: учёт операций, регистрация пользователей, создание и назначение задач и другие подобные цели. Состоит он из пяти тысяч строк исходного кода, на которых было обнаружено всего 13 уязвимостей, 12 из которых были подтверждены символьным исполнением, а одно – опровергнуто. Таким образом, потратив **18 секунд**, были верифицированы **100%** потенциальных уязвимостей.

Другой проект предназначен для автоматической генерации таблиц в .xlsx формате и состоит из 40 тысяч строк кода. Анализ был запущен из 67 стартовых точек. В результате, через **953 секунды**, символьной машине удалось подтвердить 36 уязвимостей и опровергнуть один вердикт, 30 случаев осталось с неизвестным результатом. Таким образом, на данном проекте эффективность составила **59%.**

Поскольку код внутренних проектов не может быть раскрыт, было принято решение протестировать полученное решение на каком-то множестве проектов с **открытым исходным кодом**. Выбор проектов осуществлялся на основе следующих критериев: он должен быть написан на языке программирования Java, исходный код выложен на GitHub, имеет высокую популярность (определялось на основе числа отметок и ответвлений). Результаты приведены в таблице.

Таблица. **Результаты тестирования на проектах с открытым исходным кодом**

Название	Число строк	Число стартовых точек анализа	Время, с	Результат (FP найдено)
mall	65000	28	14	51/51 (4)
kkFileView	9000	12	221	24/52 (18)
Seata.core	40000	87	309	59/109 (53)
Eladmin	13000	28	766	69/153 (49)
Apache	100000	112	1320	93/257 (93)

Можно заметить, что эффективность подхода сильно зависит от конкретного проекта, причём дело не в его размере, а в доменной области и в том, какие усилия были приложены пользователем для конфигурации статического и символьного анализаторов. При тестировании никаких специальных действий не совершалось, символьная машина была запущена с настройками по умолчанию. Тем не менее, даже в таких условиях удалось показать эффективность от 46% до 100% за сравнительно небольшое время, что позволяет с уверенностью утверждать о применимости реализованного подхода на проектах различной направленности.

В данной работе был описан способ применения тяжеловесного и точного символьного анализа с целью снижения числа ложноположительных срабатываний у статических анализаторов, реализующих существенно более быстрые техники анализа. Был реализован механизм взаимодействия между анализаторами, возможность взаимодействия пользователя

непосредственно с ядром символьной виртуальной машины. Различные модификации, внесённые в рамках данной работы, позволили существенно увеличить эффективность символьного анализатора для именно этой задачи. В процессе тестирования была показана эффективность на различных проектах, что позволяет утверждать о применимости полученного решения вне зависимости от доменной области анализируемого продукта. Основная цель, заключавшаяся в снижении нагрузки на пользователей по верификации результатов, получаемых от статических анализаторов, достигнута. Несмотря на большой простор для улучшений, реализованный механизм уже используется в компании *Huawei* для снижения числа ложноположительных срабатываний на используемом в ней анализаторе исходного кода.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Higuera, Juan-Ramón & Bermejo, Javier & Montalvo, Juan Antonio & Villalba, Javier & P閞ez, Juan. Benchmarking Approach to Compare Web Applications Static Analysis Tools Detecting OWASP Top Ten Security Vulnerabilities. Computers, Materials and Continua. 2020. №. 64. Pp. 1555-1577. Doi:10.32604/cmc.2020.010885.
2. Ivanov D., Menshutin A. et al. UTBot Java at the SBST2022 Tool Competition // 2022 IEEE/ACM 15th International Workshop on Search-Based Software Testing (SBST), Pittsburgh, PA, USA. 2022. Pp. 39-40. Doi: 10.1145/3526072.3527529.
3. Baldoni R., Coppa E., Cono D’elia D., Demetrescu C., Finocchi I. A Survey of Symbolic Execution Techniques // ACM Comput. Surv. 51. 2018. Article 50 (May 2019). 39 p. https://doi.org/10.1145/3182657.

Выпускник
Нога София Алексеевна
институт международного развития и партнерства
Направление подготовки: 27.04.05 – Инноватика
e-mail: trick-no@yandex.ru

Научный руководитель
Казаринова Надежда Васильевна
к.ф.н.
e-mail: nvkazarinova@mail.ru

УДК 304.2

КОММУНИКАТИВНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ НАУЧНО-ПОПУЛЯРНЫХ ОБУЧАЮЩИХ ИСТОРИЙ ДЛЯ ДЕТЕЙ НА ТЕМУ ПСИХИЧЕСКОГО ЗДОРОВЬЯ

Работа выполнена в рамках темы НИР № 622266 «Наука и технологии для человека: проблематизация доверия через междисциплинарные и креативные практики».

На сегодняшний день в публичном пространстве практически отсутствуют коммуникативные практики, затрагивающие тему психического здоровья, направленные на детей.

При этом разговор на эту тему остается необходимым по нескольким причинам. Во-первых, исследователи зафиксировали, что на 2021 г. в составе 17–28% семей в мире присутствует родитель с диагностированным психическим расстройством [1]. По иным источникам, от общего числа людей, обратившихся в психиатрические службы, 12–45% являются родителями, и каждый пятый ребенок имеет родителя с психическим расстройством [2]. Не имея информации об этом явлении, дети могут столкнуться с травмирующими переживаниями.

Во-вторых, выделяется ряд проблем, связанных с особенностью восприятия людьми друг друга. В 2014 году в Чувашской республике был проведен опрос школьников 9–11 классов, с целью определить факторы стигматизации людей с психическими расстройствами этой группой населения. Исследователи пришли к выводу, что 57% опрошенных преимущественно негативно относились к людям, страдающим психическими расстройствами [3]. Также дети, чьи родители имели психическое расстройство, отмечали, как одну из проблем, нехватку информации о заболевании родителя: в больницах не хватало специалистов, которые могли бы уделить детям время и рассказать подробнее о сложившейся ситуации в семье; дети напрямую жаловались на отсутствие информации о психических заболеваниях в СМИ и обществе в целом, а также в школе [4].

Таким образом, дети родителей с психическими расстройствами могут переживать стресс из-за стигматизации как со стороны общества, так и в результате снижения самооценки, что нередко вызвано недостаточностью информации о психических расстройствах.

В-третьих, социальные, политические, экологические катастрофы, пандемии и войны ставят под угрозу психическое здоровье самих детей. По данным опроса некоммерческой организации Kaiser Family Foundation, около половины родителей (47%) отметили, что пандемия оказала негативное влияние на психическое здоровье их детей [5].

Мировое сообщество реагирует на обстоятельства. В отчете ЮНИСЕФ о положении детей в мире в рамках психического здоровья за 2021 г. содержится призыв к «информационному взаимодействию (коммуникации) и осуществлению действий в целях обеспечения хорошего психического здоровья каждого ребенка» [6, с. 9]. Информационное взаимодействие определяется в докладе как «преодоление заговора молчания вокруг психического здоровья, борьбу со стигмой, повышение уровня грамотности в вопросах

психического здоровья и предоставление права голоса детям, молодежи и людям, которые могут поделиться своим жизненным опытом» [6, с. 21].

Специалисты в области научной коммуникации могут способствовать тому, чтобы увеличивать масштабы доказательной научной информации в области психического здоровья. Задача сделать научную информацию понятной становится особенно актуальной, когда речь идет о коммуникации с детьми на сенситивные для общества темы.

Мы исходим из предположения о том, что современные российские издатели способны актуализировать обсуждение темы психического здоровья с детской аудиторией и имеют возможность создавать продукты по этой теме.

В поле нашего внимания попадают обучающие научно-популярные истории, предполагающие сочетание трех функциональных категорий. Обучающая функция ориентирована на то, чтобы дать детям возможность узнать о некоторых стратегиях поведения при столкновении с феноменом психического расстройства и, при наличии дополнительных обстоятельств (при поддержке родственника, педагога и т.д.), обучиться приемам саморегуляции в данных обстоятельствах. Научно-популярная означает необходимость включения в историю научно доказанной информации, которая позволяет публике получить знание о природе психического расстройства. «История» как жанровая характеристика означает изложение, рассказ о фактах и поведении героев, способный увлечь ребенка своим содержанием.

Эмпирическая база исследования представляет собой: 5 экспертных интервью с представителями издательств («Бахрах–М», «Белая Ворона», «КомпасГид», «Олимп-Бизнес», «Поляндрия»); англоязычные сайты организаций и экспертов, работающих с семьями с родителем, имеющим расстройство (Австралия, США, Канада); 14 книг, в которых затрагивается тема психического расстройства: 7 англоязычных, 7 русскоязычных.

Методологическими принципами исследования стали нарративный и конверсационный анализ. Принципы нарративного анализа раскрывают формальные структуры создания текстов. Конверсационный анализ позволяет выделять и описывать речевые особенности и правила разговора с детьми о психическом здоровье и нездоровье. Также применялся контент-анализ и дискурс-анализ для анализа содержания интервью и публикаций по теме исследования.

Первый результат работы определяет способы анализа текстов. На основании исследования Клэр Бэкер, которая провела метаанализ 14 публикаций и собственное исследование с детьми, имеющими родителя с психическим расстройством и определила спектр проблем детей, оказавшихся в такой ситуации [7], были определены темы, которые позволяют рассматривать разговор о ментальных заболеваниях как вид особого дискурса, со своим предметом и лингвистическими средствами. Эти темы можно обобщить следующими категориями:

1) знание и понимание родительского психического заболевания;
2) стратегии выживания и поддержка;
3) ролевые и эмоциональные отношения с родителями;
4) самовосприятие ребенка в групповых взаимодействиях;
5) воздействие других людей на ребенка из семьи с психически нездоровыми родителями.

Концепция грамотности в области психического здоровья, которую в 1997 г. предложил Энтони Йорм, определивший ее как «знания и убеждения о психических расстройствах, которые помогают их распознавать, лечить или предотвращать» [8] задает тематическую рамку для текстов, не касающихся болезни родственников, а рассказывающие о болезни вообще. Компонентами грамотности в области психического здоровья, и темами текстов являются:

1) способность распознавать определенные расстройства;
2) знание, как искать информацию о психическом здоровье;
3) знание факторов риска и причин развития расстройств;
4) знание способов саморегуляции и получения доступной профессиональной помощи.

Второй результат исследования касается сравнения тематических и жанровых категорий в англоязычных и русскоязычных текстах. Было определено, что в англоязычных книгах наблюдается большее разнообразие жанров: встречаются методические истории (4), рабочие тетради (2) и художественные тексты. На тематическом уровне в англоязычных книгах чаще актуализируется тема «знание о психическом расстройстве родителя», второй по частотности является тема «стратегии выживания и поддержки».

Подобное разнообразие и тематическая направленность связаны с тем, что распространением, созданием и написанием книг занимаются профессиональные организации: центры психического здоровья, например, Centre for Addiction and Mental Health или The Bouverie Centre, где реализуется программа Families where a Parent has a Mental Illness. Специалисты рекомендуют книги для чтения в рамках терапевтического процесса, а также для самостоятельного чтения и чтения для детей при поддержке взрослых.

Что касается русскоязычного книжного ландшафта, то в данном случае исследовательская гипотеза подтвердилась — в России тексты на данную тему распространяют в основном сами издательства без поддержки специализированных организаций. В ходе экспертных интервью издатели отметили, что видят ценность публикации книг на данную тему в том, что они помогают снизить уровень стигматизации людей с расстройствами, а также повысить уровень эмпатии и подсказать стратегии действий при столкновении с проблемой психического расстройства у близкого.

В связи с этим жанровая характеристика, присущая всем русскоязычным книгам — художественное произведение, однако в рамках этого жанра всё же наблюдается разнообразие: тексты можно отнести к поэтическим, драматическим и прозаическим формам. Темы, которые наиболее ярко выражены в русскоязычных книгах, — это «ролевые и эмоциональные отношения детей и родителей» и «самовосприятие ребенка в групповых взаимодействиях».

Третий результат исследования — это определение особенностей текста, которые способствуют реализации обучающей функции и делают его наиболее привлекательным и понятным для детей. Так, были выделены присутствующие в текстах методические особенности обучающих историй:

1) термины, обозначающие психические расстройства (в текстах обучающих историй зачастую упоминались непосредственно термины расстройств: шизофрения, фобия, дифференцировались фигуры психиатра, психолога и психотерапевта [9, 10]);
2) инструкции по взаимодействию с родителями и по способам справляться со сложными ситуациями (например, предлагаются дыхательные и расслабляющие практики [9]);
3) учебные и контрольные задания для проверки понимания ситуации (предлагались тесты, квизы, добавлялись специальные вопросительные вставки по мотивам истории [9, 10, 11, 12]);
4) мнемонические приемы (для запоминания решений в стрессовых ситуациях [9]).

Что касается формальных особенностей текста, то здесь при помощи исследований специалистов в области детской речи, Юрьевой Н.М. [13], Елисеевой М.Б. [14], а также при обращении к эмпирическому материалу К. Чуковского [15], в изучаемых книгах были выделены следующие нарративные и речевые особенности детских текстов:

1) неконвенциональность словообразования и словоприменения (авторы создавали необычные формы слов, например, «косматки», «запутки», «взъерошки», «чертополохмы» [16]; накривик, «Мама ведь поехала в Нью-Йорк, чтобы сохранить холодную голову. Эта шапка только все испортила» [17]);
2) метафоричность текстов на визуальном, смысловом и словесном уровне прослеживается во всех произведениях (например, проявления расстройств сравниваются с непредсказуемостью и неуправляемостью погодных явлений [11, 12], частотным также является метафорический перенос отношений с родителем на отношения с животными, а также метафоризация расстройства в виде животного [18, 19, 20]);
3) диалогичность, проявленная в интерактивности повествования, актуализации вопросно-ответных форм (например, книга «Накривик к дому» полностью построена в виде

разговора двух людей [17], в книге The Weather House: Living with a Parent with Borderline Personality Disorder вводится отдельный персонаж, который не участвует в основном нарративе, но ведет диалог с читателем, задавая вопросы, комментируя «со стороны» ситуации из основного нарратива).

Полученные результаты были приняты во внимание при создании собственной концепции научно-популярной обучающей истории для детей на тему психического здоровья.

Мы предлагаем ориентироваться на аудиторию 12 лет. В истории мы предлагаем сконцентрироваться на биполярном расстройстве, относящемуся к группе расстройств настроения в международной классификации болезней одиннадцатого пересмотра, так как в русскоязычном пространстве до сих пор не обнаружены материалы с этим предметным содержанием. Также мы предлагаем сосредоточиться на биологических аспектах болезни, благодаря чему разговор принимает безоценочный характер, что, на наш взгляд, открывает возможности для снижения воздействия потенциальных факторов стигматизации. Пример её потенциальной реализации представлен на Рисунке.

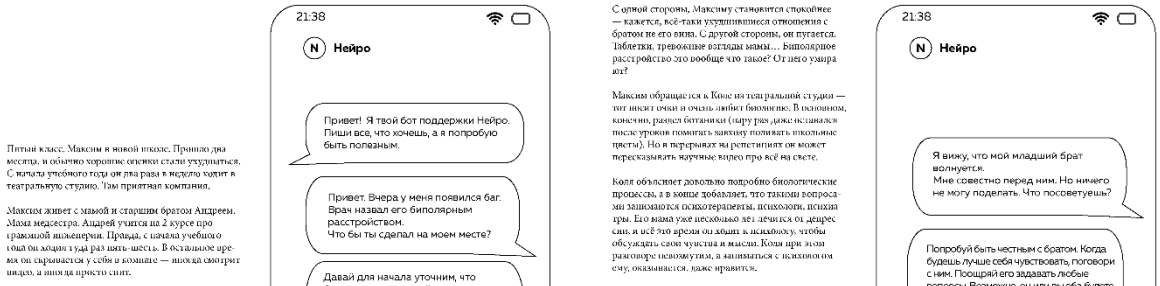


Рисунок. Концепция научно-популярной обучающей истории для детей на тему психического здоровья

Тематическое содержание истории могло бы сфокусироваться на аспекте получения знаний о расстройстве, причинах развития и способах саморегуляции. В развитии сюжета можно выделить три ключевых этапа: напряженные обстоятельства в жизни героя, вызванные болезнью близкого, адаптация героя к факту диагностированного психического расстройства у человека в близком окружении, поиск информации и выработка здоровых жизненных стратегий. Дополнительная, помогающая рефлексировать происходящее в основном сюжете информация может быть добавлена «на полях» к основному нарративу в форме чат-коммуникации. Мы предлагаем использовать в качестве дополнительного творческого решения для генерации текста на полях ChatGPT, который будет соответствовать персонажу-помощнику в истории.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Sell M., Radicke A., Adema B., Daubmann A., Kilian R., Stiawa M., Busmann M., Winter SM., Lambert M., Wegscheider K., Plass-Christl A., Wiegand-Grefe S. Parents With Mental Illness: Parental Coping Behavior and Its Association With Children's Mental Health // Frontiers in Psychiatry. 2021. V. 12. DOI: 10.3389/fpsyt.2021.737861.
2. Mayberya D., Reupert A.E. The number of parents who are patients attending adult psychiatric services // Curr Opin Psychiatry. 2018. №. 31. Pp. 358-362.
3. Сидорова А.В., Иванова И.С., Судякова М.Ю., Андреева А.П. Факторы стигматизации психически больных старшеклассниками // Вестник психиатрии и психологии Чувашии. 2014. №. 10. С. 31-37.

4. Dobener L.M., Fahrer J., Purtscheller D., Bauer A., Paul J. L., Christiansen. How Do Children of Parents With Mental Illness Experience Stigma? A Systematic Mixed Studies Review // Frontiers in Psychiatry. 2022. №. 13. [Electronic resource]. – Access mode: https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpsyt.2022.813519 (date of access: 05.05.2023).
5. KFF/CNN Mental Health In America Survey. [Electronic resource]. – Access mode: https://www.kff.org/report-section/kff-cnn-mental-health-in-americasurvey-findings/ (date of access: 01.05.2023).
6. ЮНИСЕФ, Положение детей в мире 2021: В моем сознании — Укрепление, защита и сохранение психического здоровья детей. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.unicef.org/eca/media/18261/file/Executive%20summary%20(Russian).pdf (дата обращения: 01.05.2023).
7. Backer C.L. A qualitative investigation into the experiences of children who have a parent with a mental illness // A thesis submitted to the University of Manchester for the degree of Doctor of Clinical Psychology in the Faculty of Medical and Human Sciences. 2011. 2018 p.
8. Jorm A.F. Why We Need the Concept of “Mental Health Literacy” // Health Communication. 2015. №. 30. Pp. 1166-1168.
9. Families where a Parent has a Mental illness. Between you and me Between you and me (for children 8 – 12 years) and Let's talk About 'It' (for parents). [Electronic resource]. – Access mode: https://asmile.org.au/wpcontent/uploads/2020/08/BetweenYouMe_English_Finished-Art_V4.pdf (date of access: 07.05.2023).
10. National Schizophrenia Fellowship (Scotland). ‘It’s about you Too!’. NSF:. 2012. 17 p.
11. Rashkin-Shoot R., An Umbrella for Alex. — Personality Disorder Awareness Network. 2012. 22 p.
12. Laporte L., Fraser R. The Weather House: Living with a Parent with Borderline Personality Disorder. — Transcontinental Quebec. 2013. 48 p.
13. Юрьева Н.М. Интерактивный компонент в механизме порождения нарратива детьми // Вопросы психолингвистики. 2018. №. 35. С. 115-125.
14. Елисеева М.Б., Максимова Н.И. Осознание дошкольниками закономерностей художественного текста // Языковое и литературное образование в современном обществе — 2016: Сборник научных статей по итогам Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Санкт-Петербург, 16–17 ноября 2016 года. — Санкт-Петербург: Издательство ВВМ. 2016. – С. 414-423.
15. Чуковский К.И. От двух до пяти. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.chukfamily.ru/kornei/prosa/knigi/onetofive (дата обращения: 07.05.2023).
16. Дале Г. Мамины волосы. — СПб: Поляндрия Принт. 2022. 32 с.
17. Камфьорд В. Накривик к дому. — СПб: Поляндрия Принт. 2022. 88 с.
18. Анри Ж. Рыбы не тают. — М.: Самокат. 2021. 208 с.
19. Голд Х. Пропавший кит. — СПб: Поляндрия Принт. 2023. 320 с.
20. Карнавас П. Слон. — М.: МИФ. 2019. 176 с.

Graduate
Anastasiia O. Piven
infochemistry scientific center
Main field: 18.04.01 – Chemical Technology
e-mail: piven@infochemistry.ru

Scientific supervisor
Tetiana Orlova
PhD
e-mail: torlova@itmo.ru

УДК 544.252.24

CONTROLLING THE BEHAVIOR OF LOCALIZED REVOLVING STRUCTURES IN LIGHT-RESPONSIVE CHIRAL NEMATICS LIQUID CRYSTALS

Topological defects in LCs are of interest both from a fundamental point of view and due to their potential for industrial applications. Initially, defects in LCs were investigated as a laboratory system for studying superconductivity and the evolution of the early universe [1]. Further development of controllable generation and stabilization of topological defect and defect structures allowed the engineering of functional defect networks and arrays [2] that contributed to multiple practically oriented developments, from smart optical elements and templates for the controllable self-assembly [3] to tunable plasmonic and metamaterial. Currently, it is widely known that liquid crystal materials are capable of demonstrating various types of orientation defects in a partially ordered molecular field. In liquid crystals, it is possible to create chiral localized objects with a size of tens microns, which contain point defects, which are of typical size tens of nanometers, that have non-trivial optical properties useful for technological applications in optics and photonics.

In previous studies, the creation of micron-size localized defect structures in thin films of frustrated chiral nematic liquid crystals was demonstrated by optically induced reorientation of liquid crystal molecules by both Gaussian and structured light beams [4]. A recent approach based on light-controllable variation of cholesteric helix allows to generate multiple localized static defect structures as well as a unique dynamic revolving pattern by an ultraviolet Gaussian beam with a beam power of only tens of nW [5]. Compared to passive materials, the opto-molecular approach significantly reduces the intensity and power triggers required by up to eight orders of magnitude. Additionally, this system is completely reversible and returns to the frustrated state when the writing light field is turned off. Therefore, the opto-molecular addressing of liquid crystals can be customized by engineering the molecular switch, allowing for optimized write-and-erase features. To address current limitations in permanent recording of localized chiral topological states, the use of photoactive chiral molecular switches, specifically second-generation molecular machines with thermal stability, is expected to be effective.

While, in general localized structures found their application in optics and photonics, the work produced by the revolving structures can be harnessed into the rotation of a nano- or colloidal particles providing cargo transportation. However, revolving structures only up to 55 microns in size and a rotation period of about 6 minutes were investigated. The possibility of cargo orbital transportation by larger defect structures in frustrated thin films of chiral nematic LC remained unexplored. Thus, the aim of this study is to analyze the generation of dynamic localized complex structures in frustrated thin films of a light-responsive chiral nematic liquid crystal by optically induced photochemical transformations of chiral dopant molecules and to determine the optimal spatiotemporal characteristics of the recording Gaussian light beam to control the dynamic behavior of these structures.

The scientific novelty of the project is to investigate the dynamic behavior of large-size revolving localized structures (with the diameter above 55 μm) and to study the relationship of

topological properties with revolving characteristics. This makes it possible to study the fundamental principles of structuring soft matter that contribute to the formation and stabilization of various supramolecular architectures with complex topology.

The method of opto-molecular generation relies on the use of chiroptical molecular switches and the creation of various kinds of chiral defect structures at the micron-scale and subnanowatt optical power level performed by UV light. When a chiral nematic liquid crystal is illuminated in the absorption band of a molecular additive, its photoisomerization occurs with a rearrangement of the molecular structure, therefore, a change in its twisting ability. As a result, the pitch of the supramolecular helix changes which leads to and the formation of chiral localized structures.

The unique liquid crystal samples based on light-responsive chiral dopants of molecular motors were made in the 2013 year; however, it still remains to be working and is capable of demonstrating the formation of localized structures under UV irradiation. Characterization of the liquid crystal sample is presented in Table.

Table. **Parameters of the chiral nematic LC cell sample**

Chiral molecular dopants	**Helical twisting power**	**Concentrations in the nematic LC matrix**	**Cholesteric pitch value**		**Time of thermally induced pitch relaxation (min)**
			Initial pitch value (μm)	**Light-induced pitch value (μm)**	
Ph-**m**, left-handed twisting dopant	- 92 μm^{-1} $wt.^{-1}$	0.83 %	+16.0	-1.7	20
Ph-**m***, right-handed twisting dopant	+ 92 μm^{-1} $wt.^{-1}$				
BB, right-handed twisting dopant	+ 60 μm^{-1} $wt.^{-1}$	0.99 %			

Dynamic rotating patterns in frustrated thin films of chiral nematics are created from an initial static structure by jump-like increasing the power of the recording Gaussian beam (Fig. 1). The threshold for stable existence of static structures is found to be 12 nW. At 17 nW the static structure begins to change its appearance and increase in size. The axisymmetric chiral pattern indicating the direction of twist of the static structure gradually disappears, replaced by a more intricate internal organization of the pattern.

After about 20 minutes, the system reaches a non-equilibrium steady state. The static structure completes its transformation, and a dynamic revolving pattern appears, which immediately starts rotating in the direction corresponding to the initial twist of the static structure. Then, the power of the recording Gaussian beam was increased by ~3 nW and after 15 minutes by another 5 nW (the time interval of 15 minutes corresponds to the system reaching a stationary state after changing one of the parameters). With an increase in the diameter of the dynamic structures, there is a decrease in their rotation period.

In addition to the structure shown in the upper line of Figure 1, the formation of a dynamic structure of a different type was also discovered and this process is shown in the lower part of Figure 1. The structure of the first type or so-called R_1 structure, first reported in (Orlova et al., 2018), is characterized by a more accurate appearance, that is, a smooth outer contour, which implies a smoother inner field of the director. Moreover, the R_1 structure is also defined by a rotation in the direction of the initial static structure handedness from which it was created. As for the dynamic structure of the second type, the so-called R_2 structure, which has never been yet reported, there are several significant differences in comparison with the first type structures. Firstly, the appearance is much less smooth, the outer contour is more “bumpy”. Different appearance means different patterns of the director's field with different location of point defects and other features. Secondly, the direction of rotation of R_2 is opposite to the handedness of the static pattern from which it was created.

This phenomenon can also be associated with the different organization of the director field. Two types of dynamic localized structures R_1 and R_2 are formed from the same initial static structure in the self-assembled manner (Fig. 1).

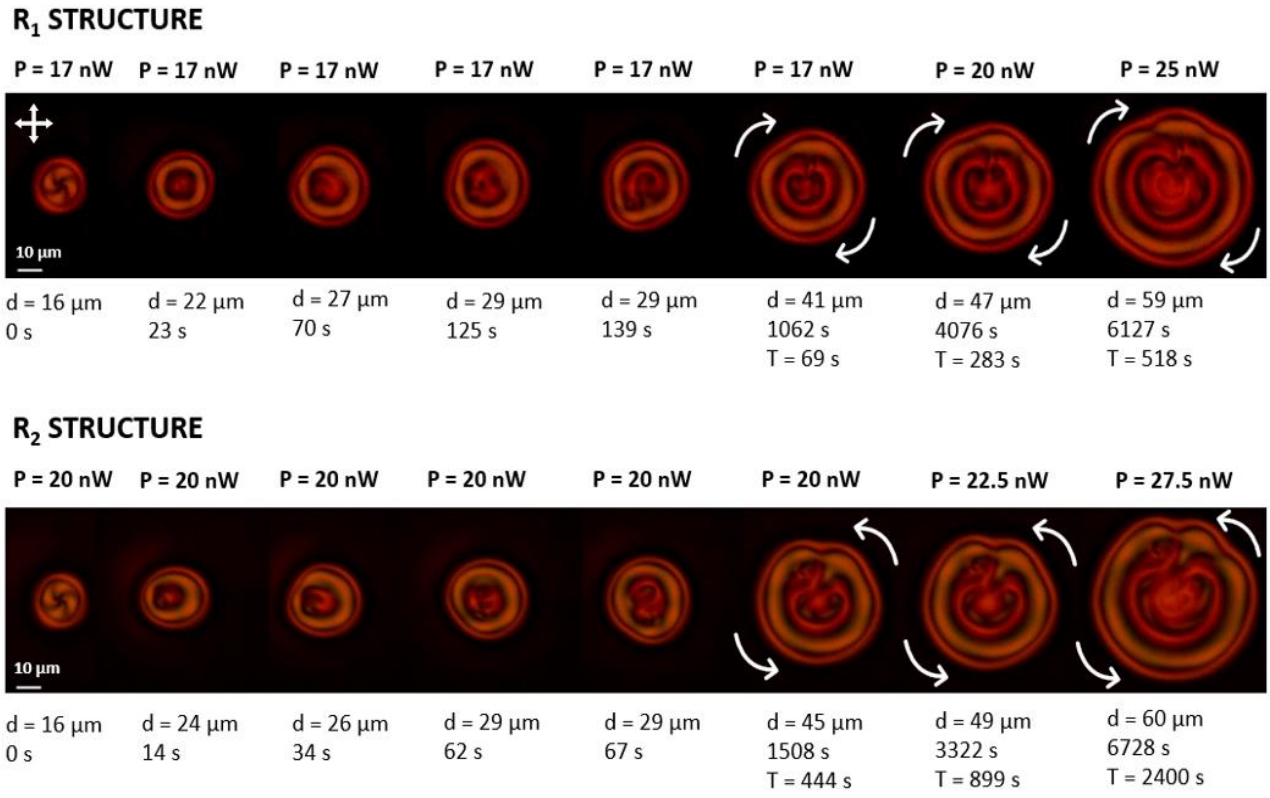


Fig. 1. Formation of rotating localized structures from static structures. White arrows indicate crossed polarizers

At the moment, the behavior of dynamic structures of large sizes with a diameter greater than 55 μm size and a rotation period of larger than 6 minutes has never been reported. Therefore, the area of cargo orbital transportation by larger defect structures in thin films of chiral nematic LC remained unexplored. In order to test the possibility of orbital transportation of cargo (nano- and microparticles) by dynamic localized structures of large size in thin frustrated films of chiral nematic, the following experiments were carried out.

First, it was necessary to check the stability of the behavior of dynamic patterns when reaching a diameter of more than 55 μm. For that purpose, after reaching stationary states of rotating patterns, the power of the recording Gaussian beam was increased by approximately 2.5 to 5 nW every 15 minutes. As a result, an increase in the size of dynamic structures of both types was observed, which was also accompanied by an increase in rotation periods. The observed increase in size is uneven, the reason for which is the very nature of liquid crystals: the material is soft and elastic, which is why localized structures are constantly undergoing slight changes imperceptible to the eye, after which their size and rotation period may vary slightly by small values. Moreover, there was a change in the external appearance of these structures: the smooth external contour became “bumpy”, only smoothing out when the structures reached larger diameters (around 100 μm). The rotation period also increases dramatically with the appearance of a “bumpy” outer contour; however, this increase becomes less drastic when the structure is smoothed. It can be assumed that with an increase in diameter, inhomogeneous areas appear in the director field of structures, which gradually self-disappear with a further increase in size.

For dynamic structures R_1, the rotation period is smaller than for structures of the second type of the same size. This can be explained by the spatial organization of the director field. For R_2 structures, the director field is less “smooth”, which is reflected in the external appearance of the pattern. As the size of the structures increases, there is a gradual equalization of the rotation period

values, which can be explained as follows. The smoother R_1 structure undergoes initial changes that slow down the rotational motion, while the initially "bumpy" R_2 structure is less affected by subsequent changes in the director field.

In general, all large structures with a size of about 100 μm continue to demonstrate stable dynamic behavior. However, in some cases, the rotation of structures may be interrupted for an indefinite period of time or stop completely (Fig. 2). The spontaneous stoppage of rotation can be explained by the non-uniform deformation of the director field and deviation of the cholesteric helix, which might be caused by non-uniform diffusion of the photoisomer molecules in the complexly structured director field outside the illuminated area.

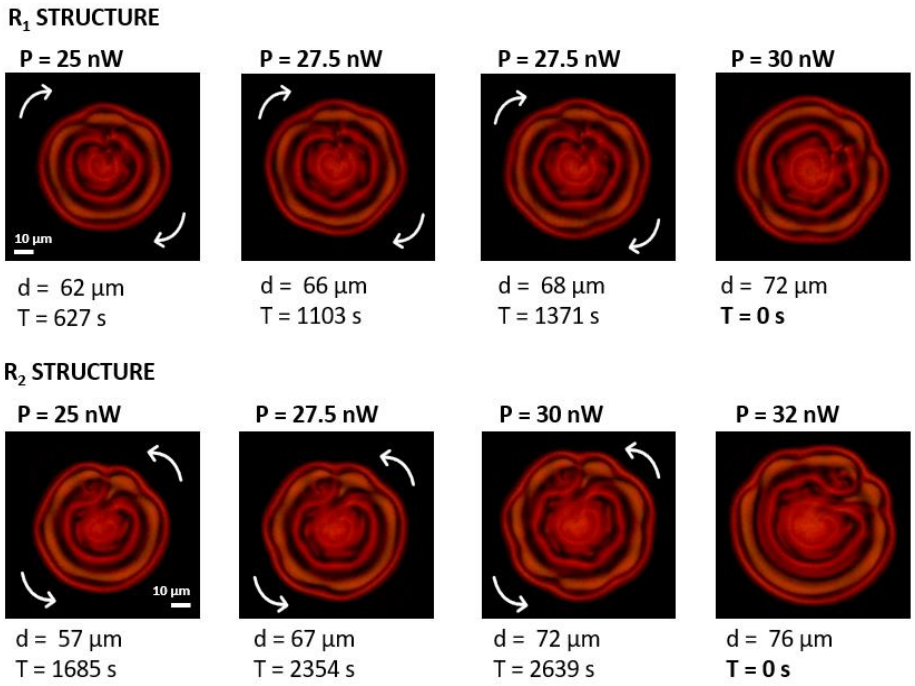


Fig. 2. Unstable dynamic behavior of the rotating localized structures

Increasing the diameter of the recording Gaussian beam increases the illuminated area where light-produced concentration of the photoisomer occurs. The size of the structure area outside the illuminated area reduces with increasing diameter of the recording beam, providing a more uniform spatial distribution of the photoisomer and, consequently, a smoother director field, which leads to the recovering of dynamic behavior of rotating structures.

To confirm this hypothesis, the following experiment was conducted. Revolving dynamic patterns of the first and second types were created. Then, the power of the recording beam was gradually increased, increasing the size of the structures. When structure R_1 reached a size of 77 μm and structure R_2 reached a size of 70 μm, in both cases, spontaneous motion cessation occurred due to the non-uniform change of the director field. Then, at a constant beam power, the diameter of the recording beam was increased by 5 μm every 15 minutes, corresponding to the time it takes for the system to reach a steady state, until the dynamic behavior of localized structures resumed (Fig. 3). In this case, the size of the structures remained practically unchanged.

For the dynamic pattern of the first type R_1, the diameter of the recording beam requiring to restart movement is usually $25 \div 30$ μm. When the diameter of the recording beam reaches 25 μm, the "bumpy" structure gradually smooths out, indicating the formation of more regular director field inside the structure due to the more uniform diffusion of the photoisomer to the outer contour of the structure.

In the case of structure R_2, movement is most often resumed when the diameter of the recording beam is $20 \div 25$ microns. Here a smoothing of the outer contour does not always occur, and sometimes movement is recovered with a "bumpy" external pattern, which can be explained by the initially non-uniform packing of the director field typical for the second type of structure.

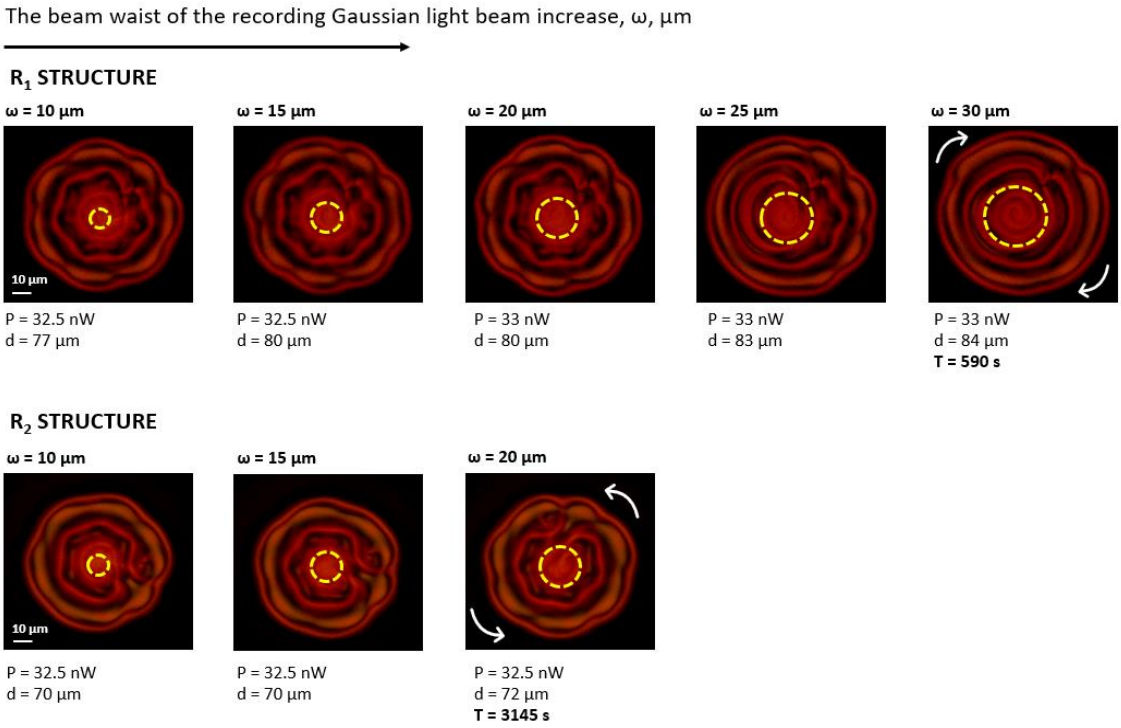


Fig. 3. Recovering the dynamic behavior by changing the spot size of the light beam

As the diameter of the recording beam increases, the boundary between the illuminated and unilluminated areas shifts closer to the edge of the localized structure, and the diffusion of the photoisomer in the non-illuminated area becomes more uniform. As a result, the random spatial deviations of the director field vanish, and the dynamic behavior of localized structures is restored.

In the presented work, a new method of controlling the dynamic behavior of large-sized revolving localized structures in frustrated thin films of a light-responsive chiral nematic liquid crystal is proposed. During the study, a new rotating defect structure R_2 of a different topology was obtained, with slower rotation compared to the previously known structure R_1 when the structure diameters are the same.

The statistics of the formation of two types of dynamic structures is studied. It is shown that for both structures, an unpredictable and random interruption of rotational behavior is possible when the structure size reaches more than 50 microns. It is shown that the interruption occurs more often for new dynamic structures of the second type R_2.

By customizing the spatiotemporal characteristics of the recording Gaussian light beam it becomes possible to recover the rotation of large-sized dynamic localized structures of both types. The results obtained provide the fundamental scientific basis for further study of the basic principles of soft matter structuring, which contribute to the formation and stabilization of supramolecular architectures with complex topology. The high relevance of the current study is ensured by intensive scientific and technical developments in the field of adaptive optical elements for photonic devices and light structuring systems, as well as controllable systems for transporting micro- and nanoparticles.

REFERENCES

1. Chuang I. et al. Cosmology in the Laboratory: Defect Dynamics in Liquid Crystals // Science (1979). 1991. Vol. 251. №. 4999. Pp. 1336-1342.
2. Kim D.S. et al. Mosaics of topological defects in micropatterned liquid crystal textures // Sci Adv. 2018. Vol. 4. №. 11. DOI:10.1126/sciadv.aau8064.
3. Wang X. et al. Topological defects in liquid crystals as templates for molecular self-assembly // Nat Mater. 2016. Vol. 15. №. 1. Pp. 106-112.
4. Smalyukh I.I. et al. Three-dimensional structure and multistable optical switching of triple-twisted particle-like excitations in anisotropic fluids // Nat Mater. Nature Publishing Group. 2010. Vol. 9. №. 2. Pp. 139-145.
5. Orlova T. et al. Revolving supramolecular chiral structures powered by light in nanomotor-doped liquid crystals // Nat Nanotechnol. Nature Publishing Group. 2018. Vol. 13. №. 4. Pp. 304-308.

Выпускник
Полицинский Александр Сергеевич
факультет систем управления и робототехники
Направление подготовки: 13.04.02 – Электроэнергетика и электротехника
e-mail: aspolitcinskii@itmo.ru

Научный руководитель
Поляков Николай Александрович
к.т.н.
e-mail: polyakov_n_a@itmo.ru

УДК 621.317

РАЗРАБОТКА И МОДЕЛЬНОЕ ИСЛЕДОВАНИЕ КОНТУРА СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ ЗАРЯДА МОДУЛЬНОГО ЗАРЯДНОГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ МАЛОГО ЭЛЕКТРОТРАНСПОРТА

Во всем мире стремительно развиваются технологии электромобилей и подключаемых гибридных электромобилей, поскольку они могут обеспечить меньшее потребление топлива и выбросы парниковых газов. Особое внимание уделяется аккумуляторным батареям (АКБ), используемых в электротранспорте. Их оснащают датчиками тока, напряжения и температуры, а также системами контроля, т.к. аккумуляторы имеют активный химический состав, из-за чего очень требовательны в осторожности при эксплуатации. Одним из перспективных направлений в данной области являются реконфигурируемые аккумуляторные батареи, которые имеют большие эксплуатационные возможности и высокую устойчивость к критическим ситуациям, за счет отключения неисправных элементов из общей сети, тем самым продлевая срок службы всего аккумулятора. Одним из важных преимуществ реконфигурируемых АКБ перед АКБ с фиксированными топологиями является минимизация потери мощности на стабилизаторах напряжения, которое возникает при большой разнице между подаваемым напряжением с зарядного устройства и потребляемым напряжением АКБ. Динамическая настройка конфигурации аккумуляторной батареи (т. е. соединений между ячейками внутри аккумуляторной батареи) позволяет уменьшить разницу между напряжениями и снизить потери [1].

Ввиду проблем классических сборок и тенденций развития возобновляемых источников энергии, одним из предложенных способов увеличения срока службы аккумуляторных батарей является усовершенствования её структуры, за счет добавления переключателей между контактами ячеек, или модулями. Такая структура позволяет в режиме реального времени изменять параметры аккумуляторного блока, позволяя сделать из пассивного двухполюсного источника энергии динамическую управляемую систему, расширяя возможности использования одного аккумуляторного блока. Также такие структуры требуют большого количества датчиков для сбора статистики. Например, если какая-то ячейка или модуль во время эксплуатации имеет большие отклонения характеристик от их номинальных значений, то он будет исключен из общей структуры во время эксплуатации, а контроллер управления будет хранить данные обо всех дефектных ячейках или модулях, что упростит ремонт АКБ [2].

В работе рассмотрены несколько вариантов возможных конфигураций АКБ. АКБ состоит из четырех литий ионных аккумуляторов и 11 управляемых переключателей, для реконфигурации. Для исследования электромагнитных нагрузок, в реконфигурируемом АКБ была сконструирована модель реконфигурируемой аккумуляторной батареи, представленной на рисунке 1.

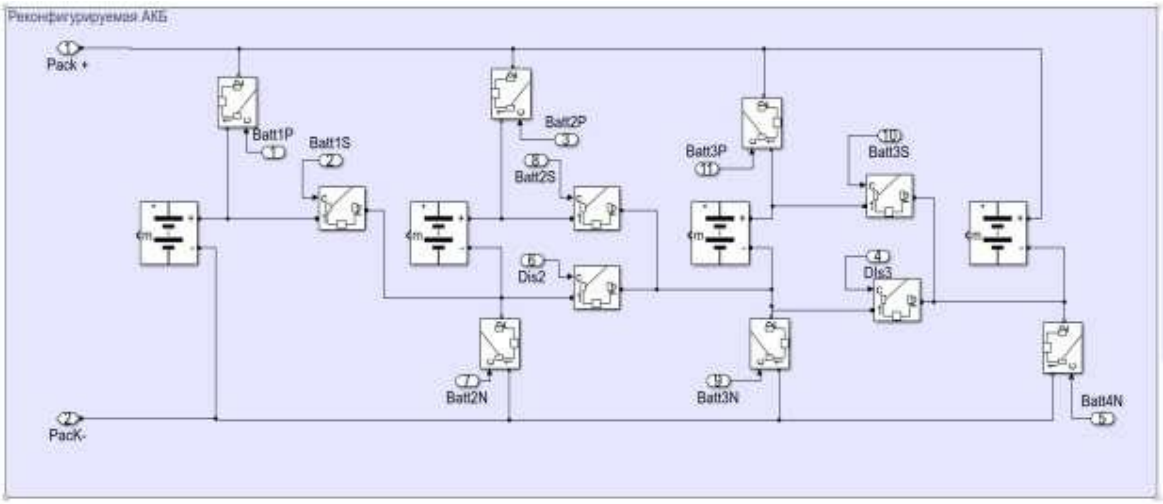


Рис. 1. Модель реконфигурируемой АКБ

В представленной топологии, реконфигурируемой АКБ, коммутирующие ключи разделяются на четыре основные группы:

1) группа “BattP” – это группа ключей, отвечающая за последовательное соединение между ячейками;
2) группа “BattN” – эта группа ключей, отвечающая за подключение ячеек к шине земли, как при последовательных коммутациях, так и при параллельных;
3) группа “BattP” – эта группа ключей отвечает за подключение ячеек к плюсовой шине АКБ, при режимах последовательных и параллельных коммутаций;
4) группа “Dis” – эта группа отвечает за обход ячеек при последовательных коммутациях.

Для исследования нагрузок на силовую энергоподсистему будет рассматриваться система «DC-DC преобразователь – АКБ».

В качестве силового преобразователя была выбрана модель двунаправленного повышающего/понижающего DC-DC преобразователя, который изображен на рисунке 2. Когда активен режим зарядки, преобразователь понижает выпрямленное постоянное напряжение с инвертора до напряжения зарядки АКБ. Если активен режим передачи энергии из АКБ в нагрузку или сеть, преобразователь работает в повышающем режиме [3].

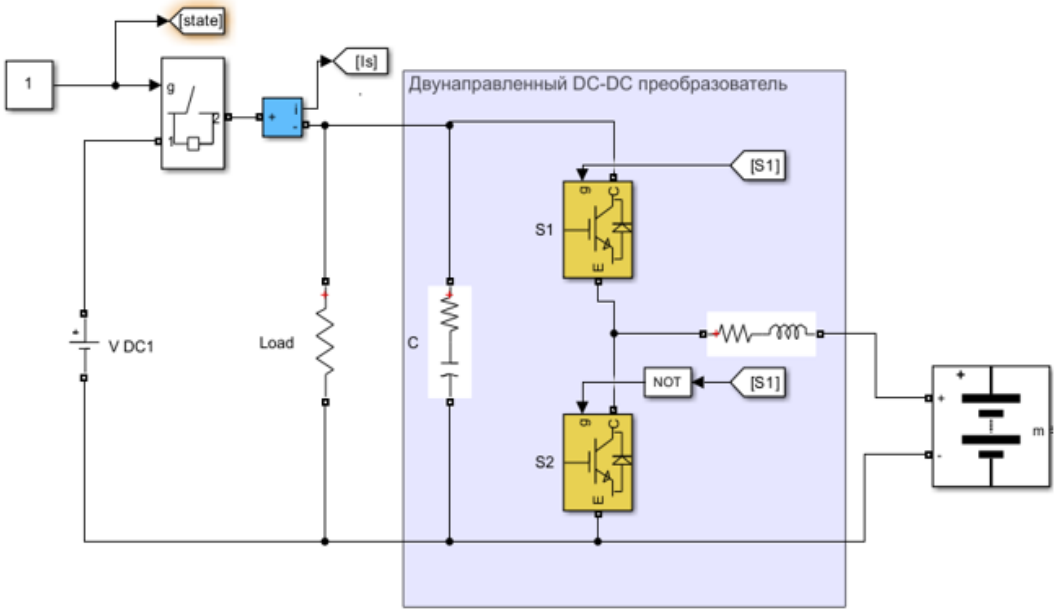


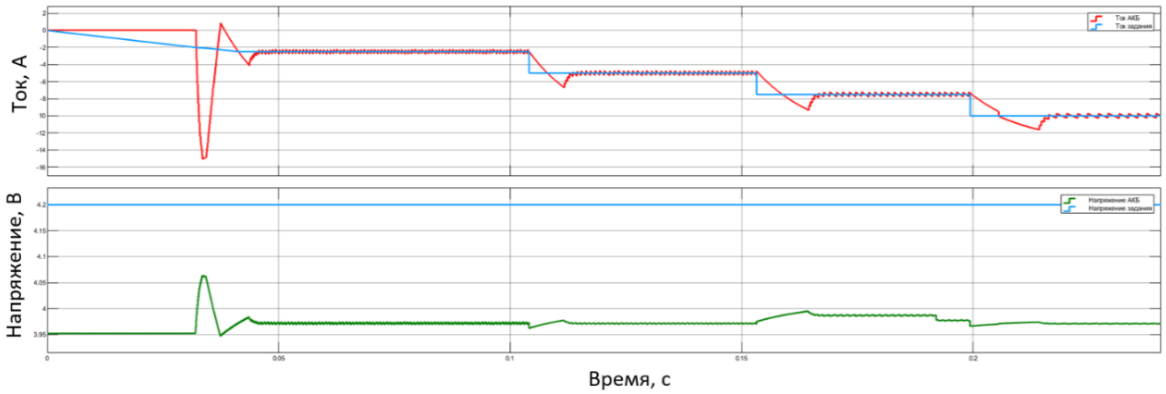
Рис. 2. Модель двунаправленного преобразователя в Matlab

Одной из полезных функций реконфигурируемой АКБ является адаптивность к различным режимам заряда:

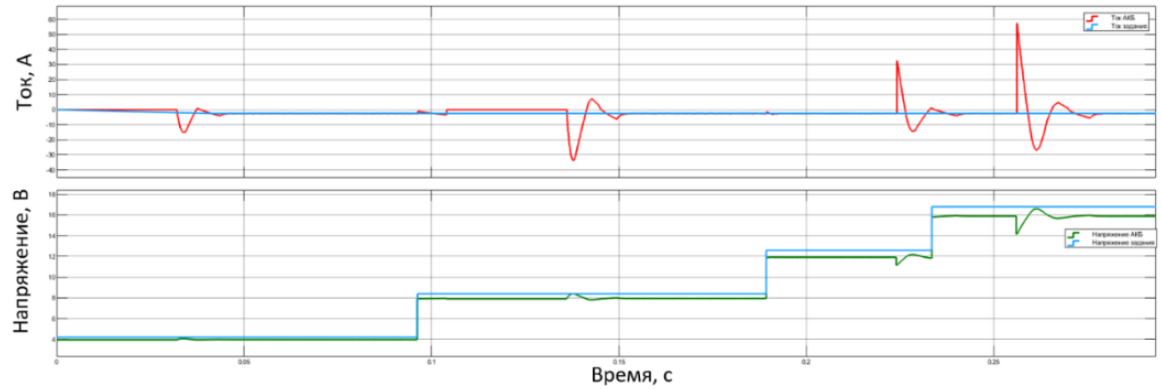
1) большой ток и малое напряжение;
2) большое напряжение и малый ток.

На рисунке 3 продемонстрированы процессы заряда реконфигурируемой АКБ в:

a) режиме заряда большим током и малым напряжением;
b) режиме заряда большим напряжение и малым током.



а



б

Рис. 3. Графики тока и напряжения на АКБ во время зарядки в режимах: а) большой ток, малое напряжение; б) большое напряжение малый ток

Как видно из графиков на рисунке 3, при параллельном подключении самый большой скачок тока, превышающий зарядный ток 2,5 А, имеется при начальном процессе зарядки, и составляет 15 А. Однако при последовательном включении батарей, скачки тока становятся очень существенными на каждом этапе подключения и могут достигать 55 А, что может сильно ухудшить состояние как батарей, так и силовой части.

Для того чтобы ограничить максимальное значение тока во время смены конфигурации, можно ввести в схему коммутации защитные TVS диоды. Это полупроводниковое устройство, которое защищает электронные компоненты, интегральные и гибридные схемы от повреждений, вызванных перенапряжением.

Итоговая схема коммутационного участка представлена на рисунке 4.

Для данной реконфигурируемой АКБ были разработаны алгоритмы релейного управления, задачей которых является принудительное отключение АКБ от нагрузки или зарядного устройства, в случае возникновения скачка тока, превышающего заданное максимальное значение, и включение после того, как излишки энергии рассеются в защитном диоде.

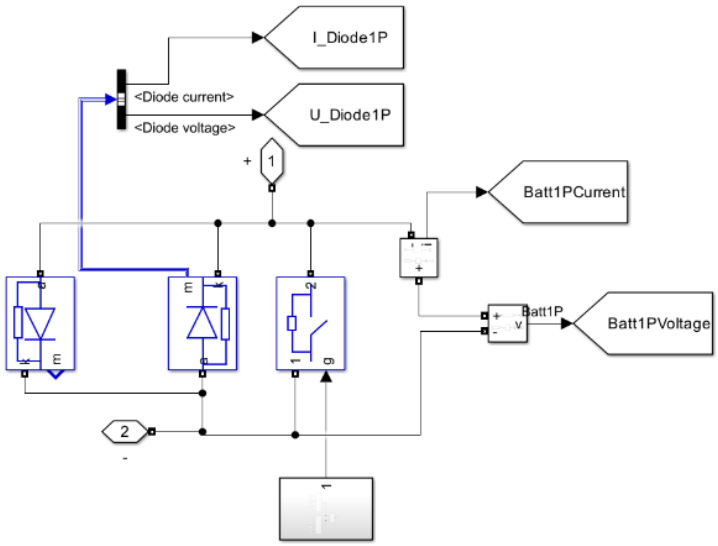


Рис. 4. Коммутирующий ключ с параллельно включенными защитными TVS диодами

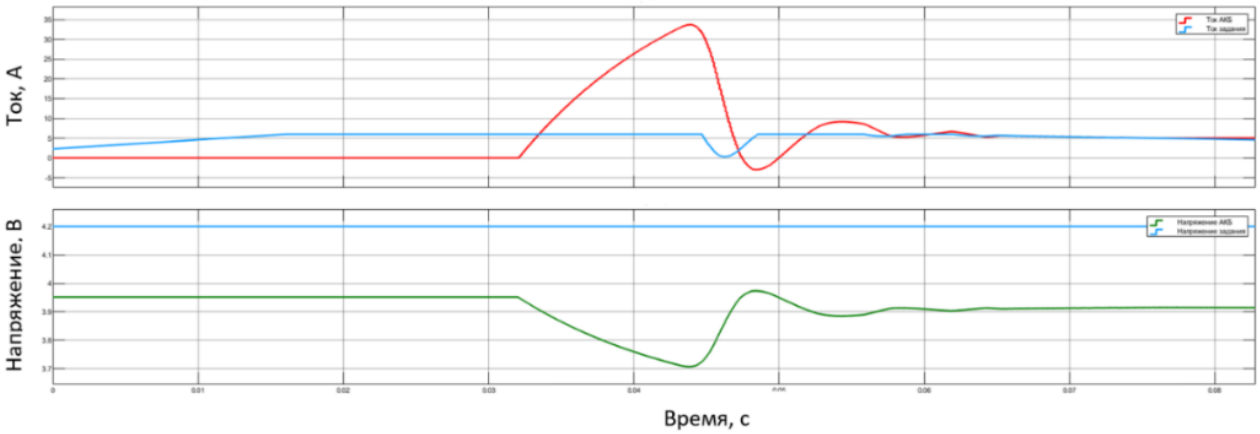


Рис. 5. График переходных процессов при подключении конфигурации 1s1p к нагрузке с выключенной защитой

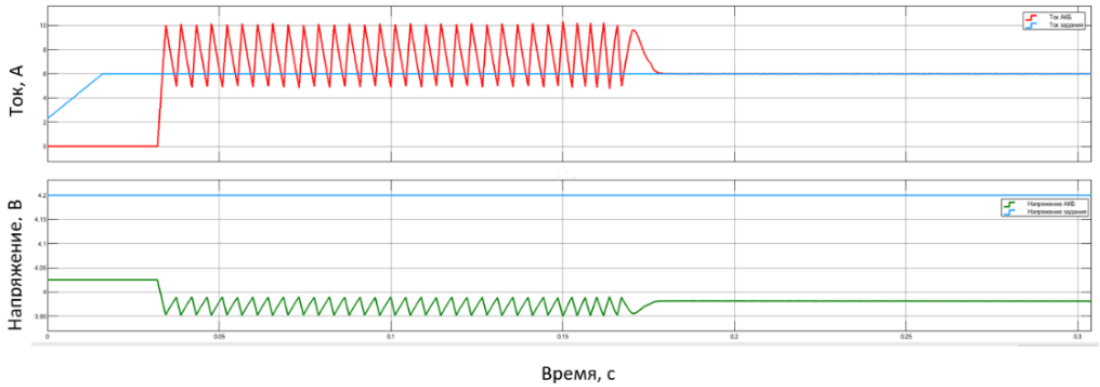


Рис. 6. График переходного процесса подключения конфигурации 1s1p к нагрузке при включенной защите

На рисунках 5 и 6 видно, что без системы защиты от скачков тока при подключении конфигурации к нагрузке пиковые скачки тока доходя практически до 35 А. Защитная схема коммутации не даёт току преодолеть заданных в релейном алгоритме уровней тока. Однако, из-за того, что тратится время на рассеивание энергии, увеличивается время переходного процесса, примерно на 0,118 секунд.

На рисунках 7–10 показаны графики переходных процессов при балансировочной зарядке в двух режимах.

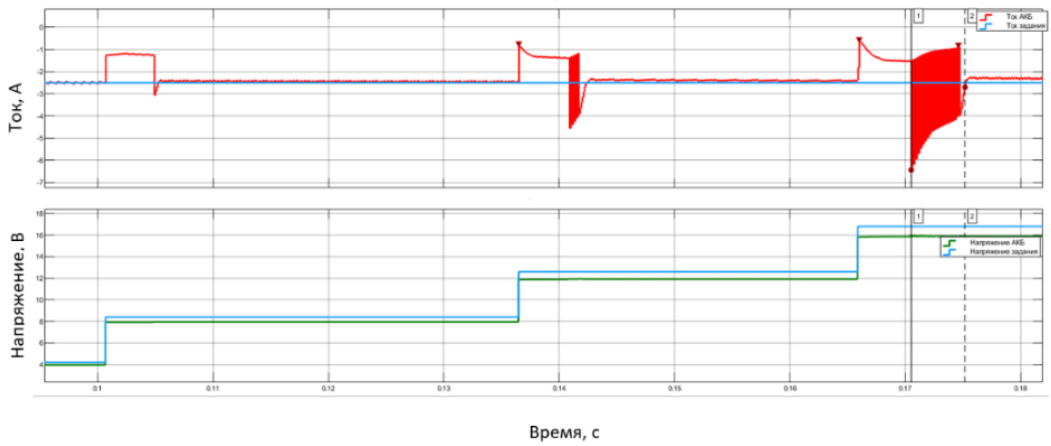


Рис. 7. Графики тока и напряжения на АКБ по время балансировочной зарядки большим напряжением

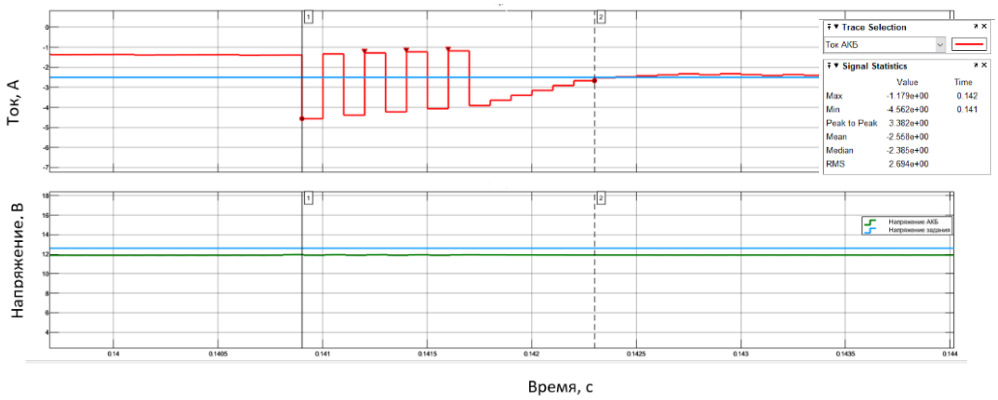


Рис. 8. График тока и напряжения при переключении конфигурации с 2s1p на 3s1p и показатели RMS

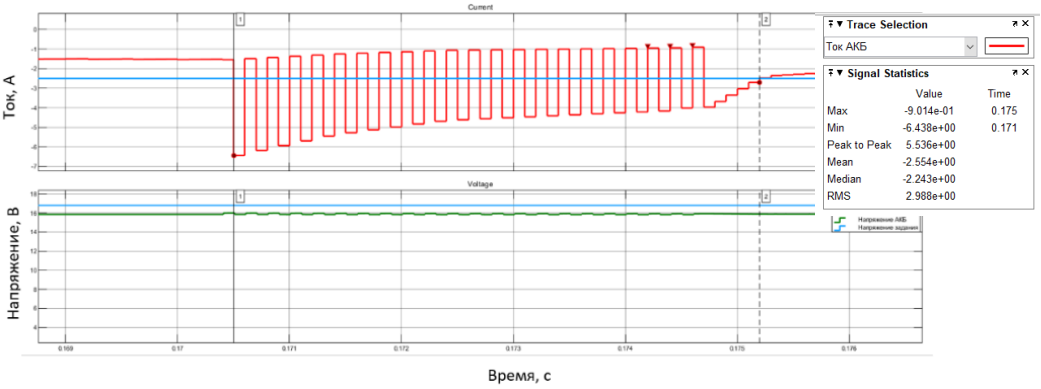


Рис. 9. График тока и напряжения при переключении конфигурации с 3s1p на 4s1p и показатели RMS

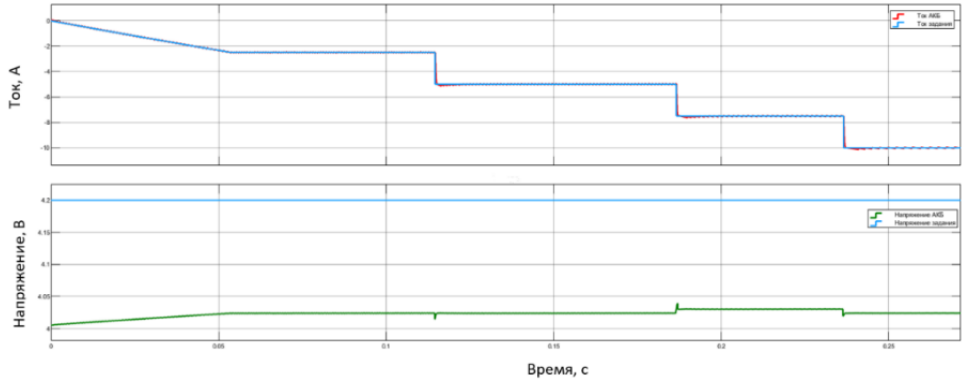


Рис. 10. Графики тока и напряжения на АКБ в режиме зарядки большим током

Как видно из графиков на рисунках 7–10 пиковые значения при зарядке в режиме последовательного подключения ячеек (т.е. в режиме большим напряжением), самые большие скачки тока происходили при переключении на конфигурацию 3s1p и 4s1p. Пиковые значения токов в первом случае достигаю 4,5 А, а во втором 6,5 А. Однако, благодаря разработанному алгоритму релейного управления, среднее и действующее значения тока не превышают 5 А, которые допустимы в режиме быстрой зарядки. При моделировании также было установлено, что для стабильной работы системы необходимо выбрать TWS диоды, с обратным напряжение 30 В.

В данной работе была сконструирована имитационной модель реконфигурируемого аккумулятора с двунаправленным DC-DC преобразователем. При помощи созданной модели можно исследовать влияние электромагнитных нагрузок на силовое оборудование и активные переключатели в АКБ во время переходных процессов при коммутации ячеек, что позволяет провести подбор компонентов при проектировании аккумуляторного блока.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Brandl M. et al. Batteries and battery management systems for electric vehicles // 2012 Design, Automation & Test in Europe Conference & Exhibition (DATE), Dresden, Germany. 2012. Pp. 971-976. DOI: 10.1109/DATE.2012.6176637.
2. Ci S., Lin N., Wu D. Reconfigurable Battery Techniques and Systems: A Survey // IEEE Access. 2016. Vol. 4. Pp. 1175-1189. DOI: 10.1109/ACCESS.2016.2545338.
3. Safayatullah M., Elrais M.T., Ghosh S., Rezaii R., Batarseh I., A Comprehensive Review of Power Converter Topologies and Control Methods for Electric Vehicle Fast Charging Applications // IEEE Access. 2022. Vol. 10. Pp. 40753-40793. DOI: 10.1109/ACCESS.2022.3166935.

Выпускник
Смирнов Иван Захарович
факультет цифровых трансформаций
Направление подготовки: 01.04.02 – Прикладная математика и информатика
e-mail: 1vany1@mail.ru

Научный руководитель
Басов Олег Олегович
доцент, д.т.н.
e-mail: oobasov@itmo.ru

УДК 0004.08

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ НЕГАТИВНЫХ ВЫСКАЗЫВАНИЙ В РЕЧИ НА ОСНОВЕ ЕЕ МУЛЬТИМОДАЛЬНОГО АНАЛИЗА

Существующие системы автоматического модерирования в большей степени ориентированы на выявление токсичного контента в текстовых данных [1] и негативного контента в визуальных данных [2], в то время как анализ аудиоданных применяется в меньшей мере. Фразы речи могут иметь различные значения в зависимости от контекста [3], поэтому при решении задачи предполагается учитывать ненормативную лексику, которая является социально неприемлемой вне зависимости от контекста. По этой причине во многих странах сквернословие в публичных местах запрещено законом, а в сфере искусства и развлечений эти слова являются основными объектами цензуры [4]. Однако для работы с ненормативной лексикой требуются достаточно точные ASR-системы и наборы данных, в которых этот тип высказываний будет представлен в достаточной мере. Например, большой набор данных русской речи с аннотацией OpenSTT [5] содержит более 20 000 часов речи, в которой ненормативная лексика встречается в единичных случаях. Кроме того, набор данных OLID (Offensive Language Identification Dataset) [6], состоящий из текстов для выявления оскорбительных выражений, содержит 4400 помеченных оскорбительных фраз и 8840 не оскорбительных, но только 1320 из них содержат бранные слова [7].

Кроме того, текстовые подходы имеют более высокую временную сложность (так как требуется сначала распознать речь), чем анализ последовательностей звуковых признаков, и требуют большего объема данных для распознавания нужного слова. По этой причине было решено использовать аудио признаки речи для предсказания, а текстовую информацию для корректировки предсказаний и в качестве дополнительного признака. Данный метод позволяет компенсировать задержку ASR-моделей при мультимодальном подходе.

Для обработки аудиоканала было решено использовать MFCC [8] в качестве основного представления для каждого элемента речи. Элементы извлекаются с фиксированным шагом и преобразуются в признаки. Шаг равен 0,34 с, так как это среднее значение длительности элементов (слов и пауз между ними) в собранном наборе данных. Таким образом, каждый элемент последовательности представляется в виде словаря с ключами: "start", "end", "features" и "mask".

Для получения текстовой информации используется ASR Whisper [9] и список различных форм ненормативной лексики, для определения метки слова. Интервалу сигнала присваивается метка "2" – "negative", если во время него произносится слово из списка ненормативной лексики, и "1" – "normal", если нет. Для пауз перед, между и после слов используется метка "0" – "silence".

На основе литературного обзора и исследованных методов обработки речи был предложен подход для предсказания ненормативной лексики. На рисунке 1 представлена схема предлагаемого подхода для предсказания негативных высказываний при работе с потоком речи (работа в реальном времени).

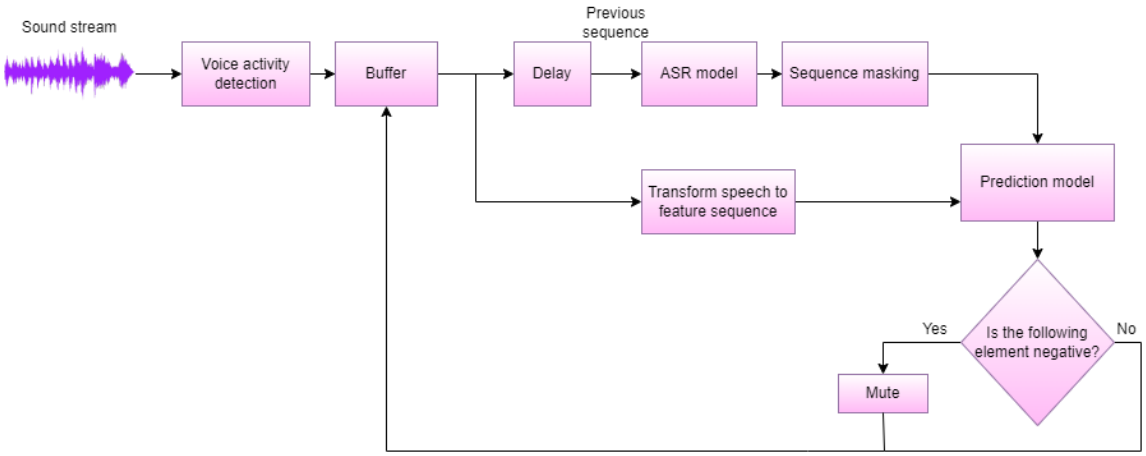


Рисунок. Схема предлагаемого подхода

Предлагаемый подход позволяет работать со звуковым потоком в режиме ожидания. Для начала обработки используется обнаружение активности голоса (VAD). Таким образом, последующие элементы схемы начинают и завершают работу в зависимости от наличия голосовой активности. Буфер позволяет собирать осциллограммы с заданной в настройках длительностью и обрабатывать их с помощью ASR. Каждый новый элемент объединяется с сигналами, которые собирает буфер. Первоначально буфер посылает в ASR-модель последовательность, соответствующую настройкам. Однако после первого предсказания он отправляет каждый новый полученный элемент. Длительность части для анализа планируется с учетом задержки ASR-модели. Раздел "Преобразование речи в последовательность признаков" реализует обработку звука и извлечение из сигнала звуковых признаков. В нашем случае решено преобразовать речь в последовательность MFCC. Модель предсказывает метки следующих слов. На следующем этапе предлагается глушить сигнал на фиксированное время при наличии ненормативной лексики (при предсказании негативного фрагмента).

Реализованные предсказательные модели были протестированы на трех различных наборах данных. Для оценки качества предсказаний рассчитывалась метрика F1. Задержка оценивалась для начального предсказания и может отличаться в дальнейшем. Например, для модели, использующей метки из ASR, нет необходимости каждый раз распознавать всю последовательность, достаточно добавлять новые элементы в буфер и использовать информацию из предыдущих распознаний для других элементов. "Выбранные записи" собираются вручную и не имеют "истинных" аннотаций. В таблице приведены результаты работы протестированных моделей.

Таблица. **Сравнение моделей**

Подход	**F1 score (The main dataset)**	**F1 score (MELD dataset)**	**F1 score (Picked records)**	**Задержка (сек)**	**Объем весов (mb)**
LSTM (MFCC)	86.6	65.2	73.7	0.347	51.53
LSTM (MFCC) + Attention	87.1	65.9	76.7	0.348	231.16
LSTM Wav2Vec + Attention	92.0	71.4	86.6	1.171	432.25
LSTM (MFCC) + ASR + Attention	90.3	67.6	74.6	2.148	231.19

На основании полученных результатов можно выделить:

- что механизм внимания позволяет увеличить производительность при небольшом влиянии на латентность;
- встраивание Wav2Vec обеспечивает наилучшую оценку F1, но является вычислительно сложным и имеет латентность, непригодную для реального времени;
- метки Word повышают точность и резко увеличивают латентность, но использование буферов позволяет с этим справиться;
- наихудшая производительность у набора данных MELD. Это связано с тем, что это набор сценарной речи, в то время как другие наборы являются естественными.

С учетом полученных результатов можно сделать вывод, что метки, передаваемые по текстовому каналу, не дают стабильного прироста производительности, однако с ростом возможностей ASR она может быть лучше, так как методика лучше работает с аннотацией, основанной на достоверности.

Задержка зависит от вычислительных ресурсов, но при мультимодальном подходе можно подстроиться под конкретный подход, увеличив размер буфера, ведь время обработки, как правило, меньше времени прохождения сигнала. Основная идея заключается в том, чтобы найти подходящий размер последовательности для анализа.

В ходе данной работы мы не работали с трансформаторами, поскольку обрабатывали короткие последовательности и основной упор делали на меньшую латентность. Однако работать с ней можно, особенно при большем буфере.

Средние показатели точности недостаточны для того, чтобы использовать его для глушения речи, однако возможно применение данного подхода для систем расширенной фильтрации.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Almerekhi H. et al. PROVOKE: Toxicity trigger detection in conversations from the top 100 subreddits // Data Inf Manag. 2022. Vol. 6. №. 4. P. 100019.
2. Suryawanshi S. et al. Multimodal Meme Dataset (MultiOFF) for Identifying Offensive Content in Image and Text // Proceedings of the Second Workshop on Trolling, Aggression and Cyberbullying. Marseille, France: European Language Resources Association (ELRA). 2020. Pp. 32-41.
3. Yousefi M., Emmanouilidou D. Audio-based Toxic Language Classification using Self-attentive Convolutional Neural Network // 2021 29th European Signal Processing Conference (EUSIPCO). IEEE. 2021. Pp. 11-15.
4. McGarrity L.W. What the F: What swearing reveals about our language, our brains, and ourselves by Benjamin K. Bergen (review) // Language (Baltim). 2017. Vol. 93. P. e372-e374.
5. Andrusenko A., Laptev A., Medennikov I. Exploration of End-to-End ASR for OpenSTT – Russian Open Speech-to-Text Dataset. 2020. Pp. 35-44.
6. Dai W. et al. Kungfupanda at SemEval-2020 Task 12: BERT-Based Multi-Task Learning for Offensive Language Detection. 2020. arXiv:2004.13432v1.
7. Pamungkas E.W., Basile V., Patti V. Investigating the role of swear words in abusive language detection tasks // Lang Resour Eval. 2023. Vol. 57. №. 1. Pp. 155-188.
8. Likitha M.S. et al. Speech based human emotion recognition using MFCC // 2017 International Conference on Wireless Communications, Signal Processing and Networking (WiSPNET). IEEE. 2017. Pp. 2257-2260.
9. Radford A. et al. Robust Speech Recognition via Large-Scale Weak Supervision. 2022. arXiv:2212.04356.

Выпускник
Терещенко Владислав Витальевич
факультет инфокоммуникационных технологий
Направление подготовки: 09.04.03 – Мобильные и облачные технологии
e-mail: vlad-tershch@yandex.ru

Научный руководитель
Горлушкина Наталия Николаевна
к.т.н., доцент
e-mail: nagor@itmo.ru

УДК 004.912

СОЗДАНИЕ РЕКОМЕНДАТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ОФОРМЛЕНИЯ СТРУКТУРНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ДОКУМЕНТАХ ФОРМАТА ODT ДЛЯ СЕРВИСА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО НОРМОКОНТРОЛЯ

В процессе написания научных и выпускных квалификационных работ студенты, а иногда и научные сотрудники, допускают ошибки в оформлении. В результате текст работы может не соответствовать ГОСТам или другим регламентирующим стандартам. Вместе с тем процесс проверки работ научными руководителями и иными уполномоченными лицами проводится преимущественно вручную, что требует больших затрат человеческих усилий. Одним из возможных решений данной проблемы является выделение из документа данных о его объектах, которые могут быть использованы для классификации и поиска несоответствий требованиям стандартов [1]. Также благодаря полученным данным становится возможным создание объектной модели документов различных форматов, результаты реализации которой могут быть использованы для формирования датасетов алгоритмов машинного обучения классификации структурных элементов [2]. В результате создание подобного автоматизированного сервиса нормоконтроля позволит существенно сократить ресурсы, требуемые на ручную проверку документов научными сотрудниками, поскольку появится возможность самостоятельной проверки автором созданного документа с помощью представляемого программного обеспечения, ориентированного на достижение максимального соответствия текста и форматирования работы требованиям нормативных документов. На сегодняшний день проблема автоматизации нормоконтроля документов является достаточно острой, что подтверждается проводимыми исследованиями в этой области. Ярким примером системы нормоконтроля является программное обеспечение MAPDoc, предназначенное для автоматизации процесса контроля оформления документов [3]. Данное приложение позволяет проверять только документы, созданные в среде Microsoft Word, и содержит два различных режима работы, которые зависят от требований пользователя. Интересной особенностью рассматриваемого продукта является его алгоритм работы, поскольку для поиска ошибок в оформлении документов он анализирует текст и его свойства основываясь на восприятии текстового процессора. Другим примером является программа “Ассистент”, предоставляющая возможность автоматизации создания сложной и объемной документации, а также встраивания элементов автоматически обновляемой нумерации для таблиц, рисунков, литературы и формул [4]. Данное программное обеспечение имеет ряд особенностей, таких как потоковая генерация документов на основе динамичных шаблонов, а также интеграция в Microsoft Word.

Проанализировав существующие научные работы и программные реализации автоматизированных нормоконтролеров, было выявлено, что главной проблемой большинства существующих решений является работа с ограниченным количеством форматом документов, основным из которых является формат DOCX. Однако, данный формат в определенных случаях может зависеть от операционной системы устройства и программного

обеспечения, при помощи которого его просматривают и редактируют. В результате оформление документа может измениться, что так же является проблемой.

Таким образом, в сервисе автоматизированного нормоконтроля документов, и его отдельных модулях, включая рекомендательную систему, необходима возможность работы не только с форматом DOCX, но и форматами PDF и ODT. Для успешного достижения этой цели одним из необходимых условий является реализация парсера структурных элементов документов различных форматов, в частности ODT, на одном из языков программирования. Цель работы заключается в автоматизации проверки оформления структурных элементов в документах формата ODT.

В документах формата ODT представление таблиц основано на формировании связей между сетками строк, сетками столбцов и ячеек. В этих связях происходит группирование столбцов и строк, где и определяются границы объекта, что позволяет определить необходимость продолжения таблицы на следующих страницах. Созданное представление также допускает вложенность таблиц документов формата ODT друг в друга, но вместе с тем описанная концепция не учитывает особенности электронных таблиц, которыми такие таблицы могут обладать в отличие от текстовых. Объект table:table является головным элементом любой таблицы, из этой сущности мы можем получить доступ ко всем группам столбцов и строк таблицы. Объект table:table-row ответственен за представление строки в таблице и содержит элементы, определяющие ячейки строки таблицы. Объект table:table-cell ответственен за представление ячеек таблицы и содержится в объекте строки таблицы. Объект table:table-column ответственен за представление столбцов в таблице и хранение их свойств.

Для хранения данных структурных элементов были разработаны специальные унифицированные классы данных, или dataclasses, хранящие атрибуты, необходимые для нормоконтроля. Для реализации концепции хранения таблиц были созданы объекты TableCell, TableRow и Table, наследующие базовый класс Element.

Извлекаемые параметры стилей передаются в специальные вспомогательные функции, занимающиеся конвертацией данных и инициализацией объектов. В случае с таблицами, алгоритм работы с которыми изображен на рисунке 1, выполняется обход всех элементов в автоматических стилях. Для каждого элемента, который содержит любой из табличных объектов, происходит извлечение всех характеристик как родительского, так и всех дочерних узлов. Затем определяется тип исследуемого объекта, формируется коллекция необходимых атрибутов и их значений и инициализированный объект добавляется в результирующую коллекцию.

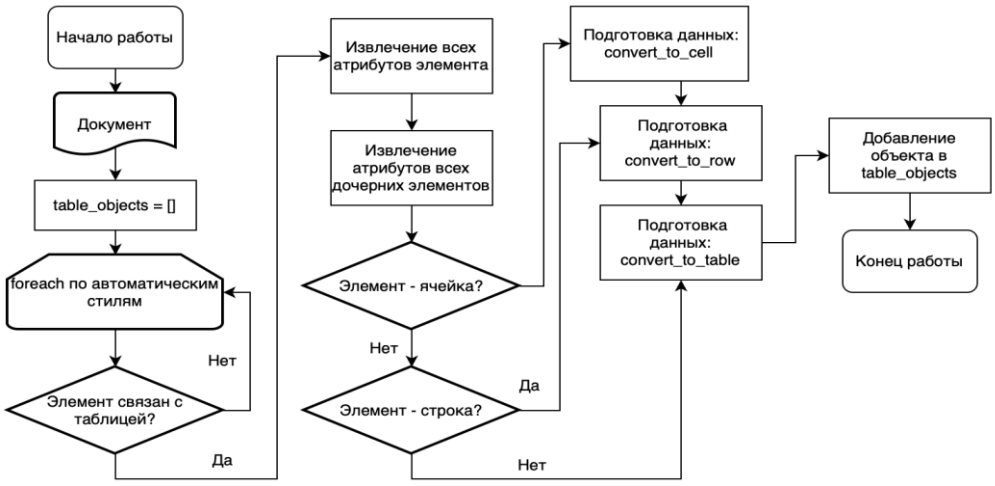


Рис. 1. Алгоритм обработки элементов таблиц

В электронных документах формата ODT представление списков основано на содержании одного головного элемента list-header и любого количества элементов list-item. Сами списки делятся на нумерованные и маркированные, и для каждого пункта списка нумерация может быть продолжена с предыдущего значения. От типа списка и атрибутов его

стилей зависит отображение нумерации и иные свойства. Также списки можно объединять в единый, для чего реализован механизм продолжения нумерации из других списков. Каждый список документа имеет свой определенный уровень, который определяется вложенностью специального элемента list. Каждый список первого уровня задает стиль и значение уровня для всех своих элементов и любых списков, вложенных в исходный. Уровень рассматриваемого списка равен единице в случаях, когда этот список не содержится в другом. В противном случае новое значение пересчитывается, принимая значение уровня родительского списка, увеличенного на единицу.

Для реализации концепции хранения списков был создан объект List, наследующий классы Paragraph и Element. Извлекаемые данные также передаются в специальную вспомогательную функцию, занимающуюся конвертацией данных и инициализацией объектов, алгоритм работы которого схож с описанным ранее алгоритмом для таблиц.

В электронных документах формата ODT хранение изображений происходит в элементах frame. Объекты семейства frame представляют собой специальные контейнеры для расширенного содержимого. К такому типу содержимого относятся изображения, графики, текстовые поля и другие виды данных. Каждый дочерний элемент объекта frame хранит другое представление одного и того же содержимого. Порядок элементов задает сам автор документа, при этом предпочтительным является первый дочерний элемент. Фрейм может содержать несколько элементов содержимого, но должен содержать по крайней мере один. В текстовых документах такие объекты также могут быть использованы для размещения содержимого вне текстового потока документа по умолчанию. Дополнительно каждый frame может содержать несколько различных вариантов отображения содержимого.

Объект draw:frame представляет собой фрейм и служит контейнером для графических объектов, которые могут в нем храниться. Атрибуты рассматриваемого объекта и их значения также хранятся в стилях, принадлежащих семейству графических. Объект draw:image представляет собой изображение, которое может быть либо встроенным в документ объектом, либо ссылкой на внешний ресурс.

Для реализации концепции хранения списков были созданы объекты Frame и Image, наследующие класс Element.

Извлекаемые данные также передаются в специальную вспомогательную функцию, для конвертации данных и инициализации объектов, алгоритм работы которого схож с описанным ранее алгоритмом для таблиц.

Разработанные алгоритмы стали частью подмодуля парсинга документов формата ODT, который в свою очередь является частью общего модуля парсинга, реализующего извлечение информации о структурных элементах из документов ODT, DOCX и PDF, приведение полученных данных к общим унифицированным классам и формирование единого JSON объекта с данными для последующей передачи его в рекомендательную систему.

Для создания рекомендательной системы был выбран веб-фреймворк для построения API-сервисов FastAPI. Созданный модуль реализует проверку оформления структурных элементов документов на соответствие нормам ГОСТов и иных нормативных документов и формирует отчеты с результатами проверки. Данные о документе и его содержимом приходят на вход системы в формате JSON.

Для корректной работы с приходящими данными был создан ряд моделей, ими являются:

1) группа моделей структурных элементов документа, являющихся отражением классов этих элементов, унифицированных для форматов ODT, PDF и DOCX,
2) группа моделей данных об оформлении из базы данных,
3) класс Document – содержащий общую информацию о проверяемом документе и коллекцию структурных элементов.

Для хранения правил оформления структурных элементов и построения базы знаний системы была использована СУБД MySQL. В рамках базы знаний были спроектированы основные сущности и взаимосвязи между ними, изображенные на рисунке 2.

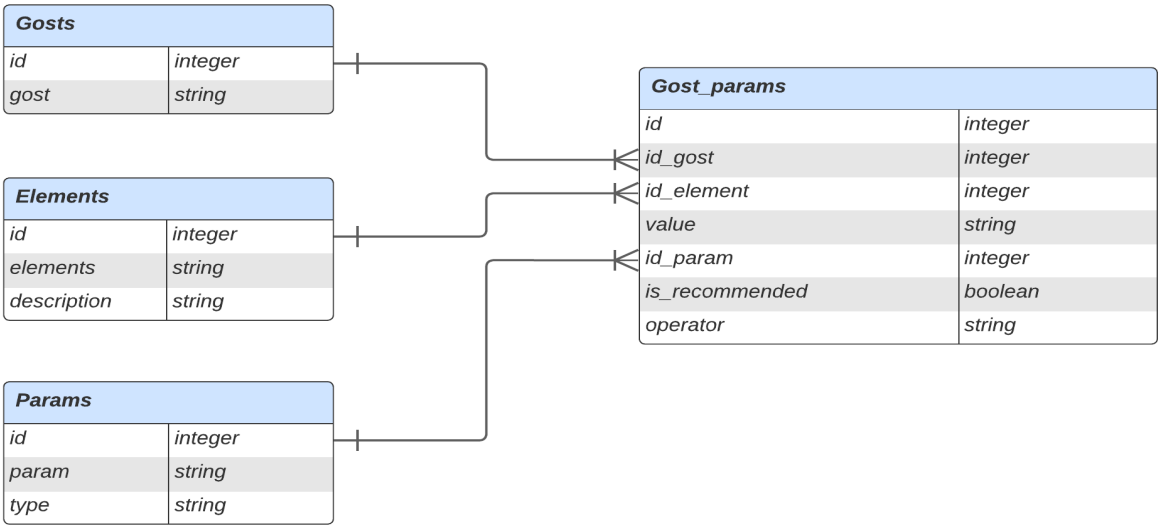


Рис. 2. Сущности для формирования правил

При запуске сервиса происходит извлечение всех записей о правилах соответствующего ГОСТа, формируя коллекцию из экземпляров объектов класса Rule для работы рекомендательного модуля. В проверяющем подмодуле происходит обход каждого пришедшего структурного элемента, затем из коллекции правил извлекаются все связанные с этим элементом правила и выполняется их анализ, что позволяет выставить требования к параметру элемента в соответствии с нормативным документом. После этого проводится анализ параметра. На этом этапе формируется ответ по значению параметра, который может быть:

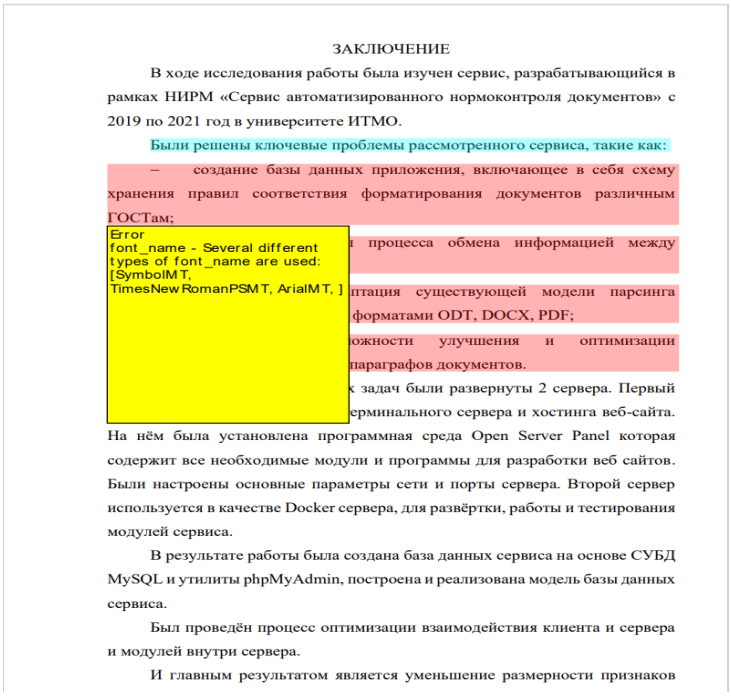
1) error – явная ошибка в оформлении элемента,
2) warning – рекомендация по параметру элемента. Данный ответ связан с тем, что в нормативных документах могут даваться рекомендации по некоторым параметрам элементов, а не точные значения. Например, в ГОСТе 7.32-2017 рекомендуемым шрифтом является Times New Roman,
3) success – в оформлении параметра нет ошибок.

Результат проверки параметра добавляется в тело ответа в специальный раздел с итогами проверки структурного элемента. Таким образом, после проверки всех параметров формируется список ошибок и рекомендаций по конкретному элементу. Каждая сформированная ошибка хранится в базе данных, благодаря чему в веб-версии можно получить все ошибки, связанные с документом.

В рекомендательной системе реализован модуль формирования отчета по результатам проверки. Система формирует итоговый отчет на основе исходного документа, добавляя в него информацию по результатам проверки.

Для удобного восприятия пользователем обнаруженных несоответствий требованиям структурных элементов, неправильные элементы выделяются цветом, соответствующем классу ошибки, где красный соответствует error, а голубой warning.

Для работы с PDF документами была выбрана библиотека PyMuPDF, являющаяся средством просмотра содержимого PDF документа и предоставляющая широкий инструментарий для работы с такими документами. В самом алгоритме по внесению изменений анализируются результаты проверки структурных элементов, формируются записи об ошибках и рекомендациях, которые затем вносятся в документ. Пример обработки PDF документа изображен на рисунке 3.


ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе исследования работы была изучен сервис, разрабатывающийся в рамках НИРМ «Сервис автоматизированного нормоконтроля документов» с 2019 по 2021 год в университете ИТМО.

Были решены ключевые проблемы рассмотренного сервиса, такие как:

– создание базы данных приложения, включающее в себя схему хранения правил соответствия форматирования документов различным ГОСТам;

Error
font_name - Several different types of font_name are used: [SymbolMT, TimesNewRomanPSMT, ArialMT,]

процесса обмена информацией между

птация существующей модели парсинга форматами ODT, DOCX, PDF;

ожности улучшения и оптимизации параграфов документов.

задач были развернуты 2 сервера. Первый рминального сервера и хостинга веб-сайта. На нём была установлена программная среда Open Server Panel которая содержит все необходимые модули и программы для разработки веб сайтов. Были настроены основные параметры сети и порты сервера. Второй сервер используется в качестве Docker сервера, для развёртки, работы и тестирования модулей сервиса.

В результате работы была создана база данных сервиса на основе СУБД MySQL и утилиты phpMyAdmin, построена и реализована модель базы данных сервиса.

Был проведён процесс оптимизации взаимодействия клиента и сервера и модулей внутри сервера.

И главным результатом является уменьшение размерности признаков

Рис. 3. Пример отчета о проверке документа формата PDF

Процесс добавления комментариев об ошибках в документ формата PDF интересен тем, что для выделения неправильных структурных элементов используются данные об их позиционировании на странице в виде координат двух точек.

Для работы с ODT документами была выбрана библиотека Aspose.Words, предназначенная для чтения и управления текстовыми документами. По аналогии с формированием отчетов для документов формата PDF выполняется анализ результатов проверки структурных элементов. Подход к комментированию ошибок в формате ODT отличается от PDF, поскольку в процессе извлечения данных о структурных элементах нет возможности получать информацию о расположении элементов. Поэтому поиск нужных областей в документе выполняется по тексту абзаца. В результате работы рекомендательная система возвращает документ с выделенными ошибками и комментариями о них.

В ходе проведенного исследования был выполнен анализ существующих решений, обеспечивающих процесс автоматизированного нормоконтроля. Были описаны недостатки таких систем и предложено их устранение в рамках реализованной рекомендательной системы для сервиса автоматизированного нормоконтроля. В результате работы были реализованы алгоритмы извлечения информации о структурных элементах документов формата ODT, подготовки этих данных и инициализации соответствующих экземпляров унифицированных классов. На базе созданных алгоритмов был реализован отдельный модуль парсинга документов форматов ODT, PDF и DOCX, реализующийся как решение с открытым исходным кодом.

Были составлены и описаны правила оформления структурных элементов, в соответствии с нормативными документами, на основании которых предлагаются модификации в оформлении по результатам работы реализованной рекомендательной системы. Добавленная генерация отчетов по результатам проверки с выделением областей текста и подробным списком допущенных ошибок позволяет повысить информативность процесса нормоконтроля.

Разработанная рекомендательная система была интегрирована в веб-приложение, позволив выполнить агрегацию разработанных подмодулей сервиса в виде единого программного продукта и автоматизировать проверку оформления структурных элементов не только в документах формата ODT, но и формата PDF.

В дальнейшей работе планируется оптимизировать алгоритмы парсинга структурных элементов документов формата ODT, расширить базу знаний рекомендательной системы

требованиями других нормативных документов и реализовать возможность формирований правил экспертами самостоятельно. Дополнительно необходимо исследовать возможность форматирования документов средствами языка Python, для автоматизации применения рекомендаций.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Кобец Е.А., Насыров Н.Ф., Комаров М.С., Горлушкина Н.Н. Алгоритм формализации требований к оформлению документов для сервиса автоматизированного нормоконтроля // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки. 2021. №. 7. С. 89-95.
2. Кобец Е.А., Насыров Н.Ф., Тартынских П.С., Горлушкина Н.Н. Построение объектной модели эталонного текстового документа для сервиса автоматизированного нормоконтроля // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки. 2021. №. 8. С. 57-63.
3. Самойлова И.А. Некоторые особенности поэтапного алгоритма программы для проверки дипломных работ на нормоконтроль // Молодой ученый. 2016. №. 16. С. 51-53.
4. Нормоконтроль выпускных квалификационных работ. Ассистент. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://eiuk.ru/index.php?option=com_content&view=article&id=48:assistent&catid=35:2009-11-18-16-08-13&Itemid=54 (дата обращения: 15.02.2023).

Выпускник
Шевченко Анастасия Анатольевна
факультет экотехнологий
Направление подготовки: 27.04.01 – Стандартизация и метрология
e-mail: Nastyatimoshevskaya@mail.ru

Научный руководитель
Кустикова Марина Александровна
к.т.н
e-mail: makustikova@itmo.ru

УДК 53.084.86

ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ И СОЦИАЛЬНОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ РЫНКА ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ НА ТЕРРИТОРИИ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА ПРИ РАЗЛИЧНЫХ СХЕМАХ ЕГО ОРГАНИЗАЦИИ

Структура энергетики для Российской Федерации определяет уровень социально-экономического развития общества. Тепловая энергия как ресурс является незаменимым для конечных потребителей. Деятельность рынка теплоэнергии находится под обязательным государственным регулированием. Эффективность теплоснабжения должна полностью обеспечивать конкурентную способность на рынке. Конкуренция энергоснабжающих организаций является двигателем рынка теплоснабжения в городе. Современный рост цен и тарифов на теплоэнергию ухудшает не только условия выживания населения, но и перспективы развития всего промышленного сектора экономики страны [1]. Цель дипломной работы – оценка возможности повышения эффективности рынка тепловой энергии в Санкт-Петербурге. Для успешного достижения цели необходимо сформировать поэтапные задачи:

- исследовать метрологическое обеспечение средств измерения тепловой энергии;
- рассмотреть теоретические аспекты рынка тепловой энергии;
- проанализировать современное функционирование рынка теплоснабжения в Санкт-Петербурге;
- определить рекомендации по модернизации рынка теплоэнергии в Санкт-Петербурге.

Оценка эффективности теплоснабжения зависит от ряда факторов. Наличие аварийных ситуаций на теплопроводах, уровень квалификации инженерно-технического штата, безотказность и ремонтопригодность механизмов оборудования, непрерывное обеспечение потребителей тепловой энергией – ключевые факторы в оценке рынка тепловой энергии. Оценка эффективности является показателем, который определяет уровень эффективного и экономного функционирования сферы теплоснабжения Санкт-Петербурга. Энергоснабжающие компании должны получать достойную оплату, а потребители должны быть обеспечены постоянным и качественным тепловым ресурсом.

Существующая схема теплоснабжения в городе возможна в двух применяемых вариантах. Первый вариант подразумевает под собой энергоснабжающую компанию, которая по своим собственным теплосетям доставляет тепло до конечных потребителей. Второй вариант теплоснабжения возможен, когда энергоснабжающие компании заключают контракты между собой и берут в аренду тепловые сети для транспортирования теплоэнергии [2]. К сожалению, в таком случае происходит объединение потенциально конкурентных компаний. Одной тепловой компании приходится расходовать дополнительные денежные средства на доставку тепловой энергии по арендованным тепловым сетям.

В дипломной работе рассмотрены энергоснабжающие организации, источником тепла которых являются котельные и теплоэнергоцентрали (ТЭЦ). Источник тепловой энергии представляет из себя энергетическую установку, где происходит, нагрев теплоносителя в результате передачи энергии теплоты сжигаемого топлива.

В результате анализа выявлены крупные энергоснабжающие компании Санкт-Петербурга. Выбраны компании, которые выпускают более одного миллиона гигакалорий тепловой энергии в год. Выявлены виды и количества источников тепловой энергии у каждой энергоснабжающей компании. Определены тепловые потери, которые задекларированы энергоснабжающими организациями.

С помощью современного метода SWOT-анализ был исследован рынок теплоснабжения в Санкт-Петербурге. Выявлены сильные, слабые стороны. Обозначены угрозы и возможности для дальнейшего развития сектора теплоснабжения.

В результате изучения государственных стандартов проанализирована схема теплоснабжения в Санкт-Петербурге. В городе присутствует водяная система отопления. Тепловая энергия поступает от источника к потребителям. При транспортировании происходят потери тепловой энергии, которые регистрируют средства измерения. Приборы учёта тепловой энергии наиболее важны для потребителей, ведь именно от их показаний зависит сумма платежей за коммунальные ресурсы [3].

На данный момент тарифообразование в Санкт-Петербурге происходит по затратному методу. Каждый год энергоснабжающие компании предоставляют в органы власти данные за предыдущий период. Поэтому в затратном методе не предусмотрена экономия средств, которая нужна в условиях рыночного ценообразования. Тарифы в Санкт-Петербурге формируются с учётом мнения органов власти государства. В 2022 году произошёл рост тарифов дважды. В июле 2022 года стоимость тарифа составляла 1947,79 рублей, а с декабря 2022 году тариф равнялся 2111,40 рублей. В 2023 году подорожание тарифа не предвидится.

В 2022 году тариф на тепловую энергию вырос на 10,9%. Пенсии по старости в Санкт-Петербурге составили 8,9%. По официальным данным рост средней заработной платы для горожан составил 11%.

Государственные власти России активно занимаются социальной поддержкой для населения. На данный момент функционирует предельный уровень тарифа, по которому отпускается тепловая энергия. Также утверждены стандарты стоимости коммунальных услуг. Разработаны различные варианты поддержки для оплаты тепловой энергии. Внедрены льготные тарифы, которые распространяются на всё населения Санкт-Петербурга, независимо от уровня дохода [4].

Сфера теплоснабжения строится исходя из политики государства. Поэтому при анализе теплоснабжения особое внимание уделялось нормативно-правовой сферы теплоэнергии. На данные момент в Российской Федерации разработаны документы в сфере теплоснабжения. Закон «О теплоснабжении» является первоочередным нормативно-правовым актом. Нормативно-техническая документация, которая касается приборов учёта тепловой энергии представлена различными государственными стандартами.

Для минимизации количества тепловых потерь необходимо внедрить централизованное метрологическое обеспечение. Метрологическое обеспечение всех измерительных систем, которые участвуют в коммерческом учёте тепловой энергии. Для средств измерения нормируются метрологические характеристики, необходимые при правильной работоспособности системы.

Разрабатываемая схема организации тепла включает в себя единую теплораспределяющую организацию(ЕТРО). Между энергоснабжающими компаниями и потребителями контроль будет на ЕТРО. За все тепловые мероприятия в Санкт-Петербурге будет ответственна единая компания. ЕТРО будет масштабным организатором внедрения централизованного метрологического обеспечения, которое поможет снижать и контролировать тепловые потери.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Федеральный закон от 27.07.2010 № 190-ФЗ «О теплоснабжении» - Введён 30.07.2010 - Официальное издание. М.: Стандартинформ, 2010 год. 95 с.

2. Постановление Правительства Российской Федерации от 08.08.2012 № 808 «Об организации теплоснабжения в Российской Федерации и о внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации» - Введён 08.08.2012 - Официальное издание. М.: Стандартинформ, 2012 год. 62 с.
3. ГОСТ Р 56828.24-2017 Энергосбережение. Руководство по применению наилучших доступных технологий для повышения энергоэффективности - Введён 02.01.2018 - Официальное издание. М.: Стандартинформ, 2019 год. 9 с.
4. ИТС 48-2017 Повышение энергетической эффективности при осуществлении хозяйственной и (или) иной деятельности - Введён 01.03.2018 – Росстандарт, 2018 год. 162 с.

МАГИСТРЫ

Участники конкурса на «Лучшую научно-исследовательскую выпускную квалификационную работу магистров Университета ИТМО»

Graduate
Lin Zikai
center for applied optics
field of study:12.04.02 – Optotechnics
e-mail: Linzkaai@gmail.com

Scientific director
Maraev Anton Andreevich
Candidate of Technical Sciences
e-mail: aamaraev@itmo.ru

УДК 535.3

RESEARCH OF ATMOSPHERIC TURBULENCE MITIGATION METHODS FOR IMAGE QUALITY IN SURVEILLANCE SYSTEMS

The goal of this work is to research methods for turbulence effect mitigation and define a method for providing the best quality image observation through turbulent media for surveillance systems.

The following are **the objectives** of achieving the goal of this work:

1. Build a mathematical model of atmospheric turbulence.
2. Select several suitable image restoration methods.
3. Model weak and strong turbulence fluctuations to generate degraded images.
4. Develop an experimental setup to obtain images from real weak and strong turbulence. Compare and select image restoration methods by analyzing the modeling and simulation recovery results.
5. Restore real images collected in the experiment using the selected method and compare them with simulation results.

Atmospheric Turbulence Modeling

The influence of atmospheric turbulence on imaging can be expressed by the following formula [1]:

$$\tilde{I} = D(H(I)) + n.$$

Among them, H represents the PSF function, which is the factor that causes image blur; D represents the factor that causes the image to randomly tilt; n is random noise. The model thus consists of two parts - adding blur [2] and adding tilt [3]. The following figure shows the specific process (Fig. 1, 2).

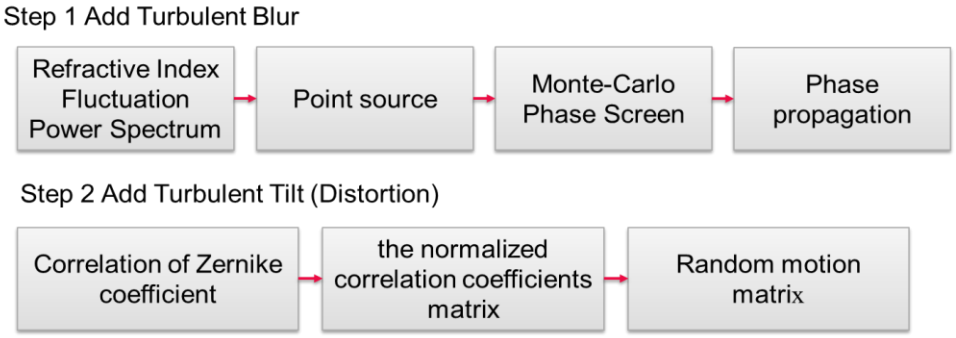


Fig. 1. Atmospheric Turbulence Model. Total process

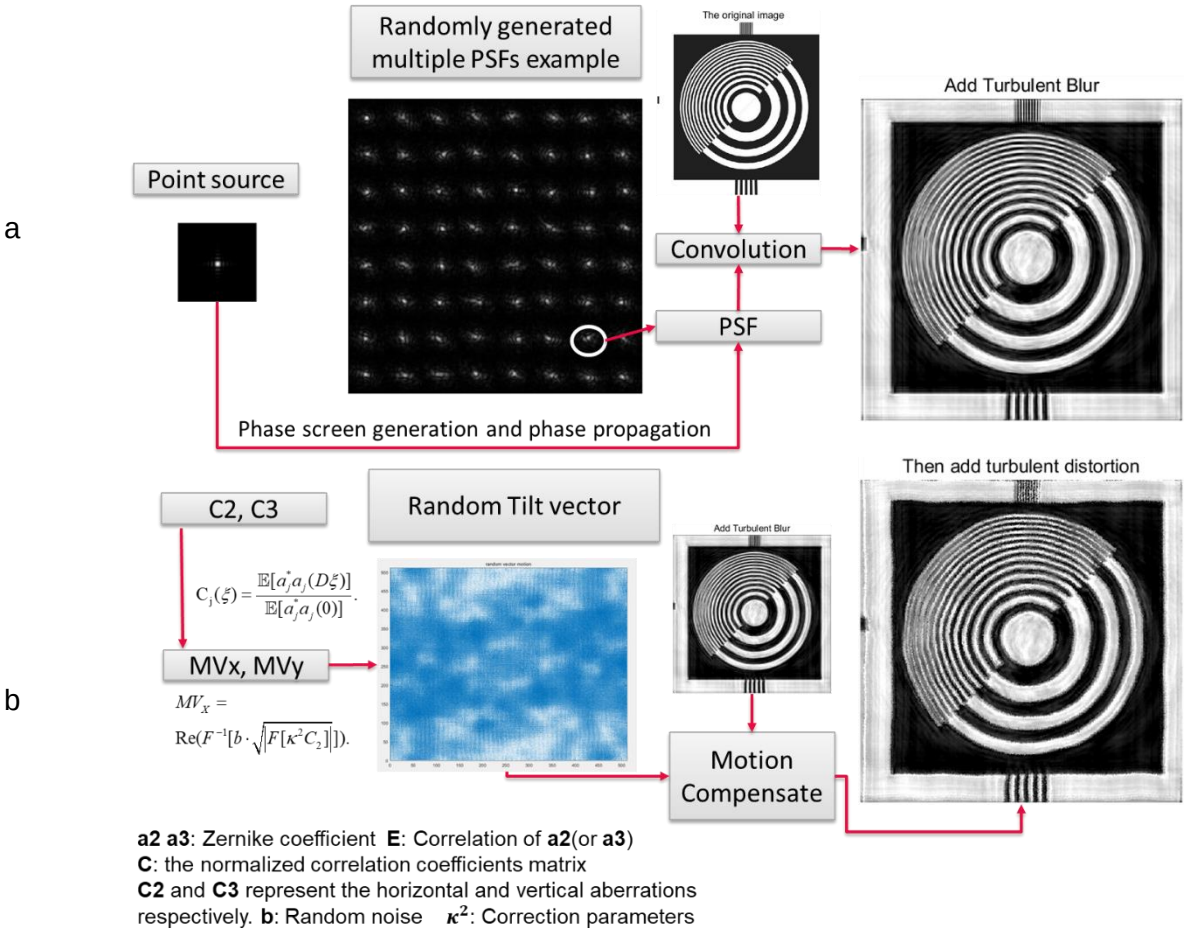


Fig. 2. Atmospheric Turbulence Model: a) Add Blur; b) Add tilt

The following table is the starting parameters (Table 1).

Table 1. **Model parameters for simulating lateral atmospheric turbulence**

Source	Gauss-sinc point source	Phase screen type	Anisotropic Modified von Karman with subharmonics
Path length	200 m	Inner scale	l0 = 0.001m
Propagation step	Δz = 25m	Outer scale	L0 = 100m
Number of phase screens	n = 9	Image size (pixels)	512×512 pixels

The result images are shown in the figure below (Fig. 3).

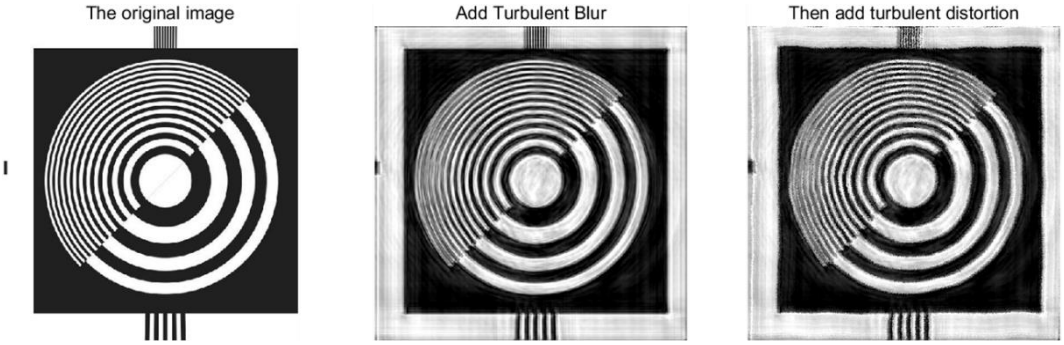


Fig. 3. Weak turbulence simulation results

The distinction between weak and strong turbulence is governed by the atmospheric coherence diameter r0. Stronger turbulence has smaller r0 values. The coherent diameter of strong turbulent

flow is 0.05m. The coherent diameter of weak turbulence is 0.1m. Fig. 4 shows the simulation result of strong turbulent flow.

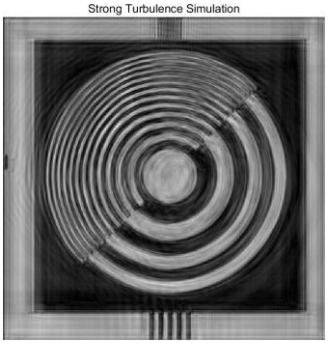


Fig. 4. Strong turbulence simulation result

Turbulent Image Restoration Algorithm

Wiener filtering, regularized filtering, Lucy-Richardson method, and blind deconvolution were chosen to restore images passing through the turbulence model, and the advantages and disadvantages of the four methods are shown in Table 2.

Table 2. **Image Restoration Methods Comparison**

	Conditions Of Applying	**Demerit**	**Advantage**
Wiener filter	The frequency characteristic of the image and additive noise are known	Unable to reconstruct frequency components; Amplify the noise	Fast; Remove additive noise and invert blurring simultaneously
Regularized filter	Smoothness; Limited information is known about the additive noise	Low-pass filtering effects will be amplified with strong noise affect	solving ill posed problems
Lucy-Richardson Algorithm	PSF is known; Little or no noise information	PSF plays an important role	Good for moving and blurring image
Blind Deconvolution Algorithm	Without specific knowledge of degradation filter, additive noise and PSF	Take long time in processing	Improving image quality without requiring complicated calibration

The simulation results of weak turbulence and strong turbulence are restored using four restoration methods, and the intercepted part of the result is shown in the figure 5.

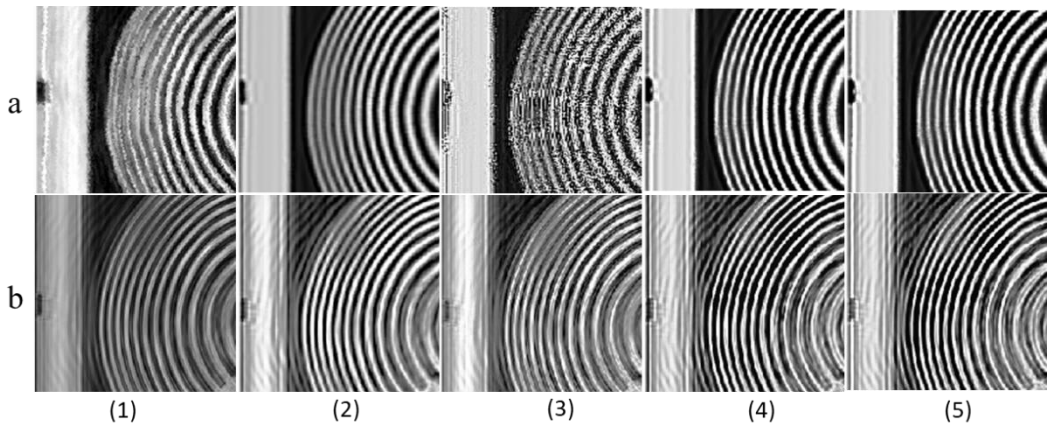


Fig. 5. Algorithm Recovery Results: a) Weak Turbulent; b) Strong Turbulent; 1) Degraded image; 2) Wiener filter; 3) Regularized filter; 4) Lucy-Richardson Algorithm; 5) Blind Deconvolution Algorithm

The results were evaluated using signal-to-noise ratio (SNR), structural similarity (SSIM), and Modulation transfer function (MTF). The results are shown in Table 3.

Table 3. **Simulated strong and weak turbulence algorithm recovery results**

Type	Index	(1) Degraded image	(2) WF	(3) RF	(4) LR	(5) BD
Strong turbulen-ce	Max SNR (dB)	12	21	24.8	16.5	17
	Max SSIM	0.45	0.62	0.8	0.6	0.64
	MTF50 (lp/mm)	100.5	105.3	81.5	119.8	129.5
Weak turbulen-ce	Max SNR (dB)	27	37	25	33	32
	Max SSIM	0.65	0.9	0.54	0.74	0.76
	MTF50 (lp/mm)	118.25	140	79.8	168	170.8

Compared with weak turbulence, image degradation is more serious in strong turbulence, and the recovery ability of the restoration method is weaker than that in weak turbulence because the highest SNR value for strong turbulence is 24.8dB, which is less than the 37dB for weak turbulence. Under two conditions, regularized filtering does not improve image quality. The LR method and the blind deconvolution method can better improve the image quality, compare their recovery ability. Strong turbulence compared to weak turbulence will reduce 61.2% and 44.8% respectively.

Experimental Setup

To investigate the performance of these four methods on degraded images of the real atmosphere, an experiment was set up. Its structure is shown in Figure 6. The object is an ISQ-9-100A resolution test image printed on A4 paper. Thermal turbulence was used instead of real turbulence [4], and the optical system consisted of an objective and CMOS camera EVS VEC-545-USB.

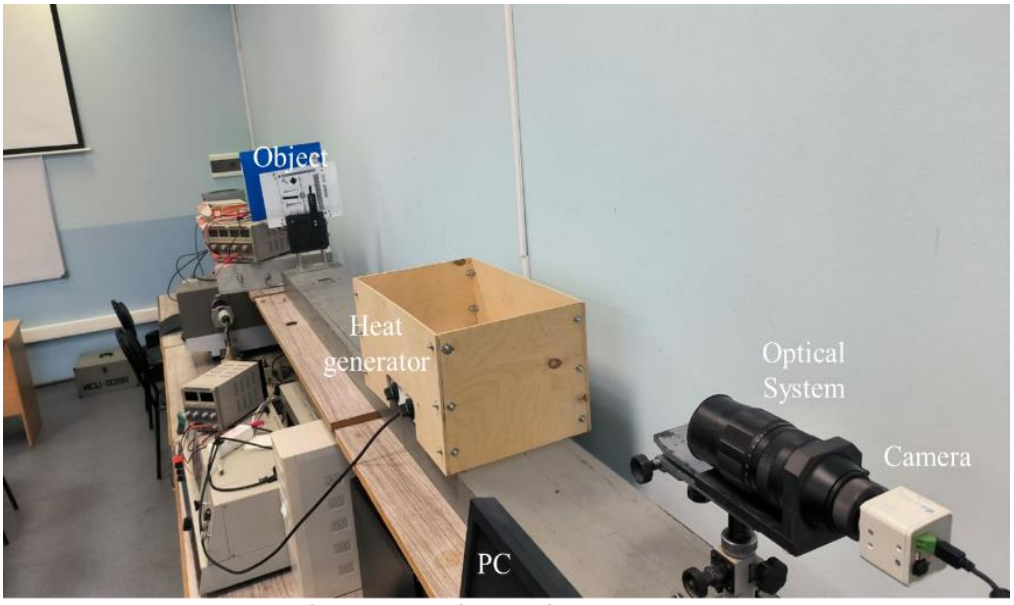


Fig. 6. Experimental set structure

After turning on the heat source for 2 minutes to stabilize the operation, we use CMOS to shoot the real turbulence video behind the heat source. The resulting video has random jitters. After alignment and lucky frame extraction [5, 6], the baseline degraded image is obtained. Figure 7 shows the comparison of videos after preprocessing and before preprocessing (temporal average). It can be found that the degraded image after preprocessing is closer to the image without turbulence.

By comparing the SNR and SSIM between real turbulence and simulated turbulence. It is found that the similarity between real turbulence and weak turbulence is high. The degraded image after preprocessing is also restored. The values shown in the table 4 are obtained.

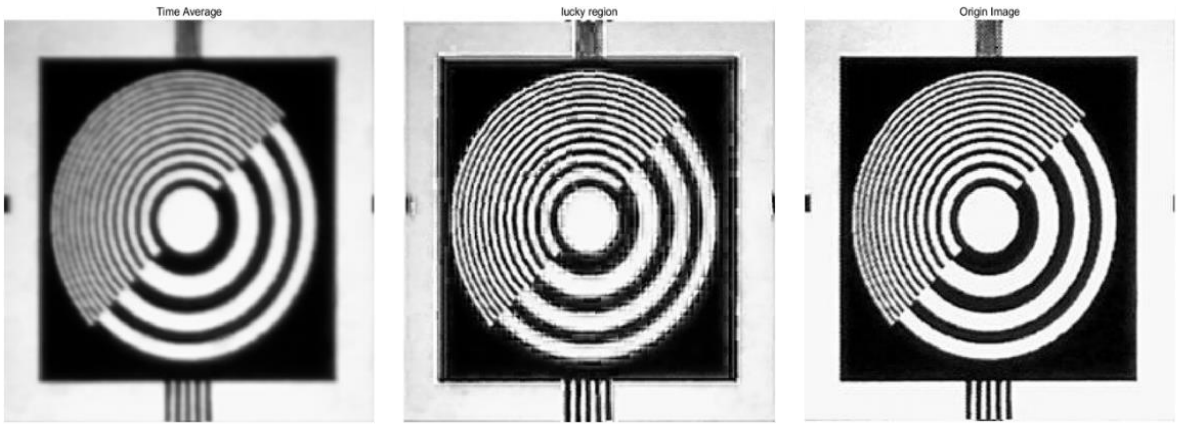


Fig. 7. Preprocessing comparison

Table 4. **Real turbulence algorithm recovery results**

Index	(1) Degraded image	(2) WF	(3) RF	(4) LR	(5) BD
Max SNR (dB)	15	24	20	21	23
Max SSIM	0.6	0.78	0.52	0.75	0.85
MTF50 (lp/mm)	49.8	94.5	49	105.3	110

The image quality of four different image restoration algorithms was evaluated. For strong turbulence, SSIM, SNR and MTF50 will decrease, and it is found that the regularization filter is the worst, with values of 0.52, 20dB, 49lp/mm, and even some evaluation indicators are lower than the corresponding values of degraded images (0.6, 15dB, 49.8lp /mm). The low image quality of image regularization filtering is due to the noise caused by the characteristics of the readout circuit and transmission lines in the image captured by CMOS, which is amplified during the processing. In the SSIM evaluation, the blind convolution method has the highest similarity with the original image at 0.85, while the regularized filter has the lowest similarity. The results of the L-R method and the Wiener filter are similar, and the L-R filter and the blind deconvolution filter can increase the MTF50 of the degraded image by about 80%.

Conclusion

1. The Wiener filter method has better SNR (37 dB) and SSIM (0.9) values under weak turbulence conditions.
2. The regularised filter has the highest SNR and SSIM values under strong turbulence conditions, but is not far from the other methods.
3. All four recovery methods showed reduced recovery under strong turbulence conditions, with an overall decrease in SNR values and a decrease in MTF50 values.
4. Except for position 4, the L-R method and the blind deconvolution method have better MTF50 values under both weak and strong turbulence, ranging from 165 to 223 cycles/mm under weak turbulence and 107 to 139 cycles/mm under strong turbulence.
5. The actual experimental results obtained were more favourable to weak turbulence conditions.
6. All four mitigation methods were able to improve the image quality of the actual degraded images. The Wiener filtering method has the highest SNR value (24 dB). This is followed by the blind deconvolution method.
7. The Wiener filter and the regularisation filter amplify the noise in the processing.
8. The L-R method and the Wiener filter give similar results. The L-R method and the blind deconvolution method can improve the MTF50 of the degraded image by about 80% in the vertical, horizontal and skew cases.
9. The processed image has a ripple around the edges. This is the "ringing phenomenon" and should be addressed as a priority in future work.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Wang F., Zhang K. etc. A turbulence-degraded image restoration algorithm using the maximum likelihood estimation method // Applied Mechanics and Materials. 2014. Vol. 543 (547). Pp. 2391-2394.
2. Schmidt J.D. Numerical simulation of optical wave propagation with examples in MATLAB[J]. (No Title). 2010. DOI:10.1117/3.866274.
3. Chimitt N., Chan S.H. Simulating anisoplanatic turbulence by sampling intermodal and spatially correlated Zernike coefficients[J] // Optical Engineering. 2020. №. 59 (8). Pp. 083101-083101.
4. Anantrasirichai N., Achim A., Kingsbury N.G., Bull D.R. Atmospheric Turbulence Mitigation Using Complex Wavelet-Based Fusion // IEEE Transactions on Image Processing. 2013. Vol. 22. №. 6. Pp. 2398-2408. DOI: 10.1109/TIP. 2013.2249078.
5. Guizar M. Efficient subpixel image registration by cross-correlation. [Electronic resource]. – Access mode: https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/18401 (date of access: 13.07.2023).
6. Mao Z., Chimitt N., Chan S.H. Image reconstruction of static and dynamic scenes through anisoplanatic turbulence // IEEE Transactions on Computational Imaging. 2020. №. 6. Pp. 1415-1428.

Выпускник
Авраменко Антон Дмитриевич
факультет программной инженерии и компьютерной техники
Направление подготовки: 09.04.04 – Программная инженерия
e-mail: anton99910@gmail.com

Научный руководитель
Балакшин Павел Валерьевич
к.т.н.
e-mail: pvbalakshin@itmo.ru

УДК 004.4'236:004.896

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ЗАГРУЗКИ ГРАФИКОВ ПЛАТЕЖЕЙ

Современный бизнес, а также государственные структуры всё больше в своей работе применяют электронный документооборот (ЭДО). Основное преимущество, предоставляемое электронным документооборотом – электронная подпись документов, однако стоит отметить, что вместе с подписанием электронных документов происходит также хранение таких документов и данных о них в различных информационных системах. В связи с хранением данных в различных информационных системах встает задача переноса данных между информационными системами. Именно с этой проблемой столкнулся заказчик разрабатываемой системы: загрузка графиков лизинговых платежей в систему регламентированного учета вручную сотрудниками лизинговой компании является трудозатратным процессом, кроме того, ручной перенос ведет к появлению ошибок ввиду человеческого фактора.

Решить поставленную задачу загрузки графиков лизинговых платежей в систему регламентированного учета предлагается с использованием программной автоматизации. Для разработки решения были исследованы две информационные системы, предоставляющие исходные данные о графика лизинговых платежей, а также целевая система, в которую необходимо внести графики лизинговых платежей, описание систем приведено в таблице.

Таблица. **Описание автоматизируемых систем**

Система	Описание
Кредитный конвейер	Веб-приложение позволяющее заводить и отслеживать на всех этапах сделку автомобильного лизинга, хранит в себе все параметры договора. К параметрам договора относятся: номер договора, статус, дата заключения договора, дата акта приемки передачи, тип договора. Перечисленные параметры должны быть внесены в целевую систему регламентированного учета
Система генерации целевых графиков	Приложение на базе «1С: Предприятие 8.3» позволяющее генерировать показатели договора лизинга, а также графики лизинговых платежей, основываясь на параметрах договора
Целевая система регламентированного учета	Приложение на базе «1С: Предприятие 8.3» используется для ведения регламентированного учета внутри автолизинговой компании. Имеет набор проверок загружаемых графиков для соблюдения внутреннего регламента компании, результат выполнения проверок должен быть отображен пользователю

Ключевой особенностью всех представленных систем является отсутствие программного интерфейса взаимодействия, что вынуждает использовать графический интерфейс приложения для автоматизации процесса. Для взаимодействия с графическим интерфейсом интегрируемых приложений были рассмотрены два способа интеграции:

Microsoft UI Automation и Robotic Process Automation (RPA) [1]. В результате сравнения, основываясь на возможности масштабирования и ведения логирования, было отдано предпочтение технологии RPA [2] в лице решения от компании UiPath, ввиду наличия лицензий у заказчика продукта. Основываясь на ручных шагах, представленных лизинговой компанией, которые необходимо предпринять для загрузки графиков, был составлен и реализован алгоритм загрузки графиков, сокращенный вариант алгоритма представлен на рисунке 1.

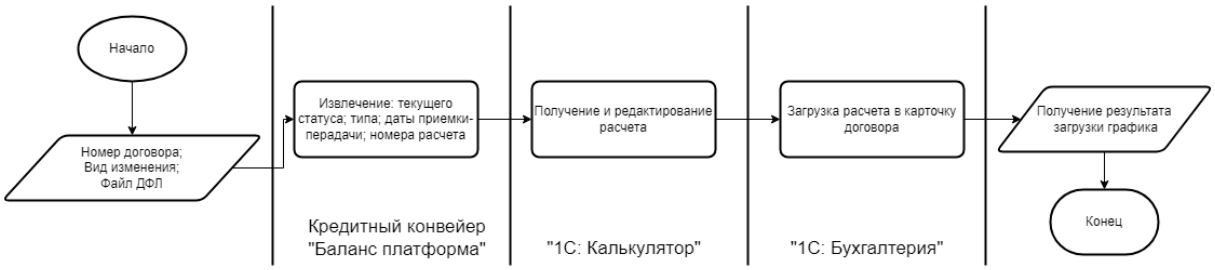


Рис. 1. Сокращенная версия алгоритма, разработанная на основе ручных шагов, выполняемых пользователем

Таже были разработаны диаграммы потоков данных, отображающие набор параметров, которые необходимо передавать между интегрируемыми системами. Были учтены все возможные ситуации, в которых в интегрируемых системах могут возникать ошибки для всех подобных ситуаций, были разработаны способы обработки ошибок.

Компания UiPath предоставляет два вида программных роботов: сопровождаемые и несопровождаемые. Сопровождаемые программные роботы используются в качестве персонального помощника, запускаются на компьютере пользователя, во время их работы нет возможности выполнять другие задачи. Несопровождаемые роботы же запускаются на удаленной или виртуальной машине, во время их работы пользователь может выполнять другие задачи на собственной машине, кроме того, одним несопровождаемым роботом может пользоваться несколько пользователей. Исходя из этого, лучшим вариантом для выполнения поставленной задачи являются несопровождаемые программные роботы.

Для запуска несопровождаемых программных роботов UiPath предоставляет следующие способы запуска: ручной запуск, запуск согласно расписанию, запуск по добавлению заявки в очередь. Каждый из приведенных способов имеют свои проблемы и недостатки [3].

Ручной запуск не подходит для промышленной эксплуатации ввиду того, что запуск происходит с использованием интерфейса администрирования программных роботов, к которому нет доступа у регулярных пользователей.

Запуск, согласно расписанию, подходит для промышленной эксплуатации, однако не гарантирует запуска робота сразу после того, как пользователь создал заявку.

Запуск робота по добавлению заявки в очередь не имеет недостатков предыдущих способов, однако в стандартной реализации требует дополнительного лицензирования продукта UiPath Apps, лицензий данного типа у заказчика системы нет.

В качестве дополнительных способов запуска были предложены два способа основывающихся на шаблоне «Производитель-потребитель» и использующие стандартный способ запуска по добавлению заявки в очередь.

Первый предложенный способ запуска – «Несопровождаемый робот производитель». В данном способе запуска предполагается использовать дополнительного несопровождаемого робота в качестве процесса производителя. производителем является ещё одни несопровождаемый программный робот. С данным роботом производителем взаимодействует пользователь посредствам ресурса посредника (электронная почта, файловая система), информацию о результате выполнения автоматизации пользователь также получает средствами электронной почты. На рисунке 2 представлена высокоуровневая архитектура данного способа запуска целевого процесса автоматизации.

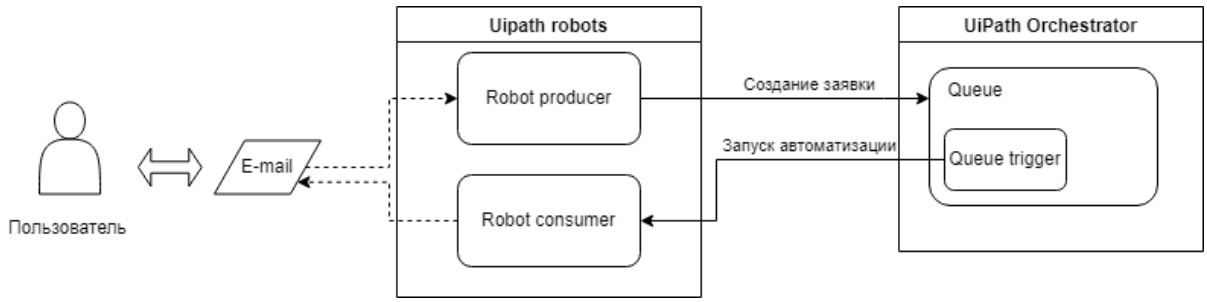


Рис. 2. Архитектура системы с несопровождаемым роботом производителем

Данный способ обладает набором недостатков, а именно: излишнее использование лицензий несопровождаемых роботов; возможность взаимодействия пользователя с роботом производителем не напрямую, а через ресурсы посредники (электронная почта, файловая система), что приводит к невозможности валидации входных параметров для задач, а также невозможности отображения, как текущего статуса заявки, так и всей очереди заявок, что является несоблюдением требований к разрабатываемой системе.

Второй предложенный способ запуска – «Использование API роботов дополнительным приложением». В данном способе запуска предполагается использовать дополнительно веб-приложение в качестве процесса производителя, данное приложение использует API программных роботов для добавления заявки в очередь.

Верхнеуровневая архитектура разработанного способа запуска представлена на рисунке 3.

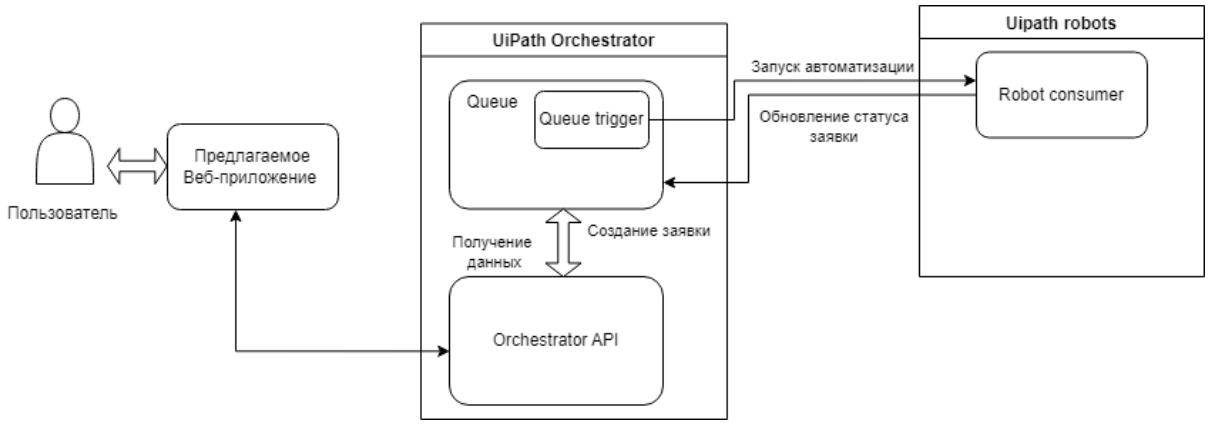


Рис. 3. Верхнеуровневая архитектура предлагаемой системы

Представленный способ запуска не имеет недостатков как стандартных способов запуска, так и первого предложенного способа запуска, кроме того, он предоставляет пользователю более удобный интерфейс взаимодействия с системой, а также позволяет выводить дополнительные данные, например отчетность.

На основе разработанного алгоритма был реализован программный робот, также было реализовано веб-приложение, с помощью которого пользователи могут отправлять звяки в систему. В веб приложение реализована бесшовная авторизация пользователей с использованием Integrated Windows Authentication, кроме того, такой вид аутентификации позволяет определить уровень доступа пользователя основываясь на группах, к которым относится пользователей внутри домена компании, что упрощает добавление новых пользователей в систему.

Реализованная система была внедрена в промышленную эксплуатацию в компании заказчика. За всё время промышленной эксплуатации системы сотрудниками заказчика было отправлено 1497 заявок из которых 1179 были обработаны успешно. На рисунке 4 представлена диаграмма распределения статусов, с которыми были завершены загрузки заявок. Данные получены из отчета, сформированного системой.

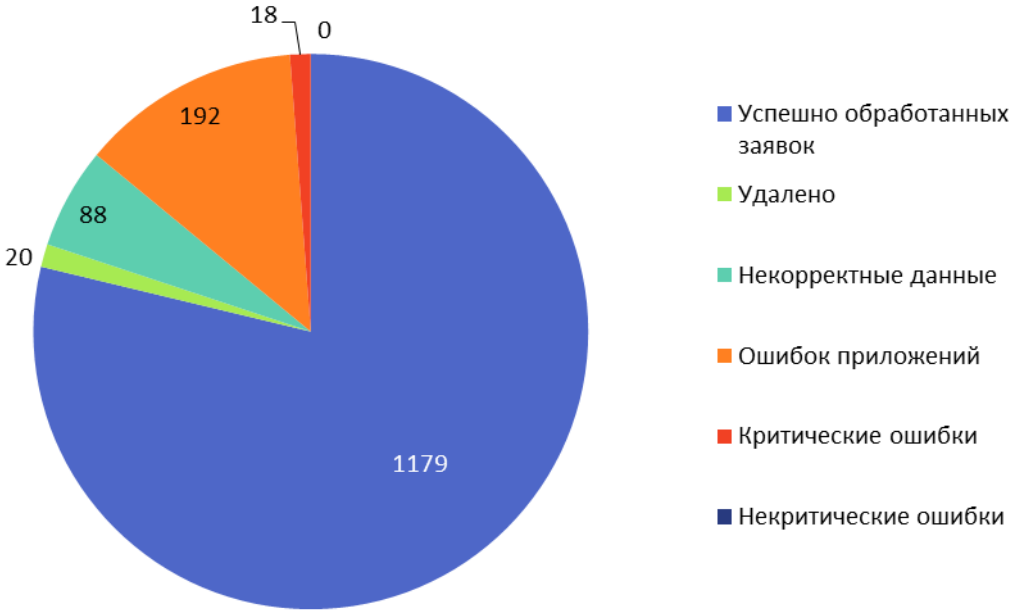


Рис. 4. Статусы завершения загрузки заявок

Использование системы позволило сократить время на загрузку одного графика лизинговых платежей с 27 минут (при ручной загрузке) до 2 минут, что в свою очередь позволило сэкономить 636 человеко-часов рабочего времени за 10 месяцев использования системы в промышленной эксплуатации.

В дальнейшей работе планируется расширение списка автоматизируемых процессов, а также использование российского поставщика программных роботов PIX вместо иностранного.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Кузьмин А.А. RPA – современная технология автоматизации бизнес-процессов // Наука и образование сегодня. 2020. №. 5. С. 8-9.
2. Kaya C.T., Turkyilmaz M., Birol B. Impact of RPA technologies on accounting systems // J. Acc. Finance. 2019. №. 82. Pp. 235-250.
3. Беломытцев И.О. Основные проблемы внедрения решений, основанных на роботизированной автоматизации процессов (RPA) // Инновационная наука. 2019. №. 4. С. 18-20.

Выпускник
Адхамов Фирдавс Садриддин угли
факультет биотехнологий
Направление подготовки: 19.04.01 – Биотехнология
e-mail: adkhamov.firdavs@mail.ru

Научный руководитель
Кременевская Марианна Игоревна
доцент, д.т.н.
e-mail: mikremenevskaia@itmo.ru

УДК 631.811.98

БИОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ БИОСТИМУЛЯТОРА НА ВОЗДЕЛЫВАНИЕ ПШЕНИЦЫ

Использование белковый гидролизат в сельскохозяйственной практике для улучшения продуктивности и устойчивости сельскохозяйственных культур в последние годы резко возросло, о чем также свидетельствует быстрый рост их рынка. Аминокислоты для производства биостимуляторов получают путем химического синтеза из белков растений (например, водорослей, кукурузы и сои), а также из белков животного происхождения путем химического или ферментативного гидролиза. Белковые гидролизаты обычно производятся из сельскохозяйственных или промышленных отходов в качестве сырья, что представляет собой хороший пример экономики замкнутого цикла. Применение белковых гидролизатов в растениеводстве позволяет снизить нагрузку на почву и использовать меньшее количество химических удобрений. Это, в свою очередь, способствует сохранению экологического баланса и росту экологической безопасности. Белковый гидролиз коллагенового происхождения подаваемые либо внекорневой подкормкой, либо пропитыванием почвы, способствуют росту и развитию сельскохозяйственных культур. Белковый стимулятор может быть использован для повышения урожайности и качества посевов пшеницы. Анализируя статьи по применению белковых гидролизатов на посевах пшеницы, было выявлено, что белковые гидролизаты положительно влияют на морфологические признаки, урожайность пшеницы и качество зерна [1, 2].

Во многих работах по применении белковых стимуляторов не было изучено комплексность задач по получению белкового гидролизата и с последующим обеспечению биологическую эффективность сельскохозяйственных растений. Одним из технологий применения биостимуляторов роста растений является внекорневое опрыскивание растений в период вегетации. Однако опрыскивание посевов пшеницы имеет свои минусы. Это высокая стоимость, опрыскивание посевов может быть очень дорогостоящим. Необходимость повторения процесса несколько раз в сезон, увеличивает стоимость. А также технический сложность опрыскивания в посевах пшеницы. Таким образом, аналитический обзор научно-технической информации показывает необходимость исследования новых продуктов, полученных методом глубокой переработки побочного сырья мясоперерабатывающих производств, обладающих стимулирующим действием при обработке растений. Поэтому, целью исследования является биологически обосновать применение биостимулятора на возделывание пшеницы.

Для чего необходимо решить следующие задачи:

- разработать технологию применения биостимулятора (белкового гидролизата) на посевах яровой пшеницы;
- исследовать влияние белковых гидролизатов на фитометрические, фитопатологические характеристики;
- определить влияние белковых гидролизатов на урожайность яровой пшеницы.

Объектом исследования выступала белковый стимулятор сырьем для получения использовался спилки гольевого говяжьего («Белковый стимулятор», R) и модернизированный («Белковый стимулятор 96», RM). Белковый гидролизат изготовлен по уникальной технологии на факультете пищевых биотехнологий Университета ИТМО из продуктов переработки убойных животных (Патент РФ № RU2533037).

А также объектом исследования выступала влагопоглощающая полимерная гидрогелевая композиция на основе акрилата калия и N,N'–метиленбисакриламида в качестве сшивающего агента. Полимерный гидрогель на основе акрилата калия был изготовлен по уникальной технологии в Международном научно-исследовательском институте биоинженерии Университета ИТМО.

Исследования воздействия композитов гидрогеля и белковых гидролизатов на яровую пшеницу проводили совместно с Центром ХИ Университета ИТМО и СПбГАУ. В исследовании влияния белковых гидролизатов на возделывания яровой пшеницы был выбран районированный сорт пшеницы Ленинградская 6.

Исследование влияние белкового гидролизата на посевы пшеницы, можно улучшить технологию возделывания и применить замачивание семян пшеницы белковым стимулятором. При замачивании семян в воде, вода проникает внутрь семени и начинает размягчать его оболочку, что упрощает прорастание. В тоже время, раствор с белковым стимулятором, также проникает внутрь семени через его оболочку и питает внутренние клетки растения, давая им необходимые питательные вещества для начала прорастания и роста. По мере того, как семена замачиваются, они поглощают воду вместе с раствором, вследствие чего питательные вещества проникают внутрь семени и начинают активно работать с первых минут его прорастания. При таком исследование можно детально проследить влияние белкового гидролизата на всхожесть семян, на морфологические признаки растений, на фазу онтогенеза, на формирование корней пшеницы. В данном исследовании процесс замачивания семян в растворе происходило в течение 24 часов в растворе биостимулятора роста растений концентрацией 0,195 г/л. Полимерный гидрогель наносили на почву в сухом виде перед посевом пшеницы. Гидрогель будет препятствовать пересыханию растений и постепенно отдавать влагу корням.

В полевом опыте сорт пшеницы была высеяна в 15 мая вручную на делянках площадью 1 м^2, рядовым способом посева с междурядьями 15 см и расстоянием между растениями в ряду 1-2 см. Ширина защитной зоны между делянками составляет 1,2 м. Для каждого образца учетная делянка состояла из 6 рядков. Норма высева семян составила 300 зерен на 1 м^2. Глубина заделки семян: 5-6 см. Посев, уход за растениями и уборка проведены согласно Методическим указаниям Всероссийского института генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова (ВИР) [3].

Схема опыта замачивания семян яровой пшеницы белковым стимуляторов роста растений и внесении полимерного гидрогеля в почву была следующая:

- «Контроль» - без внесения обработок в почву;
- «0,5G» – гидрогель (в перерасчете на возможность связывания 200 мл воды) 3 г на 1 м^2 или 30 кг/га;
- «1G» – гидрогель (в перерасчете на возможность связывания 400 мл воды) 6 г на 1 м^2 или 60 кг/га;
- «1G:2RM» – гидрогель 6 г на 1 м^2 или 60 кг/га + семена, пропитанные модернизированный «Белковый стимулятор 96», (RM);
- «0,5G:1RM» – гидрогель 3 г на 1 м^2 или 30 кг/га + семена, модернизированный «Белковый стимулятор 96», (RM);
- «1G:2R» – гидрогель 6 г на 1 м^2 или 60 кг/га + семена, пропитанные «Белковый стимулятор», (R);
- «0,5G:1R» – гидрогель 3 г на 1 м^2 или 30 кг/га + семена, пропитанные «Белковый стимулятор», (R).

Продуктивность пшеницы характеризовано по показателям полевой всхожесть семян, морфологические признаки растений и структура урожайности мягкой пшеницы. Морфологические характеристики такие, как фазы онтогенеза пшеницы, сделано по Eucarpia (EC)-scale (Zadoks scale). В период кущения пшеницы определяли число первичных и узловых корней, их длину и массу. А также в фаре налива зерна определяли фитометрические характеристика пшеницы: число продуктивной и общей кустистости; масса вегетативной части растений; площадь предфлаговых и флаговых листьев в соответствии с методическими указаниями Института СПбГАУ [3]. Структуру урожайности изучали по числу колосков в колосе, шт.; длине колоса, см; массе колоса с зерном, г; числу зерен в колосе, шт.; массе зерен с колоса; массе 1000 зерен. Объем выборки для каждого варианта эксперимента составил 10-15 растений, что обеспечило достоверный результат.

Потенциальная урожайность пшеницы сорта Ленинградская 6 $Y_п$ (т/га) определялась путем расчета биологической урожайностью одного растения (1), количеством зерен, высеянных на 1 м^2 (300 в нашем эксперименте), полевой всхожестью:

$$Y_п = \frac{300*\frac{V_п}{100}*10000}{1000000} * Y_{б.п} = 0{,}03 * V_п * Y_{б.п}\ , \quad (1)$$

где 0,03 – коэффициент, характеризующий внесение 300 зерен пшеницы на 1 м^2 расчетного участка; $Y_{б.п}$ – биологическая продуктивность одного растения, г/растение, $V_п$ – полевая всхожесть, %.

А также было изучено влияние белковых стимуляторов роста растений в различных композициях на фитопатологические характеристики посевов яровой пшеницы. Для учета интенсивности болезней у пшеницы листья были приурочены к основным фазам и стадиям онтогенеза пшеницы: фаза кущения (полное кущение), фаза флагового листа (выход в трубку; раскрытие последней листовой оболочки), колошение (окончание колошения), цветение (начало цветения; конец цветения) и созревание (молочная спелость зерна; восковая спелость). Оценку степени поражения растений корневыми гнилями проводили в лабораторных условиях в фазу законченного кущения пшеницы и колошения-цветения [4].

Для расчета биологической эффективности (BE) с точки зрения снижения зараженности пшеницы патогенами использовалась формула Эбботта (2):

$$BE = (R_k - R_v)/R_k * 100, \quad (2)$$

где R_k и R_v – развитие заболевания или дополнительные фитопатологические характеристики патогенеза (количество пустул, пятен и т. д.), определенные при контрольном и экспериментальном варианте опыта.

При оценке влияния стимулирующих обработок на посевы пшеницы значимость различий между средними значениями фитометрических и фитопатологических показателей в опытных вариантах по сравнению с контролем определяли на основе критерия Стьюдента. Взаимосвязь между отдельными показателями патогенеза и элементами продуктивности изучалась методом непараметрического корреляционного анализа, основанного на расчете коэффициента корреляции Спирмена.

При изучении динамики потенциальной урожайности пшеницы (рис. 1) было установлено, что в 2021 году при обработке 1G:2RM урожайность пшеницы увеличилась на 43,6% и составила Yп = 4,65±0,43 т/га, а в 2022 году – на 119,9 % (Yп =4,5±0,43 т/га) по сравнению с контролем (Yп = 2,54± 0,29 т/га).

Значительное повышение урожайности пшеницы в 1G:2RM по сравнению с контролем можно объяснить статистически значимо более высокими значениями следующих показателей: полевая всхожесть пшеницы – на 21,9%, высота растения - на 17,0%, количество колосков на колосе – на 7,8%, площадь предфлагового листа – на 36,0%. В то же время показатель «масса 1000 зерен пшеницы» при обработке 1G:2R сильно варьировался за годы исследования: в 2021 году он увеличился на 13,7%, а в 2022 году снизился на 11,4%. Существенное влияние на урожайность пшеницы при этом варианте опыта оказало и значительное снижение повреждения растений бурой ржавчиной – на 21,7% и желтой

ржавчиной – на 28,3%, а также корневой гнилью – на 5,6%. Было отмечено значительное уменьшение площади пятен мучнистой росы на флаговых и предфлаговых листьях пшеницы – на 77,8 % по сравнению с контролем.

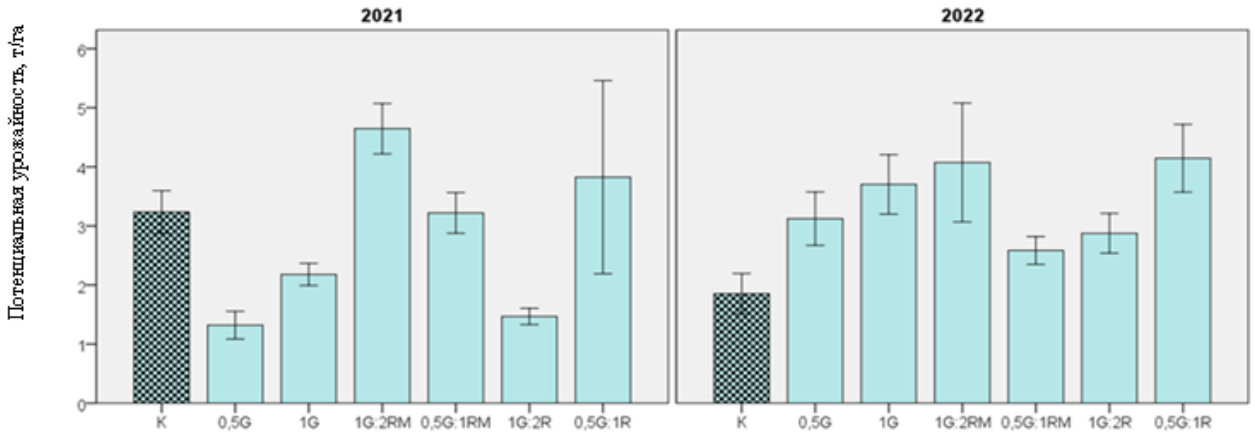


Рис. 1. Динамика потенциальной урожайности мягкой пшеницы при использовании белковых стимулятора роста различного композиционного состава и полимерного гидрогеля в 2021-2022 годах

Результаты ранжирования фитометрических характеристик мягкой пшеницы по 24 показателям по отношению контроля. Было выявлено, что вариант 0,5G:1R характеризовался наибольшим количеством показателей (50%), которые статистически значимо отличались по значениям относительного изменения от контроля. Остальные варианты эксперимента можно ранжировать в порядке убывания следующим образом: 1G:2RM (16,7%) - 1G:2R (12,5%) - 1G и 0,5G (8,3%) - 0,5G:1RM (0 %).

Комбинированное использование гидрогеля и белковый стимулятор 96 в вариантах исследования 1G:2RM и 0,5G:1RM по сравнению с контролем вызвало значительное снижение выраженности бурой ржавчины на 15,4 % (рис. 2).

В варианте 1G:2RM было выявлено статистически значимое уменьшение площади пустул желтой ржавчины на 38,5 % соответственно (рис. 3).

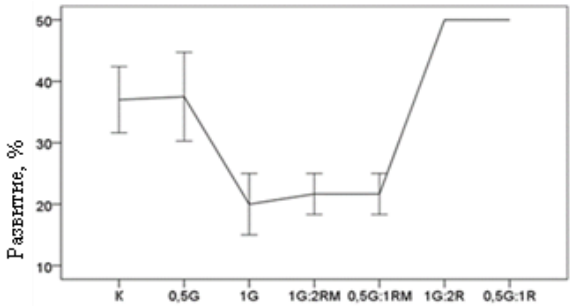


Рис. 2. Развитие бурая ржавчины на флаговом листе мягкой пшеницы при использовании белковых стимулятора роста различного композиционного состава и полимерного гидрогеля в 2021-2022 годах

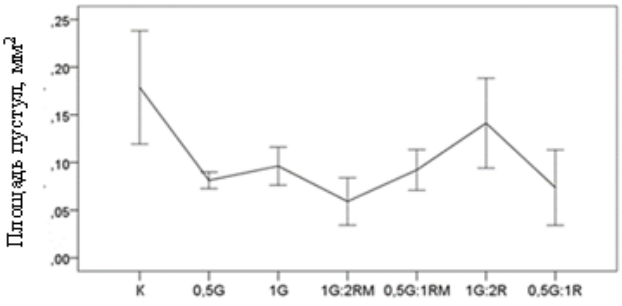


Рис. 3. Развития желтой ржавчины на флаговом листе мягкой пшеницы при использовании белковых стимулятора роста различного композиционного состава и полимерного гидрогеля в 2021-2022 годах

Согласно данным на (рис. 4), значительное снижение интенсивности развития (на 13,3%) и количества пятен зубного налета (на 34,8%) было определено в варианте 0,5G:1RM. Наблюдалась тенденция к увеличению развития заболевания на 71,3% и 10,4%, в вариантах 1G, 0,5G:1R и 1G:2RM, соответственно.

Сильное повреждение пшеницы корневой гнилью было определено в вариантах исследования 1G и 0,5G:1R: развитие болезни R = 23,3% и R = 22,2%, соответственно (рис. 5).

Значительно более низкое развитие заболевания R = 3,7% было зарегистрировано в экспериментальном 0,5G:1RM.

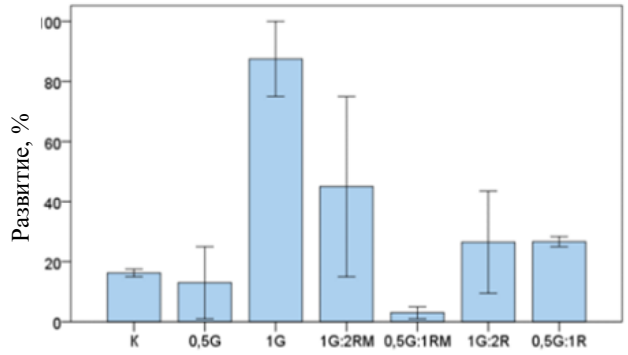


Рис. 4. Развитие мучнистой росы на флаговых и предфлаговых листьях мягкой пшеницы при использовании белковых стимулятора роста различного композиционного состава и полимерного гидрогеля в 2021-2022 годах

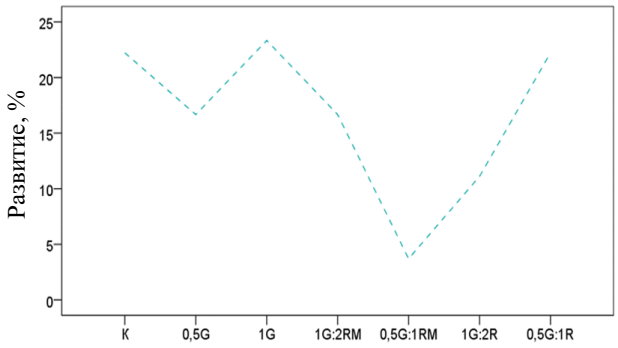


Рис. 5. Заражение пшеницы корневой гнилью мягкой пшеницы при использовании белковых стимулятора роста различного композиционного состава и полимерного гидрогеля в 2021-2022 годах

Исследуя применения белковых стимуляторов роста растений на посевах яровой пшеницы 2021-2022 годах исследования, были сделаны следующие выводы:

1. Разработана технология применение биостимулятора (белкового гидролизата) на посевах яровой пшеницы. Показано, что обработка семян пшеницы сорта Ленинградская 6 путем замачивания в течение 24 часов в растворе биостимулятора роста растений концентрацией 0,195 г/л, является статистически достаточной для возделывания яровой пшеницы.
2. Установлено положительное влияние биостимулятора на морфологические и фотометрические характеристики яровой пшеницы. По результатам ранжирования 24 показателей во всех вариантах, где был применен биостимулятор различного композиционного состава, выявлено увеличение характеристик в среднем на 26,4% по отношению к контролю. Выявлено значительное снижение интенсивности заболеваний пшеницы по отношению к контрольным образцам: бурой, желтой ржавчины – на 21,7% и 28,3%, соответственно, корневой гнили – на 5,6%, уменьшение площади пятен мучнистой росы на флаговых и предфлаговых листьях пшеницы на 77,8%.
3. Доказано, что применение композитов гидрогеля с белковым стимулятором увеличивает урожайность яровой пшеницы. Наивысшая потенциальная урожайность пшеницы ($Y_п$ = 4,41±0,47 т/га) выявлена при соотношении гидрогеля и стимулятора 1:2. При обработке в указанном соотношении, по отношению к контролю, урожайность пшеницы увеличилась на 73,3% ($Y_п$ = 2,54±0,29 т/га).

Один из предполагаемых способов действия включает белкового гидролизата, обладающие гормональной активностью, сходной с активностью определенных эндогенных сигнальных пептидов. У растений многие эндогенные пептиды обладают гормональной активностью и являются мощными локальными и системными регуляторами процессов развития, таких как, среди прочего, развитие корней и пластичность. Механизм защиты растений от болезней белковым стимулятором основан на использовании специальных белков, которые могут повышать иммунитет растений и защищать их от вредных микроорганизмов. Однако стоит помнить, что белковый стимулятор не является универсальным решением для всех проблем, связанных с заболеваниями растений, и может быть эффективен только в сочетании с другими методами защиты растений.

Таким образом, использование белкового стимулятора, полученного из побочных продуктов животноводства путем гидролиза, является перспективным направлением для повышения урожайности пшеницы и защиты от болезней. Этот стимулятор позволяет

получить больше высококачественной продукции, сократить количество удобрений и пестицидов, а также значительно сократить время, необходимое для выращивания растений.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Pituello. C., Ambrosini S., Varanini Z., Pandolfini T., Zamboni A., Povolo C., Agnolon. F., Franco E., Candido M. C., Neresini M. Animal-Derived Hydrolyzed Protein and its Biostimulant Effects in Biostimulants // Exploring Sources and Applications Singapore. 2022. Pp. 107-140.
2. Колесников Л.Е., Кременевская И.И., Прияткин Н.С., Архипов М.В., Киселёв М.В., Колесникова Ю.Р., Разумова И.Е. Биологическое обоснование использования белкового стимулятора роста для повышения урожайности пшеницыи оценка качества зерна методами микрофокусной рентгенографии и оптического анализа // Российская сельскохозяйственная наука. 2020. №. 3. С. 21-27.
3. Мережко А.Ф., Удачин Р.А., Зуев В.Е., Филотенко А.А., Сербин А.А., Ляпунова О.А., Косов В.Ю., Куркиев У.К., Охотникова Т.В., Наврузбеков Н.А., Богуславский Р.Л., Абдуллаева А.К., Чикида Н.Н., Митрофанова О.П., Потокина С.А. Пополнение, сохранение в живом виде и изучение мировой коллекции пшеницы, эгилопса и тритикале // СПб. 1999. С. 32-35.
4. Дорофеев Л.Л., Шкаликов В.А. Болезни зерновых культур // Москва. ООО НПФ «СКАРАБЕЙ». 2007. С. 22.

Выпускник
Алексеевская Анастасия
факультет института дизайна и урбанистики
Направление подготовки: 07.04.04 – Градостроительство
e-mail: aa.alexeevskaya@gmail.com

Научный руководитель
Недосека Елена Владимировна
к.с.н., доцент
e-mail: Nedelena-24@yandex.ru

УДК 711.1:624.042.41

РАЗРАБОТКА РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО УЧЕТУ ВЕТРОВОГО РЕЖИМА В ОБЩЕСТВЕННЫХ ПРОСТРАНСТВАХ СОВРЕМЕННОЙ ЖИЛОЙ ЗАСТРОЙКИ

В условиях изменений современного климата городов, при увеличении темпов и масштабов строительства на соотносимо небольшой территории с высокой этажностью застройки формируется городская среда с неблагоприятными ветровыми режимами – ветровыми условиями, определяющимися повторяемостью, направлением и скоростью ветра, которые способствует снижению пешеходной активности горожан [1].

Воздействие климатических условий на жизнь людей особенно сильно на территории публичных открытых пространств, где концентрируется социальная жизнь города. Для современных открытых общественных пространств, таких как дворы жилых комплексов, характерна проблема сильных ветров. В первую очередь это связано с тем, что параметры наружного микроклимата для создания биоклиматического комфорта не регулируются законодательно на территории отрытых пространств в городской среде

Для формирования и развития, как общественного пространства, так и системы общественных пространств с благоприятными условиями биоклиматического комфорта необходимо использование средового подхода. Суть средового подхода заключается в создании комплексного пространства, где функциональные элементы связаны между собой и являются неотъемлемыми. Для пользователя среда воспринимается фрагментарно: по уровню приоритета составляющих, которые он индивидуально выделяет из городской среды. Такое восприятие и ответные действия пользователя при взаимодействии со средой и есть опыт использования [2].

Для проектирования новых кварталов, где нет данных о будущих жителях и их опыте использования, целесообразно изучать опыт уже сложившихся общественных пространств, построенных в рамках документации по планировке территории, что будет рассмотрены в работе. Именно на этом этапе возможен учет точного местоположения и конфигурации застройки, расположение основных направлений тротуаров и плоскостных объектов. Проекты планировки и межевания территории выделяют основные элементы планировочной структуры и задают направления для пространственного проектирования среды, что может учесть ветровой режим разрабатываемого пространства.

Для оценки воздействия скорости ветра на пользователей общественных пространств исследования была разработана методика оценки влияния ветра на опыт использования общественных пространств. Методика включает в себя:

1. Выбор и анализ территории исследования.
2. Проведение фактических измерений скорости ветра.
3. Опрос пользователей общественного пространства.
4. Компьютерное моделирование ветрового режима объекта.

В качестве методов определения ветрового режима были использованы измерения скоростей ветра и метод численного моделирования. Измерения скоростей ветра

производились анемометром, все значения были занесены в разработанный для исследования протокол. Твердотельные модели объектов исследования создавались в Autodesk Inventor, расчет производился в Autodesk CFD. Социологический опрос проводился методом полуструктурного интервью, выборка была стихийной и непрезентативной. Для сопоставления фактических значений скорости ветра и субъективного восприятия комфорта была разработана структура вопросов для быстрой фиксации данных в момент измерений. В ходе исследования рассматривается территория общественных пространств в нескольких районах Санкт-Петербурга. При различных ветровых режимах и характере застройки отбираются общественные пространства в современных жилых кварталах, реализованных по проектах планировки территории. Для исследования были выбраны жилые кварталы размещенные: в сложившейся застройке, у залива и на периферии города. Для их сравнения принимается один вид общественного пространства – жилой двор.

Таким образом, целью исследования становится сбор и обработка данных о существующем опыте в организации ветровых потоков для формирования системы знаний о прогнозировании неблагоприятных параметров ветрового режима на территории общественных пространств.

В качестве территории исследования для первого случая в квартале со сложившейся застройкой, на территории бывшего Государственного кирпичного завода №4 был выбран жилой двор, расположенный в нынешнем ЖК «София». Объект исследования расположен во Фрунзенском районе муниципального образования №75 на юго-востоке Санкт-Петербурга.

В качестве наиболее продуваемой территории для второго случая был выбран двор ЖК «Golden city» в квартале у залива на намывной территории. Исследуемый объект расположен в Василеостровском районе Морского муниципального образования на западе Санкт-Петербурга.

В качестве территории исследования третьего случая был выбран двор в западной части ЖК «Ultra city» на окраине города. Квартал, выбранный на периферии, располагается в Приморском районе в муниципальном образовании Коломяги на северо-западе Санкт-Петербурга.

Для каждой из трех исследуемых территорий произведены выезды в разных случаях погодных условий, измерены значения скоростей ветра, осуществлен выбор двора в квартале. В работе представлены результаты наиболее характерных случаев погодных условий для определенной конфигурации застройки без присутствия осадков.

Во всех трех случаях было произведено разбитие территории двора равномерно на зоны, где в характерных точках были проведены измерения скорости ветра. Далее были выявлены точки с предельными скоростями ветра: максимальной, минимальной и средней величиной значений из усреднённых измерений для каждой характерной точки.

Далее, в каждой из трех ключевых точек был проведен опрос пользователей двора. На основе положительных и отрицательных оценок в предельных значениях трех точек для каждого жилого двора при различных погодных и градостроительных условиях показали зависимости ощущения комфорта при определённых скоростях ветра для конкретных функциональных зон. Сводный график зависимостей всех трех случаев демонстрирует диапазон усредненных значений комфорта в пределах от 3,1 до 4,9 м/с, который продемонстрирован на рисунке 1.

В результате опроса жителей и прохожих было установлено существенное влияние ветрового режима на опыт использования открытых общественных пространств, на основе субъективного восприятия пользователей в разных микроклиматических и градостроительных условиях относительно функционального зонирования двора была составлена условная шкала комфортных значений скоростей ветра в разные сезоны года для разного вида деятельности, представленная в таблице 1.

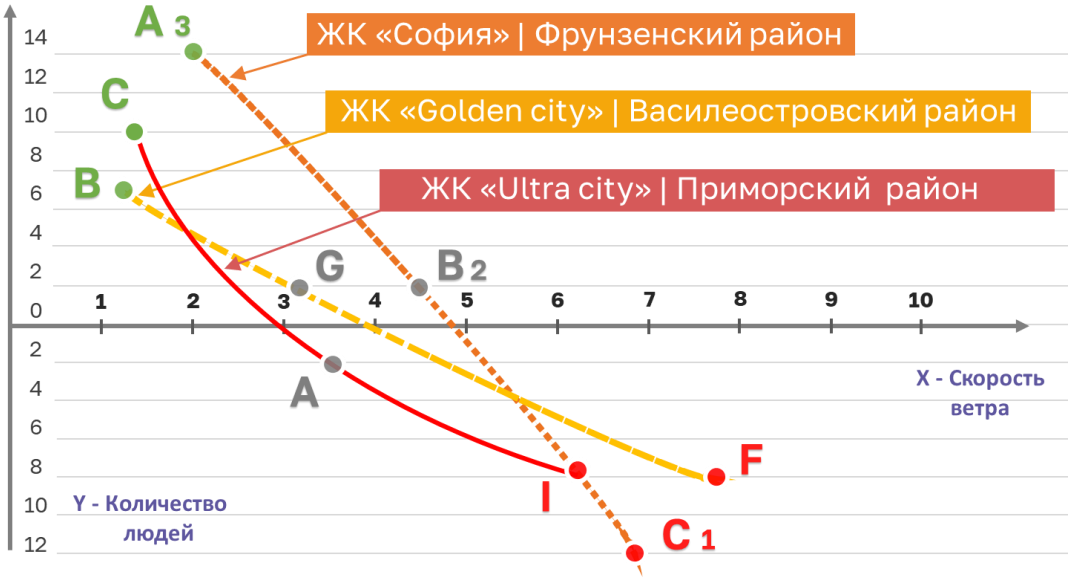


Рис. 1. Совмещенный график зависимости опрошенных в ключевых местах измерений и значений скорости ветра для исследуемых дворов в разных районах Санкт-Петербурга

Таблица 1. **Условная шкала комфортных диапазонов скоростей**

Скорость движения воздуха, м/с	**Влияние на деятельность пользователей общественных пространств**
0,0 – 4,0	В разной степени комфортно в зависимости от вида деятельности
4,0 – 10,0	Комфортна активная деятельность

Экспериментальной усредненной величиной скорости ветра является значение около 4 м/с, однако, если учитывать сезон, температуру и влажность воздуха при различной конфигурации застройки общественного пространства и его окружения диапазон будет смещаться в большую или меньшую сторону. Также важно отметить, зависимость уровня комфорта от вида деятельности и степени активности пользователей, так можно выделить диапазон от 0 до 4 м/с предпочтительный для большей части деятельности с продолжительным пребыванием, а диапазон от 4,0 до 10,0 м/с терпимым для активной целенаправленной деятельности при коротком времени пребывания. Граничное значение в 10,0 м/с обусловлено безопасностью пребывания и вероятностью возникновения порывов свыше этого значения.

Далее для проверки состоятельности прогнозирования ветрового режима для будущей застройки было произведено моделирование исследуемых объектов с последующим расчетом ветровых условий по данным фактических измерений усредненного значения скорости ветра на весь двор. Сечения моделей с распределением воздушных потоков на высоте среднего роста человека – 1,5м от уровня земли представлены на рисунке 2.

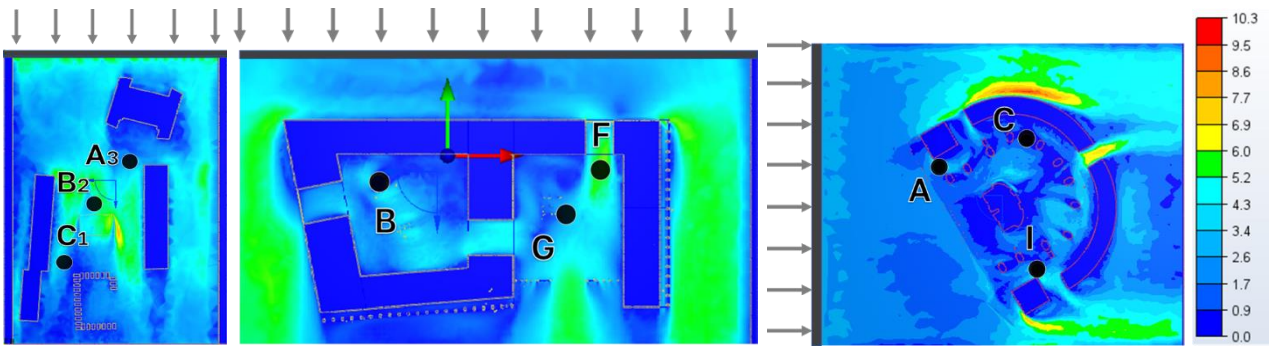


Рис. 2. Схемы CFD-анализа жилых дворов в разных районах Санкт-Петербурга

После для каждого случая были сопоставлены значения эмпирических скоростей с данными моделей и рассчитаны отклонения для всех измеряемых точек. Значения для трех характерных точек трех случаев исследования сведены в таблице 2.

Таблица 2. **Таблица сравнения скоростей фактических измерений с полученными при моделировании для разных районов Санкт-Петербурга**

Точка с предельным значением скорости	Значение измерений, м/с	Значение моделирования, м/с
1 двор в ЖК «София» Фрунзенского района		
A3 – с минимальной скоростью	2,0	2,2
B2 – со средней скоростью	4,5	5,0
C1 – с максимальной скоростью	6,9	6,5
2 двор в ЖК «Golden city» Василеостровского района		
B – с минимальной скоростью	2,0	2,2
G – со средней скоростью	4,5	5,0
F – с максимальной скоростью	6,9	6,5
3 двор в ЖК «Ultra city» Приморского района		
C – с минимальной скоростью	2,0	2,2
A – со средней скоростью	4,5	5,0
I – с максимальной скоростью	6,9	6,5

Максимальное отклонение эмпирических значений скорости ветра от значений модели для всех трех случаев составило не более 12%. Это подтверждает возможность использования CFD – анализа для прогнозирования ветрового режима на территории общественных пространств.

Также для проверки возможности использования данных метеостанций при проектировании ветрового режима территории были рассчитаны отклонения данных ближайших метеостанций, которое варьируются от 0,06 до 3,5 раз меньше фактических измерений скорости, что доказывает необходимость в разработке локальных карт аэрационного режима и моделирования конкретных пространств. Данные по сравнению значений для разных районов города сведены в таблицу 3.

Таблица 3. **Сравнение параметров дворов Санкт-Петербурга с данными городских метеостанций**

Параметры территории	ЖК «София»	ЖК «Golden city»	ЖК «Ultra city»
Размещение квартала	В застройке	У залива	На периферии
Окружение квартала	Застроенное	Малозастроенное	Частично застроенное
Район исследования	Фрунзенский	Василеостровский	Приморский
Направление ветра	Северное	Северное	Западное
Температура/ влажность	-4,0°C / 64%	0°C/ 73%	+15,0°C/ 47%
Усредненная скорость	4,5 м/с	4,1 м/с	3,1 м/с
Данные метеостанций	Пулково:3,0м/с	Петроградский район: 3,0 м/с	Лисий нос: 2,0м/с; П.Р: 3,0 м/с
Отклонение фактической средней скорости от данных метеостанции	51,4%	37,4%	55,0% | 6,0%

В результате анализа условий городских метеостанций и общественного пространства исследуемой территории: высота расположения проводимых измерений, характер

препятствий на пути воздушных потоков и наличие природных компонентов вокруг значительно повлияли на значение скорости ветра в разных районах города. Таким образом, можно сделать вывод о невозможности использования данных метеостанций для проектирования городской среды без учета поправочных коэффициентов и поэтапных расчетов в динамике развития климата.

Возможным решением в регулирования аэрационных процессов города может стать использование последовательной схемы регистрирования климатических явлений, представленной на рисунке 3, начиная получение данных от планетарных и региональных климатических моделей, разрабатываемые несколькими странами для целого ареала местности и заканчивая моделированием локального объекта строительства с учетом его окружения определенным набором климатопов – локальных параметров микроклимата, формируемые в определенном морфотипе застройке или природном окружении [3]. В зависимости от размеров поселений необходимо применять модели климатопов и отслеживать данные по климатической модели целого города или же разбивать ее на модели отдельных районов со своим рядом климатопов.

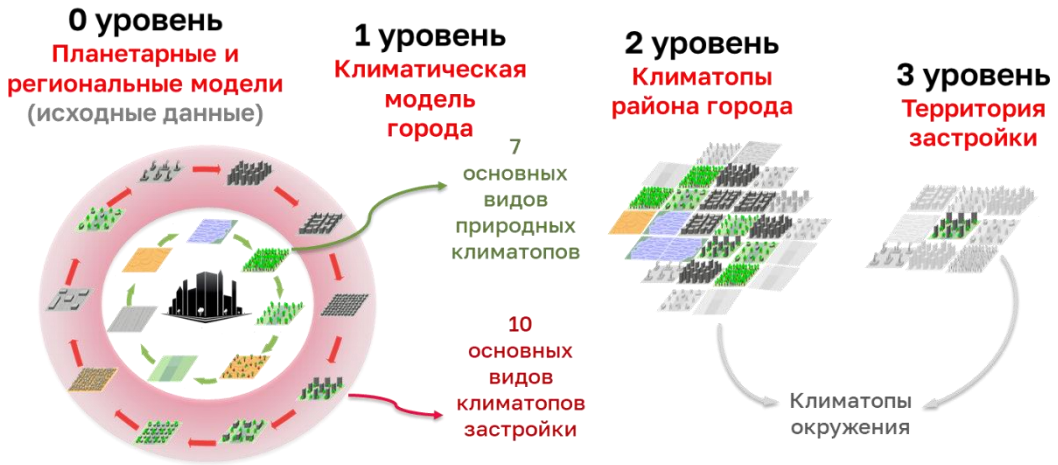


Рис. 3. Поэтапный алгоритм регулирования аэрационных процессов для поселений

Данное исследование продемонстрировало возможности использования компьютерного моделирования и его точности, даже в упрощенном расчете без учета шероховатости поверхностей городской среды, однако, для интерпретации данных, получаемых при моделировании ветрового режима, необходима разработка шкал восприятия биоклиматического комфорта учитывающих особенности не только климата местности разного масштаба поселений, но и локальные погодные условия, формируемые в определенном морфотипе застройки и природном окружении объекта проектирования, а также особенности восприятия погодных явлений жителями конкретного региона расселения.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Серебровский Ф.Л., Аэрация жилой застройки [Текст] / Ф.Л. Серебровский, канд. архитектуры, доц. – Москва: Стройиздат. 1971. 112 с.
2. ГОСТ Р ИСО 9241-210—2012 Эргономика взаимодействия человек-система — Часть 210: Человеко-ориентированное проектирование интерактивных систем.
3. Мягков М.С. и др. Город, архитектура, человек и климат/ Мягков М.С., Губернский Ю.Д., Конова Л.И., Лицкевич В.К.: под ред. к.т.н. М.С. Мягкова. - М.: «Архитектура-С». 2007. 344 с.

Выпускник
Андрианова Дарья Дмитриевна
факультет технологического менеджмента и инноваций
Направление подготовки: 27.04.08 – Управление интеллектуальной собственностью
e-mail: dacha-9898@mail.ru

Научный руководитель
Николаев Андрей Сергеевич
к.э.н., доцент
e-mail: nikand@itmo.ru

УДК 347.77

РАЗРАБОТКА СТРАТЕГИИ УПРАВЛЕНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТЬЮ ИННОВАЦИОННОГО ПРОЕКТА В СЕКТОРЕ FOODTECH

В современном мире становится очевидной проблема дефицита микроэлементов в организме человека [2, 4]. В связи с этим, одним из приоритетных направлений работы в сфере инфохимии становится разработка технологии производства биомассы продукта с регулируемым микроэлементным составом для продуктов функциональной направленности. Развитие технологий и инноваций в сфере пищевой промышленности, известной как FoodTech, играет ключевую роль в обеспечении устойчивого развития и прогресса. Стремительное развитие этого сектора требует эффективного управления интеллектуальной собственностью, чтобы обеспечить защиту и максимальное коммерческое использование инновационных продуктов и технологий. Анализ конкурентов проекта НОЦ инфохимии Университета ИТМО «Разработка технологии производства биомассы базидиомицетов с регулируемым микроэлементным составом для продуктов функциональной направленности» позволил определить, что во всем мире уделяют внимание созданию биологически активных компонентов, обогащенных микроэлементами. Преимуществом разрабатываемого продукта является состав и количество содержащихся полезных микроэлементов (магний, цинк и селен).

В работе были проанализированы компании-лидеры в секторе FoodTech. Анализ лучших практик управления инновационными проектами в исследуемой сфере позволяет выделить ключевые факторы успеха и определить направления разработки стратегии управления интеллектуальной собственностью инновационного проекта. Стратегия должна быть ориентирована на создание и охрану ИС, развитие партнерств и сетей, а также гибкое реагирование на изменения в рыночной среде.

В ходе исследования была построена модель предметной области, проанализирован 471 документ, что позволило получить представление о мировых трендах развития технологической области [3]. Анализ ключевых игроков показал, что наибольший интерес к данной технологии проявляют компании США. Именно компании США являются тремя лидерами по количеству патентных семейств в своих портфелях по данной области. Анализ перспектив патентования позволил сделать вывод о высокой конкуренции на рынках США, Японии и Китая, которые являются лидерами по патентованию в данной области. Перспективными рынками можно считать такие страны как Германия, Южная Корея, Канада и Нидерланды. В данных странах прослеживается тренд на питание, способное восполнить дефицит в микроэлементах, грибы входят в привычный рацион жителей, а функциональные продукты питания на их основе можно встретить в продуктовых магазинах. Однако количество конкурентов значительно ниже, чем в США, Японии и Китае.

На рисунке указаны наиболее эффективные способы правовой охраны интеллектуальной собственности инновационного проекта НОЦ инфохимии.

Рисунок. Правовая охрана интеллектуальной собственности проекта

Для проекта НОЦ инфохимии рекомендуется использование комбинированного товарного знака со словесным и изобразительным элементами. В качестве словесного элемента можно использовать вымышленное и семантически нейтральное по отношению к заявленным классам МКТУ. В качестве изобразительного элемента для создания товарного знака можно использовать оригинальное изображение одного или нескольких грибов. Цветовая палитра товарного знака также должна указывать на натуральность состава. Причем оттенки должны быть чистыми, глубокими и естественными, то есть такими, которые присутствуют в естественной среде. Изображение гриба может быть абстрактным или имитировать конкретные виды грибов. Вокруг гриба могут присутствовать линии и контуры, которые помогут создать уникальный стиль. Шрифт стоит подобрать читаемый в любом размере и эстетически привлекательный.

Охрана технологии производства функционального продукта питания на основе грибов является одной из самых значимых задач [1]. В работе проанализированы способы охраны технологии с помощью получения патента и с помощью коммерческой тайны. Учитывая специфику проекта, например, использование известных из уровня техники штаммов грибов и веществ, было необходимо выявить при наличии нарушение прав других правообладателей. Важно отметить, что НОЦ инфохимии находится в структуре Университета ИТМО и подчиняется нормативным документам вуза, в том числе регулирующим вопросы интеллектуальной собственности.

У проекта есть две категории потребителей – потребители технологии и потребители продукта. На данный момент в сотрудничестве с проектом находятся потребители обеих категорий. Лицензионный договор определен как наиболее эффективный способ распоряжения правами. Рекомендуется использование неисключительной лицензии, которая подразумевает предоставление права использования РИД лицензиату с сохранением права выдачи лицензий другим лицам за лицензиаром.

В ходе работы была разработана стратегия управления интеллектуальной собственностью проекта НОЦ инфохимии «Разработка технологии производства биомассы базидиомицетов с регулируемым микроэлементным составом для продуктов функциональной направленности» Университета ИТМО, составлены рекомендации и предложения по обеспечению правовой охраны, разработке товарного знака и коммерциализации. Полученные результаты прошли апробацию и являются одним из элементов работы над инновационным проектом. Выход продукта на рынок предполагается осуществить в конце 2023 года. На

данный момент подготавливаются документы для выполнения первого этапа стратегии правовой охраны и обсуждаются условия лицензионных договоров с потребителями технологии и продукта.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Белая О.В. О правовых аспектах использования технологий: FoodTech // Хозяйство и право. – Москва. 2020. С. 13-21.
2. Бурцева Т.И., Сальникова Е.В., Скальный А.В. Гигиеническая оценка обеспеченности селеном различных групп населения Оренбургской области // Гигиена и санитария. – Москва. 2019. С. 45-48.
3. Николаев А.С., Андрианова Д.Д. Разработка информационного обеспечения принятия решений в области инфохимии на рынке функционального питания // Экономика. Право. Инновации. – Санкт-Петербург. 2022. С. 50-57.
4. Скальный А.В. Химические элементы в экологии, физиологии человека и медицине / А.В. Скальный, А.А. Киричук. – Москва, 2020. 209 с.

Graduates
Zhu Xinyi
center of applied optics
Professional track: 12.04.02 – Applied optics
e-mail: zhuxinyi0226@niuitmo.ru

Supervisor:
Tsyganok Elena
PhD
e-mail: eatcyganok@itmo.ru

UDK 535.313, 535.8

RESEARCH AND DESIGN OF OPTICAL SYSTEMS FOR HIGH POWER LASER DIODE MODULE

With the continuous innovation and improvement of semiconductor laser epitaxy technology, tube core process and packaging technology, in laser applications, in order to improve the beam quality and output power per unit area of semiconductor lasers, researchers have devoted themselves to research in laser beam shaping, especially fiber-coupled laser beam technology. In current production and research, laser diodes can be involved in forming the pump source for a fiber laser. As the output power of fiber lasers increases, a high-power fiber laser system often requires multiple laser diodes to provide sufficient pump power 1. The efficient coupling of the light from the laser diodes into the fiber and the efficient synthesis of the many pump beams into a single beam has thus become a primary problem to be solved in fiber laser research.

However, due to the asymmetry of the laser diode's light-emitting size, the output beam of the laser diode has a large divergence angle and an asymmetric divergence angle in the fast and slow axis directions. The large size of the light emitted in the slow-axis direction makes it difficult to collimate the laser diode beam in the slow-axis direction 2.

The design of systems for coupling high-power laser diode beams into optical fibers has therefore been the focus of research. High power fiber coupling modules are the main trend for future applications, and two-dimensional arrays are an effective way to obtain high power. Therefore, to improve the technology level of high-power semiconductor laser fiber coupling modules, it is of great importance to study the fiber coupling technology of two-dimensional arrays.

The aim of the work is to construct the optical system of laser diode module beam combining and shaping. There are several tasks should be done, including literature review, calculations and modeling of illumination part of the system, research high power laser schemes, calculations and modeling of concentrating part of the system and result analysis.

The research focuses on reducing optical losses by designing optical systems containing mirrors to reduce the difficulty of matching the beam waist of the laser beam. The aim is to form a high-power laser diode beam-coupled fiber system that facilitates mounting and replaceable parts. The proposed laser diode bar size for the two-dimensional array is 10*100, 19 light-emitting areas, 500 μm period. The ultimate requirement is of the specific parameters are shown in Table.

Table. **Requirements of the work**

Laser Diode characteristics		**Fiber characteristics**	
Divergence angle of the fast axes	30°	Numerical aperture	0.22
Divergence angle of the slow axes	7°	Fiber core	200 μm
Number diodes in array	19×5	Collect more 96% energy from laser diode in fiber core.	
Laser Diode size	10x100 μm		

In order to obtain high coupling efficiency, we use the shaping coupling method for fiber coupling of the two-dimensional array. The coupling scheme consists of the following steps: fast and

slow axis collimation, eliminating the light-free zone, beam transformation and focusing. Considering that 96% energy from laser diode is collected in fiber core finally, there won't be more than 3 three lenses of material S-TIH53, whose transmission at 808nm is over 99% [1]. Therefore, there would be two methods explored for the thesis.

1. Fast and slow axis collimation.

In order to make the whole system relevant, the fast axis collimator was chosen from LIMO model FAC 910 ZLE000178 and the slow axis collimator from LIMO model SAC 100/500 ZLA000567.

The parameters of FAC 910 are approximately: material S-TIH53 (ohara), length 12.0, width 1.5, thickness 1.5, effective focal length 0.91 (@ 808nm), backfocal length 0.09 (@ 808nm), and numerical aperture NA = 0.8.

The parameters of SAC 100/500 are approximately: material S-TIH53 (ohara), length 12.0, width 1.5, thickness 0.55, effective focal length 2.88 (@ 808 nm), backfocal length 2.58 (@ 808 nm), numerical aperture NA = 0.065, pitch 0.5, radius of curvature 2.37.

The nominal parameters still lack fully modeled information, such as whether they are aspherical or not, and the surface curvature is not given for the fast-axis collimator. In addition, the back focus of the slow axis collimator is affected by the optical range difference of the fast axis collimator, etc. In order to model reasonably, the unknown parameters can be found by optimization in the sequential mode based on the known parameters.

In the non-sequential mode, the 3D Layout in both fast axis direction and slow axis direction, distribution energy after FAC and SAC are all shown in Figure 1.

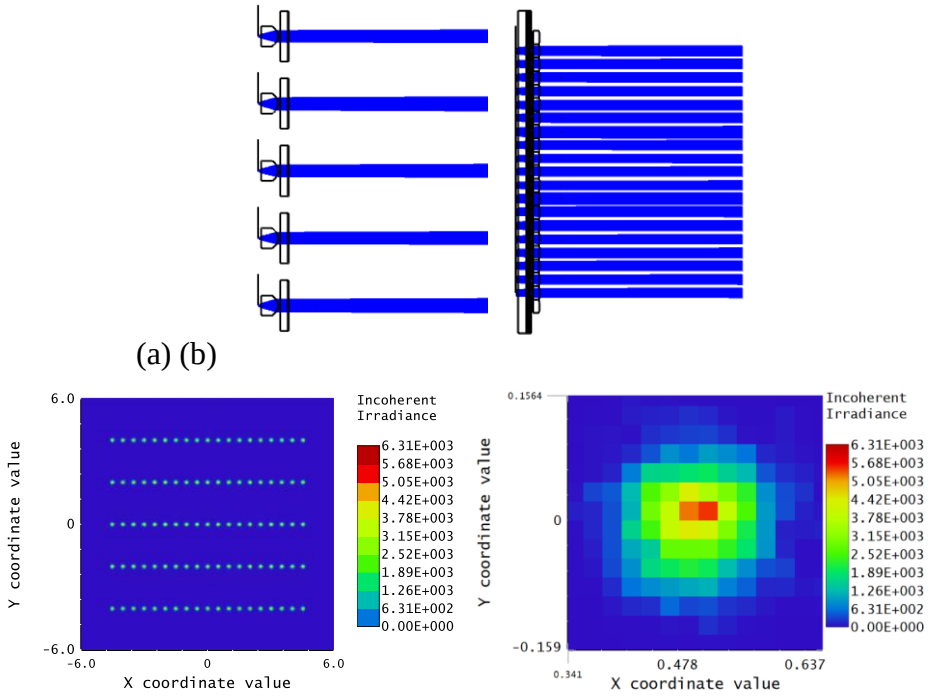


Fig. 1. Fast and slow axis collimation: a) 3D Layout in fast axis direction; b) 3D Layout in slow axis direction; c) distribution energy after FAC and SAC; d) single spot after FAC and SAC

30° divergence angle of the fast axis and 7° divergence angle of the slow axis turns to be nearly collimated. And the spot is nearly symmetrical circle, which facilitate the next step. After FAC and SAC, the transmitted energy is over 98.01% in theory.

2. Eliminating the light-free zone.

After FAC and SAC collimation, the divergence angles of the fast and slow axes are so small that they can almost be seen as parallel beams. The spot size of the collimated 19 x 5 laser diode stacked beam is approximately 9 x 9.34 mm^2 and, as two sets of S-TIH53 glass have been used in the previous step, the beam transmission rate is

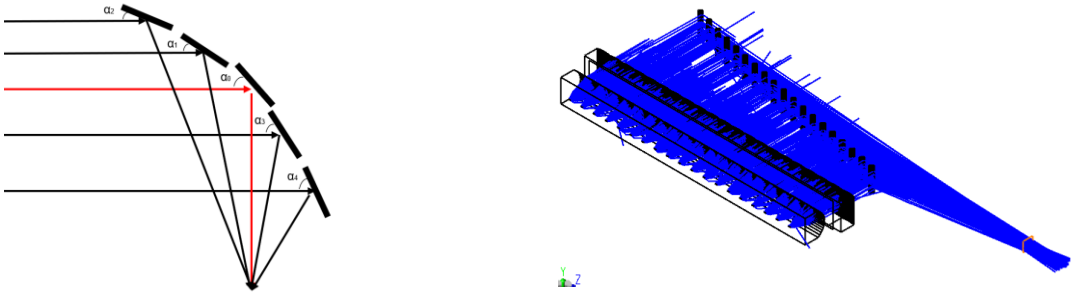
$$\tau = \tau_{FAC} \cdot \tau_{SAC} \geq 99\% \times 99\% = 98.01\%. \quad (1)$$

Only one S-TIH53 lens may be used at most. Next it is necessary to use mirrors to avoid weakening of the laser beam by the optical elements as much as possible. The problem was then to explore the type, arrangement and number of reflectors

2.1. Arrangements of multiple mirrors.

2.1.1 Outward curved surface.

The involvement of the reflecting mirror prevents the laser diode from emitting a certain amount of loss in the light transmission due to the prism. To eliminate the light-free zone in the fast-axis direction of the 2D array, we use multiple flat mirrors coated with highly reflective film to align the tube cores in the 2D array, which are sequentially articulated in the beam propagation direction and at a certain angle to the beam propagation direction to finally bring the light together. Figure 2, a briefly shows the optical path of the centermost mirror and its two surrounding mirrors for beam transformation. The centermost mirror is at an angle of 45° to the horizontal. The two sets of mirrors next to the centermost mirror are both bent by a small angle compared to the centermost mirror.



a b

Fig. 2. Beam transformation by mirrors: a) outward; b)inward

2.1.2. Inward curved surface.

As the arrangement of multiple flat mirrors is put forward in Figure 2, b, the mirrors gather like an inward curved surface by reflecting on flat surfaces. Then another idea that the mirrors gather like an outward curved surface comes to a simulation by a non-sequential mode. To avoid interacting light beams as possible, the mirrors were set curved for a certain radius which is an inevitable operation. To mention it, here in simulation, each laser diode corresponds to a reflective surface mirror, because it is necessary to see if the outward curved arrangement of the mirrors is a more optimal solution for the whole optical system, and more precise results are needed to avoid uncorrelated errors [3].

By ray tracing, the lost energy (thresholds) is 4.1356899×10^{-2} W while the lost energy (errors) is 6.734618×10^{-2} W, under the whole source emitted by laser diode stack being 100W.

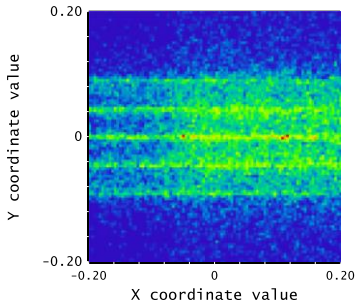


Fig. 3. Multiple curved mirrors in non-sequential mode

From the detector in Figure 3, both in X coordinate and Y coordinate have the whole energy between -0.2 mm to 0.2 mm. The range 0.4 mm is twice as the requirements of 200 μm. But this has reached the limits of the reflector arrangement. The outward curvature of the arrangement makes it possible to increase the angle of reflection on the surface of each mirror and block the beam of the

nearby mirrors that are being deflected. Therefore, Arranging the mirrors as inwardly curved surfaces allows more freedom for design and set-up.

Actually, it failed because it can't escape that both spot radius in both fast axes and slow axes are fixed as nearly 400 μm after collimation, just as shown in Figure 3. Therefore, there would be two solutions here. One method is to add another optical system to transform and focus the beams reflected by multiple mirrors. Another method is to maintain the divergence angle of 3.5 degrees in the slow axis and arrange the mirrors in the slow axis direction to couple the beam directly into the fiber.

5.2.2. Beam transformation and focusing.

In fact, it is ideal to consider the use of multiple mirrors to couple the FAC and SAC collimated laser diode beams directly into the fiber [2]. Where this step is not possible, it is possible that the radius of the beam focused by the multiple mirrors is greater than 400 μm to the extent that the fiber cannot collect as much of the beam as possible. Lenses can therefore be used to transform and focus the beam. However, the addition of prisms depletes the laser energy and this step is not recommended. In this section, only the transformation and focusing action of the lens is researched and explained. The optical path is shown in the Figure 4.

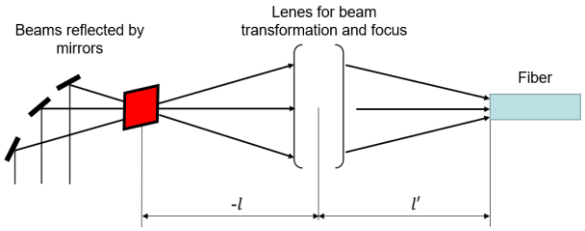


Fig. 4. Optical path of the transformation and focusing lenses

To make the full light beam coupling into the fiber, the magnification of the optical lens is

$$\beta = -\frac{\phi_{\text{fiber}}}{\phi_{spot}} = \frac{NA_{spot}}{NA_{fiber}}, \tag{2}$$

which have to satisfy that

$$NA_{fiber} = \frac{NA_{spot}}{\beta} \le 0.22, \tag{3}$$

where NA_{spot} is the numerical aperture of the spot got from the previous part of eliminating light-free zone; β is the magnification of the lens to be designed in need.

To design the magnification β of the lens, there are relationships in geometrical optics

$$\begin{aligned} \beta &= -\frac{\phi_{\text{fiber}}}{\phi_{spot}} = \frac{l'}{l}, \\ L &= -l + l', \\ \frac{1}{l'} - \frac{1}{l} &= \frac{1}{f'}, \end{aligned} \tag{4}$$

where $-l$ is the objective distance while l' is the image distance; L is the whole optical path distance; f' is the focal length of the lens. With a known spot diameter ϕ_{spot}, it is possible to obtain a magnification β that satisfies the fiber core ϕ_{fiber} of 200 μm. The magnification here of course needs to be brought into Equation (3) and the result needs to be less than the maximum numerical aperture of the fiber NA_{fiber} of 0.22. Thereafter, taking the appropriate optical length L, the object distance $-l$ and image distance l' of the optical system can be calculated. Following this, the focal length f' of the optical system can be derived.

2.3. Coupling beams at the 3.5° divergence angle of slow axis.

The outgoing parallel light will have 19×5 beams. Then in the part of eliminating the light-free area, if the corresponding 19×5 reflect mirrors are set, it will not only increase the difficulty of commissioning and installation, but also increase the cost of manufacturing components, which is not necessary. The aperture of the beam incident into the fiber can be inferred from the numerical aperture and core of the fiber, in case the divergence angle of the beam is known (beam divergence angle of slow axes θ = 3.5°)

$$\sin\theta \cdot d = NA \cdot a, \tag{5}$$

where d is the diameter of the collimated beams; NA is the numerical aperture of the fiber while a is the core of the fiber. Therefore, the diameter d of the collimated beams can be calculated as

$$d = \frac{NA \cdot a}{\sin\theta} = \frac{0.22 \cdot 200\mu m}{\sin 3.5^{\circ}} = 720.74\mu m. \tag{6}$$

under the beam divergence angle of 3.5 degrees, a beam with a diameter of 720 μm can be received by a fiber of 0.22 numerical aperture, 0.2 μm core. As for that the proposed laser diode bar size for the two-dimensional array is 10*100 with 500μm period, light beam emitted by two laser diode bars can be bounded for one reflect mirror. This allows the beams from the laser diodes to be split into groups of two. However, since a column of laser diodes is made up of 19 laser diodes arranged in a single tube, there must be a single laser diode corresponding to a single reflecting plane mirror. Therefore, the laser diode that emits the most central beam corresponds to a single reflecting plane mirror is the most reasonable.

Then consider that multiple reflecting plane mirrors are symmetrically arranged at a certain angle according to the middlemost reflecting plane mirror.

5.2.4. Consider replacing with a complete aspherical mirror.

Considering that there are 19×5 laser diodes emitting light beams needed to be adjusted by mirrors, a great amount of mirrors are in need. As the mirrors help gather collimated beams, they tend to arrange to form a curved surface. Because of the high number of planar mirrors, it seems to be seen as multiple micro-elementary planes on a single curved surface. Then, consider whether the collimated laser beam can be collected and focused if only a complete reflector with curved surface characteristics is used.

Simulate a reflector surface in the sequence mode of Zemax OpticStudio. And try to keep the conic coefficient as close to -1 as possible so that the mirror surface is paraboloid or hyperboloid 3. The angle of folding of the reflector is maintained at about -7 degrees as much as possible, so that the direction of the optical path is not only separated from the collimated beam, but also minimizes the size of the entire optical path system. RMS RADIUS is an important parameter that reflects the quality of dispersion. The spot radius is used as an optimization function to optimize the conic coefficient of the aspheric reflector surface, and the length of the converging optical path. Layout and Spot Diagram are shown in Figure 5.

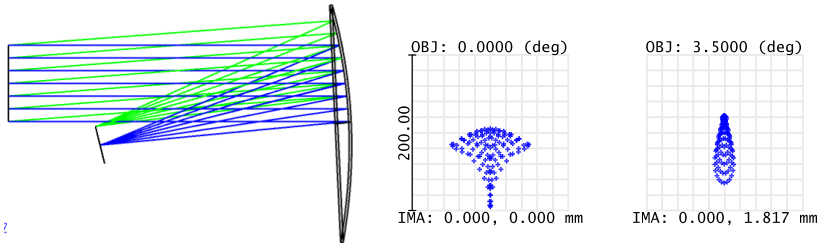


Fig. 5. Lay out of the aspherical mirror

As is displayed in Figure 5, the GEO radiuses of the two fields show 95.111 μm and 51.366 μm desirably. The Image Space NA is 0.1483405. All data are in requirement. The design meets the final requirements. The overall simulation process will follow.

Eliminating the light-free zone in non-sequential mode is shown in Figure 6.

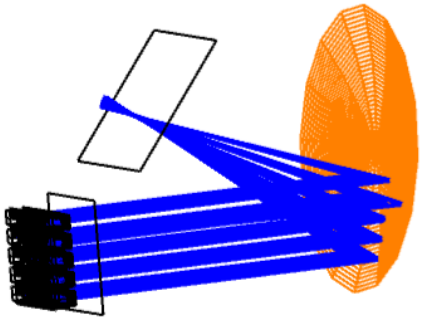
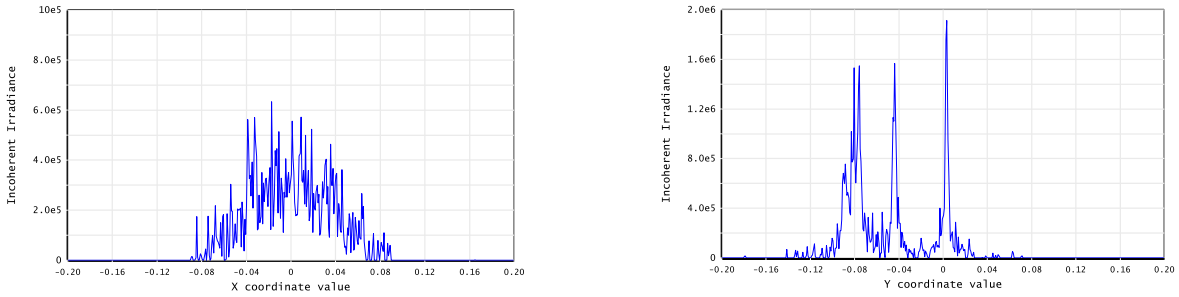


Fig. 6. NSC 3D Layout of aspherical mirror in non-sequential mode



a b

Fig. 7. Ray tracing of Detector Viewer: a) Cross Section Row; b) Cross Section Column

Finally, the Image Space NA is 0.1483405 less than 0.22, which is the numerical aperture of fiber. High reflectivity mirrors with reflectivity from 99.8% to 99.999% ensure that the final energy entering the fiber is

$$\tau = \tau_{FAC} \cdot \tau_{SAC} \cdot \rho_{mirror} \geq 99\% \times 99\% \times 99.8\% = 97.81\% > 96\%. \quad (7)$$

Thus, all data meet the requirement. Objective systems help coupling light beams from laser diode stack into the fiber core of 200 μm, which collect more than 96% energy, by the method of fast and slow axis collimation and eliminating light-free zones by aspherical mirror.

REFERENCES

1. Bo Juxue, Gao Xin, Wang Ling, et al. 808nm wavelength high-power array semiconductor laser[J] // China Laser. 2001. №. 28(6). Pp. 494-496.
2. Chen H., Jiang X., Xu S., Zhang H. Recent progress in multi-wavelength fiber lasers: principles, status, and challenges[J] // Chinese Optics Letters. 2020. №. 18. P. 041405.
3. Luo Yame, Liang Yiping, Xiong Lingling. Relationship between spherical fiber coupler parameters and coupling efficiency.

Выпускница
Спасюк Ирина Владимировна
институт международного развития и партнерства
Направление подготовки: 27.04.05 – Инноватика
e-mail: spasyuk.irina@gmail.com

Научный руководитель
Логинова Екатерина Юрьевна
доцент
e-mail: nova.loginova@gmail.com

УДК 364.144

КОММУНИКАЦИОННЫЕ БАРЬЕРЫ МЕЖДУ ВЫПУСКНИКАМИ ДЕТСКИХ ДОМОВ И ВУЗАМИ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА (НА ПРИМЕРЕ ИТМО)

По данным на 2022 год, в России проживает свыше 455 тыс. детей-сирот и детей, оставшихся без попечения родителей [1]. Из них более 13 тысяч детей приходится на Санкт-Петербург и Ленинградскую область [2]. Воспитанники детского дома как социальная группа находятся в замкнутом круге: отсутствие мотивации к учебе и, как следствие, низкий балл аттестата ограничивают выбор дальнейшей образовательной траектории. В то же время, дефицит информации об альтернативных возможностях построения образовательного маршрута, о текущей ситуации на рынке труда, актуальных профессиях, не способствует стимулированию мотивации к учебе [3]. В связи с этим даже наиболее подготовленные и мотивированные школьники из детских домов и центров содействия семейному воспитанию, находятся в информационном вакууме, потому что воспитатели и социальные педагоги, представители благотворительных фондов в рамках профориентации делают акцент на рабочих специальностях. В отличии от подростков, которые росли в семье и чаще всего имеют индивидуализированный выбор профессии и учебного заведения, подростку-сироте труднее развивать свои предметные предпочтения и формировать профессиональные планы.

Чтобы решить эту проблему и восполнить дефицит информации у воспитанников детских домов о потенциальных возможностях в сфере образования и на рынке труда, благотворительным фондам необходимо привлечь к сотрудничеству не только колледжи, но и университеты. Опираясь на предварительный анализ, можно предположить, что сегодня университеты выпадают из коммуникационного поля большинства школьников-сирот. Но совместная с университетами информационная работа, а также разработка профориентационных и образовательных проектов для детей-сирот позволит расширить выбор потенциальных направлений для продолжения обучения; в том числе за счет краткосрочных курсов, которые могут быть разработаны и реализованы на базе вуза; изменить отношение к университету как к незнакомой, закрытой для выпускника детского дома площадке; сформировать индивидуальную образовательную траекторию с конечной целью и заранее определить, какие знания и навыки необходимы для ее достижения.

Цель данного исследования в том, чтобы зафиксировать барьеры, которые могут препятствовать коммуникации между вузами и воспитанниками государственных учреждений для детей-сирот; подготовить рекомендации для выстраивания совместной с НКО информационной и профориентационной работы университета ИТМО с воспитанниками детских домов.

Задачи, решаемые в ВКР:

- изучить теоретическую базу исследований об образовательных траекториях выпускников детских домов и комментарии специалистов по данному вопросу;
- изучить практики внутривузовской работы с выпускниками детских домов, внедренные для помощи с адаптацией к новым условиям и профилактики отчислений в начале обучения;

- провести контент-анализ сайтов и социальных сетей университетов и центров содействия семейному воспитанию Санкт-Петербурга, чтобы зафиксировать паттерны взаимодействия вузов с воспитанниками государственных учреждений для детей-сирот;
- провести серию глубинных полуструктурированных интервью с представителями университетов Санкт- Петербурга, представителями НКО, работающих с детьми-сиротами и выпускниками детских домов, с целью формирования полной картины взаимодействия вузов с воспитанниками детских домов, а также выявления коммуникационных барьеров между ними;
- на основании полученных данных прописать рекомендации по выстраиванию совместной информационной и профориентационной работы университета ИТМО с НКО и с государственными учреждениями с воспитанниками детских домов. При успешно реализации проекта, рекомендации могут быть адаптированы для других вузов.

В рамках исследования удалось выявить 6 коммуникационных и 3 некоммуникационных барьера между университетами и воспитанниками детских домов. Коммуникационные:

- отсутствие четкого понимания какого рода благотворительная помощь детям-сиротам будет наиболее эффективна;
- ни одна сторона не проявляет инициативу для налаживания сотрудничества;
- вузы рассматриваются НКО исключительно как площадки для получения высшего образования, а не как источник наиболее актуальной информации о рынке труда и современных профессиях;
- университеты могут быть не готовы к работе с детьми- сиротами, у которых часто возникают трудности с межличностным общением, адаптации к новым условиям;
- по мнению представителей НКО, обучение в вузе не даст детям-сиротам никаких финансовых гарантий;
- в условиях системы государственных воспитательных учреждений индивидуальные образовательные потребности конкретного воспитанника могут быть проигнорированы.

Как следствие, подтверждается тезис, упомянутый в теоретической части исследования, о том, что образовательные траектории ограничиваются, и дети, находясь в информационном вакууме, не знают, какие потенциальные образовательные и карьерные возможности может предложить им университет.

Некоммуникационные барьеры:

- невозможность оказания вузом системной помощи, например, репетиторских услуг, потому что у вуза нет людей, готовых на безвозмездной основе брать на себя такую ответственную задачу — ресурсный барьер (нехватка людей)
- отсутствие выгоды при наличии издержек для университета — ресурсный барьер (нехватка финансов).
- повышенный риск для университета на системном уровне работать с детьми-сиротами, поскольку это может вызвать повышенное внимание со стороны медиа — репутационный барьер.

Рекомендации по выстраиванию коммуникации между Университетом ИТМО и воспитанниками государственных учреждений для детей-сирот:

1. Работа должна представлять собой не разовое мероприятие, как единичный мастер-класс или экскурсию, а комплексную программу Чаще всего организации начинают приглашать к себе детские дома или посещать их сами в последний год перед выпуском. Если это происходит каждую неделю, такие встречи начинают вызывать раздражение, усталость и не запоминаются, о чем говорят сами выпускники.
2. Выстраивать коммуникацию с воспитанниками следует начинать не в последний год их обучения, а с 7 класса. Для начала их следует познакомить с вузом, например, приглашая участвовать во внутривузовских мероприятиях: велопрогулка с ректором, ITMO Family day, Фестиваль STAGE: Science & Technological Graduate Art Exhibition, ITMO.Megabattle и т. д. Так, они получат возможность не просто посмотреть, но и пообщаться со студентами, почувствовать себя участниками университетских активностей, а не сторонними наблюдателями. С инициативными,

заинтересованными школьниками продолжать системную работу, подключая образовательные и профориентационные мероприятия. Работа с воспитанниками детского дома на площадке вуза, общение со студентами, участие в спортивных и культурно-творческих мероприятиях вуза, может стать отдельным мотивирующим фактором, чтобы задуматься о поступлении в университет или выборе другой альтернативной образовательной траектории, не такой, как у большинства знакомых из детского дома, то есть, преодолеть свойственно детям-сиротам чувство конформизма.

3. Поскольку системную работу организовать сложно, она связана с рядом издержек для вуза и не несет ему прямой выгоды, к тому же мало людей, готовых к дополнительной неоплачиваемой, но долгосрочной и ответственной деятельности, вузы могут сотрудничать с НКО, такими как «Мята», «Будущие лидеры», «Арифметика добра», «Подари мне крылья» и т. д. Один из сценариев — проведение уже существующих в ИТМО курсов для школьников (Курс ИТМО.Карьера, курсы по подготовке к ЕГЭ по физике, математике, информатике, химии, курс по основам языка программирования Python, курс графического дизайна и т. д.) для группы воспитанников детских домов. Университет может взять на себя предоставление площадки и преподавательского состава, предоставить скидку на обучение, в то время как НКО займутся организационными моментами: финансовыми вопросами, отбором детей, для которых может быть полезен курс, поиском волонтеров, которые смогут сопровождать детей до площадки и обратно, если в этом будет необходимость.
4. Мероприятия не обязательно должны ориентировать выпускников на поступление в высшее учебное заведение, но должны предоставлять информацию о рынке труда и возможных образовательных и карьерных траекториях. Это может быть реализовано через публикации, ориентированный на воспитанников детских домов (подробнее в пункте 8).
5. Помимо программ полного высшего или средне-специального образования могут быть разработаны и предложены курсы по освоению каких-либо востребованных и быстро монетизируемых навыков, поскольку выпускникам детских домов необходимо быстро найти способ заработка, пока не кончились денежные накопления. Это могут быть курсы web-дизайна, программирования, создания сайтов и презентаций (данные курсы уже существуют на базе университета), видеомонтажа, копирайтинга, SMM (на базе школы Мегабайт медиа), таргетинга и web-аналитики и т.д.
6. Можно также мотивировать активных студентов вуза стать наставниками для одного или нескольких детей-сирот, чтобы у каждого школьника была дополнительная поддержка, куратор, к которому можно обратиться за помощью по учебе или с вопросом. Таким образом, удастся максимально индивидуализировать образовательный и карьерный маршрут каждого школьника.
7. Ориентируясь на позитивный пример Высшей школы экономики, на базе университета можно проводить хакатоны, кейс-чемпионаты для вовлечения студентов в изучение и разработку социальных образовательных и профориентационных проектов для детей-сирот. Это косвенно относится к налаживанию коммуникации, но только исследуя тему, анализируя результативность проектов, как это делают в Высшей школе экономике, можно оказывать эффективную помощь и показывать студентам, что благотворительность может и должна заключаться не только в финансовой поддержке, но способствовать развитию у детей-сирот навыков целеполагания, принятии ответственности за свою жизнь и самостоятельных решений в отношении своей будущей карьерной траектории. Лучшие идеи и социальные проекты могут быть заявлены на конкурс «Эффективная филантропия», реализуемый Благотворительным фондом Владимира Потанина, с которым ИТМО активно сотрудничает, для получения финансирования.

8. Университет может налаживать коммуникацию с воспитанниками детских домов, в том числе, изменив формат подачи информации на своих информационных ресурсах (на сайте и в социальных сетях). Вместо абстрактного описания льготных категорий граждан формулировать публикации в форме обращений к воспитанникам и выпускникам детских домов с описанием различных образовательных программ и курсов, которые может предложить университет, приглашать на мероприятия, рассказывать об актуальных профессиях. Отправлять публикации в социальные сети ЦССВ с предложением подписаться на группы университета. Таким образом, воспитанники детского дома, при наличии желания с их стороны, смогут выйти из информационного вакуума.
9. На базе университета можно продолжить реализацию программ, описанных в главе 1, параграфе 1.2, разработанных представителями других российских вузов: программу Л.А. Жилиной по социально-педагогическому сопровождению студентов — выпускников детских домов, модель тренингового обучения А.В. Серого, нацеленную на изменение отношения к жизни, повышение мотивации и личностный рост или программу, реализованную при Пензенской государственной архитектурно строительной академии и описанную в научной статье «Сопровождение детей-сирот до зрелого возраста в системе образовательных учреждений Университетского учебного комплекса» Адаптировать данные программы для школьников, помочь им заранее выстроить образовательный маршрут для поступление в университет ИТМО, если у них такое желание и возможность, повысить мотивацию и сформировать правильные психологические установки.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Численность детей-сирот и детей, оставшихся без попечения родителей, в возрасте до 18 (23) лет, имеющих право на получение мер социальной поддержки за счет средств бюджета субъекта Российской Федерации // Федеральная служба государственной статистики. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://rosstat.gov.ru/folder/13807 (дата обращения: 02.04.2023).
2. Информация о деятельности организаций для детей-сирот и детей, оставшихся без попечения родителей, Санкт-Петербурга за 2022 год // Администрация Санкт-Петербурга. Официальный сайт. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.gov.spb.ru/gov/otrasl/trud/socialnye-voprosy/siroti/opeka/ (дата обращения: 30.05.2023).
3. Кузнецова М.Н., Рычкова Л.С., Морозова С.В. Соотношение особенностей личности с качеством успеваемости у детей-сирот // Общество: социология, психология, педагогика. 2019. №. 6 (62). С. 67-73.

Выпускник
Афанасенкова Анастасия Владимировна
факультет технологического менеджмента и инноваций
Направление подготовки: 27.04.05 – Инноватика
e-mail: an.afanasenkova@gmail.com

Научный руководитель
Воловиков Артем Юрьевич
к.т.н, доцент
e-mail: a.volovikov@arskatech.com

УДК 504.06

АНАЛИЗ И ОЦЕНКА ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ ПЛАСТИКА МЕТОДОМ ХИМИЧЕСКОГО РЕЦИКЛИНГА

Несмотря на то, что существует достаточно много методов переработки пластика, к сожалению, до сих пор неизвестно, какая существующая или инновационная технология переработки теоретически обеспечивает наибольшую экологическую выгоду для переработки полимеров и, следовательно, какие технологии лучше всего подходят для экономики замкнутого цикла.

Цель магистерской диссертации заключается в оценке воздействия технологии переработки пластика методом химического рециклинга на окружающую среду и разработке рекомендаций по оптимизации жизненного цикла технологии.

Научная значимость диссертационного исследования заключается в проведении системного анализа технологий химического рециклинга, а также анализа экологических аспектов технологии химического рециклинга организации ООО «АРСКА ТЕК» по переработке пластика в углеводороды с использованием программного обеспечения «SimaPro», что позволило подтвердить гипотезу по снижению выбросов CO_2-е и определить дальнейшее направление исследования.

Результаты исследования способов и проблем переработки пластиковых отходов позволили сделать следующие выводы. В настоящее время разработка новых, более «экологичных» материалов имеет важное значение для сокращения выбросов парниковых газов и соблюдения Парижского соглашения по борьбе с изменением климата. Подавляющее большинство продуктов, содержащих полимеры, не были разработаны с учетом устойчивости, но на пути к циркулярной экономике должны быть переработаны эффективным способом.

Подводя итог, можно сказать, что на данный момент переработка осуществляется для ограниченного потока пластиковых отходов. Однако существуют альтернативные, инновационные технологии переработки, которые могли бы восполнить эти пробелы. Они включают в себя варианты химического рециклинга, при котором пластиковые отходы перерабатываются в мономеры или исходное сырье (углеводороды) термохимическими методами. Разрабатываются и другие варианты переработки с использованием химических веществ, такие как деполимеризация, которая разрушает полимерные цепи, или растворение, которое оставляет полимерные цепи неповрежденными.

Таким образом, химическая переработка должна рассматриваться как потенциальное решение для достижения перехода к циркулярной экономике. Прежде всего, она должна рассматриваться как дополнительный вариант обращения с отходами, который может способствовать сокращению количества отходов, попадающих в природную среду, и заменить неэффективные методы обращения с отходами, которые увеличивают загрязнение окружающей среды.

Несмотря на то, что уровень готовности технологии у химических методов варьируется в диапазоне TRL 5-7 (средний) что, несомненно, ниже, чем у таких технологий как сжигание

и механическая переработка TRL 8-9 (высокий), многие виды полимеров можно переработать в ценные материалы только химическими методами [1].

Однако химическая переработка не лишена своих критиков, многие ставят под сомнение экологические показатели этих процессов. В результате чего, представляет интерес произвести расчет воздействия на окружающую среду данной технологии [2].

В процессе анализа методов оценки экологической устойчивости были собраны данные для лучшего понимания взаимосвязи каждого инструмента и уместности их использования для решения различных задач. В результате был подобран инструмент для оценки экологических аспектов технологии переработки пластика методом химического рециклинга – оценка жизненного цикла (ОЖЦ). В отличие от других инструментов, ОЖЦ является наиболее исчерпывающим анализом, позволяя оценить воздействие на такие категории как: глобальное потепление, закисление среды, истощение озонового слоя, токсичное воздействие на человека, потребление природных ресурсов и др.

После появления концепции устойчивого развития, главным «виновником» глобальных экологических проблем являлся корпоративный сектор. Но, помимо этого, и основная часть ответственности за состояние и поддержание благоприятной экологической обстановки была передана именно корпоративному сектору, так как он выступает в качестве основного инвестора в данную концепцию [3].

Компания АРСКА ТЕК специализируется на технологиях, направленных на решение проблем, связанных с окружающей средой. Компания разработала технологию переработки полимеров в высокомаржинальный продукт (синтетическую нефть) методом химического рециклинга. Для количественной оценки воздействия на окружающую среду данной технологии была проведена оценка жизненного цикла.

Анализ методических рекомендаций по проведению ОЖЦ показал, что несмотря на то, что ISO выпустила ряд международных стандартов для оценки жизненного цикла, по сей день методические разработки ОЖЦ продолжают преодолевать слабые места. Кроме того, так как ISO никогда не ставила своей целью детально стандартизировать методы ОЖЦ, и поскольку нет общего соглашения о том, как интерпретировать некоторые требования ISO, были разработаны различные подходы в отношении границ системы. По результатам проведенного анализа, в исследовании использовался подход Cradle-to-Gate, где оценивались внутренние процессы производства технологии химического рециклинга. А так как рассматриваемая технология связана с циркулярной экономикой, был выбран такой вид ОЖЦ как «упрощенная ОЖЦ», которая допускает наличие вторичных данных в расчетах. Метод, который использовался при проведении оценки жизненного цикла – ReCiPe. Функциональная единица (ф.е.): 1 тонна пластиковых отходов.

С использованием программного обеспечения «SimaPro» были смоделированы три сценария для оценки воздействия на окружающую среду, результаты которых представлены на рисунке 1:

- сценарий 1: технология химического рециклинга;
- сценарий 2: технология сжигания;
- сценарий 3: складирование пластиковых отходов на свалках.

Учитывая то, что в ходе анализа технологий химического рециклинга были выявлены спорные моменты на счет экологической составляющей данного метода переработки пластика, была сформулирована гипотеза: технология химического рециклинга (пиролиз) оказывает наименьший экологический ущерб, чем такие технологии как сжигание и складирование на свалках. Данная гипотеза была разбита на две составляющие, которые наиболее часто подвергались критике специалистов:

1) технологии химического рециклинга позволяют сократить выбросы CO_2-е при переработке;
2) технологии химического рециклинга позволяют сократить использование ископаемого сырья.

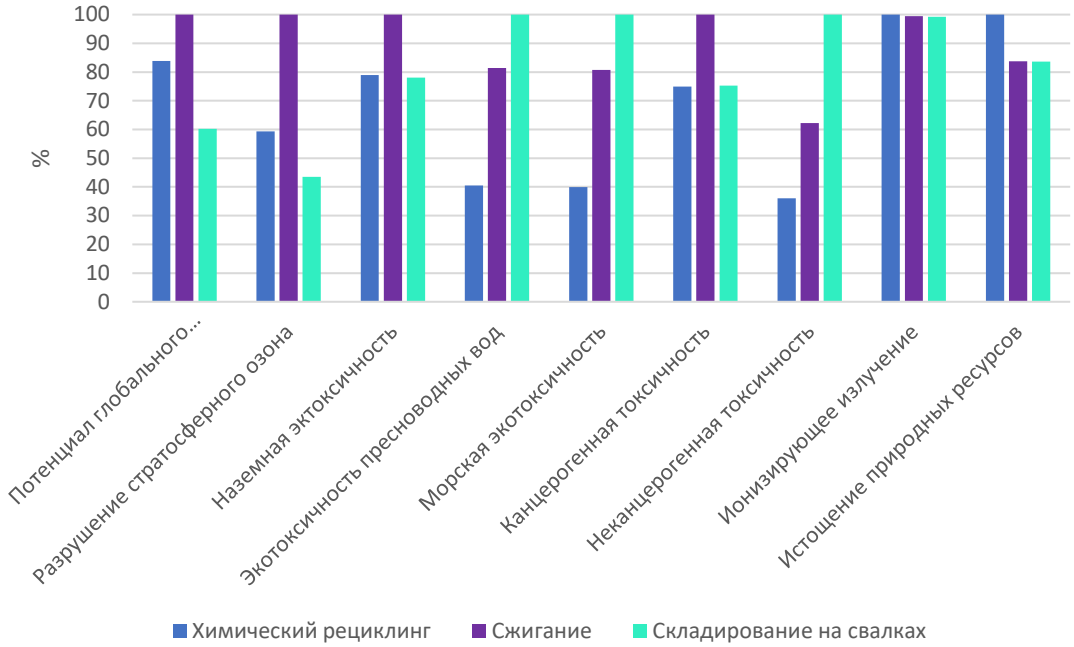


Рис. 1. Результаты оценки жизненного цикла по категориям воздействия

Результаты проведения ОЖЦ показали, что переработка пластика методом химического рециклинга (пиролиз) позволяет сократить выбросы 1 тонны CO_2-eq на 1 тонну пластиковых отходов по сравнению с методом сжигания. Что подтвердило первую часть гипотезы.

Однако, ионизирующее излучение от ЖЦ технологии химического рециклинга (210 kBq Co-60-eq) выше, чем технологии сжигания (208 kBq Co-60-eq), но не значительно – 0,5%.

Наиболее опасной технологией для человеческого здоровья в категории «канцерогенная токсичность» является технология сжигания (139 kg 1,4-DCB), это связано с выделением диоксинов при сжигании, которые являются возбудителями онкозаболеваний. Показатели технологии химического рециклинга по категории «канцерогенная токсичность» ниже (104 kg 1,4-DCB), так как пиролиз протекает в отсутствие кислорода. Несмотря на то, что технологии химического рециклинга и складирования на свалках имеют одинаковый уровень канцерогенной токсичности, складирование на свалках не способствует переходу к экономике замкнутого цикла. По категории «неканцерогенная токсичность» технология химического рециклинга является наиболее благоприятной для поддержания необходимой обстановки для здорового общества.

Гипотеза 1 была подтверждена, однако гипотеза 2 не может быть проверена исходя из полученных результатов, для проверки были сформулированы рекомендации по дальнейшему исследованию.

В ходе анализа научной литературы было выявлено, что одним из немаловажных преимуществ химического рециклинга является снижение воздействия на ископаемые ресурсы. Однако, полученные результаты в ходе проведения ОЖЦ, показывают обратное (рис. 1). Итоговые значения обусловлены тем, что в данной системе не рассматривалось включение полученных углеводородов обратно в жизненный цикл пластиковых изделий. Вследствие чего, требуется совсем другой сценарий ОЖЦ. В этом сценарии необходимо вернуть полученные углеводороды в систему производства пластиковых изделий, тем самым получив новый сценарий для оценки. В итоге будет представлена возможность рассчитать разницу в использовании ископаемых ресурсов (компонентов пластика).

Между тем, можно создать сценарий, который будет лучше демонстрировать нагрузку на ископаемые ресурсы. Этот сценарий включает в себя добавление в уже существующую систему (рис. 2) еще один этап, а именно транспортировку на нефтеперерабатывающий завод (НПЗ) для формирования нового конечного продукта (рис. 2), а именно «нафты из пластика».

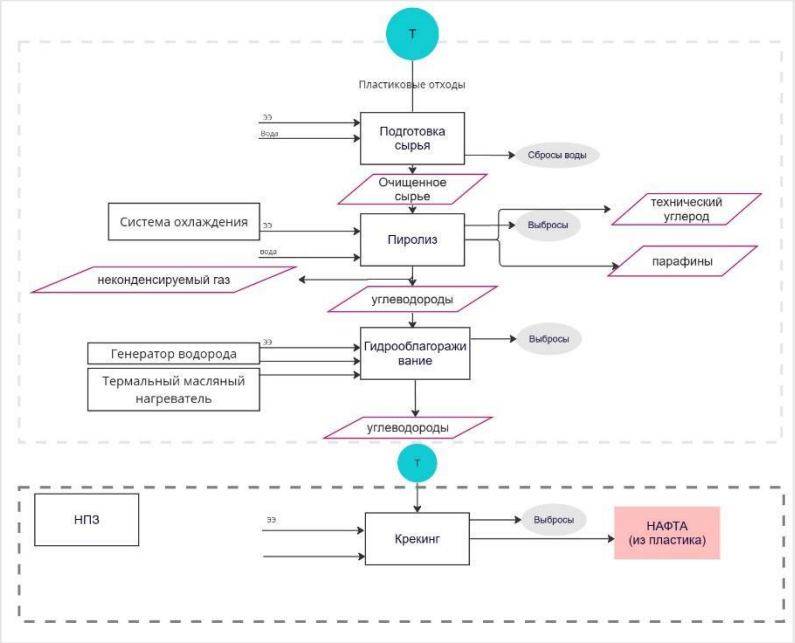


Рис. 2. Продукционная цепочка, сценарий 4 (нафта из пластика)

Рис. 3. Продукционная цепочка, сценарий 5 (производство нафты)

Для смоделированной системы – сценарий 4, необходимо обозначить новую функциональную единицу, на которую будет производиться пересчет. И для этого необходимо формирование еще одного сценария, с которым будет происходить сравнение. Для сценария 5 рекомендуется рассмотреть систему границы которой будут начинаться с добычи нефтегазоводяной жидкости и заканчивая этапами преобразования ее в нафту (рис. 3).

Согласно рисунке 2, 3, в сценарии 4, как и в сценарии 5 присутствует транспортировка. Данный факт приводит к выводу о том, что необходимо определиться с протяженностью транспортировки и логистикой для более точных расчетов ОЖЦ.

Рекомендуется для расчетов сценария 4 и 5 делать пересчет на функциональную единицу – нафта. Так как данная ф.е. позволить сравнить затраты ресурсов и воздействие на окружающую среду для производства 1 тонны нафты и для сценария 4 (при помощи химического рециклинга) и для сценария 5 (традиционным методом).

В результате проведения инвентаризационного анализа, были обозначены сопутствующие продукты системы, которые могут представлять потенциальную ценность для жизненного цикла технологии химического рециклинга.

Продуктами этапа «пиролиз» выступают: неконденсируемые газы, технический углерод, парафины и жидкие углеводороды. В системе расчета ОЖЦ на этапе инвентаризационного анализа: парафины, технический углерод и неконденсируемые газы были выведены из системы и не учитывались при расчетах. Однако, неконденсируемые газы представляют потенциальный интерес для жизненного цикла технологии химического рециклинга.

Согласно полученным результатам, в ходе научного обзора, образовавшиеся газы можно использовать как топливо для процессов, тем самым снизив затраты на электроэнергию [4, 5].

Взяв за основу процентное соотношение компонентов неконденсируемых газов от компании ООО «АРСКА ТЕК», образовавшихся в результате пиролиза пластиковых отходов был произведен расчет потенциальной электроэнергии. Учитывая то, что при медленном пиролизе 1 тонны пластика при температуре 450-550°С, может выделиться примерно 10-12% неконденсируемых газов, были получены следующие результаты.

Предполагая, что неконденсируемые газы используются для выработки электроэнергии с КПД 45%, можно подсчитать, что на каждую 1 тонну пластика можно сэкономить около 591 кВт*ч электроэнергии. Это говорит о том, что представляется возможным снизить затраты на электроэнергию для химического рециклинга, которая требуется на 1 функциональную единицу на 42%.

Следует учитывать, что результаты являются индивидуальными для каждой технологии, ведь в рамках одной и той же технологии могут наблюдаться значительные различия во входных параметрах, а процентное соотношение неконденсируемых газов и полученный объем может быть разным.

Таким образом, в рамках выпускной квалификационной работы были решены все поставленные задачи: произведен анализ способов и проблем переработки пластиковых отходов, проанализированы технологии переработки пластика методом химического рециклинга, произведен сравнительный анализ методов оценки экологической устойчивости системы взаимоотношений «Человек-Природа», проанализированы методические рекомендации по проведению оценки жизненного цикла, произведена оценка жизненного цикла технологии переработки пластика методом химического рециклинга/сжигания/складирования на свалках, на основе проведенной ОЖЦ были сформулированы рекомендации по оптимизации жизненного цикла технологии при помощи включения неконденсируемых газов в производственный процесс, тем самым снижая затраты на электроэнергию на 42%. Между тем сформулированы рекомендации для проверки гипотезы 2 и разработаны сценарии 4,5 для дальнейших расчетов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Афанасенкова А.В., Воловиков А.Ю, Волков А.Р. Сравнительный анализ технологий переработки пластика и оценка жизненного цикла технологии химического рециклинга// Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Экономика и экологический менеджмент. 2023. №. 3 (54).
2. What is the advantage and disadvantage of using pyrolysis technology to convert plastic to oil? [Electronic resource]. – Access mode: https://www.wastetireoil.com/Pyrolysis_news/Industry_Trends/advantage_and_disadvantage_of_using_pyrolysis_technology_to_convert_plastic_to_oil1121.html (date of access: 01.03.2023).
3. Волков А.Р., Афанасенкова А. Устойчивое развитие социально-экономических систем: региональный аспект // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Экономика и экологический менеджмент. 2022. №. 3(50). С. 13-23.
4. Pyrolysis of Waste Plastics into Fuels. [Electronic resource]. – Access mode: https://ir.canterbury.ac.nz/bitstream/handle/10092/4303/Thesis_fulltext.pdf?sequence=1&isAllowed=y (date of access: 01.05.2023).
5. Ковалева Н.Ю, Раевская Е.Г., Рощин А.В. Пиролиз пластиковых отходов. Обзор // Химическая безопасность. 2020. Т. 4. №. 1. С. 48-79. DOI 10.25514/CHS.2020.1.17004. – EDN PAFSHO.

Выпускник
Афанасов Артем Константинович
факультет информационных технологий и программирования
Направление подготовки: 09.04.02 – Программирование и интернет-технологии
e-mail: afanasov.artyom@gmail.com

Научный руководитель
Беляев Евгений Александрович
к.т.н.
e-mail: eabelyaev@itmo.ru

УДК 004.633.4

ДЕДУПЛИКАЦИЯ ДАННЫХ ПРИ ОТКАТАХ К ТОЧКАМ ВОССТАНОВЛЕНИЯ NTFS НА ОСНОВЕ ТЕНЕВЫХ КОПИЙ ДАННЫХ СИСТЕМЫ И МЕТАДАННЫХ ФАЙЛОВОЙ ТАБЛИЦЫ

NTFS файловая система имеет поддержку создания резервных копий путем теневого копирования данных. Инструменты цифровой криминалистики способны восстанавливать NTFS-состояния файловой системы, зафиксированные в определенные моменты времени, путем чтения теневых копий. Инструмент с открытым исходным кодом libvshadow [1], который обрабатывает теневые копии NTFS, восстанавливает каждое NTFS-состояние со всеми имеющимися файлами, что приводит к многочисленному повторению не изменяющихся между состояниями файлов. А среди множества проприетарных инструментов лишь один способен дедуплицировать данные NTFS-состояний на основе теневых копий (отсутствуют подробности того, как это реализовано). Возникает задача ускорения постобработки файлов из NTFS-состояний (например, анализ контейнеров, баз данных, извлечение текста, любой иной анализ, доступный в инструменте цифровой криминалистики). Требовалось разработать алгоритм, определяющий только изменившиеся файлы между восстанавливаемыми NTFS-состояниями на основе теневых копий данных файловой системы. Но в открытых источниках нет ни самого решения для подобной дедупликации, ни описания подходов по достижению этой цели. Статьи, в основном, цитируют libvshadow, например, [2]. Поэтому требовалось проводить обратную разработку механизма применения данных из теневых копий NTFS.

Ввиду отсутствия как подходов к дедупликации файлов на основе теневых копий, так и официальной документации к теневым копиями NTFS от Microsoft, для начала требовалось изучить структуру теневых копий и алгоритм их чтения по неофициальной спецификации к теневым копиям от проекта libvshadow [3, 4]. Это нужно было для определения того, что возможно использовать для дедупликации файлов на основе теневых копий. Стало понятно, что требуется уделить особое внимание дескрипторам разностных блоков теневых копий. Извлекать и сохранять эти дескрипторы возможно в момент инициализации теневых копий при чтении NTFS-образа.

Затем создавались теневые копии при разнообразных взаимодействиях с файловой системой для обратной разработки механизма применения данных из теневых копий NTFS. Для изучения механизма применения данных из теневых копий использовались инструменты FTK Imager (доступ к разделу диска на уровне шестнадцатеричного представления, а также к файлам теневых копий), HxD (шестнадцатеричное представление файлов, в частности Master File Table), Eraser (перезапись кластеров), а также данные извлеченных дескрипторов разностных блоков. Для формирования критериев дедупликации, указанных на рисунке 1, рассматривались все варианты взаимодействия с файловой системой: перемещение файла в корзину, удаление файла без перезаписи его данных, удаление файла с перезаписью его данных, создание нового файла (копирование есть создание), переименование файла, перемещение файла в другую директорию, добавление/изменение данных файла.

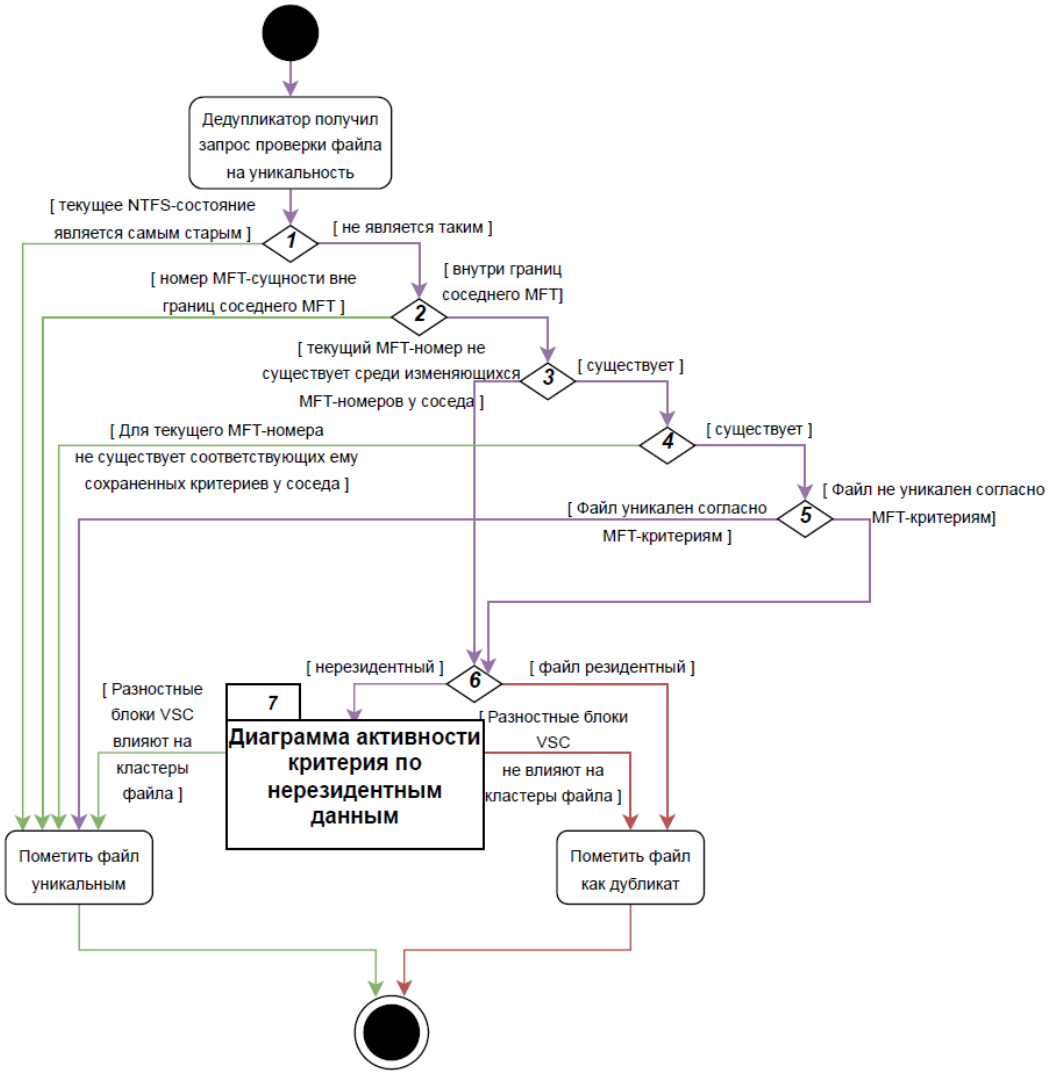


Рис. 1. Диаграмма активности критерия по нерезидентным данным

На рисунке 1 отражены следующие шаги. При получении запроса на вынесение вердикта об уникальности файла начинают применяться критерии дедупликации. Сперва учитывается порядковый номер NTFS-состояния: для самого старого NTFS-состояния все файлы отмечаются уникальными, следовательно, оно восстанавливается полностью. Затем проверяется, находится ли текущий MFT-номер за границами MFT соседнего NTFS-состояния: если находится за границами, то файл отмечается уникальным, иначе проверка продолжается. Далее проверяется, изменяется ли текущий MFT-номер в более старом NTFS-состоянии: если в более старом NTFS-состоянии нет текущего MFT-номера, то применяется критерий по нерезидентным данным (поскольку могли измениться лишь нерезидентные данные файла, но не его MFT-сущность), иначе применяются MFT-критерии. Если файл не уникален согласно MFT-критериям, тогда, если файл резидентный, то он помечается дубликатом, иначе применяется критерий по нерезидентным данным. Данная проверка нерезидентных данных необходима, т.к., во-первых, текущий MFT-номер мог оказаться ложно-измененным разностным блоком в более старом NTFS-состоянии, во-вторых, MFT-критерии не показали файл уникальном, хотя он все еще может быть уникальным по причине изменения нерезидентных данных.

Рисунок 2 отражает шаги применение критерия по нерезидентным данным. Для каждого Data run (цепочка непрерывно расположенных кластеров файла) из списка Data run’ов вычисляется смещения начала и конца Data run. Учитывая размер кластера обрабатываемой NTFS, вычисляется зазор. Зазор – это длина, отложенная влево от смещения начала кластеров (см. пример на рисунке 3). Его необходимо учитывать, т. к. при попадании смещения дескриптора в зазор, разностный блок все еще может повлиять на Data run. Далее сначала

проверяется, является ли оригинальное смещение дескриптора разностного блока больше, чем (начало Data run — зазор): если нет, то блок не влияет на Data run, иначе проверка продолжается. А именно, сначала проверяется расположение оригинального смещения дескриптора между начало зазора и началом Data run (начало Data run — зазор ≤ смещение блока < начало Data run): если оно внутри зазора, то проверяется влияние блока на границу Data run'а (вычисленная локальная битовая маска для границы Data run'а накладывается на битовая карту распределения дескриптора), иначе проверяется, располагается ли разностный блок внутри границ Data run (также это проверяется, если влияние блока на начало Data run'а не было обнаружено). Если оригинальное смещение дескриптора больше смещение начала Data run'а или блок не влияет на начало Data run'а, то проверяется, находится ли блок внутри границ Data run'а. Если блок вне границ, то он не влияет на кластеры файла, иначе проверяется расположение блока: строго внутри границ Data run'а или же конце Data run'а. Если строго внутри границ, тогда блок влияет на кластеры файла. Если на конце, то в зависимости от вычисленной локальной битовой маски для конца Data run'а и битовой карты распределения дескриптора выносится вердикт о влиянии блока на Data run.

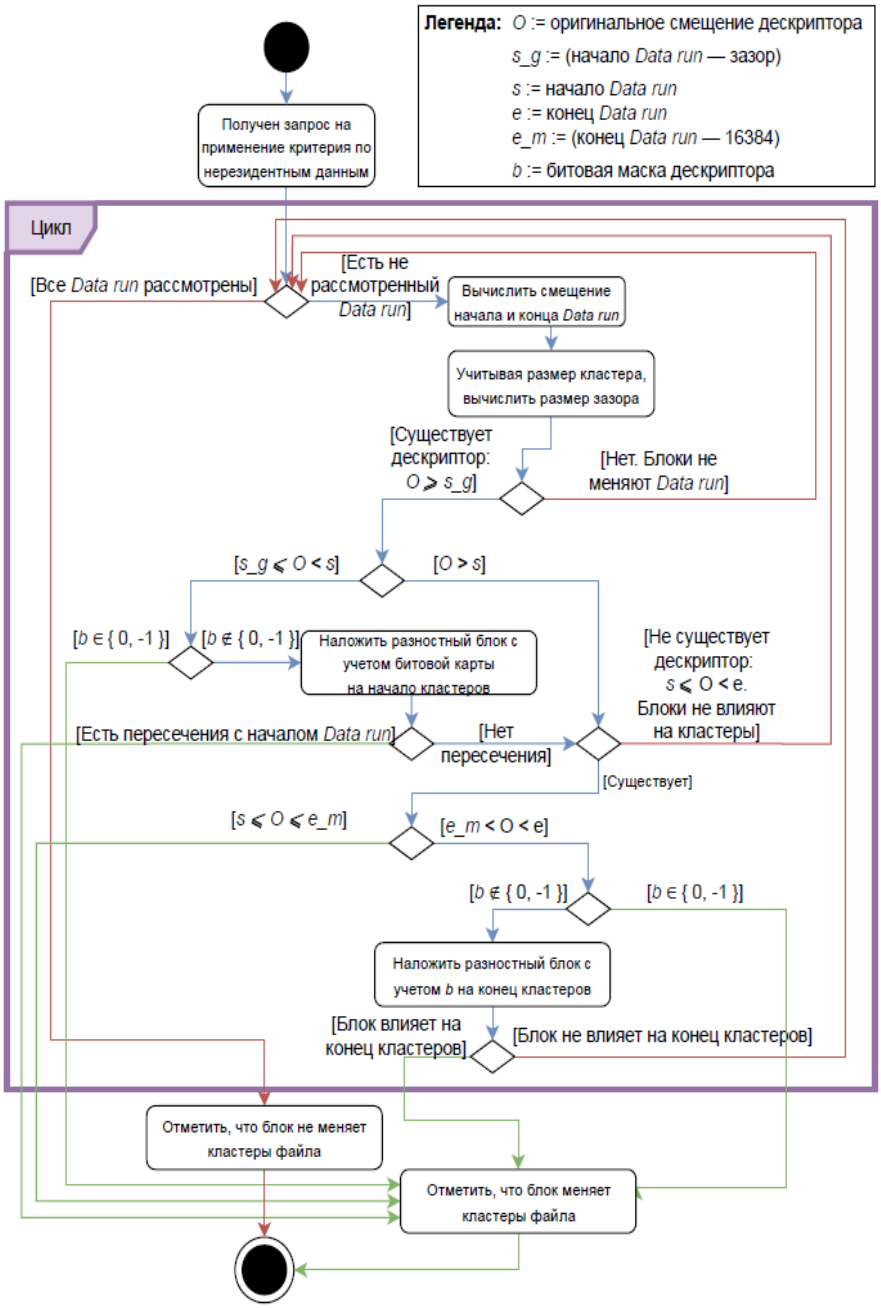


Рис. 2. Диаграмма активности критерия по нерезидентным данным

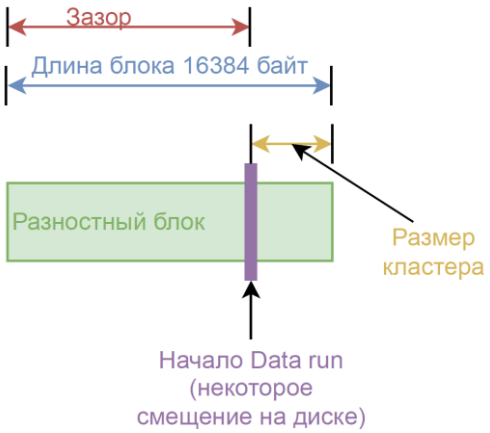


Рис. 3. Максимальная длина зазора

Далее представлено высокоуровневое описание всего алгоритма дедупликации, отражающее его основные шаги.

1. При разборе NTFS-образа извлечь из каждой теневой копии данные дескрипторов разностных блоков (оригинальные смещения, флаг, битовая маска распределения) и сохранить их (будут использоваться как при инициализации дедупликатора, так и при использовании критериев дедупликации).
2. Далее в ходе инициализации NTFS-состояний для каждого из них сохранить как порядковые номера MFT-сущностей, так и данные MFT-сущностей, соответствующие критериям дедупликации. И то, и другое сохраняется только для тех сущностей, которые изменяются при восстановлении NTFS-состояний разностными блоками из теневых копий. Чтение этих данных возможно, поскольку в ходе инициализации NTFS-состояний имеется доступ к MFT.
3. Сконструировать дедуплицированную виртуальную файловую систему:
   3.1 Для каждого NTFS-состояния в ходе конструирования иерархии файловой системы для каждой MFT-сущности требуется сделать запрос к дедупликатору: «изменяется ли данная MFT-сущность по сравнению с MFT-сущностью из соседнего NTFS-состояния?» Если MFT-сущность не изменяется, то она пропускается в реконструируемой виртуальной файловой системе. Как следствие, не включается в обработку файлов при конструировании ФС и постобработку в ходе разнообразного анализа файлов. Если же MFT-сущность изменятся под действием разностных блоков, то происходит обратное действие – файл включается в конструирование виртуальной файловой системы.
   3.2 Обработать запрос дедупликатору, применив критерии сравнения (рис. 1):
      a) между данными, получаемыми из MFT-сущностей при реконструкции NTFS-состояния, и сохраненными данными MFT-сущностей из соседней копии: порядковый номер MFT-сущности, смещения кластеров (список Data Run’ов), название файла, порядковый номер родительской директории, размер резидентных данных, сами данные резидентного файла (их размер менее одного килобайта для каждого резидентного файла).
      b) на основе разностных блоков, изменяющих нерезидентные данные файлов (рис. 2).

Необходимо отметить, что не все MFT-сущности, определенные в шаге 2 алгоритма как измененные разностными блоками, в самом деле будут изменены при восстановлении NTFS-состояния. Это лишь потенциальные кандидаты. Это происходит по той причине (как было изучено в ходе исследования применения данных из теневых копий), что разностные блоки для MFT сохраняются в теневых копиях таким образом, что могут задевать и не изменяющиеся в действительности MFT-сущности при восстановлении NTFS-состояний. Поэтому необходимо применение обоих критериев: MFT-критериев и критерия по нерезидентным данным. Также стоит заметить, что были использованы данные из Master File Table (файл,

отражающий структуру файловой системы и содержащий метаданные резидентных и нерезидентных файлов, а также данные резидентных файлов), в частности, $DATA атрибут [5].

Были проведены измерения времени анализа файлов NTFS-образа для дедуплицированных NTFS-состояний и для полностью восстановленных NTFS-состояний в продукте компании ООО «Цифровая корпоративная защита», в который была произведена интеграция разработанного алгоритма дедупликации. Теоретически, ускорение анализа файлов в дедуплицированных NTFS-состояниях может достигать до $N+1$ раз, где N – количество теневых копий (поскольку в каждой копии не будут дублироваться одинаковые файлы). Результаты показаны в таблице. Конфигурация тестового стенда:

- SSD: Samsung SSD 970 EVO Plus 500GB;
- Intel(R) Core(TM) i5-9600K CPU @ 3.70ГГц (6 ядер). Turbo-boost до 4.4ГГц;
- чип материнской платы: Intel Kaby Point B365, Intel Coffee Lake-S;
- оперативная память 32 Гб: DDR4-3200MHz 16 Гб (две штуки);
- включен режим turbo-boost.

Далее приведено описание тестовых данных. В первой теневой копии добавлены 1680 изображений в формате JPG для извлечения лиц, GPS, текста, определения наличия порнографического содержания. Во второй, третьей, четвертой, пятой, шестой и седьмой копиях добавлялось по одному небольшому файлу (JPG-изображения, txt-файлы, docx-файлы). Суть тестовых данных в том, что во всех NTFS-состояниях при полном восстановлении файловой системы присутствуют по 1680 изображений-дубликатов (в самом старом NTFS-состоянии это уникальные файлы, а не дубликаты). Были произведены замеры в количестве 41 для включенной и выключенной дедупликации, в ходе которых проводился полный анализ восстанавливаемых NTFS-состояний внутри продукта компании. Согласно измерению времени, ускорение достигается до 7.51-7.83 раз.

Таблица. **Время выполнения обработки файлов из восстановленных NTFS-состояний с включенной и выключенной дедупликацией**

Статистики	**Включенная дедупликация**	**Включенная дедупликация**
Выборочное среднее, сек	341.1	2618.1
Среднее квадратическое отклонение, сек	19.39	202.82

В ходе работы был проведен обзор существующих решений для чтения и дедупликации теневых копий. Для реализации алгоритма, определяющего изменяющиеся, добавленные, удаляемые файлы между восстанавливаемыми NTFS-состояниями, была проведена обратная разработка механизма применения данных теневых копий. Предложенный алгоритм был интегрирован в продукт компании ООО «Цифровая корпоративная защита». Проведены измерения времени обработки файлов, которые показали, что ускорение в дедуплицированных NTFS-состояниях почти достигает до $N+1$ раз, где N – количество теневых копий. Более того, благодаря дедупликации файлов в отчетах экспертов цифровой криминалистики сокращается количество артефактов, используемых для предоставления цифровых доказательств, что облегчает их анализ. Также становится возможным отследить развитие файловой системы от самого старого состояния до текущего. А при экспорте дедуплицированных NTFS-состояний уменьшается занимаемое пространство на долговременном накопителе по сравнению с экспортом полностью восстановленных NTFS-состояний.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Проект libvshadow. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://github.com/libyal/libvshadow (дата обращения: 29.06.2023).
2. Sreeja S.C., Balanz C. Forensic analysis of volume shadow copy in Windows 7» // International Conference on Emerging Technological Trends (ICETT). 2016. Pp. 1-6.
3. Paper: Windowless Shadow Snapshots, analyzing Volume Shadow Snapshots (VSS) without using Windows. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://github.com/libyal/documentation/blob/main/Paper%20-%20Windowless%20Shadow%20Snapshots.pdf (дата обращения: 29.06.2023).
4. Volume Shadow Snapshot (VSS) format. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://github.com/libyal/libvshadow/blob/main/documentation/Volume%20Shadow%20Snapshot%20(VSS)%20format.asciidoc (дата обращения: 29.06.2023).
5. No resident and no-named attributes. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://sabercomlogica.com/en/ntfs-non-resident-and-no-named-attributes/ (дата обращения: 29.06.2023).

Выпускник
Бакламенко Даниил Васильевич
факультет технологического менеджмента и инноваций
Направление подготовки: 27.04.05 – Инноватика
e-mail: Baklamenko1@gmail.com

Научный руководитель
Соловьева Дина Витальевна
доцент, к.э.н.
e-mail: dinasolovieva@yandex.ru

УДК 339.138

БРЕНДИНГ В СФЕРЕ КУЛЬТУРНОГО ДОСУГА НА ОСНОВЕ КОНЦЕПЦИИ ENGAGEMENT-МАРКЕТИНГА

Цель исследования - создать стратегию брендирования, которая будет включать в себя элементы вовлечения на концептуальном уровне, и поможет сформировать бренду не только уникальный взгляд на свою деятельность, но и сформировать собственную самоидентификацию.

На основе симбиоза культуры и маркетинга вовлечения было сформировано авторское определение «вселенная бренда». Это субъективный взгляд бренда на реальность, через призму культуры, который формирует собственную культурную среду бренда отличную от реальной. Во вселенной бренда находится его бесконечное культурное пространство, которое включает в себя сферу деятельности бренда, потребителей, конкурентов и прочие объекты бренда.

Вдохновляясь существующими моделями о представлении вселенной [1–5] и ориентируясь на описание понятия “Вселенная бренда”, представим авторскую модель вселенной бренда на рисунке 1.

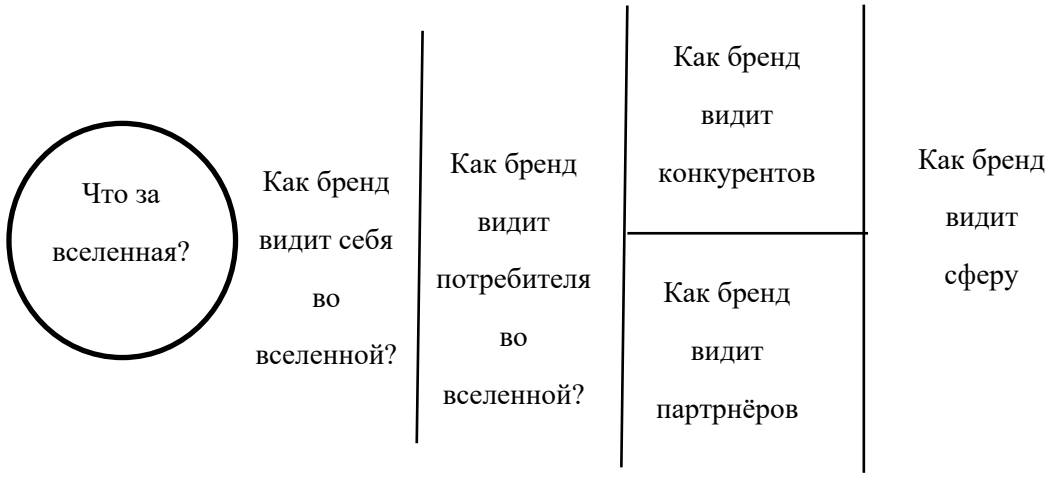


Рис. 1. Модель вселенной бренда

Данная модель лишь наглядно показывает, как выглядит вселенная бренда, но для проектирования бренда, нам надо усовершенствовать эту модель. Понять, как бренд может изучать свою вселенную и транслировать полученную информацию. Для выполнения данной поставленной задачи исследования был разработан «Метод телескопа бренда» представленный на рисунке 2.

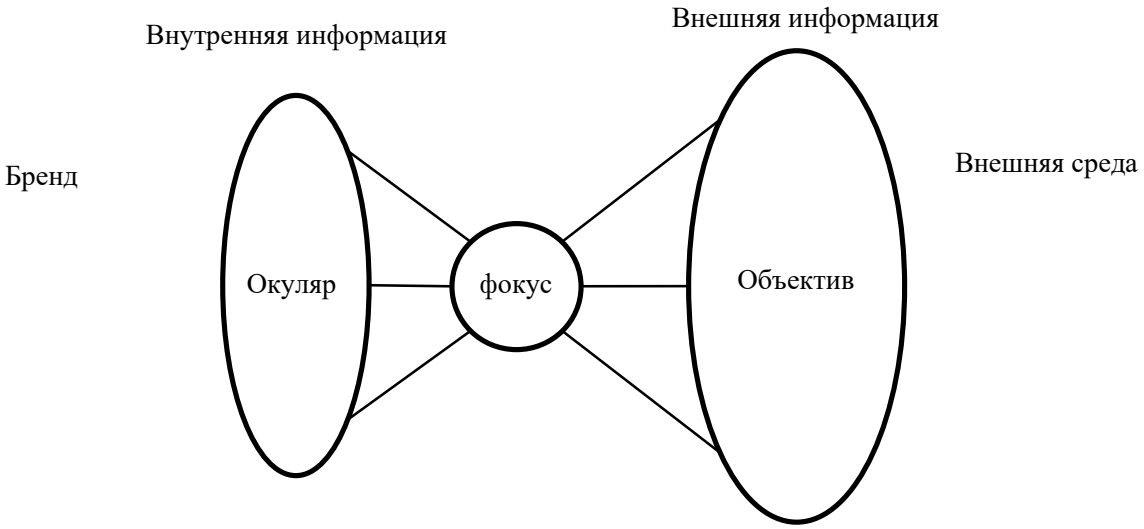


Рис. 2. Метод телескопа бренда

Метод телескопа бренда наглядно показывает этапы построения бренда и состоит из трёх основных этапов:

- I этап – Маркетинговые исследования. В результате которого происходит сбор субъективной и объективной информации с таких сфер как бренд, потребитель, сфера деятельности, партнёры, конкуренты и тренды, для её дальнейшей структуризации в авторскую модель;
- II этап – Создание и формирование идентичности бренда;
- III этап – Выбор и оценка стратегических альтернатив;
- IV этап – Формирование модели вселенной бренда.

На каждом этапе используются как уже существующие инструменты маркетинга, такие как «Колесо архетипов», анкетирование, экспертные интервью и другие. Также, используются авторские инструменты, такие как «Адаптированная модель Октализа», «Колесо вовлекающихся архетипов» и «Призма телескопа бренда».

Основой второго этапа является «Призма телескопа бренда». На данном этапе происходит процесс структурирования собранной ранее информации в платформу бренда. В рамках исследования, для брендов культурного досуга была разработана авторская платформа бренда, на основе модели идентичности Капферера, с симбиозом культуры и маркетинга вовлечения. Платформа призмы телескопа бренда представлена на рисунке 3.

Призма телескопа бренда - это платформа идентичности бренда, через призму которого бренд смотрит на свою целевую аудиторию, конкурентов, потребителей и сферу деятельности под субъективным и уникальным взглядом. Через призму телескопа бренд видит собственную вселенную, а также потребителей, конкурентов, партнеров и сферу деятельности в этой вселенной.

Платформа телескопа бренда состоит из нескольких основных частей:

- культурная реальность бренда с силами притяжения бренда;
- основа призмы бренда.

После построения основы бренда, формируется индивидуальность бренда, а самое главное, появляется возможность определить фокус бренда. По итогам второго этапа информация, полученная в ходе маркетингового исследования, должна быть структурированная в авторскую платформу бренда, с помощью создания культурной среды бренда, сил притяжения бренда и составляющих основы призмы бренда, сформирована индивидуальность бренда и определен его фокус.

Рис. 3. Платформа призма телескопа бренда

Третьим этапом является выбор стратегических альтернатив брендинга. По аналогии с дисперсией призмы, когда луч света преломляется на несколько цветов, также информация, проходя через объектив, фокус и окуляр (платформу бренда), из одного потока превращается в несколько стратегических альтернатив, автор дал этому определение – Дисперсия идентичности бренда (рис. 4).

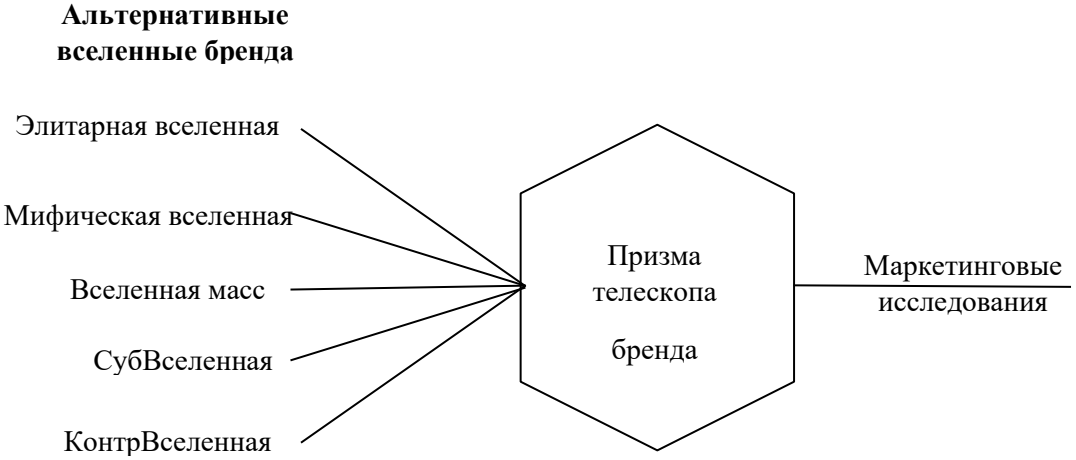


Рис. 4. Дисперсия идентичности бренда

После выявления возможных стратегических альтернатив, необходимо провести их оценку и применить наиболее подходящую стратегическую альтернативу для бренда. Для этого была разработана авторская модель оценки стратегических альтернатив, представленная в таблице.

Оценка выбора стратегических альтернатив важна для определения, под каким углом зрения, через призму какой вселенной бренд будет смотреть на свой мир, чтобы добиться максимальной эффективности и поставленных целей идентичности бренда.

Таблица. **Оценка стратегических альтернатив**

Критерии оценки	**Элитарная вселенная**	**Мифическая вселенная**	**Вселенная масс**	**СубВселенная**	**КонтрВселенная**
Соответствие стратегии целям брендирования	Нет данных	Нет данных	Нет данных	Нет данных	Нет данных
Соответствует ли стратегии выбранный фокус бренда	Нет данных	Нет данных	Нет данных	Нет данных	Нет данных
Вероятность реализации	Нет данных	Нет данных	Нет данных	Нет данных	Нет данных
Уровень вовлечения	Нет данных	Нет данных	Нет данных	Нет данных	Нет данных
Итого	Нет данных	Нет данных	Нет данных	Нет данных	Нет данных

Автор исследования выделяет несколько детерминирующих факторов, которые помогут в выборе альтернативной стратегии для бренда. Это такие факторы как:

- соответствие стратегии целям брендирования;
- соответствие стратегии выбранный фокус бренда;
- вероятность реализации;
- уровень вовлечения.

Заключительным этапом на основе всей ранее полученной информации, сформированного фокуса бренд и выбранной стратегической альтернативы, заполняется модель вселенной бренда. Которая по итогу, сможет не только сформировать самоидентичность бренда, но и выстроить уникальный взгляд на себя и своё окружение.

Представленный авторский метод был полностью апробирован на пяти брендах культурного досуга, имеющих различную классификацию. Так, метод был апробирован в таких брендах как:

- Marketorium Club;
- Game Club;
- Библиотека с выставочным залом;
- Взаперти;
- Detectit.

В результате апробации, авторская модель и другие инструменты, показали свою эффективность и работоспособность. В результате для каждого бренда были сформированы силы притяжения на концептуальном уровне, определён фокус, выбраны и применены различные стратегические альтернатив.

В результате работы всей работы был проанализирован существующий и сформирован авторский понятийный аппарат; разработаны такие авторские понятия как «Бренд культурного досуга», «Культурная среда бренда», «Силы притяжения в бренд», «Вселенная бренда» и другие; обоснована научная и практическая актуальность применения симбиоза культуры и маркетинга вовлечений в формировании идентичности бренда и влиянии на вовлечение потребителей; разработан авторский метод формирования стратегии брендинга и создания сил притяжения в бренд на концептуальном уровне; созданы такие авторские модели, методы и инструменты как: «Модель вселенной бренда», «Метод телескопа бренда», «Призма телескопа бренда», «Фокус бренда», «Дисперсия идентичности» и другие; авторский метод, модели и инструменты успешно и полноценно апробированы на примере пяти брендах культурного досуга различной классификации, целью которых является вовлечение потребителя в свой бренд и важность брендирования; выявлено, что авторский метод

применим не только на брендах культурного досуга, а в принципе является рабочим и эффективным методом для разных сфер деятельности, для решения проблем брендирования и вовлечения потребителя на концептуальном уровне.

Направлением для будущих исследований является апробирование метода на брендах других сфер деятельности и его доработка до универсальности применения и возможности его использования при формировании стратегии любых брендов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Kapferer J.-N. The New Strategic Brand Management: Creating and Sustaining Brand Equity Long Term // 4th ed. Kogan Page, London. 2008. 560 p.
2. Жуков В.Ю. Основы теории культуры: Учебное пособие для студентов вузов. – СПб.: СПбГАСУ. 2004. 192 с.
3. Аакер Д Создание сильных брендов / Дэвид Аакер ; [пер. с англ.: Старов С.А. и др.]. - 2-е изд. - Москва : Изд. дом Гребенникова. 2008. 439 с.
4. Вербах К. Вовлекай и властвуй: игровое мышление на службе бизнеса / К. Вербах, Д. Хантер. – М.: Манн, Иванов и Фербер. 2015. 223 с.
5. Гуцалов А.А. Основные характеристики культурного бренда // Культурное наследие России. 2019. №. 2. С. 37-46.

Выпускник
Бакшеев Андрей Сергеевич
факультет безопасности информационных технологий
Направление подготовки: 10.04.01 – Информационная безопасность
e-mail: andrei.baksheev@gmail.com

Научный руководитель
Лившиц Илья Иосифович
д.т.н.
e-mail: Livshitz_il@yandex.ru

УДК 004.056

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ КОНТРОЛЯ УРОВНЯ ЗАЩИЩЕННОСТИ ИНФОРМАЦИИ ОБЪЕКТОВ КРИТИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ

Обеспечение безопасности объектов критической информационной инфраструктуры (КИИ) является важной проблемой в настоящее время. Это обусловлено растущей зависимостью общества от данных систем, а также УБИ, таких как кибератаки на ИТ-инфраструктуру, стихийные бедствия и др. Последствия, которые приводят к нарушению функционирования таких объектов, могут привести к серьезным потерям, начиная от финансовых и заканчивая нарушением работы основных служб электроэнергетики, топливно-энергетического комплекса, оборонной промышленности, медицины, связи и транспорта. Поэтому важность использования эффективных методов контроля защищенности для минимизации рисков инцидентов ИБ и обеспечения надежности и нормального функционирования объектов КИИ предполагает в целом использование полного национального подхода. Данный подход должен быть комплексным и включать оценку рисков (остаточных рисков), регулярный мониторинг и тестирование всех компонентов ИТ-инфраструктуры, планирование реагирования на инциденты, соблюдение стандартов, постоянное улучшение защиты объектов КИИ. Объекты КИИ важны для экономической стабильности, национальной безопасности, здоровья и благополучия населения. Использование методов контроля может быть оптимизировано для обеспечения как максимально высокого (возможного), так и приемлемого (заданного) уровня защиты (как от внутренних, так и внешних УБИ), обеспечивая доступность, конфиденциальность и целостность. Возможность проведения контроля уровня защищенности информации определяется исходя из норм применимого законодательства и нормативных документов регуляторов (ФСТЭК России) по обеспечению безопасности объектов КИИ, методик тестирования на проникновение (ТнП).

Разработанная модель для решения поставленной задачи – контроля защищенности и аудита ИБ для объектов КИИ, позволяет обеспечить реализацию модели «двойного» режима для полного замкнутого цикла обеспечения безопасности объектов КИИ [1]:

- полный национальный режим (на основании только нормативных документов ФСТЭК России, формальных моделей УБИ, создания моделей нарушителей, применения БДУ ФСТЭК России и пр.);
- комбинированный режим, который позволяет при необходимости включать «функциональные блоки», заимствованные из лучшего опыта международных научных коллективов (управление рисками (остаточными рисками), ТнП, применение численных метрик безопасности и пр.).

На рисунке 1 предложен порядок выполнения контроля уровня защищенности информации объектов КИИ с использованием модели «двойного» режима.

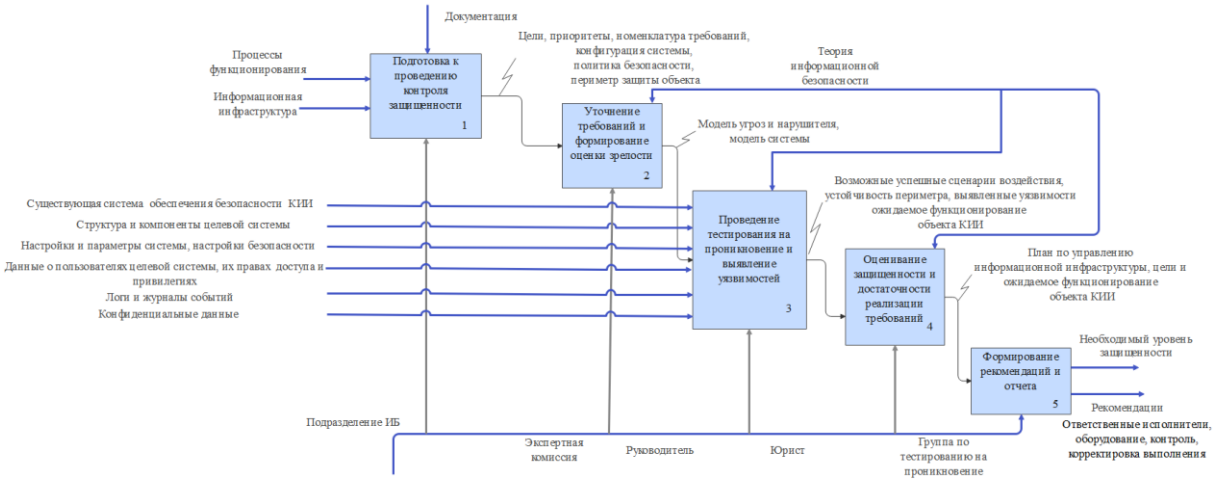


Рис. 1. Порядок действий при контроле уровня защищенности информации объектов КИИ

В мировой практике общий порядок контроля уровня защищенности может включать различные этапы, которые в предложенном методе «двойного» режима могут дополняться как функциональные блоки методики для контроля защищенности и аудита ИБ для объектов КИИ, и общая оценка будет оцениваться в зависимости от отдельных уровней оценки. Были предложены основные этапы общего порядка выполнения аудита ИБ, которые реализуются в предложенной методике для целей контроля уровня защищенности информации объектов КИИ включают: подготовку, сбор информации об объекте, оценку уровня безопасности, подготовку промежуточного отчета, мониторинг и проведение мероприятий по защите, тестирование на проникновение, анализ поведения пользователей, оценку физической безопасности, оценку рисков (остаточных рисков), реагирование на инциденты, соответствие требованиям информационной безопасности, заключение и рекомендации, непрерывное совершенствование.

Тестирование на проникновение предложено как функциональный блок методики, может применяться как дополнительный независимый способ контроля уровня защищенности информации объектов КИИ. Основные шаги данного блока включают: планирование и подготовку, сбор информации, поиск уязвимостей, тестирование и эксплуатацию уязвимостей, отчетность. Выбор данного функционального блока обусловлен получением практической, объективной и непредвзятой оценки безопасности исследуемой системы. Данный функциональный блок в предложенной методике позволяет выявлять и устранять слабые места в системе защиты, прежде чем они могут быть использованы злоумышленниками.

В таблице 1 представлены предложенные программные средства для реализации тестирования на проникновение из комплекса Kali Linux /BackTrack и Knoppix STD.

В таблице 2 представлено сравнение предложенной методики и двух проектов ФСТЭК России. Критерии сравнения были выбраны исходя из общего анализа существующей на данный момент открытой информации и включают основные характеристики и процессы, которые должны выполняться при обеспечении ИБ объектов КИИ. Исходя из результатов сравнения, предложенные проекты методик ФСТЭК России охватывают определенные аспекты их использования в конкретной специфике выполнения задач.

При оценке зрелости может использоваться «калькулятор» [2]. Оценка реализации защитных мер строится на пяти уровнях зрелости, каждый из которых характеризует применение тех или иных технологий или используемого уровня автоматизации. Данное решение было дополнено СЗИ и расчетом общего уровня зрелости защитных мер в соответствии с нормативными документами ФСТЭК России. На рисунке 2 представлено нахождение общего уровня зрелости и часть защитных мер для расчета общего уровня защищенности информации в методике.

Таблица 1. **Программные средства, используемые для тестирования на проникновение**

Тип ПО	Перечни ПО
Использование открытых источников (OSINT)	Maltego, Sherlock, Maigret, Snoop, sherlock-go, Investigo, Metagoofil, Foca
ТнП	Driftnet, Dsniff, Ethereal, Ettercap, Kismet, Nessus, Metasploit, Nmap, Ntop, SinFP, SMB Sniffer, Wireshark, Netcat, Ngrep, TCPdump
Анализ сети	Autonomous System Scanner, Ettercap, Firewalk, Netdiscover, Netenum, Netmask, Netcat, Nmap, P0f, Tctrace, Umit, Cryptcat, Firewalk
«Снифферы» и программы захвата трафика	Dsniff, Ettercap, Ethereal, Kismet, Filesnarf, Mailsnarf, Msgsnarf, Ntop, Ngrep, TCPdump, Phoss, SinFP, SMB Sniffer, Wireshark, Webspy
Идентификация портов и сетевых сервисов	Amap, AutoScan, Netdiscover, Netcat, Nmap, P0f, Umit, UnicornScan
Сканирование уязвимостей	Commix, Exodus, Firewalk, GFI LANguard, Hydra, Metasploit, Nessus, Nmap, Paros Proxy, Snort, SuperScan
Сканирование беспроводных сетей	Airsnarf, Airsnort, BdAddr, Bluesnarfer, Btscanner, FakeAP, GFI, GPSdrive, LANguard, Kismet, MACchanger, WifiTAP
Проверка целостности файлов	Autopsy, Biew, Bsed, Coreography, Foremost, Hashdig, Rifiuti, RootkitHunter, Sleuthkit
Взлом паролей	Allwords2, chntpw, Cisilia, Djohn, Hydra, Mimikatz, John the Ripper, RainbowCrack, Rcrack, SIPcrack, SIPdump, TFTP-Brute, THC PPTP, VNCrack, WebCrack
Тестирование удаленного доступа	Apache Server, IKEProbe, IKE-Scan, Net-SNMP, SSHD, TFTPD, PSK-Crack, VNC_bypauth, VNC Server
Тестирование безопасности приложений	Acunetix, CIRT Fuzzer, Fortify WebInspect, Fuzzer 1.2, NetSed, PT Application Inspector, Paros Proxy, Peach, Synopsys Managed DAST

Таблица 2. **Сравнение методик**

Критерии	**Проект «Методика оценки (анализа) защищенности информацион-ных систем»**	**Проект методики оценки состояния защиты информации (обеспечения безопасности) в органе (организации)**	**Методика контроля уровня защищенности информации объектов КИИ**
Предложено	ФСТЭК России	ФСТЭК России	Авторы
Уровни защищённости	неизвестно	4 уровня (высокий, базовый повышенный, базовый, низкий)	3 уровня (высокий, средний, низкий)
Показатели	неизвестно	(A) Организация и управление защитой информации (P) Внедрение мер защиты информации (Q) Поддержка уровня защиты информации	(M) – Меры защиты Приказов ФСТЭК, соответствующие одной из категории значимости (O) – Организационно-управленческий аспект защиты (T) – Проведение ТнП (R) – Поддержка рекомендуемого уровня защиты информации объекта КИИ

Продолжение таблицы 2

Критерии	Проект «Методика оценки (анализа) защищенности информационных систем»	Проект методики оценки состояния защиты информации (обеспечения безопасности) в органе (организации)	Методика контроля уровня защищенности информации объектов КИИ
Оценка мер защиты	неизвестно	+	+
Оценка рисков	Неизвестно	неизвестно	+
Сценарии воздействия на систему	неизвестно	неизвестно	+
Аудит ИБ	неизвестно	внутренний, внешний	внутренний, внешний
Определение периметра защиты	+	+	+
Комбинация «функциональных» блоков (расширение модели методики)	неизвестно	неизвестно	+
Рекомендации по комплексу мер, направленных на повышение уровня защищенности (Отчетность)	неизвестно	–	+
Определены программные средства	неизвестно	неизвестно	В рамках тестирования представлен перечень
Простота использования	+/-	+/-	+/-
Последовательность в реализации и соблюдении политик и процедур ИБ	+	+	+

Защитные меры	Расшифровка меры	Уровень 1	Уровень 2	Уровень 3	Уровень 4	Уровень 5	Средства реализации	Значение текущего уровня	Рекомендуемый уровень	Общий текущий уровень	Общий рекомендуемый уровень
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ИАФ	Идентификация и аутентификация	Базовая идентификация и аутентификация собственных пользователей	Многофакторная аутентификация собственных пользователей	Идентификация и аутентификация устройств	Идентификация и аутентификация внешних пользователей	Федеративная система идентификации и аутентификации при доступе к внутренним и внешним ресурсам	Организационные меры, средства защиты информации от НСД, встроенные механизмы защиты ОС, система управления доступом (IDM), системы мониторинга,средства межсетевого экранирования, межсетевой экран,DLP-система,система криптографической защиты информации	4	4	3	4
УПД	Управление доступом	Базовое управление доступом пользователей	Реализация и контроль принципа минимума привилегий. Управление доступом устройств	Реализация защищенного удаленного и мобильного доступа пользователей и устройств	Контроль доступа из внешних систем, а также в облачных средах	Управление атрибутами безопасности и сквозной политикой управления доступом пользователей и устройств во внутренней сети, на периметре, в облаках и на мобильных устройствах	Организационные меры, средства защиты информации от НСД, встроенные механизмы защиты ОС, средства межсетевого экранирования, межсетевой экран,модуль доверенной загрузки, система криптографической защиты информации	3	5		
ОПС	Ограничение программной среды	Регламентация правил установки ПО и обновлений на корпоративных компьютерах пользователей (контроль на бумаге)	Автоматизация процесса управления установкой ПО и его обновлений на корпоративных ПК пользователей	Автоматизация процесса управления установкой и обновлением ПО на сервером, сетевом и и ином оборудовании	Контроль установки и обновления ПО на личных устройствах пользователей (BYOD)	Автоматизация процесса управления установкой и обновлением ПО в облачных средах	Организационные меры, редства защиты информации от НСД, встроенные механизмы защиты ОС	2	4		

Рис. 2. Часть защитных мер и нахождение общего уровня зрелости

Для нахождения общего уровня защищенности информации в предложенной методике были введены следующие обозначения:

- К – общий уровень защищенности информации объектов КИИ;
- М – общий уровень зрелости защитных мер в соответствии с требованиями регуляторов;
- Т – уровень защищенности от внешних воздействий на целевую систему и ТнП.

Концепция расчета заключается в получении общего уровня защищенности через (1):

$$K = \{M \times T\}, \quad (1)$$

где М − Уровень зрелости, Т − Уровень защищенности.

Предложены следующие граничные условия:

- M имеет следующие числовые уровни – {1, 2, 3, 4, 5};
- T имеет следующие числовые уровни – {1, 2, 3};
- K соответствуют {1 – низкий, 2 – средний, 3 – высокий}.

Уровень M определяется в рамках оценки зрелости, заданной по требованиям регулятора.

Уровень T определяется в зависимости от проведенных способов закрепления в целевой системе и успеха в использовании эксплуатации уязвимостей. Ему соответствуют:

- {1 – низкий} – число успехов и использование уязвимостей от 9 и больше;
- {2 – средний} – число успехов и использование уязвимостей от 4 до 8;
- {3 – высокий} – число успехов и использование уязвимостей от 1 до 3.

При нахождении K принимаются следующие численные показатели уровня защищенности:

- Низкий – от 1 до 5;
- Средний – от 6 до 9;
- Высокий – от 10 до 15.

При использовании в новой методике, дополнительных функциональных блоков в модели «двойного режима», показатели будут увеличиваться пропорционально начальным значениям, например, через дополнительные коэффициенты.

Для сопоставления различных методик (двух проектов методик ФСТЭК России и предложенной методики) использовался Принцип Парето [3]. Для целей формирования уровня защищенности информации объекта КИИ и рекомендаций – оценивание защищенности, номенклатуры требований, ТнП, были предложены следующие критерии:

f_1 – стоимость проекта контроля защищенности;
f_2 – стоимость ТнП для контроля защищенности;
f_3 – длительность проекта контроля защищенности;
f_4 – объем документации, требуемой для контроля защищенности;
f_5 – стоимость новых контрактов по оказанию услуг после контроля защищенности;
f_6 – стоимость признания выполненных работ по контролю защищенности;
f_7 – доступность национальных экспертов для выполнения контроля защищенности;
f_8 – доступность специалистов для выполнения ТнП.

В данном примере оптимизации по Парето имеется:

- 3 варианта $Y = \{ y^{(1)}, y^{(2)}, y^{(3)} \}$;
- 8 критериев (m = 8);
- количественную (балльную) шкалу – 5 баллов;

Кроме того, ряд критериев был минимизирован.

В таблице 3 представлен детальный анализ вариантов по всем критериям.

Таблица 3. **Оценка по Парето различных вариантов для оценки защищенности объектов КИИ**

Вектор оценок	f_1	f_2	f_3	f_4	f_5	f_6	f_7	f_8
$y^{(1)}$	2	2	1	1	2	2	3	2
$y^{(2)}$	2	3	2	1	3	4	3	3
$y^{(3)}$	3	4	2	2	4	4	5	4

Исходя из оценки по Парето было определено, что $y^2 \succ_y y^1$ (в силу более низкой трудоемкости, выбора уровня защищенности, показателей, частных показателей и мер защиты), а также что, в свою очередь, $y^3 \succ_y y^2$ (в силу более рационального требования к документации, «двойного» режима обеспечения безопасности КИИ, доступности технических экспертов для выполнения контроля защищенности и специалистов по ТнП, а также широкого национального и международного использования концепций и методик защищенности систем). Таким образом, вектор y^3 стоит выше над всеми иными векторами (y^2, y^1), что

позволяет исключить их из множества парето-оптимальных: $y^1 \notin C(Y)$, $y^2 \notin C(Y)$. В результате предложенная методика наиболее предпочтительней исходя из детального анализа.

В представленной работе была предложена новая методика и рассмотрен пример практического решения задачи контроля уровня защищенности информации объектов КИИ. Выполнено сравнение по единой системе показателей представленной новой методики и доступных проектов новых методик ФСТЭК России.

Представленная методика базируется на методе «двойного режима» и вводит систему объективных и воспроизводимых численных оценок при выполнении контроля уровня защищенности информации объектов КИИ. Также методика учитывает оценки рисков (остаточных рисков), основывается на требованиях известных применимых стандартов безопасности, ставит своей целью непрерывное улучшение существующих систем защищенности информации объектов КИИ. Формирование объективных оценок позволит существенно повысить уровень защищенности информации, поскольку в процессе независимых аудитов обеспечивается объективность при формировании аудиторской выборки, непредвзятость в процессе доказательства аудиторских решений и прослеживаемости аудиторских выводов.

Предложенная методика и полученные результаты могут быть применены для проведения объективного и достоверного анализа защищенности систем защищенности информации объектов КИИ.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Лившиц И.И., Бакшеев А.С. Исследование методик контроля уровня защищенности информации на объектах критической информационной инфраструктуры // Вопросы кибербезопасности. 2022. №. 6 (52). С. 40-52.
2. Калькулятор оценки технологической зрелости соответствия 239-му приказу. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https: // lukatsky.ru/legislation/239.html (дата обращения: 28.12.2022).
3. Рыжиков Ю.И., Уланов А.В. Численный метод расчета многоканальных систем массового обслуживания с потоком Парето // Системы управления, связи и безопасности. 2021. №. 2. С. 1-11.

Выпускник
Беликов Андрей Александрович
факультет безопасности информационных технологий
Направление подготовки: 23.04.03 – Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов
e-mail: 62662599@mail.ru

Научный руководитель
Кузнецов Александр Юрьевич
к.т.н.
e-mail: al.ur.kouznetsov@gmail.com

УДК 004.032.26

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ДЕТЕКТИРОВАНИЯ ОБЪЕКТОВ ДОРОЖНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ И УЧАСТНИКОВ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ МЕТОДАМИ МАШИННОГО ЗРЕНИЯ ДЛЯ БЕСПИЛОТНЫХ АВТОТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

Современный автомобиль не похож на тот, что выезжал с конвейера Генри Форда. Более 70% структурного состава автомобиля – это программное обеспечение и электроника. Постоянные улучшения в данной области ведут автопромышленность появлению беспилотного автомобиля. Но, несмотря на стремительное развитие, существуют факторы, препятствующие этому — это психологический, нормативно-правовой, экономический и технологический. Все факторы взаимосвязаны между собой и ключевым является технологический. Наиболее уязвимым местом в конструкции беспилотных автомобилей является система машинного зрения.

Первой проблемой алгоритмов машинного зрения является невозможность с достаточно высокой точностью детектировать элементы из огромного многообразия классов. Современные решения направлены на разрешение лишь одной поставленной задачи, будь то сегментация, классификация или трекинг, и все они ограничены числом классов объектов. Помимо этого, алгоритмы отечественных производителей используют дорогостоящее оборудование – LiDAR’ы, что повышает себестоимость производства.

В работе был проведен анализ алгоритмов паноптической смегментации. Алгоритмы паноптической сегментации имеют сравнительно невысокий показатель точности и проблему перекрытия масок. В таблицы 1 представлено сравнение алгоритмов паноптической сегментации.

Таблица 1. **Сводная таблица существующих алгоритмов паноптической сегментации**

Наименование модели	PQ, %	AP, %	mIoU, %
Axial-DeepLab-L	41.1	-	68,4
WeaklySupervised	47,3	24,3	71,6
DINetwork	55,4	-	79,8
Panoptic FPN	58,1	33,0	75,7
AUNet	59,0	34,4	75,6
UPSNet	59,3	33,3	75,2
Seamless	60,3	33,6	77,5
AdaptIS	62,0	36,3	79,2
Panoptic-DeepLab	67,1	35,3	80,5
OneFormer	67,6	-	83,1
EfficientPS	67,8	38,3	79,3
M-RCNN + PSPNet	61,2	36,4	80,9

По результатам анализа было выявлено, что наиболее эффективные алгоритмы паноптической сегментации – это алгоритмы OneFormer, EffficientPS, Panoptic-DeepLab и M-RCNN + PSPNet. Внимательно анализируя архитектуру данных нейронных сетей, можно

обратить внимание, что в большинстве своем они имеют в структурном составе совокупность более ранних исследований. Исходя из этого было принято решение взять за основу методологию разработки наиболее эффективных алгоритмов паноптической сегментации, и заменить структурные алгоритмы более продвинутыми, что позволило составить единый алгоритм, способный устранить все недостатки предыдущих поколений, в том числе проблему наложения масок.

Таким образом, была разработана структурная схема, представленная на рисунке 1.

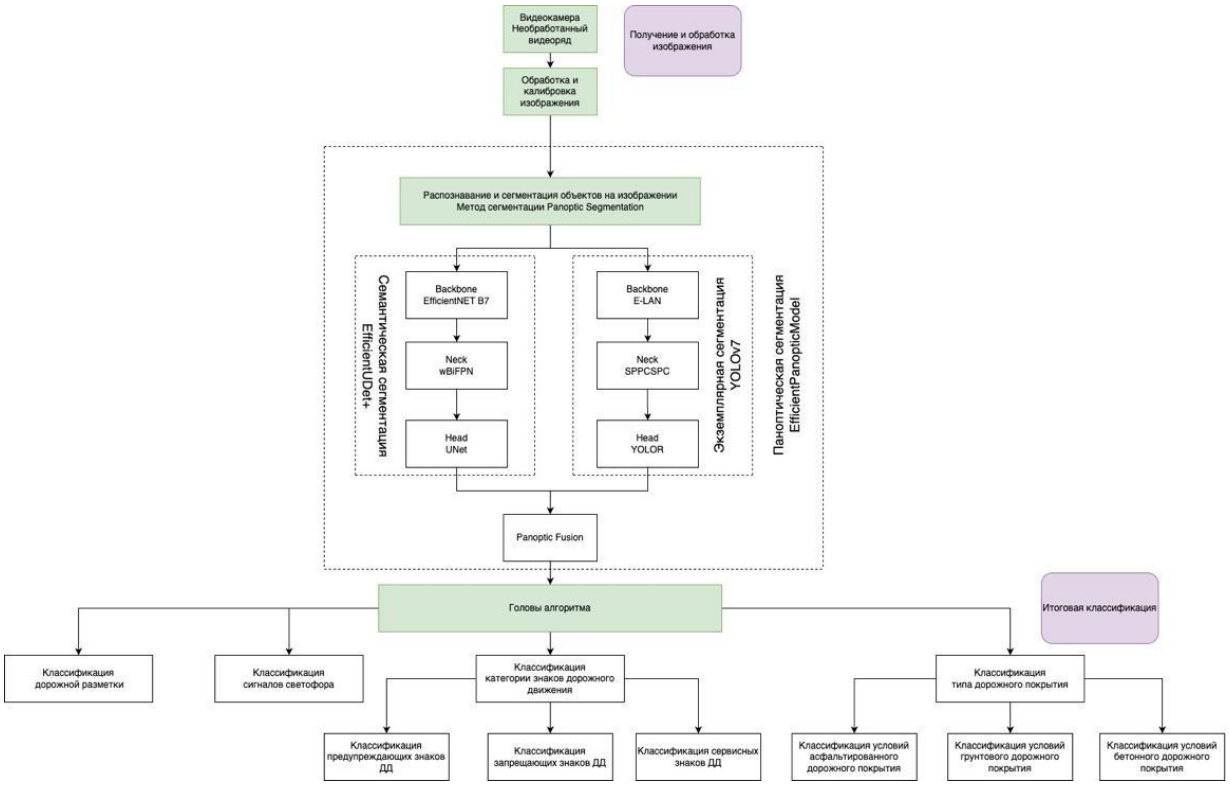


Рис. 1. Структурная схема разработанного алгоритма

Для достижения наивысших показателей качества модели было принято решение в качестве основных подсистем алгоритма взять две независимые модели, как это реализовано в алгоритме M-RCNN+PSPNet, но для объединения финальных предсказаний взять за основу метод архитектуры EffcientPS, чтобы окончательно устранить проблему наложения масок и повысить показатель качества работы модели [1].

В качестве первого независимого алгоритма экземплярной сегментации было принято решение взять новейший алгоритм YOLOv7, способный в значительной степени сократить время на обработку изображения, а также значительно повлиять на финальный показатель качества модели [2]. В качестве алгоритма семантической сегментации была специально разработана новейшая архитектура EfficientUDet [3]. В итоге общая структура алгоритма состоит из трех основных блоков: обработки входных данных, паноптической сегментации, итоговой классификации.

Блок итоговой классификации является финальным блоком алгоритма и представляет собой набор алгоритмов нейронных сетей, или ансамблей нейронных сетей, направленных на точную многоклассовую классификацию элементов дорожной инфраструктуры.

Финальная архитектура разработанной нейронной сети представлена на рисунке 2.

Первым этапом выполнялась оценка эффективности голов-классификаторов алгоритма. Всего было разработано 19 алгоритмов-классификаторов. Для оценки эффективности моделей классификации использовалась метрика F1-score. Для модели классификации сигналов светофора результат на валидационном наборе данных составил 0.9895, а на тестовом. – 0.9965. Модель классификации типа дорожной разметки на валидационном датасете, показала результат 0.9655, а на тестовом наборе данных – 0.9587.

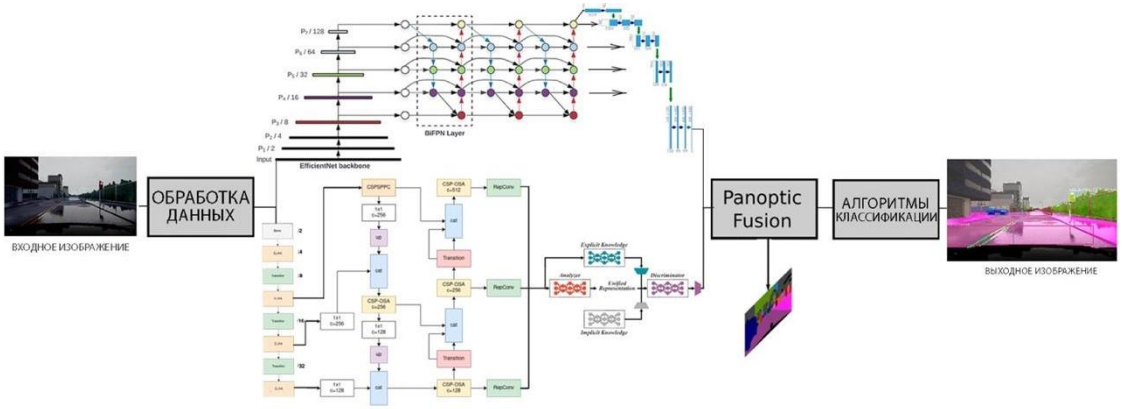


Рис. 2. Архитектура разработанного алгоритма

Модель классификации знаков ДД представляет собой ансамбль моделей. Итоговый показатель качества работы составил 0.8841 на тестовой выборке. Заключительным алгоритмом классификации является модель классификации типа дорожного покрытия. Так же, как и предыдущая модель, данная модель представляет собой ансамбль моделей. Итоговый показатель точности на тестовой выборке составил 0,8069. В таблицы 2 представлен результат работы всех моделей представленных ансамблей.

Таблица 2. **Оценка эффективности разработанных моделей классификации**

Модель	Loss	Metric	Loss_val	Metric_val	Metric_test
Модель классификации типа знака ДД	0,0042	0,9988	0,0953	0,98	0,9453
Модель классификации знаков доп. информации	0,0026	0,9997	0,0841	0,976	0,9043
Модель классификации запрещающих знаков	0,0246	0,9907	0,0195	0,9907	0,9375
Модель классификации инф. знаков	0,0112	0,9965	0,035	0,9858	0,9080
Модель классификации предп. знаков	0,0227	0,9933	0,0059	0,9974	0,9212
Модель классификации знаков приоритета	0,0004	1,0000	0,0174	0,9808	0,9561
Модель классификации сервисных знаков	0,0014	1,0000	0,0423	0,9862	0,9109
Модель классификации знаков особых предп.	0,0059	0,9988	0,0691	0,9784	0,9104
Модель классификации предуп. знаков	0,0168	0,9959	0,0399	0,9875	0,9058
Классификация асфальтированного покрытия	0,0347	0,9902	0,173	0,9461	0,8829
Классификация бетонного покрытия	0,3199	0,8013	0,3673	0,8167	0,8381
Классификация гравийного покрытия	0,1988	0,9307	0,19	0,9151	0,9328
Классификация снежного покрытия	0,2452	0,9131	0,299	0,8763	0,9148
Классификация грунтового покрытия	0,2808	0,8957	0,2733	0,9043	0,8952

Вторым этапом выполнялась оценка эффективности алгоритма паноптической сегментации изображения. Для тестирования использовался набор изображений, сгенерированных в программном комплексе для тестирования систем автономного вождения «CARLA». Для оценки эффективности модели сегментации использовалась метрики mIoU и PQ. В таблицы 3 представлен результат оценки эффективности работы модели.

Заключительным этапом оценки эффективности разработанного алгоритма было проведено сравнение существующих алгоритмов паноптической сегментации с разработанным. В таблице 4 представлены результаты сравнения по метрике mIoU.

Таблица 3. **Оценка эффективности разработанных моделей паноптической сегментации**

Наименование модели	IoU, %	PQ, %
EfficientPanopticModel – B0	73,64	57,11
EfficientPanopticModel – B1	75,55	58,59
EfficientPanopticModel – B2	76,51	59,33
EfficientPanopticModel – B3	77,94	60,44
EfficientPanopticModel – B4	79,18	61,41
EfficientPanopticModel – B5	79,85	61,92
EfficientPanopticModel – B6	80,89	62,73
EfficientPanopticModel – B7	83,37	64,78

Таблица 4. **Сравнение разработанного алгоритма паноптической сегментации с существующими по метрике mIoU**

Наименование модели	IoU, %
EfficientPanopticModel – B5	79,85
Panoptic-DeepLab	80,5
M-RCNN + PSPNet	80,9
EfficientPanopticModel – B6	80,9
OneFormer	83,1
EfficientPanopticModel – B7	83,37

Из таблицы 4 видно, что разработанный алгоритм имеет сопоставимые показатели точности и может превосходить большинство современных решений. При этом данный алгоритм, в отличие от существующих, способен выполнять детектирование 250 классов в рамках поставленной задачи, а благодаря меньшему числу параметров значительно снижает нагрузку на вычислительные процессоры, что отражено в таблице 5, и как следствие имеет большую скорость обработки информации, что отражено в таблице 6.

Таблица 5. **Сравнение разработанного алгоритма паноптической сегментации с существующими по числу обучаемых параметров**

Наименование модели	Параметры, млн
EfficientPS	40,89
EfficientPanopticModel - B0	45,2
Panoptic-DeepLab	46,73
EfficientPanopticModel - B6	84,2
M-RCNN + PSPNet	92,0
OneFormer	223

Таблица 6. **Сравнение разработанного алгоритма паноптической сегментации с существующими по времени на обработку**

Наименование модели	Время, мс
EfficientPanopticModel	146
EfficientPS	166
Seamless	168
Panoptic-DeepLab	175
OneFormer	336
M-RCNN + PSPNet	531

На рисунке 3 представлена визуализация результатов выполнения поставленной задачи разработанной архитектурой.

Результаты исследования в значительной степени отражают потенциал развития данной модели. Дальнейшие исследования в данной области позволят вывести разработанный алгоритм на новый уровень, и повысить финальный показатель качества работы модели.

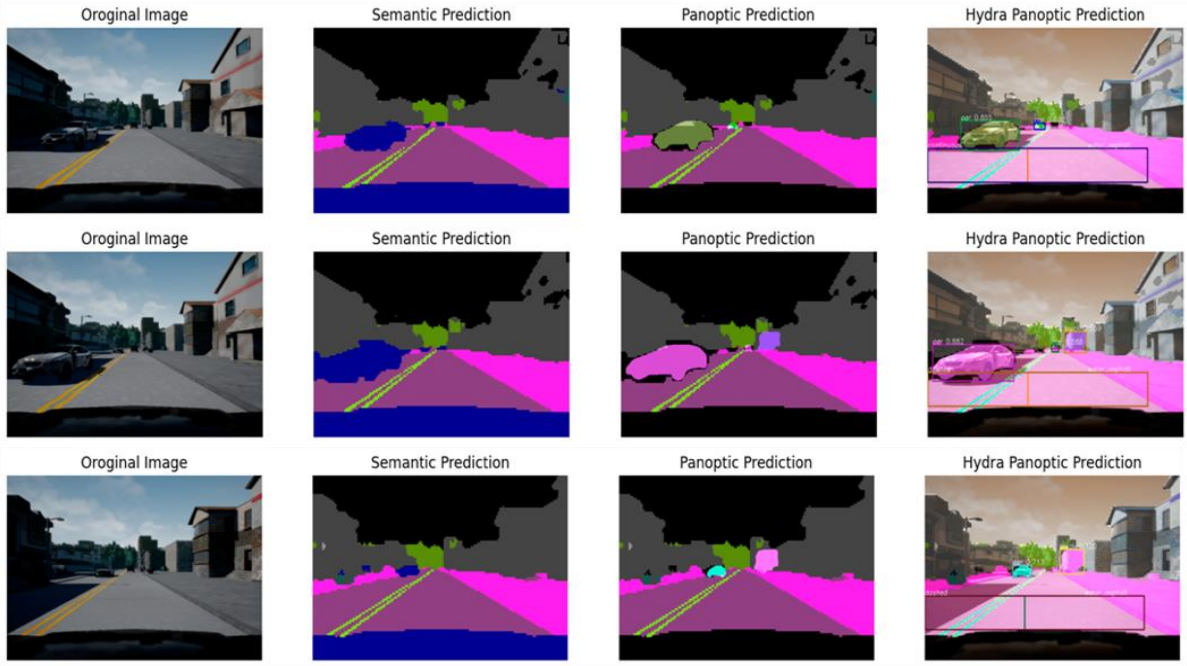


Рис. 3. Результат работы алгоритма

Перспективой для дальнейшего развития алгоритма является исследование в области преобразования 2D изображения в объемное пространство точек. Наиболее перспективным исследованием является алгоритм Pseudo-LIDAR++. В исследовании, проведенном Корнуэльским университетом, было выявлено, что данная технология сопоставима по точности с работой 64-лучевого лидара [4]. Добавление данной технологии в связке с разработанным алгоритмом повлияет на финальное качество работы модели и в перспективе позволит сократить долю использования лидар на беспилотном автотранспорте. Увеличение числа камер с одной до восьми даст возможность выполнять круговой обзор местности, а добавление термальных камер устранит ошибку при работе в условиях плохой видимости.

В результате выполнения работы был разработан алгоритм, выполняющий детектирование участников дорожного движения и элементы дорожной инфраструктуры методами машинного зрения. Разработанный алгоритм способен выполнять детектирование 250 классов в рамках поставленной задачи и работает без применения технологии ЛИДАР. Финальная оценка эффективности и сравнение с существующими показало, что разработанный алгоритм имеет наибольший показатель точности работы по метрике mIoU в том числе при работе с небольшими и тонкими объектами. Помимо этого, алгоритм имеет сравнительно небольшое число обучаемых параметров, что снижает нагрузку на вычислительные процессоры и значительно повышает скорость обработки изображения без потери качества.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Беликов А.А. EfficientPaopticModel: Паноптическая сегментации изображения // Наукосфера. 2023. №. 5 (1). С.174-181.
2. Chien-Yao Wang, Alexey Bochkovskiy, and Hong-Yuan Mark Liao YOLOv7: Trainable bag-of-freebies sets new state-of-the-art for real-time object detectors // Institute of Information Science, Academia Sinica. 2022. 15 p.
3. Беликов А.А. EfficientUDet – новая архитектура для семантической сегментации изображения // Наукосфера. 2023. №. 4 (2). С.191-198.
4. Yurong You, Yan Wang, Wei-Lun Chao, Divyansh Garg, Geoff Pleiss, Bharath Hariharan, Mark Campbell, and Kilian Q. Weinberger «PSEUDO-LIDAR++: accurate depth for 3d object detection in autonomous driving» // Cornell University. 2020. 22 p.

Выпускник
Бытдаев Алан Хасанбиевич
факультет систем управления и робототехники
Направление подготовки: 24.04.01 Ракетные комплексы и космонавтика
e-mail: bytdae@gmail.com

Научный руководитель
Кинжагулов Игорь Юрьевич
к.т.н.
e-mail: kinzhiki@mail.ru

УДК 620.16

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ КОНТРОЛЯ КРУПНОГАБАРИТНЫХ ИЗДЕЛИЙ, ПОЛУЧАЕМЫХ АДДИТИВНЫМ СПОСОБОМ ПРОИЗВОДСТВА

В наши дни аддитивные технологии производства применяются повсеместно, за счет стремительного развития данного направления его полноценно используют не только на стадиях проверки гипотез и создания макетов, но и в промышленных масштабах на производстве. Немалая часть ученого сообщества допускает, что в необозримом будущем аддитивные технологии заменят традиционные методы серийного производства, к тому же данный метод позволяет создавать особо сложные детали, что уже серьезное подспорье для вытеснения привычных нам методов производства. Особо важно выделить развитие аддитивных технологий в производстве крупногабаритных изделий, востребованных в аэрокосмической отрасли. Однако особенность крупногабаритных изделий заключается в том, что не каждый метод контроля к ним применим.

Актуальность работы заключается в нехватке методики, позволяющей оперативно выявлять развивающиеся дефекты в крупногабаритных выращиваемых изделиях, так как особенность крупногабаритных изделий заключается в том, что не каждый метод контроля к ним применим, например контроль в томографе невозможен, из-за того, что деталь не поместится в зону контроля, при применении рентгена - не удастся сфокусировать оборудование, применение ультразвука необоснованно трудоемко.

Целью работы является повышение оперативности выявления дефектов при изготовлении изделий методом аддитивных технологий за счет их выявления в процессе выращивания на основе использования разработанного алгоритма анализа сигналов акустической эмиссии.

Задачами исследования являются:

1. Анализ особенностей дефектообразования, применимости метода акустической эмиссии в задаче контроля дефектообразования.
2. Разработка алгоритма анализа сигналов акустической эмиссии.
3. Разработка и апробация методики акустико-эмиссионного контроля дефектообразования в процессе аддитивного производства.

Научная новизна работы заключается в применении нового алгоритма для анализа сигналов АЭ, генерируемых в ходе аддитивного производства.

Практическая значимость заключается в разработке методики неразрушающего контроля позволяющей диагностировать крупногабаритные изделия во время выращивания методом прямого лазерного выращивания.

При производстве изделий из металлических порошков выделяют следующие виды аддитивного производства: селективное лазерное спекание, электронно-лучевая плавка, селективное лазерное сплавление и прямое лазерное выращивание. В данной работе рассматривается прямое лазерное выращивание (ПЛВ), метод, который позволяет получать крупногабаритные конструкции засчет того, что не обладает ограничением в виде камеры

выращивания. Прямое лазерное выращивание согласно ГОСТу Р 57589-2017 относится к классу аддитивных технологий «Прямой подвод энергии и материала» Прямое лазерное выращивание — это технология аддитивного производства, в которой тепловая энергия используется для соединения материалов путем сплавления по мере их нанесения. При прямом лазерном нанесении металла порошок вводится в зону плавления через сопло и образует один слой. Частицы порошка подвергаются воздействию мощного лазера и соединяются между собой и с предыдущим слоем. Полученная деталь быстро остывает и отвердевает. Такая технология имеет много преимуществ, таких как высокая производительность и возможность изготовления крупногабаритных деталей так как нет ограничения размерами камеры выращивания.

Известно, что при реализации метода ПЛВ уровень дефектности выше, чем при других методах аддитивного производства. Анализ методов неразрушающего контроля, показал, что применение, например, метода компьютерной томографии невозможно из-за размеров изделия, применение ультразвукового метода слишком трудоемко.

Исходя из вышесказанного была выдвинута гипотеза о возможности применения метода АЭ непосредственно в ходе процесса ПЛВ.

Акустическая эмиссия – это пассивный метод неразрушающего контроля, то есть в отличие от других методов контроля он не требует применения каких-либо внешних источников сигнала. При этом он помогает находить не статические, а развивающие дефекты. Он предполагает улавливание упругих колебаний, генерируемых самим проверяемым объектом при применении нагрузки на объект, что касается крупногабаритных изделий, то отдельно применять метод акустической эмиссии к уже готовому изделию затруднительно, из-за размеров изделия, необходимо соответствующая нагрузка для получения сигнала, именно поэтому предлагается использовать акустическую эмиссию во время выращивания, так как в определённый промежуток времени к участку объекта применяется усилие в виде лазера , что позволяет получить сигналы акустической эмиссии.

Метод АЭ позволяет получать в реальном времени информацию о состоянии контролируемого объекта путем регистрации и анализа акустического излучения, сопровождающего процессы перестройки структуры твердого тела, истечения жидких и газообразных сред, трения поверхностей.

Сложность реализации метода АЭ заключается в необходимости обработки большого массива данных, информативная часть в которых (сигналы от мест дефектообразования) редко превышает 25–30%. Поэтому необходима разработка алгоритмов, позволяющих анализировать АЭ сигналы с учетом реализуемого метода выращивания, режимов и используемых материалов.

В настоящей работе был предложен алгоритм реализации АЭ метода контроля в ходе прямого лазерного выращивания.

Оценка технической эффективности методики акустико-эмиссионного контроля металлических изделий аддитивного производства была выполнена путем экспериментальной апробации при помощи Роботизированной установки прямого лазерного выращивания «ИЛИСТ-L» а также аппаратного средства СЦАД 16.10. В качестве преобразователей применялись широполосные ПАЭ ПК 0,1–0,7 (рабочая полоса 100–700 кГц).

Акустические преобразователи были установлены по периметру рабочей камеры. Для настройки и калибровки акустических преобразователей был использован алгоритм, описанный выше.

В ходе выращивания проведена процедура контроля состояния объекта с помощью вычисления максимального значения амплитуды сигналов.

При проведении сравнительного анализа количественных показателей информационных параметров сигналов АЭ было установлено следующее: при контроле процесса выращивания дефектного образца значение показателя максимальной амплитуды сигналов Umax было выше, чем при контроле процесса выращивания бездефектного образца, на 10–30%.

Для наглядности, результаты распределения информативных параметров в дефектных и бездефектных образцах приведены на рисунке.

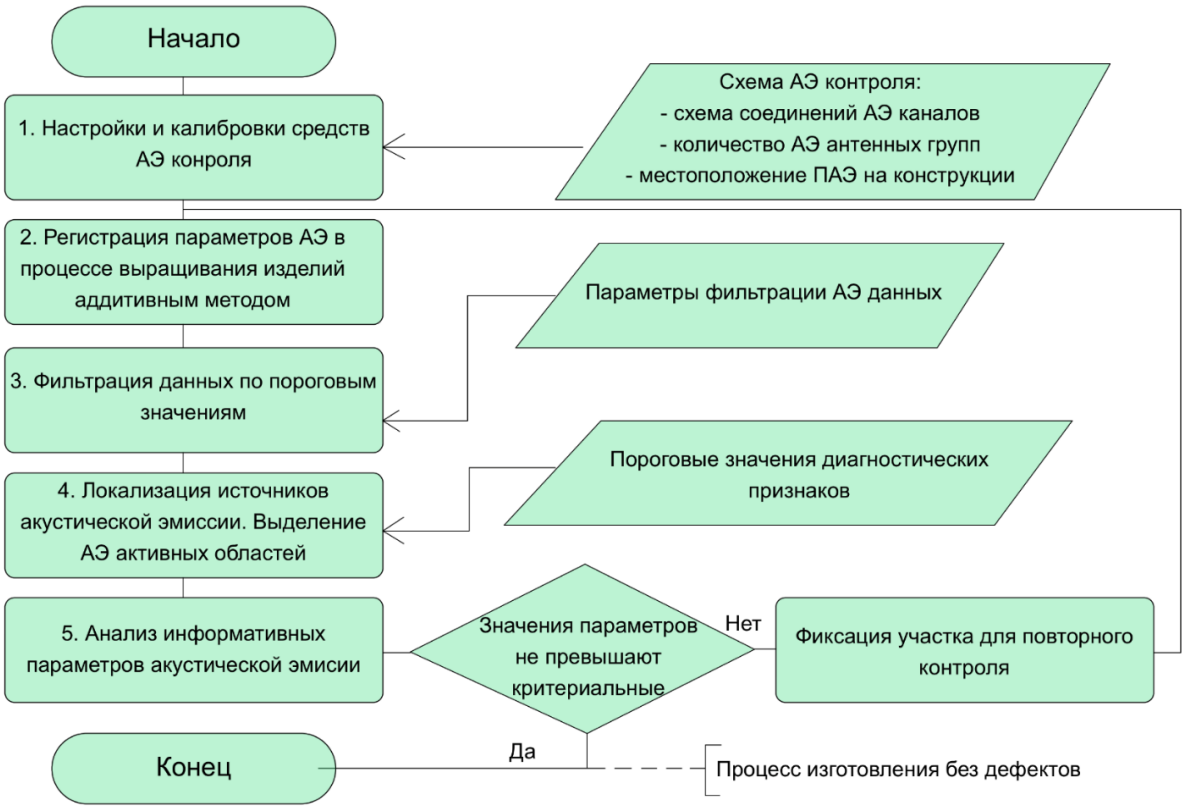


Рисунок. Алгоритм АЭ контроля крупногабаритных изделий

Далее представлены результаты металлографии дефектного и бездефектного образца.

В ходе апробации установлено, что изменения характеристик сигнала акустической эмиссии во время выращивания достаточно высоки, чтобы различать дефектные и бездефектные зоны по максимальной и минимальной амплитуде U сигналов.

Акустико-эмиссионный контроль позволяет обнаруживать дефекты небольшого размера, менее 0,2 мм, которые не могут быть обнаружены ультразвуковыми методами и методом компьютерной томографии. Статистические данные утверждают, что примерно 30% дефектов, которые обнаруживаются при аддитивных методах производства, представляют собой дефекты небольшого размера.

Ниже представлена таблица сравнение результатов оперативности выявления дефектов с помощью компьютерной томографии и ультразвукового метода контроля на финальной стадии изделия с использованием акустической эмиссии во время выращивания и без, то есть контроль выделенного участка во время выращивания и контроль уже готово изделия без предварительного выделения проблемного участка.

Таблица. **Результаты эксперимента**

	Компьютерная томография	**Ультразвуковой контроль**
Без использования АЭ	16 ч	24 ч
При использовании АЭ	4 ч	6 ч

Таким образом, предложенная методика поможет ускорить проведение контроля при изготовлении крупногабаритных изделий методом прямого лазерного выращивания практически в четыре раза и рост выявления дефектов на 30%.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Kruth J.-P., Leu M.C., Nakagawa T. Progress in Additive Manufacturing and Rapid Prototyping. CIRP Annals // Manufacturing Technology. 1998. №. 47 (2). Pp. 525-540.
2. Berman B. 3-D Printing: The New Industrial Revolution // Business Horizons. 2012. №. 55(2). Pp. 155-162.
3. Гончарова О.Н.. Бережной Ю.М., Бессарабов .Е.Н, Кадамов Е.А., Гайнутдинов Т.М., Негопетьян Е.М., Ковина В.М. Аддитивные технологии – динамично развивающиееся производство // Электронный научный журнал «Инженерный вестник Дона». 2016. №. 4. С. 123.
4. Khajavi S.H., Partanen J., Holmstro¨m J. Additive Manufacturing in the Spare Parts Supply Chain. Computers in Industry. 2014. №. 65 (1). Pp. 50-63.

Выпускник
Быханова Татьяна Андреевна
образовательный центр «Энергоэффективные инженерные системы»
Направление подготовки: 16.04.03 – Технологии и системы преобразования энергии
e-mail: kolesnikova_12@mail.ru

Научный руководитель
Пронин Владимир Александрович
д.т.н., профессор
e-mail: maior.pronin@mail.ru

УДК 697.94

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОХЛАДИТЕЛЯ ГВС В КОНТУРЕ ГЕНЕРАТОРА КИСЛОРОДА

Системы жизнеобеспечения являются неотъемлемой и важной частью проектирования герметично изолированного аппарата, спускаемого под воду на продолжительное время. Особое внимание уделяется разработке системы регенерации воздуха. Эта система дает возможность аппаратам долгое время не всплывать на поверхность с целью пополнения запаса кислородом. Регенерация воздуха в генераторе кислорода происходит за счет химической экзотермической реакции с использованием пероксида кальция путем высокотемпературного прокаливания [1]. В результате работы генератора кислорода воздух нагревается до больших значений температуры, в следствии чего недопустимо его применение для обеспечения экипажа важным компонентом жизнедеятельности – воздухом. Для охлаждения воздуха в контуре генератора кислорода устанавливается теплообменный аппарат – охладитель.

Для того, чтобы повысить надежность работы охладителя разрабатываем его двухконтурным. На случай аварии в первом контуре воздух будет охлаждаться вторым контуром.

В первый контур поступает горячая газовоздушная смесь, где она охлаждается холодной пресной водой. Далее пресная вода попадает во второй контур охладителя, где охлаждается соленой забортной водой. После охлаждения пресная вода вновь поступает в системы жизнеобеспечения спускаемого подводного аппарата.

Первый контур охладителя (система «газ – вода») – пластинчатый теплообменник. Данная конструкция выбрана в виду ее компактности и простоты установки, ориентируясь на то, что расход газовоздушной смеси будет относительно небольшим. Выполнен из нержавеющей легированной стали.

Второй контур охладителя (система «вода – вода») – спиральный теплообменник, выполненный из нержавеющей легированной стали. Спиральные теплообменники имеют малые габариты, благодаря съемным крышкам просты в сервисном обслуживании, поскольку имеется беспрепятственный доступ к каналам, а также данные теплообменники характеризуются относительно небольшими гидравлическими сопротивлениями.

На рисунке представлена схема разрабатываемого теплообменного аппарата.

Для расчета примем три варианта температуры пресной воды из системы на входе в первый контур охладителя, по результатам расчета выберем один вариант наиболее рациональной температуры, при которой будет использоваться меньшее количество энергии:

1. $t_{н.вод1} = 10^{o}C$.
2. $t_{н.вод2} = 15^{o}C$.
3. $t_{н.вод3} = 20^{o}C$.

Далее разработали конструкции охладителей для трех вариантов расчета в зависимости от начальной температуры пресной воды из системы на входе в первый контур.

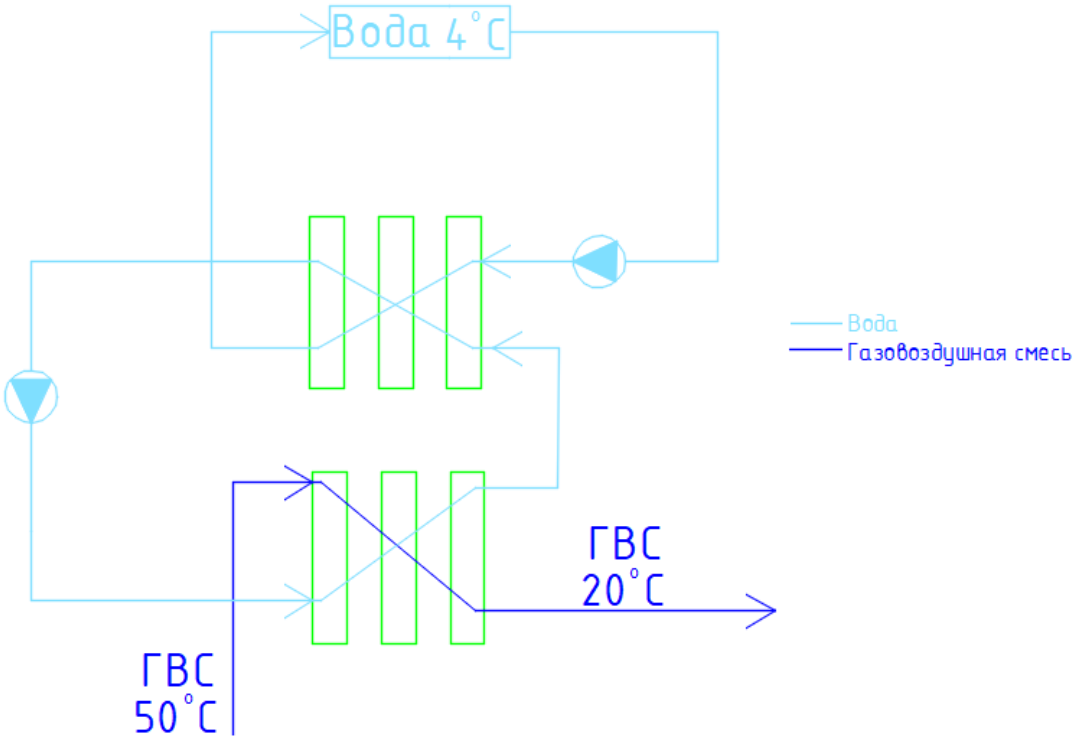


Рисунок. Схема разрабатываемого охладителя

Для всех трех вариантов расчета запроектировали пластинчатые, разборные с одинарными пластинами охладители площадью теплообмена 1 м^2. Пластины отечественного производства разборные с площадью поверхности теплообмена 0,2 м^2. (ПТ-Р-0,2-1) [2]. Результаты расчета первого контура представлены в таблице 1.

Таблица 1. **Результаты расчета первого контура**

№ расчета	Начальная температура охлаждающей воды, $t_{н.вод}$, °С	Конечная температура охлаждающей воды, $t_{к.вод}$, °С	Мощность, затрачиваемая на охлаждение, кВт
1	10,0	14,4	0,55
2	15,0	19,4	0,40
3	20,0	24,4	0,55

Для всех трех вариантов расчета принимаем к установке спиральные теплообменные аппараты со следующими характеристиками: ширина теплообменника b = 420 мм; наружный диаметр D = 361 мм; эффективная длинна спиралей:

1 вариант расчета L = 2,05 м;

2 вариант расчета L = 1,59 м;

3 вариант расчета L = 1,33 м.

Число витков одной спирали n = 3 шт., всего витков N = 6 шт. Габариты и основные параметры проектируемых спиральных теплообменников приняты в соответствии с [3]. Результаты расчета второго контура представлены в таблице 2.

Таблица 2. **Результаты расчета второго контура**

№ расчета	Начальная температура охлаждающей воды, $t_{н.вод}$, °С	Конечная температура охлаждающей воды, $t_{к.вод}$, °С	Мощность, затрачиваемая на охлаждение, кВт
1	14,4	10,0	0,185
2	19,4	10,0	0,185
3	24,4	10,0	0,185

По результатам расчета двух контуров теплообмена рассчитаем мощность, затрачиваемую для работы охладителей для трех вариантов расчета. Результаты занесем в таблице 3.

Таблица 3. **Результаты расчета мощностей, используемых охладителями для трех вариантов расчета**

№ расчета	Мощность, затрачиваемая на охлаждение - 1 контур, кВт	Мощность, затрачиваемая на охлаждение - 2 контур, кВт	Сумма мощностей, кВт
1	0,55	0,185	0,735
2	0,40	0,185	0,585
3	0,55	0,185	0,735

Получили, что наименьшие затраты энергии обеспечиваются при втором варианте расчета, то есть, при начальной температуре охлаждающей воды из в первом контуре $t_{н.вод} = 15^{o}C$.

В результате работы были спроектированы три варианта охладителя, в зависимости от начальной температуры пресной воды, подающейся из системы в первый контур. Все три варианта допустимы к установке на герметичном изолированном объекте, погружаемом в воду. Однако один из вариантов расчета является более экономичным, так как затрачивается меньшая мощность на работу охладителя. Следовательно, обеспечили охлаждение воздуха при минимальных затратах энергии.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Пронин В.А., Калашникова Е.А., Цветков В.А., Кованов А.В., Долговская О.В. Анализ способов получения кислорода для обеспечения жизнедеятельности герметично изолированных объектов. // Вестник Международной академии холода. 2022. № 3. С. 13-20.
2. ГОСТ 15518—87. Аппараты теплообменные пластинчатые. Типы, параметры и основные размеры. - Москва: ИПК Издательство стандартов. 1999. 30 с.
3. ГОСТ 12067—80. Теплообменники спиральные стальные. Типы, основные параметры и размеры – Москва: ИПК Издательство стандартов. 1980. 14 с.

Выпускник
Викторова Вера Алексеевна
факультет технологического менеджмента и инноваций
Направление подготовки: 27.04.05 – Инноватика
e-mail: vera.viktorowa@yandex.ru

Научный руководитель
Силакова Любовь Владимировна
к.э.н., доцент
e-mail: silevery@yandex.ru

УДК 371

БИЗНЕС-ТЕЗИС «FINPLAY»: РАЗРАБОТКА ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПО ОБУЧЕНИЮ ФИНАНСОВОЙ ГРАМОТНОСТИ ШКОЛЬНИКОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ГЕЙМИФИКАЦИИ

В настоящий момент, несмотря на активную работу со стороны государства по повышению уровня финансовой грамотности населения, в период с 2018 по 2022 года случаи финансового мошенничества увеличились. По данным Аналитического центра НАФИ, в России у каждого третьего предпринимателя низкий уровень финансовой грамотности [2]. Менее половины инвесторов (44%) понимают отличие инвестирования от банковских вкладов, а 18% считают, что если стоимость акций росла в прошлом, то и дальнейший рост будет позитивным [1]. При этом согласно исследованию Банка России, наиболее проблемными темами по финансовой грамотности среди молодежи является понимание расчета сложного процента. Однако, лишь 33% всей опрошенной молодежи сравнивают условия предоставления финансовых услуг в различных компаниях при их выборе, 46% стараются сначала отложить деньги, и 49% всегда планируют ведение бюджета [1].

Очевидно, что формирование компетенции по разумному управлению денежными средствами возможно при системной работе по получению новых знаний, навыков и умений. Для формирования высокой компетенции по финансовой грамотности комплексный образовательный процесс человека должен начинаться уже как минимум со школьного возраста. С каждым годом данная компетенция становится все более востребованной для современного мира. При этом у самих современных школьников существует запрос на освоение такой компетенции.

Для исследования интересов школьников и выявления спроса на курсы по финансовой грамотности было проведено исследование. Анкетирование учащихся показало, что значительная часть не обучалась на курсах по финансовой грамотности. Однако 82,8% такое желание испытывает. Респондентами опроса были 151 школьников от 6 до 19 лет. Большая часть респондентов (43,1%) – это представители средней и старшей школы (ученики 5–11 классов). Согласно проведённому опросу 29,6% школьников раз в месяц обсуждают с родителями финансовую грамотность, а 25,4% – раз в неделю. Остальные респонденты обсуждают эту тему не чаше одного раза в три месяца, полгода или вообще не обсуждают. Такие данные свидетельствуют о том, что большая часть родителей не воспитывает в ребенке грамотное финансовое поведение. При этом 79,8% школьников никогда не обучались на курсах по финансовой грамотности, но 82,8% хотели бы. Полученные данные отображены на рисунках 1 и 2.

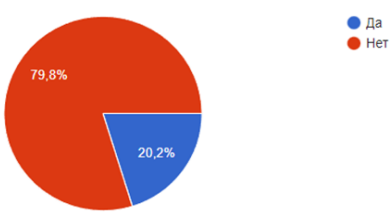


Рис. 1. Ответ респондентов на вопрос: «Обучались ли Вы на курсах по финансовой грамотности?»

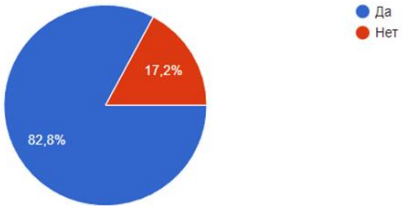


Рис. 2. Ответ респондентов на вопрос: «Хотели бы научиться грамотно распоряжаться своими денежными средствами?»

Несмотря на то, что финансовая грамотность активно внедряется в школьную программу, уроки финансовой грамотности не позволяют в полной мере сформировать у школьников компетенцию по финансовой грамотности. Подобные уроки ограничены временем, выделяемым учебными планами, и компетенциями самих учителей.

На рынке дополнительного профессионального образования существуют продукты, которые направлены на обучение финансовой грамотности детей и подростков. В таблице 1 представлены проанализированные компании (проекты) – конкуренты.

Таблица 1. **Анализ конкурентов на рынке Edtech в России**

Организация	**Возраст**	**Формат**
Skysmart	14-17 лет	Онлайн
ФинГрам	6-15 лет	Очно или онлайн
Умназия	6-13 лет	Онлайн
Smarty Kids	8-12 лет	Очно или онлайн
Boss Kids	9-18 лет	Онлайн
Финик	8-17 лет	Онлайн или очно
НИУ ВШЭ	10-11 лет	Онлайн
МГУ	10-17 лет	Онлайн
Ель Скул	6-10 лет	Очно
Финик	8-17 лет	Очно или онлайн
ФоскФорд	6-17 лет	Онлайн
Школа лидера ИнПро	7-11 лет	Очно или онлайн

Анализ образовательных продуктов по финансовой грамотности позволил сделать вывод о приоритетном формате обучения – онлайн. Среди предлагаемых обучающих курсов большая часть не содержит системных геймифицированных форматов обучения, которые позволят получить реальный опыт управления денежными средствами за счет погружения в конкретные экономические условия. Кроме того, значительная часть курсов содержит лишь теоретический материал, что не позволяет полноценно развить компетенцию. Таким образом, необходимо формировать комплексный курс по финансовой грамотности, который позволит научить школьника разумному управлению денежными средствами и оказать грамотное финансовое воспитание, которое дети и подростки недополучают в семье.

Для проектирования образовательного курса по финансовой грамотности для школьников выбрана модель ADDIE. Такой выбор обоснован тем, что именно эта модель включает в себя анализ целевой аудитории, которую необходимо понимать для дальнейшего развития всей «Школы финансовой грамотности FinPlay».

На основе подхода РАМКА [3] среди школьников и их родителей автором работы было проведено исследование, направленное на выявление наиболее актуальных фокусировок по финансовой грамотности для составления образовательного продукта «Школы финансовой грамотности FinPlay» (курса и деловой игры). Респондентами стали 193 школьника 1–4 классов, 5–8 классов, 9–11 классов; 126 родителей: 65,1% – мужчины и 34,9% – женщины. На основе полученных данных были составлены рейтинги наиболее востребованных тем среди школьника и родителей, а далее выведен общий рейтинг, который отражен в таблице 2.

Таблица 2. **Общий рейтинг востребованных тем для российских школьников**

Место в рейтинге, №	Тема
1.	Доходы и расходы
2.	Финансовое планирование и бюджет
3.	Личные сбережения
4.	Риски и финансовая безопасность
5.	Инвестирование

Таким образом, выделенные темы являются основой программы курса из пяти модулей. При этом 3,4 и 5 модули будут реализовываться с помощью проведения деловой игры.

Деловая игра создает для обучающихся определенные экономические условия, которые позволяют понять работу базовых экономических процессов: производство, распределение, обмен, потребление, а также значение инфляции. Благодаря этому после лекционного материала у школьников появляется возможность отработать полученные знания на практике.

Суть деловой игры заключается в том, что команда из 5-6 человек на время игры образует строительную компанию, которая в условиях ограниченных ресурсов занимается постройкой разных жилых и нежилых объектов. Для постройки команде необходимо привлечь доход, который позволит закупить необходимые детали. При этом в игре оценивается как качество и своевременность постройки для заказчика, так и объем прибыли, находящейся на счету организации. Деловая игра проходит в два раунда и подразумевает командный формат взаимодействия. Во время каждого раунда команда проходит три контрольные точки, представленные выше на рисунке 3.

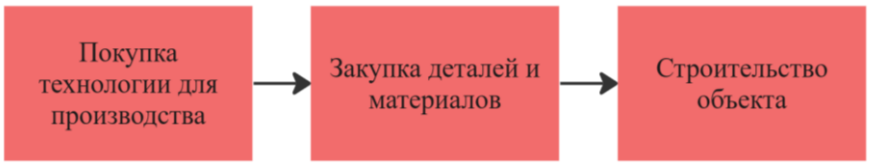


Рис. 3. Путь команды по контрольным точкам в деловой игре

Первая контрольная точка направлена на развитие, с одной стороны, предпринимательского потенциала школьников за счет игры в условиях ограниченных ресурсов команды. С другой стороны, направлена на формирование понимания работы сложного процесса и инвестиций, поскольку для покупки технологии для производства командам необходимо привлечь доход за счет приумножения стартового капитала.

Вторая контрольная точка направлена на понимание базовых экономических процессов, в т.ч. ценообразования, закона спроса и предложения, инфляции.

Третья контрольная точка направлена на работу с бюджетом компании, когда командам необходимо подвести все свои финансовые результаты и понять, как формируется бюджет и зачем необходимо его вести.

Важное условие победы в конце деловой игры – полная постройка объекта, выполнение заказа от заказчика.

В течение всей игры каждая команда должна вести бюджет компании и заносить сумму доходов и расходов. Таким образом, у школьников сформируется понимание принципа построения бюджета, которое позволит в дальнейшем грамотно составлять личный бюджет.

Разработанный курс и деловая игра адаптируются под платформенное решение.

При попадании на сайт платформы ученик должен пройти регистрацию, чтобы зайти в личный кабинет.

Личный кабинет ученика содержит отдельный функционал для проведения очной деловой игры по финансовой грамотности:

- окно для записи названия команды;
- вкладку для ведения бюджета команды;
- всплывающие окна-подсказки;

– вкладку с текстовыми материалами по теме деловой игры, в т.ч. правила.

В настоящий момент платформенное решение находится на стадии создания. Определены разделы, которые необходимы в личном кабинете участника для проведения деловой игры в смешанном и онлайн форматах. Разработанный MVP платформы представлен на рисунке 4.

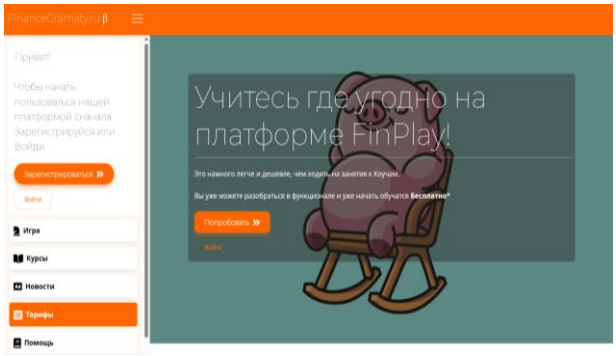


Рис. 4. MVP платформенного решения проекта

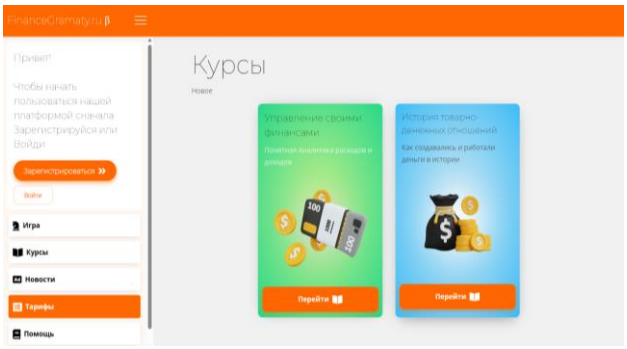


Рис. 5. Прототип вкладки для хранения курса по финансовой грамотности на платформенном решении

На платформе ведется разработка 2 модулей обучающего курса (рис. 5):

– финансовая грамотность в жизни человека;
– история денег.

Поскольку проект является социально-ориентированным, на первом этапе развития и создания технологического решения «Школы финансовой грамотности FinPlay» будет открыта НКО в форме АНО. Таким образом, на НКО появляется возможность привлекать государственное финансирование из федерального, регионального и местного бюджетов, а также быть подрядчиком на государственные контракты. Дальнейший процесс коммерциализации проекта представлен на рисунке 6.

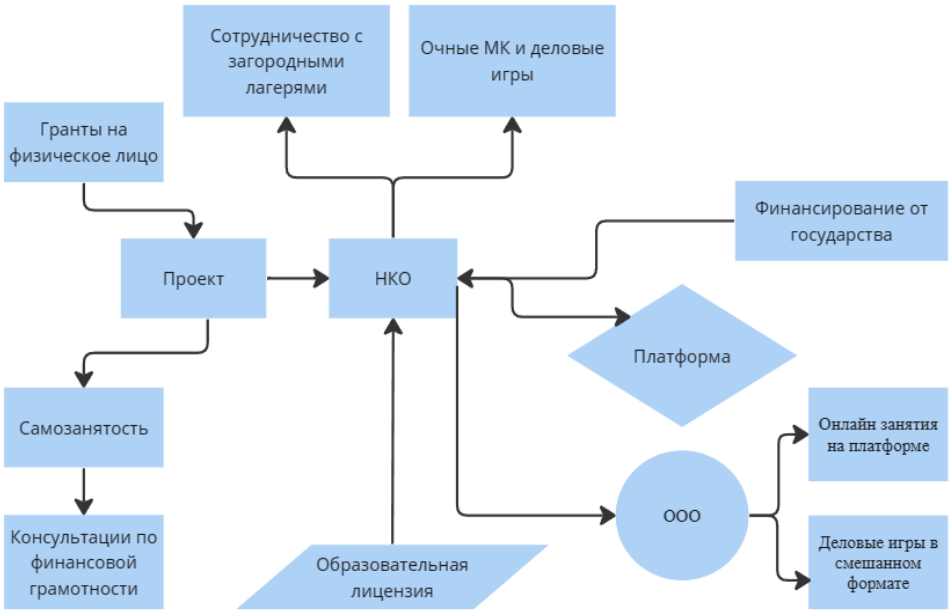


Рис. 6. Схема коммерциализации проекта «Школа финансовой грамотности FinPlay»

В настоящий момент образовательный курс и деловая игра апробированы на очных занятиях для школьников Санкт-Петербурга, в рамках грантовой поддержки от Федерального агентства по делам молодёжи в 2022 году. В занятиях приняло участие более 500 учеников из нескольких школ Санкт-Петербурга: ГБОУ гимназия 628 «Александринская гимназия»; ГБОУ СОШ №152; ГБОУ СОШ 191; ГБОУ СОШ 129; ГБОУ СОШ 188; ГБОУ СОШ №532; ГБОУ

СОШ №233; ГБУ СШ № 2; ГБОУ СОШ № 134 имени Сергея Дудко; ЧОУ «Немецкая гимназия «Петершуле»; ООО «Репетиторский центр пять с плюсом» (частная школа). По итогу проведенных очных занятий по финансовой грамотности получены положительные отзывы о проекте и предложения о дальнейшем сотрудничестве.

Осенью 2022 года проект «Школа финансовой грамотности FinPlay» стал победителем Всероссийского конкурса молодежных проектов, что позволило получить первую грантовую поддержку на развитие проекта.

Летом 2022 года проект получил первые продажи за счет внедрения курса по финансовой грамотности в сетку расписания городского лагеря частного образовательного центра. На лето 2023 года заключено сотрудничество с ЧУ «ДОСЛ «Каравелла». До конца 2023 года команда проекта будет продолжать заниматься доработкой платформы для адаптации образовательного курса под онлайн формат.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Банк России. Исследование уровня финансовой грамотности: четвертый этап. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://cbr.ru/analytics/szpp/fin_literacy/fin_ed_4/ (дата обращения: 10.04.2023).
2. Аналитический доклад НАФИ. Финансовая грамотность россиян растет последние 4 года на фоне социально-экономических вызовов. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://nafi.ru/analytics/finansovaya-gramotnost-rossiyan-rastet-poslednie-4-goda-na-fone-sotsialno-ekonomicheskikh-vyzovov/?ysclid=laqtmjphcn288177857 (дата обращения: 02.04.2023).
3. Минфин России. Система (рамка) финансовой компетентности для учащихся школьного возраста от 05.06.201. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://minfin.gov.ru/ru/document/?id_4=69544-sistema_ramka_finansovoi_kompetentnosti_dlya_uchashchikhsya_shkolnogo_vozrasta (дата обращения: 02.04.2023).

Выпускник
Влад Сергей Евгеньевич
факультет информационных технологий и программирования
Направление подготовки: 09.04.02 – Программирование и интернет-технологии
e-mail: sergei.51351@yandex.ru

Научный руководитель
Береснев Артем Дмитриевич
старший преподаватель
e-mail: artem.beresnev@itmo.ru

УДК 004.4

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ АППАРАТНОЙ ВИРТУАЛИЗАЦИИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ СЕТЕВОГО СОЕДИНЕНИЯ В ВИРТУАЛЬНЫХ СЕТЕВЫХ ФУНКЦИЯХ ПРОДУКТА NFV PLATFORM

Современный подход к построению телекоммуникационных сетей в значительной степени опирается на коробочные решения, в том числе и оборудование для обеспечения сетевой безопасности. Такие решения зачастую выполняют только одну функцию (фильтрация, маршрутизация, координация трафика и т.д.), обладают высокой стоимостью и не имеют достаточной гибкости для адаптации к меняющейся нагрузке. Например, если в какой-либо момент времени сетевая функция расходует максимум своих ресурсов, то для устранения проблемы доступности этой функции нужно закупить, установить и подключить к инфраструктуре дополнительное физическое устройство, которое в дальнейшем, скорее всего, будет простаивать до тех пор, пока снова не возникнет пиковая ситуация. Для решения такого рода проблем, компанией ESTI была предложена концепция и базовая архитектура фреймворка NFV [1], подразумевающая переход от традиционной инфраструктуры в виртуальную среду на базе коммерчески доступных серверов.

Несмотря на то, что концепция NFV решает ряд проблем, связанных с аппаратной природой сетевых функций, всё еще остаются актуальными вопросы, связанные с издержками на виртуализацию. В данном случае интерес представляет, в первую очередь, скорость передачи данных в виртуальную среду, которая в большинстве гипервизоров работает на основе сетевого стека платформы, а потому значительно ниже, чем у аппаратных аналогов. Таким образом, появляется задача анализа существующих методов виртуализации сетевых интерфейсов и методов аппаратного ускорения с целью определения наиболее производительного варианта, а также его сравнение с используемым на текущий момент решением для проведения внедрения в продукт.

В ходе теоретического анализа были выделены три основных режима виртуализации сетевых интерфейсов, а именно:

- Паравиртуализация драйвером VirtIO. Представляет собой облегченный драйвер с интерфейсом в гостевой системе [2]. За счет уменьшения количества копирований позволяет добиться незначительного прироста;
- OVS-DPDK – это открытый виртуальный коммутатор на основе драйвера DPKD, который постоянно опрашивает платформу на предмет наличия входящих пакетов из пространства пользователя, а также уменьшает количество копирования за счет прямого доступа к памяти виртуальной машины [3]. Результат превосходит предыдущий вариант;
- SR-IOV – это полностью аппаратное решение, реализуемое сетевым адаптером. Виртуализированный интерфейс полностью передается хост-системой под контроль виртуальной машины [4]. Наиболее перспективный вариант, превосходящий аналоги при передаче данных в направлении North-South, однако проигрывает при направлении трафика East-West.

Для сравнения описанных выше режимов виртуализации был проведен эксперимент, демонстрирующий перспективность применения метода SR-IOV. Условия эксперимента: сервер-генератор создает UDP трафик и отправляет его в первую сетевую карту тестируемого сервера. Внутри данного сервера поток данных проходит из первого сетевого адаптера в аналогичный порт второго адаптера через виртуальную машину с установленным дистрибутивом ОС «Линукс». Далее трафик проходит по второму физическому каналу и возвращается в первый порт генератора, где выполняются замеры пропускной способности. Результаты эксперимента зафиксированы на графике (рис. 1).

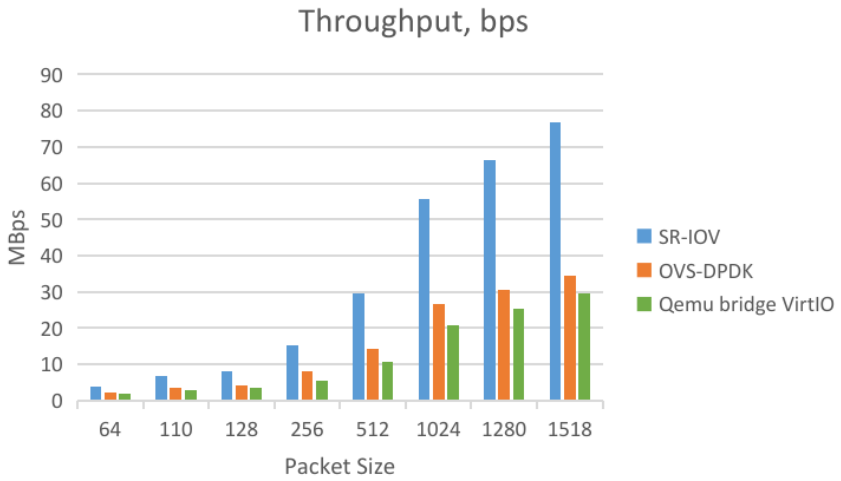


Рис. 1. Сравнение режимов виртуализации сетевых интерфейсов

Для проведения описанного выше эксперимента был специально спроектирован и настроен макетный стенд с генератором трафика cisco TRex, а также написан комплект скриптов для автоматизации тестирования.

Стенд с аналогичной аппаратной конфигурацией был настроен для замеров на конкретных продуктах компании (связка из двух VPN координаторов трафика). А также, для установленной на нем платформы NFV был спроектирован и разработан модуль поддержки виртуализации SR-IOV на основании данных из первого эксперимента. В результате использования данного модуля, средняя пропускная способность связки координаторов возросла приблизительно на 4.33% (за счет больших пакетов), как показано на рисунке 2, что отличается от ожидаемых по итогам предварительных замеров 12.6% в меньшую сторону. Однако, необходимо учитывать, что в работу данных координаторов входят также тяжелые операции шифрования и дешифровки данных, отсутствующие в замерах на стандартном дистрибутиве с ОС «Линукс».

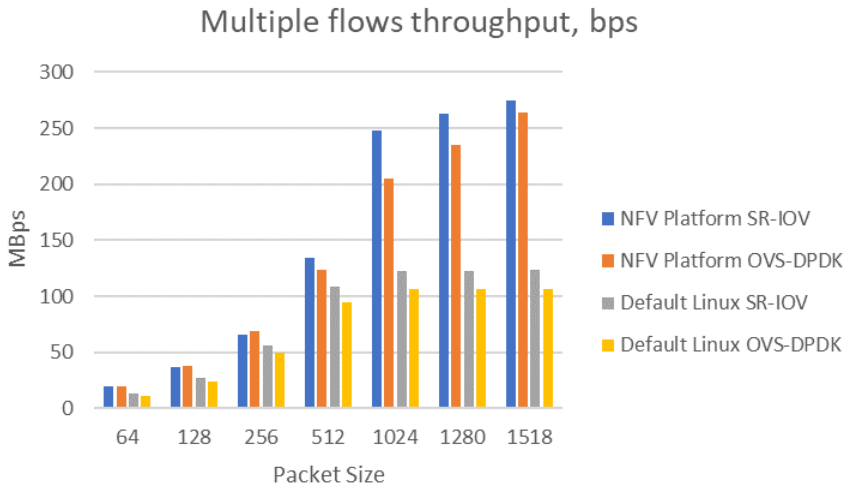


Рис. 2. Относительный прирост производительности в ОС «Линукс» в сравнении с продуктом компании «HW/VA»

Таким образом, в ходе работы было проведено сравнение технологий виртуализации сетевых интерфейсов виртуальных сетевых функций, определены их преимущества и недостатки, а также реализован и протестирован модуль поддержки аппаратной виртуализации SR-IOV.

В дальнейшей работе планируется дополнительно ускорить сетевое взаимодействие при помощи применения пакета DPDK непосредственно внутри виртуальных сетевых функций.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Network Functions Virtualisation – Introductory White Paper. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://portal.etsi.org/NFV/NFV_White_Paper.pdf (дата обращения: 25.10.2022).
2. Introduction to virtio-networking and vhost-net. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.redhat.com/en/blog/introduction-virtio-networking-and-vhost-net (дата обращения: 15.02.2023).
3. Pírko J., Hat R. Implementing Open vSwitch datapath using TC // Proceedings of Netdev 0.1. – 2015. [Electronic resource]. – Access mode: https://people.netfilter.org/pablo/netdev0.1/papers/Implementing-Open-vSwitch-datapath-using-TC.pdf (дата обращения: 15.02.2023).
4. Hardware Considerations for Implementing SR-IOV. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://access.redhat.com/documentation/en-us/red_hat_virtualization/4.0/html/hardware_considerations_for_implementing_sr-iov/index (дата обращения: 20.01.2023).

Выпускник
Волков Богдан Михайлович
факультет цифровых трансформаций
Направление подготовки: 01.04.02 – Прикладная математика и информатика
e-mail: kkedrovich@gmail.com

Научный руководитель
Копаница Георгий Дмитриевич
PhD
e-mail: georgy.kopanitsa@gmail.com

УДК 004.9

РАЗРАБОТКА МЕТОДА ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО СОПОСТАВЛЕНИЯ НЕСТРУКТУРИРОВАННЫХ МЕДИЦИНСКИХ ДАННЫХ С КЛАССИФИКАЦИЯМИ БОЛЕЗНЕЙ

Одной из больших проблем в секторе здравоохранения является чрезмерная бумажная волокита. На данный момент больницы начали переходить на электронный документооборот. Внедрение такой технологии частично положительно сказывается на работе персонала, но проблема с неструктурированными данными все еще остается, как и периодическая необходимость использования различных классификаций заболеваний.

В области медицины количество и разнообразие данных довольно большое и разнообразное поэтому обращение с ними было затруднительным. Для решения проблемы с разнообразием на протяжении нескольких лет медицинские учреждения стараются используют международную классификацию болезней организованная во всемирной организации здравоохранения (ВОЗ). Переход медицинских учреждений на EHR системы (Electrical health record) позволил решить проблемы с хранением данных по заданным стандартам [1]. Однако проблема заключается в неполной несовместимости этих стандартов классификаций и работа с неструктурированными данными [2].

На текущий момент есть некоторые исследования в области по обеспечении совместимости классификации заболеваний. В одном из таких исследований рассматривались несколько методов картирования: МКБ-10-СМ → SNOMED CT → МКБ-11 (метод 1); МКБ-10-СМ → МКБ-10 → МКБ-11 (метод 2) и дополнительно рассмотрели пересечение и объединение методов 1 и 2 [4].

В ходе анализа ошибок для метода 1 были выявлены следующие серьезные причины ошибок:

- ошибки на шаге МКБ-10-СМ → SNOMED CT: 79,4% ошибок из неверно сопоставленных записей сопоставлены с неправильной целью МКБ-11;
- ошибки на шаге SNOMED CT → МКБ-11: 20,1% ошибок не удалось сопоставить из-за ошибок в карте SI;
- ошибки в эталонном стандарте: в четырех случаях ошибка была фактически в некорректном сопоставлении кодов.

В ходе анализа ошибок для метода 2 были выявлены следующие серьезные причины ошибок:

- ошибка на шаге МКБ-10-СМ → МКБ-10: неполный охват карты ВОЗ;
- ошибка на шаге МКБ-10 → МКБ-11: из всех неверных записей 49,1% вышли из строя из-за ошибок в ВОЗ карте;
- ошибка в эталонном стандарте: определены три случая из-за ошибок в эталонном стандарте.

Основные ошибки в методах связаны с переводом одного кода к другому. Так, например, в методе 1 — это ошибки при переводе от МКБ-10-СМ к SNOMED, а в методе 2 — это неполных охват и точность карты ВОЗ.

Также есть исследования с переводом кодов Read [5]. В ходе исследования было отмечено, что при сопоставлении случайно выбранных кодов Read (Read2 и Read3) с МКБ-10 СМ кодами точно сопоставляются только 60,6%. В 31,4% случаев не удалось найти точный термин МКБ-10 СМ, поэтому такие коды были сопоставлены с общими терминами МКБ-10 СМ.

В рамках работы было выполнено собственное сопоставление МКБ-10 кодов с SNOMED кодами. Сбор данных осуществлялся с официального электронного ресурса SNOMED CT Browser [3]. В результате сопоставления кодов мы получили связь многие ко многим, что может говорить о неоднозначном сопоставлении. В таблице 1 предоставлен фрагмент получившегося карты сопоставления МКБ-10 и SNOMED.

Таблица 1. **Фрагмент словаря сопоставления кодов МКБ-10 с кодами SNOMED**

МКБ-10 codes	SNOMED code	SNOMED description
['H348']	28578008	Начинающаяся окклюзия вены сетчатки (расстройство)
['H348', 'H350']	232038007	Окклюзия центральной вены сетчатки с неоваскуляризацией
['H358', 'H348']	232039004	Окклюзия центральной вены сетчатки с макулярным отеком
['Q141']	420515004	Извитость вен сетчатки (обнаружение)
['I81X']	766945009	Полная обструкция печеночной воротной вены
['I208', 'E116', 'I200', 'I201', 'O241', 'I209']	791000119109	Стенокардия, связанная с сахарным диабетом 2 типа

Таким образом, в результате исследования сопоставления кодов разных классификаций между собой может приводить к неоднозначным связям и имеет смысл рассмотреть другие подходы для повышения точности сопоставления.

Предлагаемый способ для повышения интероперабельности использует собранную информацию о заболеваниях на основе их симптомов. Однако, для начала необходимо реализовать модели для извлечения из медицинских данных симптомов и предположительное заболевание. Для этого было разработана подсистема для тренировки и вывода в эксплуатацию моделей. В эксплуатацию модель выходит в виде контейнера со своим окружением, в которое входит сам код модели, его веса и конфигурация, а также собственный API для удобного взаимодействия с моделью как с сервисом.

В качестве эксперимента для обучающей подсистемы сначала была получена модель с помощью обучающего уровня, которая была обучена на сокращенных данных. Затем, после пополнения обучающих данных, модели были обучены снова. Результаты показывают, что модели, обученные после добавления данных, оказали положительное влияние на показатели моделей. Собранные метрики по моделям предоставлены в таблице 2. Таким образом, согласно собранным метрикам на тестовой выборке, Случайный лес оказался с наилучшими показателями точности.

Однако, показателей точности будет недостаточно для создания эффективной модели. Поскольку модель существует как сервис, также было необходимо провести нагрузочное тестирование, результаты которых предоставлены в таблице 3.

Таблица 2. **Метрики модели заболевания по МКБ-10**

Версия	Тип модели	Векторизация	Accuracy	Precision	Recall
Old	Логистическая регрессия	CountVectorizer	0,85618	0,84020	0,84014
New	Классификатор дерева решений	CountVectorizer	0,86090	0,84236	0,83946
New	Логистическая регрессия	CountVectorizer	0,86277	0,84651	0,84597
New	Линейный SVC	TfidfVectorizer	0,86486	0,84791	0,84767
New	Классификатор случайных лесов	CountVectorizer	**0,88243**	**0,86568**	**0,86462**

Таблица 3. **Результаты нагрузочного тестирования моделей предсказания заболеваний по МКБ-10**

Тип модели	Количество запросов	Количество ошибок	Процент ошибок
Классификатор случайных лесов	15 000	10 067	67,11%
Логистическая регрессия	15 000	2 693	17,96%
Классификатор дерева решений	15 000	1 695	11,30%
Линейный SVC	15 000	1 480	**9,87%**

Согласно полученным результатам, модель случайного леса, которая имеет наилучшие показатели точности, имеет наихудшие показатели высокой нагрузки. Это делает модель SVM более эффективной для архитектуры. Потому что у него немного плохие показатели точности по сравнению со случайным лесом, но лучшие показатели высокой нагрузки.

Построение графа по полученным данных от первых компонент и предсказывание диагнозов и симптомов исходя из собранных знаний. Для того чтобы было понятнее приведем пример работы компонента. Рассмотрим первый запуск подсистемы:

1. От предыдущих компонент пришли их результаты в виде набора диагнозов и набора симптомов.
2. Происходит сохранение каждого диагноза из пришедшего набора диагнозов: если диагноз уже существует в графе базы знаний, то он не будет добавлен в нее повторно, иначе в граф добавиться узел “диагноз”.
3. Происходит сохранение каждого симптома из пришедшего набора симптомов:
   - если симптом уже существует в графе базы знаний, то он не будет добавлен в нее повторно, иначе в граф добавиться узел “симптом”;
   - соединить данный симптом с каждым узлом “диагноз” из пришедшего набора с диагнозами.
4. Исходя из имеющегося множества базы знаний по полученным наборам симптом и диагнозов подбираются связанные с ними узлы, и выдается в качестве графа.

Таким образом, в качестве результата будет выступать не просто прогноз диагнозов с выявленными симптомами, а еще и набор всевозможных патологий исходя из сохраненного опыта. Пример отображения получаемого графа продемонстрирован на рисунке 1.

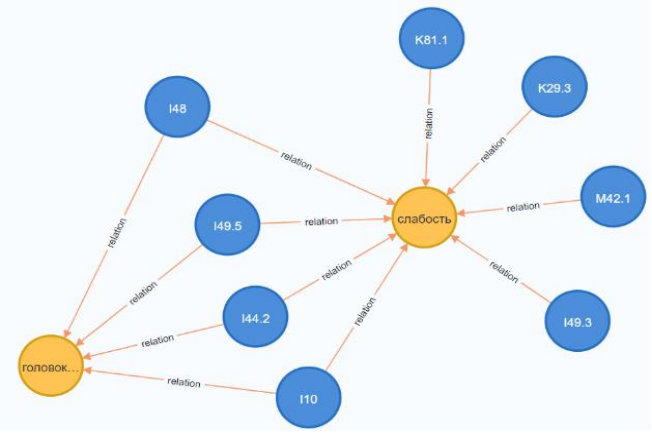


Рис. 1. Пример графа ассоциаций симптомов и кодов заболеваний

Проводились эксперименты, когда графовая модель использовала старый граф для сопоставления старой и новой классификации. Результаты продемонстрированы на рисунке 2. График отображает индикатор полноты графа, где синим цветом обозначена полнота исходного графика, а другие – новые с некоторыми коэффициентами. Полнота графа вычисляется следующим образом:

$$\text{Полнота графа} = \frac{\text{количество симптомов заболевания в новом графе}}{\text{количество симптомов заболевания в старом графе}}.$$

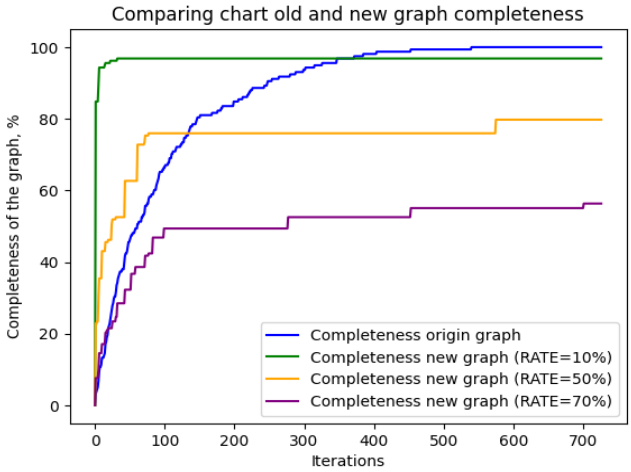


Рис. 2. График сравнения старого и новых графов

Можно заметить, что чем ниже скорость, тем быстрее будет увеличиваться полнота заполнения (поскольку порог для принятия меньше). Эти результаты показывают, насколько эффективно метод подходит для заполнения нового графика для новой классификации.

Полученная эффективность метода по использованию накопленного опыта достигает 96.8%, 75.9% и 21.5% при доверительных интервалах 10%, 50% и 70% соответственно. Полнота не достигает 100%, потому что для того, чтобы достичь 100%, необходимо собрать данные для достоверности.

Предлагаемый способ в виде архитектуры уникальный набор действий, которые мы выполняем, а именно граф для сбора данных для классификации заболеваний и дальнейшего сопоставления с новым обучающим слоем классификаций для накопления опыта и вывода моделей для будущих классификаций.

Полученные результаты могут сформировать основу для разработки новых программных продуктов с высокой практической значимостью для использования в задачах по выявлению заболеваний, а также выявлению других заболеваний с похожими симптомами. Предлагаемый способ позволяет частично упростить ручную работу экспертов, повысить эффективность повторного использования накопленного опыта в виде данных, повысить интероперабельность и эффективность системы поддержки принятия решений.

В дальнейшей работе над предлагаемым проектом планируется добавление версионности моделей прогнозирования заболеваний и симптомов. В рамках повышения эффективности графовой модели планируется проводить моделирование не только на симптомах, но и рассмотреть варианты ассоциаций с численными показателями медицинских данных.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Quinn M., Forman J., Harrod M., Winter S., Fowler K.E., Krein S.L., Gupta A., Saint S., Singh H., Chopra V. Electronic health records, communication, and data sharing: challenges and opportunities for improving the diagnostic process // Diagnosis. 2019. Vol. 6. DOI: 10.1515/dx-2018-0036.
2. Arjmand Naveed, Tshiamo Sigwele, Yim Fun Hu, Mumtaz Kamala, Misfa Susanto: Addressing Semantic Interoperability, Privacy and Security Concerns in Electronic Health Records, 2020
3. SNOMED CT Browser. [Electronic resource]. – Access mode: https://snomedbrowser.com/ (date of access: 24.02.2023).
4. Xu J., Fung K.W., Bodenreider O. Sequential Mapping - A Novel Approach to Map from ICD-10-CM to ICD-11 // Studies in health technology and informatics. 2022. Vol. 290. Pp. 96-100.
5. Mapping of UK Biobank clinical codes: Challenges and possible solutions. [Electronic resource]. – Access mode: https://doi.org/10.1371/journal.pone.0275816 (date of access: 16.02.2023).

Выпускник
Воронцова Ирина Олеговна
факультет научно-образовательный центр фотоники и оптоинформатики
Направление подготовки: 12.04.03 – Фотоника и оптоинформатика
e-mail: iovorontsova@itmo.ru

Научный руководитель
Киселев Федор Дмитриевич
к.ф.-м.н., с.н.с.
e-mail: fdkiselev@itmo.ru

УДК 535.8, 535.015

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ РАБОТЫ СИСТЕМ КВАНТОВОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КЛЮЧЕЙ В ПАРАДИГМЕ ДОВЕРЕННОГО И НЕДОВЕРЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ ПРИ СОВМЕСТНОМ РАСПРОСТРАНЕНИИ С ИНФОРМАЦИОННЫМИ КАНАЛАМИ В ОПТИЧЕСКИХ ТРАНСПОРТНЫХ СЕТЯХ

Технологии квантового распределения ключей (КРК) делают возможным рассылать криптографически стойкий ключ между двумя и большим количеством аутентифицированных пользователей, соединенных между собой квантовым и информационными каналами. В условиях постоянно растущего трафика и необходимости поиска практически удобного и экономически выгодного способа реализации квантового канала оптимальным по многим признакам оказывается одновременное распространение квантового и информационных каналов в одном оптическом волокне с применением технологий плотного мультиплексирования с разделением по длине волны – DWDM. Классифицировать КРК можно в соответствии с различными комбинируемыми критериями: протокол КРК может быть односторонним или двусторонним [1] дискретно-переменным (ДП) или непрерывно-переменным (НП) [2] зависящим от устройства или (полу)независимым от устройства [3]. В данном исследовании рассмотрение ведется для случая ДП и НП протоколов КРК, не зависящих от измерительных устройств (от англ. measurement-device-independent – MDI). Парадигма независимости от устройств представляет особый интерес сама по себе, поскольку она значительно снижает риск подверженности системы ко многим атаками по сторонним каналам. Однако реализация и теоретический анализ таких протоколов и схем требует отдельного подробного рассмотрения.

В работе в контексте таких протоколов впервые решается известная проблема одновременного распространения классических и квантовых сигналов в одном волокне [4], которая оказывается актуальной для вопроса о внедрении технологии КРК в существующую телекоммуникационную инфраструктуру. В качестве источников канальных шумов рассматриваются эффекты спонтанного комбинационного рассеяния (СКР), четырехволнового смешения (ЧВС) и линейных перекрестных помех (ЛПП) каналов для протоколов MDI–КРКДП и MDI–КРКНП. В работе обсуждаются принципы оптимального выделения расположения квантового и классических каналов в соответствии с логикой сетей DWDM. Анализ проводится в соответствии с известными теоретическими границами стойкости и выражается в численной оценке производительности потенциальных практических реализаций систем MDI–КРК.

В рамках работы методами численного моделирования, были теоретически исследованы работа и производительность детектор-зависимых (а именно, работающих на основе протоколов КРКБЧ, COW–КРК, КРКНП) и детектор-независимых (а именно, работающих на основе протоколов MDI–КРКДП и MDI–КРКНП) систем КРК при их интеграции в ВОЛС с применением технологий DWDM при учете эффектов СКР, ЧВС и ЛПП как основных источников совокупных канальных шумов.

Для детектор-зависимых систем КРК сравнительный анализ показал, что конфигурация с 40 каналами и квантовым каналом, расположенным в С-диапазоне, оказалась наиболее неэффективной (рис. 1).

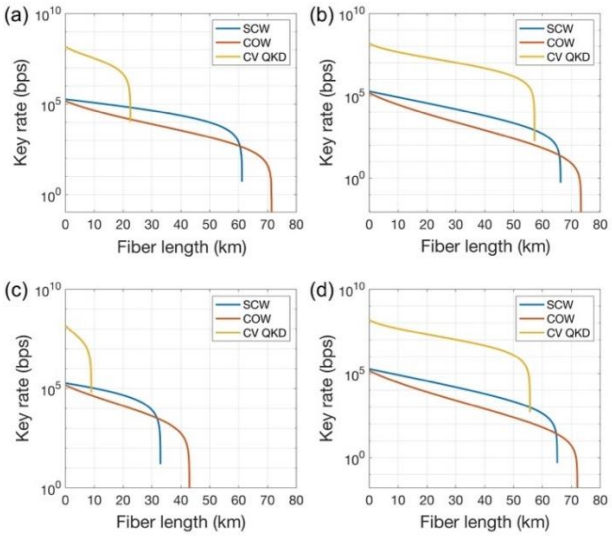


Рис. 1. Зависимость скорости генерации секретного ключа для случая: а) 10 каналов и квантового канала в С-диапазоне; б) 10 каналов и квантового канала на длине волны 1310 нм; в) 40 каналов и квантового канала в С-диапазоне; г) 40 каналов и квантового канала на длине волны 1310 нм

Кроме того, выделение для квантового канала значения длины волны О–диапазона (то есть 1310 нм) выгодно для систем с большим (в данной работе рассмотрены 40 каналов) количеством классических информационных каналов, так как ухудшение достижимых расстояний происходит несущественно. В свою очередь, детектор-зависимые системы КРКНП обеспечивают высокую скорость генерации стойкого ключа, однако способны покрывать только короткие расстояния.

Для детектор-независимых систем КРК (MDI–КРК) было предложено несколько возможных схем практической реализации в контексте потенциальной топологии квантовой сети, отличающихся направлением взаимного распространения каналов в плечах системы, которое определяет характер возникающих в них шумов. Предлагаемые схемы для случая систем MDI–КРКДП представлены на рисунке 2.

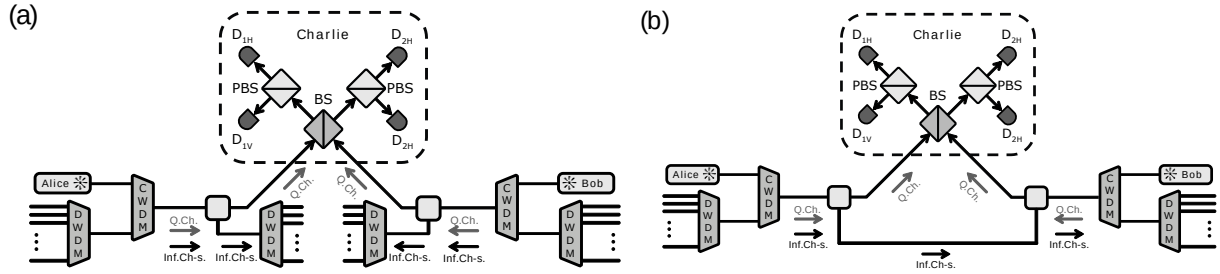


Рис. 2. Схемы реализации DWDM-интегрированной системы MDI–КРКДП в случаях передачи информации по каналам: а) от Алисы и Боба на центральное реле; б) напрямую от Алисы к Бобу

Таким образом, реализация представленная на рисунке 2, а соответствует ситуации, когда необходимо передать информацию третьему лицу, расположенному на центральном недоверенном реле (Чарли), что может быть применимо для топологии сети типа «звезда». Реализация, представленная на рисунке 2, б в свою очередь, подразумевает прямой пересыл информации от Алисы к Бобу. Реализация системы MDI–КРКНП, рассматриваемая в работе, также следует последнему принципу.

Дальнейший анализ проводился с точки зрения данных практических реализаций, а также распределения каналов на сетке DWDM и коэффициента асимметрии между путями системы. Для интегрированных с применением технологий DWDM систем MDI–КРК направление передачи информации влияет на величину совокупных канальных шумов. Часто равенство совокупных шумов в путях сторон систем MDI–КРКДП отождествляется с симметричностью путей таких систем. Данный вывод соответствует работе системы MDI–КРКДП с ориентацией на центральное реле. Однако вывод перестает быть верным для систем MDI–КРКДП с прямой передачей информации от Алисы к Бобу, где характер шума различен для путей. В данном случае совокупные потери в плечах Алисы и Боба становятся различными; для плеча Алисы имеет место прямой шум СКР, тогда как в плече Боба необходимо оценивать вклад обратного шума СКР. Это приводит к количественному расхождению между потерями в плечах и, таким образом, влияет на другие компоненты шума (затухание в волокне, ЧВС), зависящие от дистанции распространения.

Таким образом, для такой схемы оптимальной будет асимметричная конфигурация с коэффициентом асимметрии L_a/L_b, следующим из требования равенства совокупных канальных потерь в плечах:

$$\alpha \cdot L_a + P_{FWM}\left(L_a\right) + P_{ram,f}\left(L_a\right) = \alpha \cdot L_b + P_{FWM}\left(L_b\right) + P_{ram,b}\left(L_b\right).$$

Далее для оценки оптимального коэффициента асимметрии численное моделирование проводилось в контексте анализа максимально достижимой дистанции MDI–КРК для коэффициента асимметрии в диапазоне от 1 до 2,5. Результаты представлены на рисунке 3.

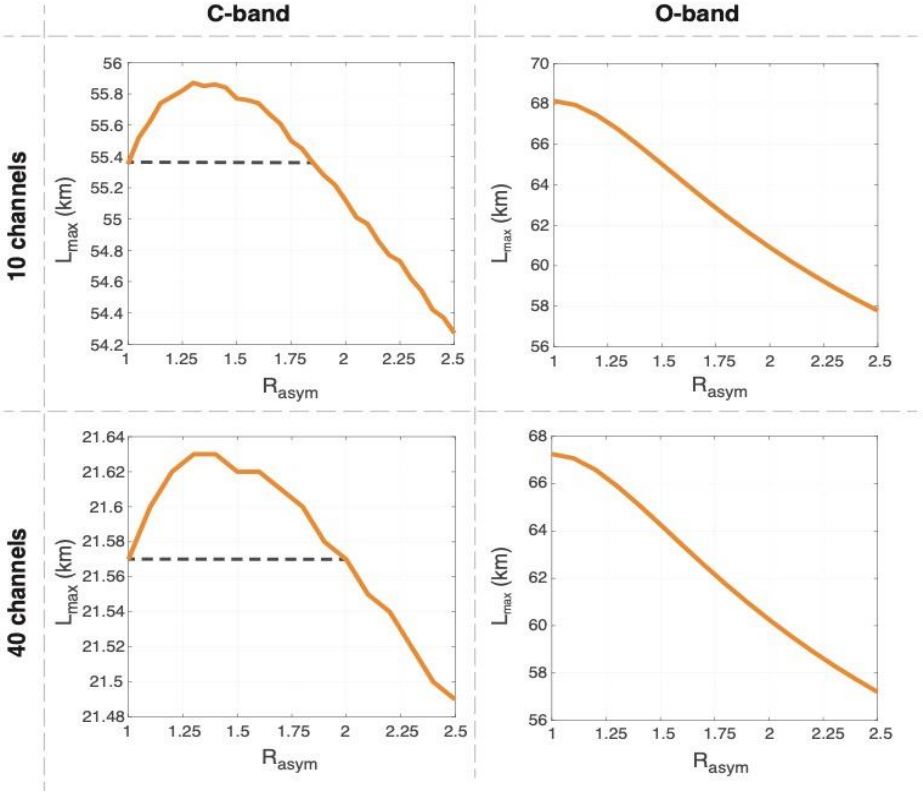


Рис. 3. Зависимость максимально достижимой дистанции при работе системы MDI–КРКДП от коэффициента асимметрии системы

Из графиков видно, что зависимости имеют хорошо выраженные максимумы в районе значения около 1,4, а целый диапазон от 1 до 2 соответствует случаю, когда производительность системы MDI–КРК лучше в случае асимметричности системы.

Далее было проведено сравнение результатов, соответствующих оптимальной асимметричной и симметричной реализациям для двух конфигураций С-диапазона (рис. 4).

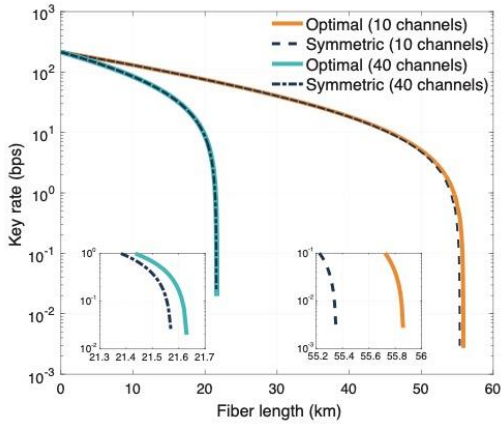


Рис. 4. Сравнение симметричной и оптимальной реализаций для случая однофотонного протокола MDI–КРКДП

Каким бы малым не было обнаруженное превосходство асимметричной реализации, наблюдение по-прежнему актуально и важно для проведения точного анализа стойкости.

Следует отметить, что данный вывод относится к конфигурациям с квантовым каналом, расположенным только в С-диапазоне телекоммуникационного окна, поскольку шум ЧВС не влияет на конфигурации О-диапазона. При этом вклад СКР (как прямого, так и обратного) на порядки меньше, чем для С-диапазона, и, следовательно, разница между ними незначительна.

Далее была рассмотрена схема реализации протокола MDI–КРКНП. Результаты представлены на рисунке 5.

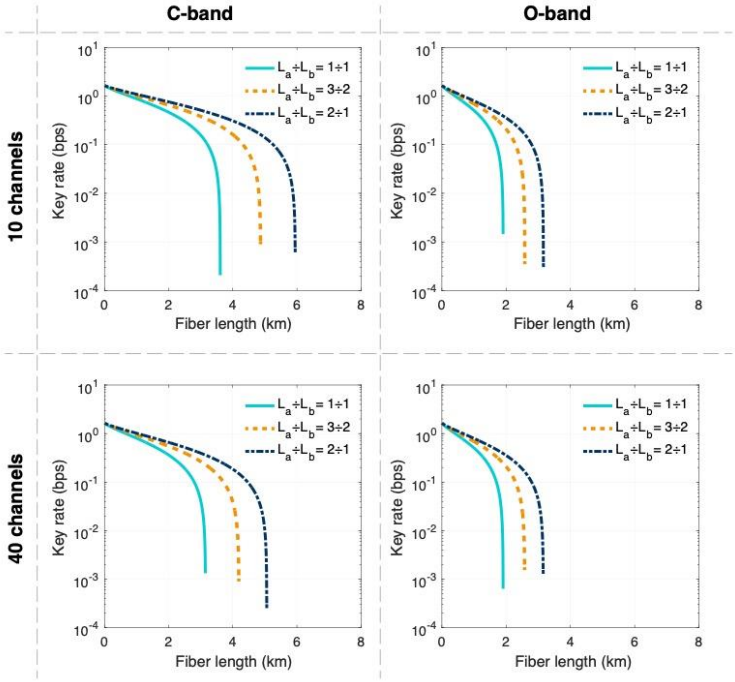


Рис. 5. Зависимость скорости генерации стойкого ключа от длины оптического волокна для протокола MDI–КРКНП

Известно, что для систем MDI–КРКНП скорость генерации стойкого ключа резко снижается по мере приближения системы к ее симметрии ($L_a = L_b$), причем наилучший результат соответствует ситуации, когда одно из плеч системы равно нулю [5]. Полученные результаты подтверждают данный вывод.

Следует отметить, что для случая протокола MDI–КРКНП, конфигурации, для которых квантовый канал расположен в С-диапазоне, оказались более эффективными с точки зрения максимально достижимых расстояний. Несмотря на то, что общий вклад канальных шумов для таких случаев меньше, затухание в волокне для длины волны квантового канала 1310 нм

значительно превосходит их. При этом максимально достижимые расстояния не превышают 6 км, следовательно, такие реализации могут быть использованы для передачи информации на короткие расстояния.

Таким образом, была показана существенная разница между протоколами КРКНП и КРКДП как самими по себе, так и при их реализации в телекоммуникационных сетях. Данные результаты помогают определить реальные условия (топологию сети, ее масштабируемость, скорость передачи информации), при которых рассматриваемые системы показывают наилучшую производительность. Полученные численные оценки позволят корректно осуществлять выбор конкретного протокола для потенциальной интеграции КРК в существующую телекоммуникационную инфраструктуру в зависимости от необходимых клиентских потребностей, ограничений сети, размера области обслуживания, требований к стойкости. Это, в свою очередь, поможет корректно анализировать потенциальные квантовые сети в контексте их реальной имплементации.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Pirandola S., Braunstein S.L., Lloyd S. Characterization of collective Gaussian attacks and security of coherent-state quantum cryptography // Physical Review Letters. 2008. Т. 11. №. 101. Pp. 200504.
2. Grosshans F., Van Assche G., Wenger J., Brouri R., Cerf N. J., Grangier P. Quantum key distribution using gaussian-modulated coherent states // Nature. 2003. Т. 1. №. 421. Pp. 238-341.
3. Lo H.K., Curty M., Qi B. Measurement-device-independent quantum key distribution // Nature. 2012. Т. 3. №. 108. P. 130503.
4. Mlejnek M., Kaliteevskiy N., Nolan D. Reducing spontaneous Raman scattering noise in high quantum bit rate QKD systems over optical fibe» // arXiv preprint. 2017. arXiv:1712.05891.
5. Li Z., Zhang Y.C., Xu F., Peng X., Guo H. Continuous-variable measurement-device-independent quantum key distribution // Physical Review A. 2014. Т. 89. №. 5. P. 052301.

Выпускник
Гелазов Роберт Хамбалевич
факультет биотехнологии
Направление подготовки: 19.04.01 – Биотехнология
e-mail: robgelazov@gmail.com

Научный руководитель
Яковченко Наталья Владимировна
к.т.н., доцент
e-mail: nviakovchenko@itmo.ru

УДК 664, 637.181, 613.261, 664.788.3, 615.322, 579.66

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ФЕРМЕНТИРОВАННОГО ПРОБИОТИЧЕСКОГО ПРОДУКТА НА РАСТИТЕЛЬНОЙ ОСНОВЕ

Общий рост рынка этих растительных альтернатив молока показывает, что потребительский интерес этими продуктами заметно растет [1]. В своем полугодовом отчете, опубликованном в марте 2022 года, некоммерческая организация Good Food Institute (GFI) сообщила, что в 2022 году доля растительного молока в общем объеме рынка молока составляет 16% — по сравнению с 12% процентами в 2018 году. Компания Strategic Market Research прогнозирует, что к 2030 году мировое производство растительных альтернатив будет оценено в 123,1 миллиарда долларов [2]. В свете возросшей популярности функциональных продуктов питания, становится актуальной разработка продуктов, являющихся альтернативой молочным продуктам, с пробиотическими свойствами. Применение пробиотиков из числа нормальной микрофлоры человека, является важным компонентом концепции здорового питания [3]. Адаптогены в составе продукта участвуют в поддержании гомостаза, улучшают метаболизм и повышают стрессоучстойчивость организма [4].

В качестве сырья разрабатываемого пробиотического продукта была выбрана шелушенная непропаренная гречка. Она является ценным источником растительных белков — их содержание на 100 грамм крупы составляет 12,6 граммов. Именно поэтому этот продукт активно включается в рацион вегетарианцев и веганов. В состав зеленой гречки входит железо, фосфор, магний, кальций, витамины Р и группы В, жирные кислоты [5].

Растительная дисперсия, подлежащая дальнейшей ферментации, вырабатывается по следующей схеме: зерна гречихи замачивают в холодной фильтрованной воде, в соотношении зерна к воде 1:3, выдерживают 12 часов. После замачивания замеряют уровень воды, ставят отметку на банке, сливают старую воду и промывают сырье. воду сливают, промывают гречиху и уровень воды доводят до первоначального. Измельчение проводят в блендере SHINE BLW-N02 (SHINE, Китай) в течение 3 минут на постоянной скорости. Полученную растительную дисперсию фильтруют через лавсановую ткань.

На этапе подготовки сырье в целях улучшения показателей качества будущей растительной дисперсии предварительно обрабатывалось ультразвуковыми волнами (на протяжении 1,3 и 5 минут) и замораживалось при –18°С и –80°С.

Применение ультразвуковой обработки в большей степени позволяет повысить содержание белка в растительной дисперсии. Обработка сырья ультразвуком в течение 1 и 3 минут позволит в некоторой степени повысить содержание фенольных соединений, применение же предварительной заморозки дает обратный результат.

По результатам анализов на содержание микроэлементов, наилучшим образом себя показал образец, замороженный при –18°С, у него наибольшее количество возросших показателей содержания микроэлементов, а именно: железа, алюминия, бария, бора, кремния, магния, марганца, стронция, фосфора и цинка, содержание которых так или иначе превышают

значения в контроле. Образцы, обработанные ультразвуком, показали прирост по содержанию железа, магния, марганца и фосфора.

На рисунке 1 представлена органолептическая оценка образцов дисперсии с различными видами обработки.

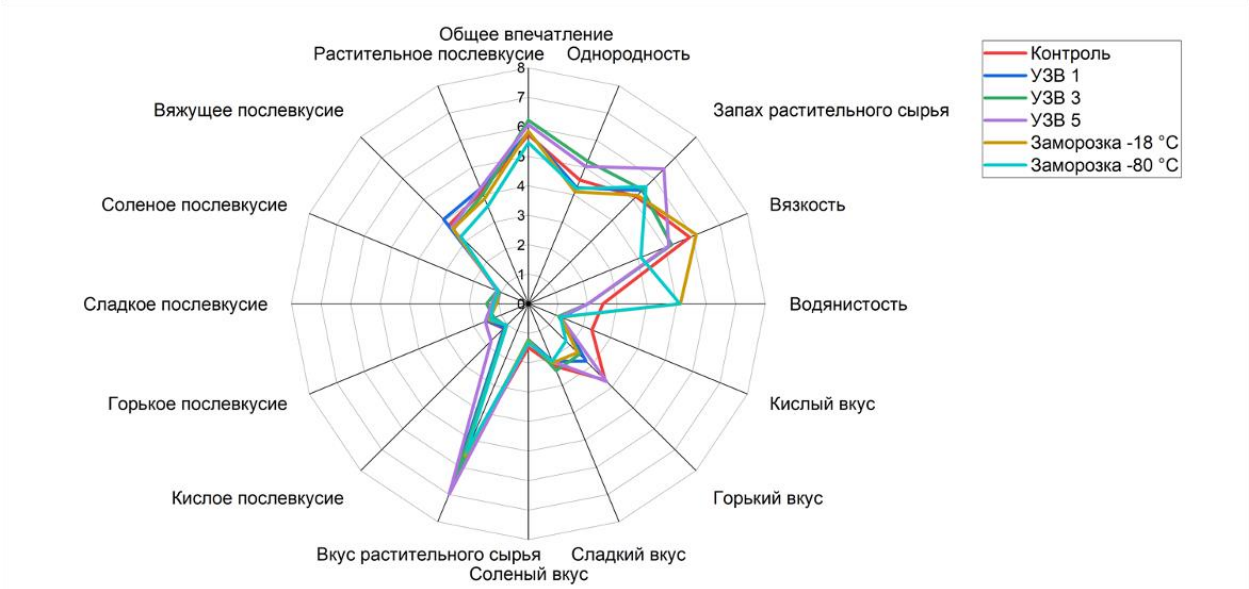


Рис. 1. Сравнительная профилограмма органолептической оценки контроля и образцов, подвергшихся различным видам предварительной обработки

Дальнейшая работа проводилась, обработанным УЗВ на протяжении 3 минут.

Температура пастеризации определена на 85°C, продолжительность – 4 минуты. Количественным анализом было определено содержание крахмала в пробе — 8,97 ± 0,41 г на 100 г дисперсии. во избежание интенсивной клейстеризации в 1 килограмм дисперсии внесли 0,045 г альфа-амилазы, это количество фермента удалить прибилизительно 50% всего крахмала, оставив половину для стабилизации будущего продукта. Поскольку амилаза низкотемпературная и имеет верхний температурный порог в 70°C, к концу пастеризации (85°C) она будет инактивирована.

Ферментирование полученной дисперсии производилось до достижения показателя pH 4,6 – 4,8. На рисунках 2 и 3 представлено сравнение скорости ферментации и интенсивности кислотонакопления образцов, ферментированных каждой отдельной закваской.

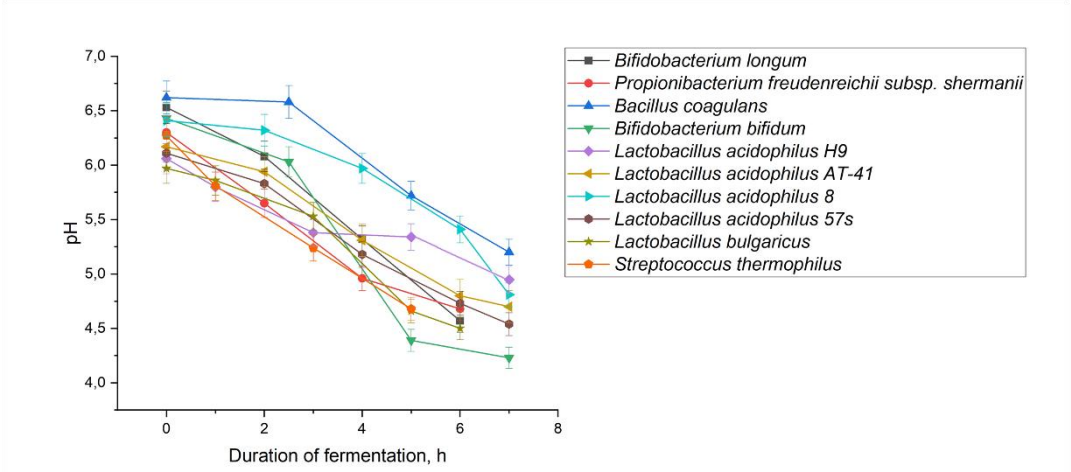


Рис. 2. Сравнение скоростей ферментации образцов с различными заквасочными культурами

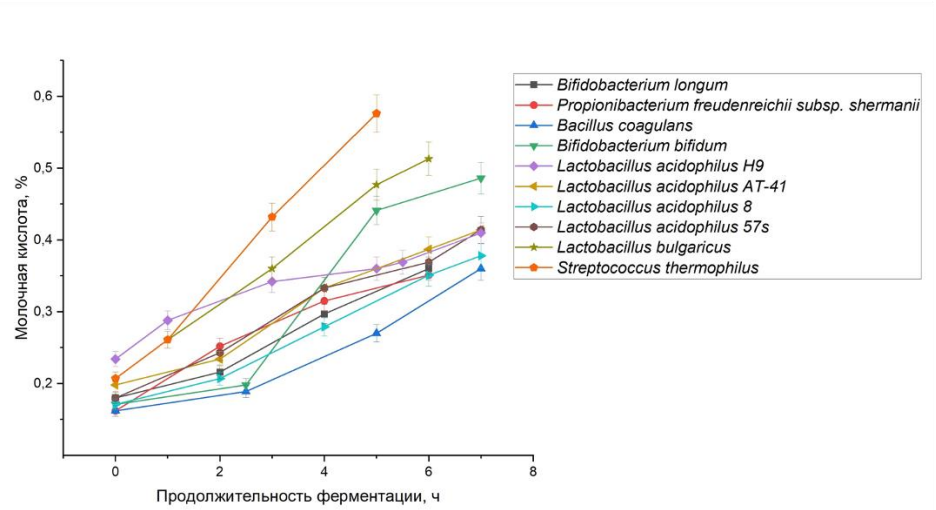


Рис. 3. Сравнение кислотонакопления образцов с различными заквасочными культурами

Из образцов ферментированной каждой культурой в отдельности наилучшие органолептические оценки получили *Streptococcus thermophilus*, *Lactobacillus acidophilus 57s* и *Lactobacillus bulgaricus*.

Для каждого образца были определены показатели антиоксидантной активности, замеры производились через равные промежутки времени на 1, 3, 6, 9 и 11 сутки. Наилучшую антиоксидантную активность из всех продуктов показали дисперсии, ферментированные культурами *Streptococcus thermophilus*, *Lactobacillus acidophilus 57s*, *Lactobacillus acidophilus AT-41* и *Lactobacillus bulgaricus*.

На рисунке 4 представлено сравнение количества колониеобразующих единиц каждой заквасочной культуры до начала и спустя трое суток после ферментации.

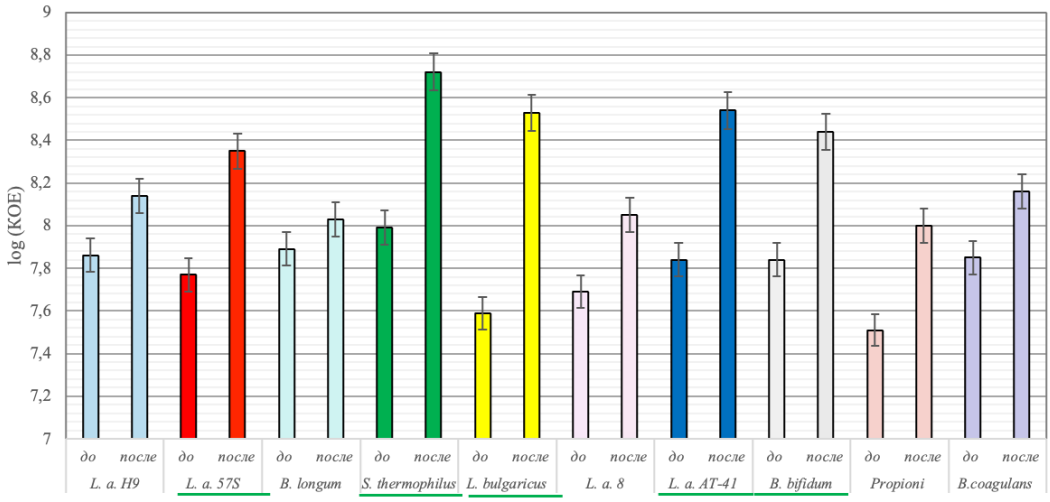


Рис. 4. Сравнение количества колониеобразующих единиц каждой культуры в образцах

Из всех вышеперечисленных заквасочных штаммов на основании органолептических оценок, темпов образования колоний молочнокислых бактерий и антиоксидантной активности каждого образца для компоновки были выбраны три культуры: *Streptococcus thermophilus*, *Lactobacillus acidophilus 57s* и *Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus*. Ввиду небольшого количества отобранных заквасок, сочетание принято проводить сразу со всеми тремя.

Компоновка производилась в следующих соотношениях:

- 33% *S. thermophilus* + 33% *L. acidophilus 57s* + 33% *L. bulgaricus* (Компоновка 1);
- 60% *S. thermophilus* + 20% *L. acidophilus 57s* + 20% *L. bulgaricus* (Компоновка 2);
- 20% *S. thermophilus* + 60% *L. acidophilus 57s* + 20% *L. bulgaricus* (Компоновка 3);
- 20% *S. thermophilus* + 20% *L. acidophilus 57s* + 60% *L. bulgaricus* (Компоновка 4).

Температура сквашивания была установлена на отметке в 38°С.

На рисунке 5 продемонстрированы сравнительные графики сквашивания четырех компоновок.

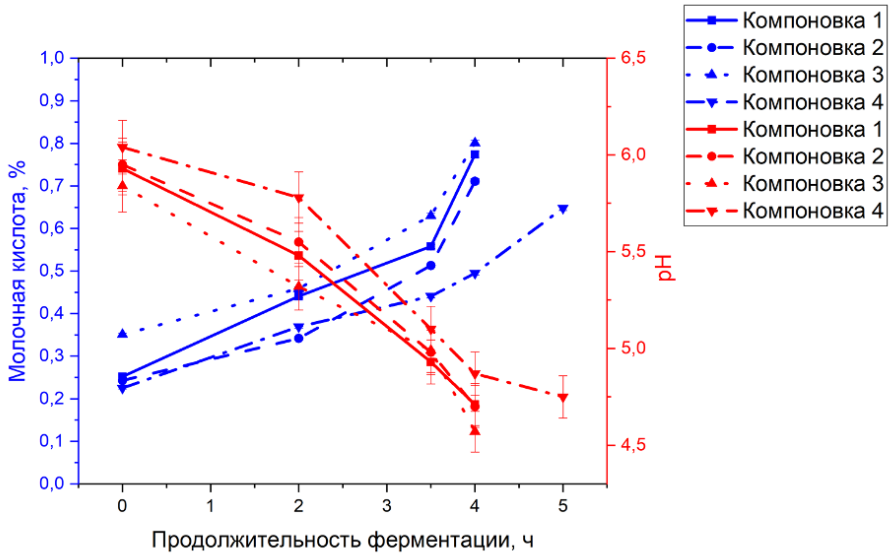


Рис. 5. Сравнительный график компоновок по показателям активной кислотности и кислотонакопления

На рисунке 6 представлены результаты органолептической оценки четырех продуктов, сквашенных соответствующими заквасками.

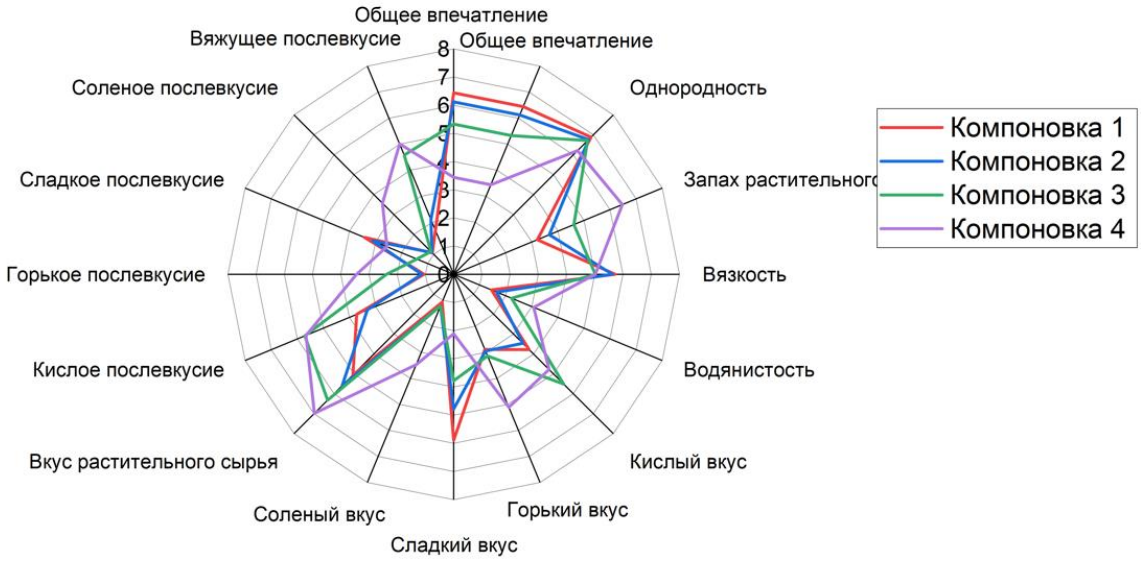


Рис. 6. Органолептические показатели продуктов сквашивания компоновками

На основании органолептической оценки, сравнению структурно-механических показателей и сравнительного анализа скоростей сквашивания финальной версией компоновки стала компоновка 1 с составом 33% *S. thermophilus* + 33% *L. acidophilus 57s* + 33% *B. bulgaricus*. На рисунке 7 представлена петля гистерезиса продукта.

Площадь петли составила 0,925 Па. График характеризует структурно-механические свойства продукта как тиксотропные.

В ходе исследования были определены оптимальные параметры получения сухих экстрактов родиолы розовой и облепихи, а именно: для экстракта родиолы розовой температура на входе составила 155°С, температура на выходе — 85°С; для экстракта

облепихи температура на входе — 135°С, температура на выходе 70°С. Скорость подачи сырья была установлена 0,8 л/ч. Скорость потока воздуха 0,53 м3 /мин. Давление распыляемого воздуха 100 кПа.

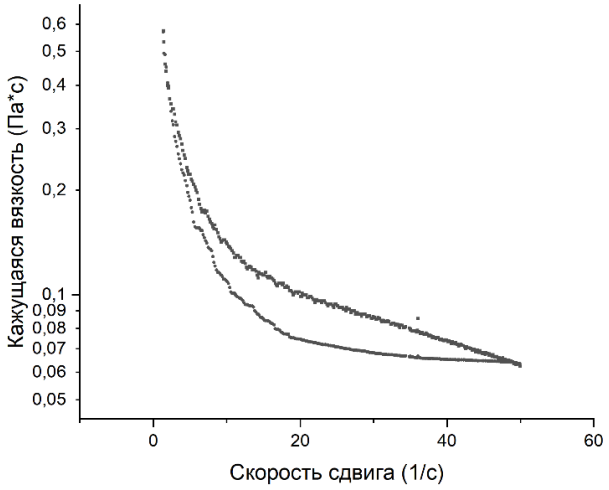


Рис. 7. Петля гестерезиса продукта, ферментированного выбранной компоновкой

Путем последовательного подбора концентраций экстрактов адаптогенов выбрали два варианта: первый — 0,3% экстракта родиолы розовой и 0,2% экстракта облепихи, второй — 0,2% экстракта родиолы и 0,1% экстракта облепихи от объема смеси. Экстракты добавляли в растительную дисперсию перед пастеризацией. Из двух вариантов наиболее предпочтительным для группы респондентов оказался второй вариант.

В процессе хранения органолептические показатели готового продукта начали ухудшаться, начиная с 13 дня. В соответствии с МУК 4.2.1847-04, для продукта были установлены сроки годности в одну неделю с коэффициентом резерва 1,5. Показатели содержания пробиотических и патогенных организмов в выбранном интервале хранения соответствует соответствующим техническим регламентам ТР ТС 033/2013 и ТР ТС 021/2011 по допустимому количеству микроорганизмов в продукте.

Результаты исследования

1. Технологические параметры получения дисперсии из семян гречихи были отработаны, температура пастеризации составила 85°С, продолжительность – 4 минуты. Рассчитана концентрация амилазы, устраняющей излишнюю клейстеризацию — 0,045 г на 1 кг дисперсии.
2. Наилучшим методом предварительной обработки сырья является ультразвуковая — она способствует улучшению органолептических свойств дисперсии, увеличению массовой доли белка и некоторых микроэлементов.
3. В процессе подбора заквасочных культур для ферментации растительной дисперсии была разработана компоновка следующего состава: 33% *S. thermophilus* + 33% *L. acidophilus 57s* + 33% *L. bulgaricus*. Эта компоновка отличается большей скоростью кислотообразования в отличие от сквашивания с каждой отдельной культурой, обладает приятным органолептическим профилем.
4. В результате подбора концентрации адаптогенов в готовом продукте были выбраны следующие значения — 0,2% экстракта родиолы розовой и 0,1% экстракта облепихи от объема смеси.
5. Срок годности продукта составил одну неделю, с коэффициентом резерва 1,5. Допустимое количество микроорганизмов на конец срока хранению соответствует ТР ТС 033/2013 и ТР ТС 021/2011.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Plant-based milk by numbers, US retail: Oat milk and pea milk up double digits, almond milk and soy milk flat. [Electronic resource]. – Access mode: https://www.foodnavigator-usa.com/Article/2022/07/25/Plant-based-milk-by-numbers-US-retail-Oat-milk-and-pea-milk-up-double-digits-almond-milk-and-soy-milk-flat (date of access: 14.01.2023).
2. Как развивался рынок растительного молока в 2022 году. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://vegetarian.ru/news/kak-razvivalsya-rynok-rastitelnogo-moloka-v-2022-godu.html (дата обращения: 14.01.2023).
3. Решетник Е. И., Уточкина Е. А. Разработка технологии ферментированного молочно-растительного напитка с функциональными свойствами // Техника и технология пищевых производств. 2011. №. 2 (21). С. 53-56.
4. Panossian A., Wikman G. Effects of adaptogens on the central nervous system and the molecular mechanisms associated with their stress—protective activity // Pharmaceuticals. 2010. V. 3. №. 1. Pp. 188-224.
5. Польза, вред и приготовление зеленой гречки. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://royal-forest.ru/blog/polza_i_vred_zelenoy_grechki_/ (дата обращения: 16.04.2023).

Выпускник
Гетманюк Иван Борисович
факультет безопасности информационных технологий
Направление подготовки: 10.04.01 – Информационная безопасность
e-mail: getmanyukib@gmail.com

Научный руководитель
Федоров Иван Романович
квалификационная категория «ассистент»
e-mail: if1242@yandex.ru

УДК 004.056

ЗАЩИТА ПРОЦЕДУРЫ АУТЕНТИФИКАЦИИ В УСТРОЙСТВАХ ПРОМЫШЛЕННОГО ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИИ БЛОКЧЕЙН

С каждым днем все больше и больше устройств подключается к Интернету. Эволюция Интернета подстегнула подключение традиционно несетевых устройств к Интернету, в рамках тенденции, известной как Интернет вещей (IoT). С интеграцией устройств IoT в различные отрасли промышленности сформировалась концепция Промышленного Интернета вещей (IIoT), которая привлекает все больше внимания. Существенной разницей между IoT и IIoT областями является более длительный срок службы промышленных устройств по сравнению с потребительскими устройствами, требующими последующего обеспечения мер безопасности и длительного управления исправлениями. Также, сети IIoT крупнее по масштабу, а расширенная и динамичная взаимосвязь между устройствами IoT усложняет внедрение защищенной сетевой архитектуры, основанной на сегрегации, особенно по мере развития предлагаемых услуг [1]. Важным условием распространения IoT должно быть повышение кибербезопасности платформ и конечного оборудования. В пяти из одиннадцати основных вопросов безопасности в IIoT обеспечение безопасности процедур управления идентификационными и аутентификационными данными устройств имеет решающее значение для защиты от нарушителей. Большинство классических механизмов аутентификации и безопасности централизованы и часто требуют еще одной доверенной стороны либо больших сопутствующих затрат, как время, скорость данных и мощности вычислений. Обеспечивая полную децентрализацию, высокую безопасность данных и широкий взгляд на систему, блокчейн является более интересным и безопасным решением [2].

Актуальность исследования подтверждается «Доктриной информационной безопасности Российской Федерации», и возникающими рисками, вызванными информационно-техническим воздействием на промышленные объекты в текущей геополитической обстановке.

Задачи для научного исследования:

- анализ научной литературы существующих вариантов защиты механизма аутентификации, выделение преимуществ и недостатков методов и алгоритмов,
- изучение открытых вопросов известных методов решений,
- исследование возможности применения в решении задачи преимуществ технологии блокчейн,
- проектирование и оценка разработанного метода защиты процедуры аутентификации.

Для всех отраслей IoT характерно больше всего изменений на канальном уровне TCP/IP (1 и 2 уровни OSI) и прикладном уровне TCP/IP (5,6,7 уровни OSI). Сетевой (межсетевой) уровень – протоколы IP: IPv4 (RFC 6864), IPv6 (RFC 7335) и IPSec (RFC 6071); а также транспортный уровень – протоколы TCP/UDP (RFC 1180), остаются неизменными. Аутентификация датчиков в концепции IoT выполняется на прикладном уровне. Для защиты обмена аутентификационными данными в приложениях между транспортным и прикладным

уровнями модели TCP/IP используется протокол безопасности Secure Sockets Layer (SSL) или Transport Layer Security (TLS) RFC 8446. Он работает на сеансовом уровне модели OSI и использует криптографические методы защиты информации. Используя данный протокол, выполняющий все функции по созданию защищенного канала между двумя участниками сети, с взаимной аутентификацией клиента и сервера выполнено проектирование метода защиты. На основе блокчейн-фреймворка, приватная сеть предприятия позволят реализовать спроектированный метод защиты «GFE_CHAIN» для защиты аутентификационных данных между устройствами IIoT путем управления верификацией ключей. При выборе блокчейн-фреймворка учтены типы транзакций и серверные ресурсы. На основе полученных результатов с учетом нагрузочного тестирования выбор сделан в пользу Hyperledger Fabric. Это фреймворк построенный с использованием «ChainCode» (программа, реализующая действия в платформе на основе технологий распределенного реестра) с поддерживаемым набором языков Goland, JavaScript, Java.

Для графического описания работы разработанного GFE_CHAIN-алгоритма на рисунке 1 представлена схема работы индустриальной сети.

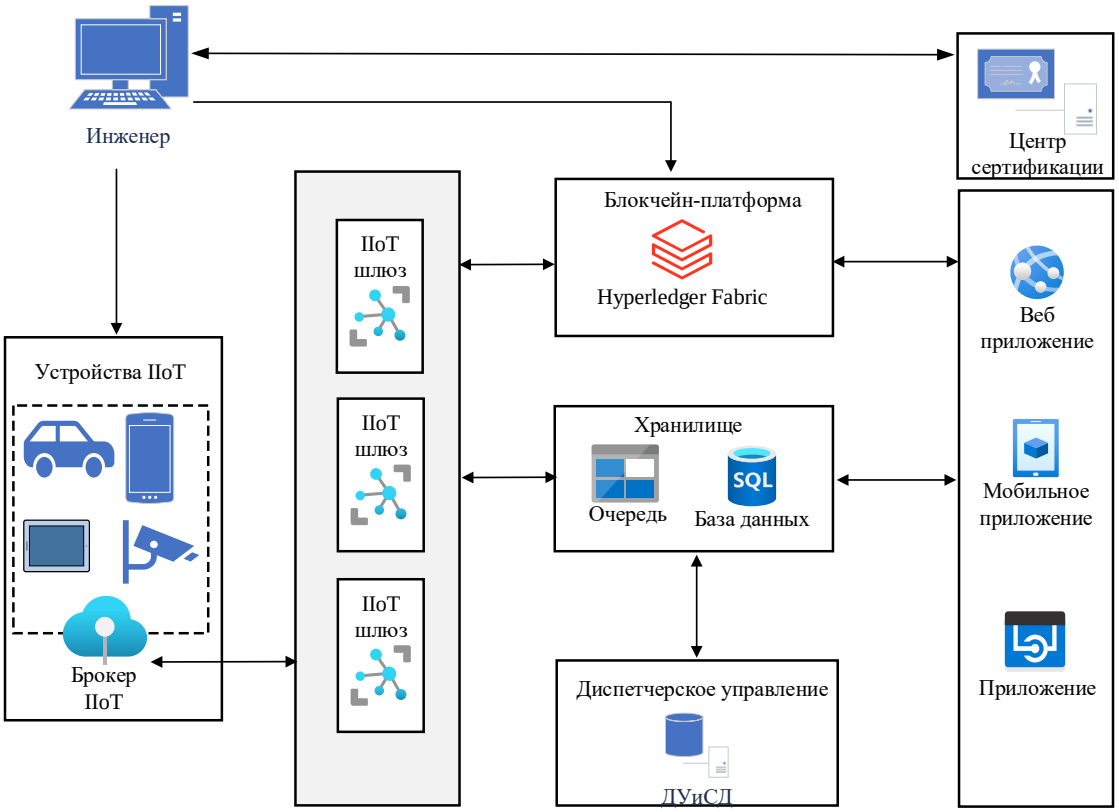


Рис. 1. Проектируемая структура сети IIoT

Процедура регистрации датчиков IoT по алгоритму GFE_CHAIN (рис. 2):

1. На первом этапе Инженер (*A*) генерирует собственный сертификат датчика (*C*) для обмена данными с брокером по общепринятому стандарту X.509 (K_C, K_C^{-1}). Данный сертификат должен иметь закрытую и открытую часть ключа *A:* K_C, K_C^{-1}.
2. Инженер проводит процедуру подписания в корпоративном УЦ (*B*) публичной части ключа *A→B:* K_C, *B: encrypt* (K_C, K_B^{-1}).
3. Корпоративный УЦ отравляет публичный ключ, подписанный из шага 2 в платформу ТРР (*H*) *B→H: encrypt (encrypt* (K_C, K_B^{-1}), K_{BH}^{-1}).

4. Инженер, получив на шаге 2 публичный ключ от корпоративного УЦ, записывает его в датчик вместе с его закрытой частью $A \rightarrow^{-1} C$: *encrypt* (K_C, K_B^{-1}), K_C^{-1}.
5. Инженер отправляет подписанный сертификат на шаге 2, ID-датчика (*ID*), координаты планируемой установки (*FIX*) в платформу TPP через своего входного оракула $A \rightarrow H$: *encrypt (encrypt* (K_C, K_B^{-1}), *ID, FIX*, K_{AH}^{-1}).
6. В платформе TPP происходит запись, на основе консенсуса, цепочки блоков доверенных устройств в нашей промышленной сети $H_{[I]}$= *encrypt* (K_C, K_B^{-1}), *ID, FIX*. Тиражирование цепочки в шлюзы.

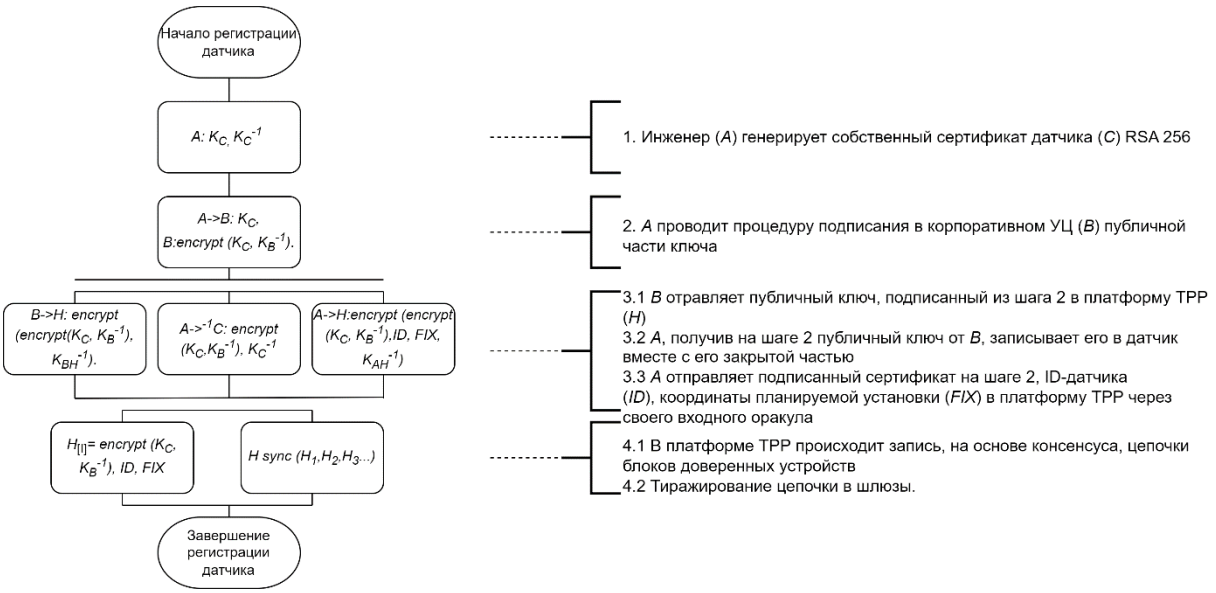


Рис. 2. Алгоритм регистрации датчиков IoT

Процедура аутентификации в защищенном режиме по алгоритму GFE_CHAIN (рис. 3):

1. Датчик начинает процедуру установки TLS соединения с брокером (*E*) $C \rightarrow E$: *CH*.
2. Брокер проходит процедуру аутентификации и запрашивает у датчика публичный ключ и подтверждение владения приватным ключом $E \rightarrow C$:*SH, CS, CR*.
3. Брокер, получив открытый сертификат и подтверждение от датчика $C \rightarrow E$:*CC, CV*, направляет его на проверку шлюзу (*F*) $E \rightarrow F$: *CC, CV*.
4. Шлюз, имея доступ к сети TPP, проверяет его наличие в цепочке доверенных устройств $F \rightarrow E$: *true/false*.
5. При успешной верификации шлюзом публичного ключа клиента брокер продолжает установку TLS соединения $E \rightarrow C$: *CCSS*. После установки TLS соединения между брокером и датчиком на уровне приложения выполняется аутентификация устройства по логину и паролю, начинается обмен данными.
6. При отрицательной процедуре верификации шлюзом возвращается команда брокеру завершить процедуру построения TLS-соединения с датчиком. Без построения шифрованного туннеля обмен данными с датчиком не происходит.

Используя технологию блокчейн, удалось достигнуть необходимого уровня доверия между участниками и обеспечить децентрализованное управление устройствами IoT в промышленной сети. При рассмотренных актуальных угрозах в блокчейне обеспечивается конфиденциальность, целостность и доступность обрабатываемых данных. Разработанный метод защиты аутентификационных данных для устройств IoT в промышленной сети, в соответствии с проведенной оценкой AVISPA SPAN обеспечивает защиту от актуальных для IIoT угроз информационной безопасности и универсальность применения.

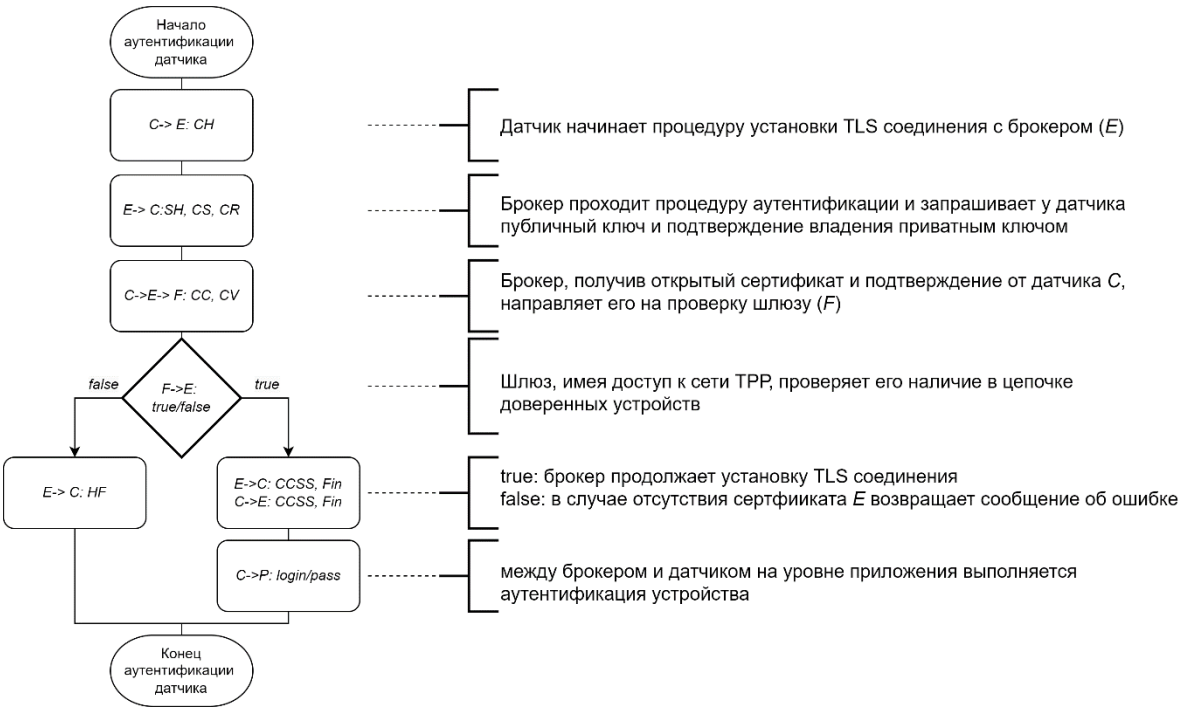


Рис. 3. Алгоритм аутентификации датчика IIoT

Данная работа отличается высокой практической значимостью. Разработанный метод защиты процедуры аутентификации, позволил создать пилотный проект с использованием IIoT-кибершлюза на промышленной площадке ПАО «Газпромнефть».

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Serror M. et al. Challenges and opportunities in securing the industrial internet of things // IEEE Transactions on Industrial Informatics. 2020 Т. 17. №. 5. С. 2985-2996.
2. Гетманюк И.Б., Федоров И.Р., Енгалычев Р.С. Исследование методов аутентификации в промышленном Интернете вещей // Безопасность информационных технологий. 2023. Т. 30. №. 1. С. 40-57.

Выпускник
Горифьянов Роман Геннадьевич
факультет цифровых трансформаций
Направление подготовки: 11.04.02 – Финансовые технологии больших данных
e-mail: gorifrom@yandex.ru

Научный руководитель
Духанов Алексей Валентинович
д.т.н., доцент
e-mail: dukhanov@itmo.ru

УДК 004.9

РАЗРАБОТКА МЕТОДА ОЦЕНКИ ПАРАМЕТРОВ УСТОЙЧИВОСТИ ПИРИНГОВОГО КРЕДИТОВАНИЯ НА ОСНОВЕ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

В эпоху развития информационных и компьютерных технологий повышается финансовая грамотность населения в областях использования инструментов для решения денежных вопросов. На сегодняшний день только лицензированные финансовые организации, такие так банки или микрофинансовые организации (МФО) пользуются популярностью у населения в Российской Федерации при необходимости взять в долг средства на определенный промежуток времени. Однако, если платёжеспособная часть населения может взять на себя обязательства выплаты кредита в банке, то менее обеспеченная прослойка общества (пенсионеры, студенты, безработные) будут вынуждены прибегнуть к услугам МФО с колоссальными дневными процентами и незаконными коллекторскими действиями.

Пиринговое кредитование может решить вопрос социального кредитования для малообеспеченных групп, а также быть источников финансирования как среднего класса, так и малого бизнеса в целом [1]. С появлением и внедрением цифрового рубля, такой сервис может стать заместителем МФО на платформе цифрового рубля. Синергия цифрового рубля и пирингового кредитования имеет большой потенциал.

С помощью подхода имитационного моделирования на языке python разработана модель пирингового кредитования с учетов специфики кредитных данных Российской Федерации: параметры моделирования подбирались из открытых источников данных Национального бюро кредитных историй [2]. Модель симулирует сценарии работы сервиса пирингового кредитования и позволяет оценить диапазоны устойчивости с введение страхового регулятора – аналога платформы цифрового рубля.

Первый вариант симуляции включает в себя взаимодействие кредиторов и заёмщиков и его оценку диапазона устойчивости. Во втором варианте добавлен новый субъект исследования – регулятор (страхователь займов). Для каждого случая построены тепловые карты, на которых отражены зоны устойчивости в координатах двух основных парамтеров – от измненеия коэффициента невозврата (r) и процентной ставки кредита (I).

Для практической реализации был выбран язык программирования python и библиотека mesa, которая является аналогом NetLogo в области моделирования сложных систем [3].

Устойчивость каждой финансовой системы определяется сохранением ликвидности внутри нее. Под устойчивой системой будем понимать ту систему, которая с ростом времени (в данном случае с ростом шагов моделирования N), будет приходить к стабильному состоянию с наименьшей дисперсией относительно перераспределение балансов между агентами – то есть ликвидность внутри системы буде сохраняться, а не уходить во вне. Индикатором сохранения ликвидности в данной выступает коэффициент Джини, который рассчитывается на каждом шаге моделирования в зависимости от внешних параметров.

Коэффициент Джини (k) – это макроэкономический параметр, который имеет значение в диапазоне $k \in [0,1]$ и показывает степень расслоения населения по финансовому признаку и рассчитывается коэффициент по формуле:

$$k = \frac{\sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{n} |m_i - m_j|}{2n^2 \underline{m}}, \quad (1)$$

где n – число агентнов, m_k – доля дохода агента в общем доходе, $\underline{m}$ – среднее арифметическое доходов всех агентов

Модель взаимодействия состоит из трех классов агентов: кредитор, который имеет мотивацию преумножить имеющуюся ликвидность; заемщик, который желает получить ликвидность в долг и регулятор, который может страховать займы в случае отказа заемщика выполнять свои обязательства перед кредитором. Модель функционирует по следующему сценарию: создается заявка на кредит, которую удовлетворяет случайный кредитор; заемщик тратит заемные средства в условном количестве и через некоторое время либо возвращает кредит, либо нет. Кредит заемщик покрывает с базового дохода, который он имеет на каждом шаге моделирования. Заемщик может перекредитовываться неограниченное количество раз – такая поправка вводится для приближения условий кредитования в МФО.

В модели со страхователем кредитор всегда будет получать свои выплаты, но риск потерять свои деньги будет минимальным при условии, что есть страховой взнос. С другой стороны, платформа цифрового рубля может использовать другой инструмент, который предполагает взыскание невозвратного кредита со стороны заемщика в течение какого-то установленного срока. То есть кредитору не обязательно платить страховую премию регулятору, чтобы уменьшить свой доход, но гарантировать возврат каждого кредита. Если с помощью цифрового кошелька регулятор сможет реализовать функцию взыскания, то процентная ставка никак не будет изменяться.

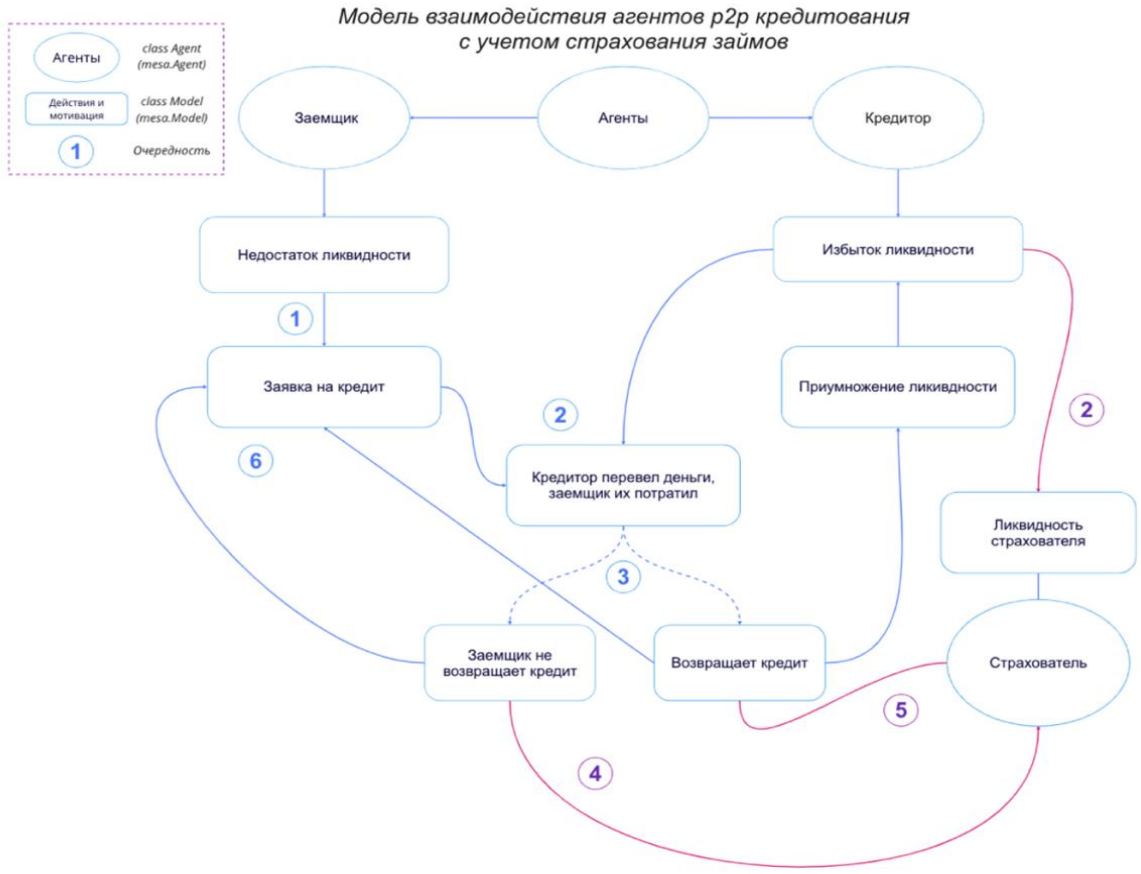
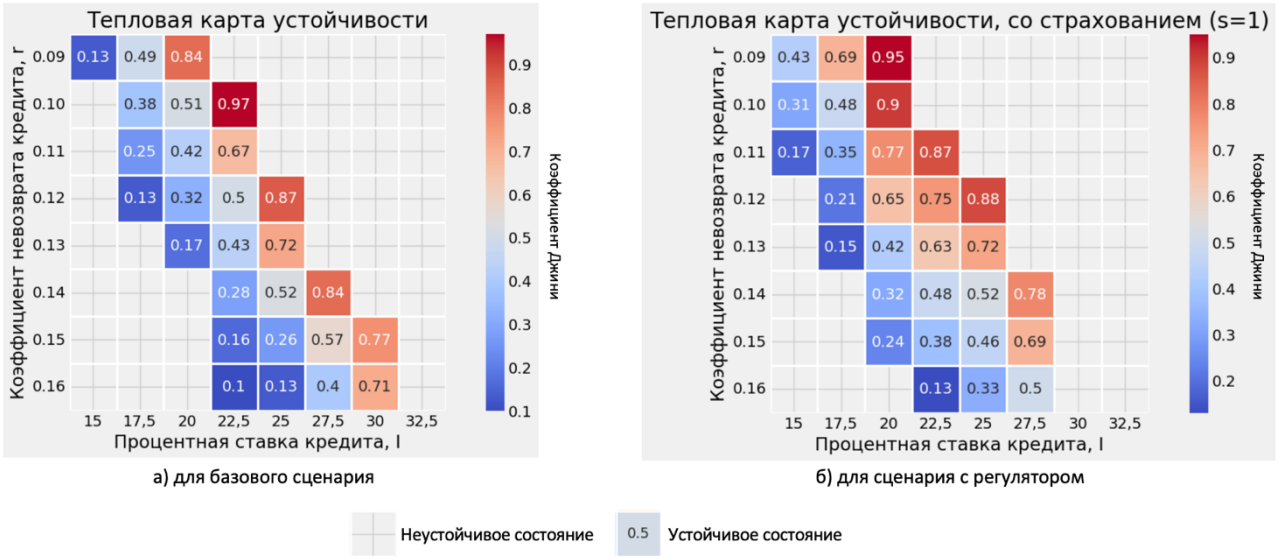


Рис. 1. Модель взаимодействия агентов на платформе пирингового кредитования с введением страхователя



а) для базового сценария

б) для сценария с регулятором

Рис. 2. Результаты эксперимента – тепловые карты диапазонов устойчивости для двух вариантов симуляций

В результате симуляции было получено, что для диапазонов параметров процентной ставки и коэффициента невозврата I ∈ [0.15; 0.30] и r ∈ [0.09; 0.16] при страховой премии s = 1 область устойчивости увеличилась на 5% по сравнению с областью в базовом сценарии. Для разных коэффициентов невозврата такая система остается устойчивой, что способствует привлечению на платформу дополнительной ликвидности со стороны кредиторов. Для того, чтобы пиринговое кредитование могло конкурировать с МФО, необходимо поддерживать коэффициент невозврата на r ∈ [0.09; 0.13], более того, такой показатель соотносится с процентными ставками, которые будут вводиться с 2023 года для микрофинансовых организаций [4].

На основе моделирования была предложена концепция реализации пирингового кредитования на основе платформы цифрового рубля. Механизм страхования займов можно заменить путем введения взыскания средств должника через цифровой кошелек, либо совмещать оба этих инструмента, так как страхование позволяет уменьшать параметр риска, когда этого требует система. Регулятор платформы может сам решать, когда стоить вводить страхователя, чтобы увеличить диапазон устойчивости, например, во время периода повышения ключевой ставки или наоборот, дать возможность кредиторам заработать больше, беря полностью риск на себя в периоды снижения ключевой ставки. Дальнейшее исследование устойчивости можно развивать в направление оценки качества заемщиков.

Каждая банковская организация перед выдачей кредита оценивает кредитный рейтинг, что позволяет снижать издержки на недобросовестных граждан [5]. Такой подход не использовался в данной работе по причине оценки устойчивости пирингового кредитования, как направления, замещающего МФО, где качество заемщика ниже, чем в банках. Платформа цифрового рубля технически сможет реализовать все инструменты для оценки кредитной истории и позволит реализовать социально значимый финансовый сервис для граждан. С введением страхования платформа сможет регулировать риск, а с ведением взыскания должников через единый цифровой кошелек ни только обеспечит мотивацию заемщикам следить за своим кредитным рейтингом, но и сможет упразднить модели МФО, в которых используются некорректные в эпоху цифровых технологий юридические инструменты.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Bondarenko T.G., Zhdanova O.A., Maksimova T.P. Pyring Loaning as an Answer to Industrial Challenges under Digitalization of the Russian Economy // Federalism. 2020. Iss. 1. Pp. 113-128.

2. Статистика по выданным потребительским кредитам НБКИ. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://nbki.ru/company/news/?id=1793893 (дата обращения: 14.04.2023).
3. Документация библиотеки Mesa. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://github.com/projectmesa/mesa/blob/9a07a48526f11b78e462a9bab390366c95443814/docs/tutorials/intro_tutorial.rst (дата обращения: 13.04.2023).
4. Федеральный закон от 29 декабря 2022 г. No 613-ФЗ "О внесении изменений в Федеральный закон “О потребительском кредите (займе)". [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/405952883/ (дата обращения: 15.04.2023).
5. Cai S., Lin X., Xu D., Fu X. Judging online peer-to-peer lending behavior: A comparison of first-time and repeated borrowing requests. Inf. Manag. 2016. Vol. 53. Pp. 857-867.

Выпускник
Григорьева Ольга Андреевна
центр прикладной оптики
Направление подготовки: 12.04.02 – Оптотехника
e-mail: Spiritup@mail.ru

Научный руководитель
Митрофанов Сергей Сергеевич
к.т.н.
e-mail: m1990s@mail.ru

Консультанты
Самсонов Дмитрий
к.т.н.

УДК 21474

ИССЛЕДОВАНИЕ СОБИРАЮЩИХ ЗЕРКАЛ ДЛЯ ОПТИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ПЛАЗМЫ

В настоящее время на территории Франции строится международный экспериментальный термоядерный реактор ИТЭР. Это экспериментальная установка, предназначенная для демонстрации инженерной реализуемости идеи термоядерного синтеза. Плазма требует диагностик, в разработке которых принимает участие большое количество стран, в том числе и Россия. Одной из систем диагностики, которую разрабатывают для ИТЭР в Физико-техническом институте им. А.Ф. Иоффе, где я прохожу стажировку, является диагностика томсоновского рассеяния в диверторе (ДТРД) (рис. 1) [1, 3].

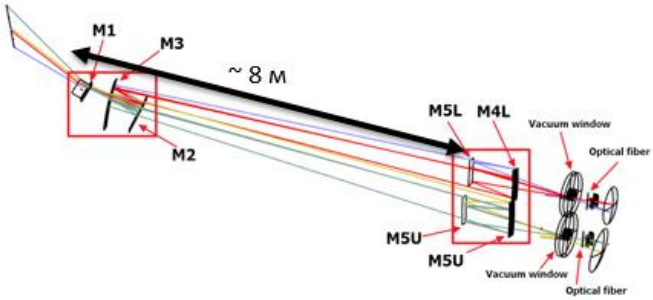


Рис. 1. Оптическая схема ДТРД [3]

Система ДТРД состоит из двух каналов, в каждом из которых 5 крупногабаритных металлических зеркал. Каждый канал должен иметь пропускание не хуже 50% в рабочем диапазоне длин волн. Допустимое отклонение формы поверхности индивидуального зеркала: 10–12 интерференционных полос на длине волны 1 мкм, что соответствует отклонению формы поверхности 5–6 мкм. Зеркала должны обладать высокой оптической стабильностью в рабочем диапазоне длин волн 550-1100 нм [2].

Для поддержания стабильности оптических характеристик зеркала необходимо обеспечить: отклонение формы зеркала, пространственное расположение и спектральный коэффициент зеркального отражения. Эта диагностика будет эксплуатироваться в суровых условиях термоядерного реактора:

- воздействия потоков ионов до $3 \cdot 10^{18}$ н/м^2;
- многократное термоциклирование 70–300°C на протяжении рабочего цикла, поддержание рабочей температуры около T = 300°C;
- вибрационные нагрузки;
- аварийный прорыв пара (SI) 30–250°C при RH более 90%;

- загрязнения отражающей поверхности зеркала M1 продуктами эрозии первой стенки – W, Be и их соединениями [4].
- материал зеркал M2-M5 – нержавеющая сталь SS316L(N)-IG [3].

Разработанная конструкция позволяет решить вопрос отклонения формы и пространственного расположения под действием эксплуатационных нагрузок. За спектральный коэффициент зеркального отражения отвечает оптическая поверхность, речь о которой пойдет дальше.

Целью настоящей работы является исследование крупногабаритных внутривакуумных зеркал собирающей оптической системы диагностики томсоновского рассеяния в диверторе для токамака, которые должны сохранять свои оптические параметры в требуемых допусках на протяжении жизненного цикла под действием проектных нагрузок.

Задачи, которые следует решить:

1. Обзор существующих подходов к изготовлению крупногабаритных зеркал.
2. Выбор конструкции и материала основы зеркал диагностики томсоновского рассеяния в диверторе.
3. Определение оптических требований к поверхности зеркал.
4. Выбор материала и/или покрытия оптической поверхности.
5. Определение способа обработки оптической поверхности (абразивное полирование, магнитореологическая полировка, алмазное точение, конструкционное стеклянное покрытие).
6. Исследование применимости метода горячего изостатического прессования и алмазного микроточения. Подготовка эксперимента.

Были изучены различные методы, которые можно применять для обработки зеркал. И из них, как потенциально применимые для использования в ДТРД ИТЭР, выбраны следующие методы получения поверхности: абразивная полировка, магнитореологическая полировка (МРП), горячее изостатическое прессование и алмазное микроточение (ГИП+АМТ) и конструкционное стеклянное покрытие. В данной работе рассмотрены первые три метода, а последний будет рассмотрен в будущем.

Первый исследуемый метод – это абразивная полировка. Этот метод хорошо отработан на стеклах, в отличии от нержавеющей стали.

Были получены образцы зеркал из нержавеющей стали, обработанные абразивной полировкой и с нанесенным на них отражающим защитным покрытием. Результаты исследований приведены в таблице 1. Зеркало с подложкой из нержавеющей стали SS316LNIG, полированной абразивным способом, с отражающим защитным покрытием, прошедшее один цикл климатических испытаний, позволяет получить пропускание внутривакуумной части системы сбора света ДТР ~75% при требовании >50%.

Таблица 1. **Пропускание внутривакуумной части системы сбора света ДТР при использовании зеркал, обработанных методом абразивной полировки с покрытием**

Характеристика образца	Доля рассеянного излучения, %	Пропускание системы, %	Пропускание системы с нулевым рассеянием, %	Sq, нм	Sz, нм
С покрытием без испытания	0,098-0,133	74,8-74,9	75	5,2-67	142,9-157,9
Поверхность с покрытием после отжига и экспозиции в паре	0,18-0,293	74,3-74,5		3,4-21	337,5-542,6

Но к недостаткам абразивной полировки относится наличие нарушенного слоя из смеси подложки и абразива. Этот слой может влиять на стойкость покрытия при многократных климатических испытаний. Помимо этого, на стойкость будут влиять единичные крупные

выколки или глубокие царапины, наличие которых может подтвердить сравнение шероховатостей Sq и Sz.

Также было исследовано крупногабаритное зеркало, обработанное абразивной полировкой. Зеркало изготовлено на Лыткаринском Заводе Оптического Стекла. На крупногабаритном зеркале в центре шероховатость меньше чем на краях. Также существует сложность в удалении остатков смазывающе-охлаждающей жидкости на стыках зеркала и паразитных деталей.

По перечисленным выше причинам абразивная полировка не подходит для применения на зеркалах в ДТРД.

Второй исследуемый метод - это методом МРП. При МРП на поверхности отсутствует нарушенный слой, если сравнить шероховатости Sq и Sz (табл. 2), то видно, что поверхность получается без глубоких дефектов и царапин. На подложке, обработанной МРП, при многократном термоциклировании покрытие будет более стойким, по сравнению с поверхностью, обработанной абразивной полировкой. Но существует сложность при обработке крупногабаритных зеркал, поэтому продолжается дальнейшее исследования метода МРП.

Таблица 2. **Шероховатость поверхности при МРП**

Шероховатость	Исходное состояние	Обработка МРП
Sz, нм	10860	9.4
Sq, нм	1038	1

Еще один альтернативный метод, который следует рассмотреть в рамках ИТЭР – это использования горячего изостатического прессования и алмазного точения. В качестве модельного образца была взята комбинация нержавеющей стали и меди. На образцах также отсутствует нарушенный слой и существует возможность добиться необходимой шероховатости (табл. 3).

Таблица 3. **Шероховатость АМТ+ГИП**

Шероховатость	Образец 1	Образец 2
Sz, нм	33.4	42.6
Sq, нм	2.1	3.3

Проблема биметаллических зеркал заключается в том, что ТКЛР двух материалов будет иметь несоответствие, из-за чего появятся термодеформации. Поэтому необходимо подбирать такие материалы, у которых будет сходиться ТКЛР.

Комбинация нержавеющей стали+ меди была рассчитана в Comsol. Зеркало диаметром 60 мм нагревается тепловым потоком от нижней поверхности.

В результате получили, что при толщине слоя меди 100 микрон отклонение формы составляет 0,27 мкм. Зависимость от толщины слоя меди показала, что чем тоньше слой меди, тем меньше отклонение (рис. 2). Следовательно, необходимо добиться наименьшей толщины зекркалообразующего слоя. Но следует помнить о том, что есть ограничение по минимальному значению толщины зеркалообразующего слоя, а именно 100–120 мкм. Это условие необходимо соблюдать, так как на стыке двух материалов происходит их взаимное проникновение друг в друга и свойства материалов могут отличаться от исходных.

Отклонения, посчитанные для маленьких зеркал будут отличаться на крупногабаритных. Поэтому важно подобрать материалы с соответствующими ТКЛР.

Для крупногабаритного зеркала проанализировали на сколько может быть различие между ТКЛР двух материалов (рис. 3). При толщине зеркалообразующего слоя 120 мкм получили, что этот допуск около 16–18%. Это довольно широкий диапазон, что позволяет выбрать подходящий материал. Скорее всего это будет сплав с преобладающим содержанием никеля. Грубо говоря нам подойдут тклр от 14.2 до 18.5. Например у бронзы БрХ1 тклр 17.

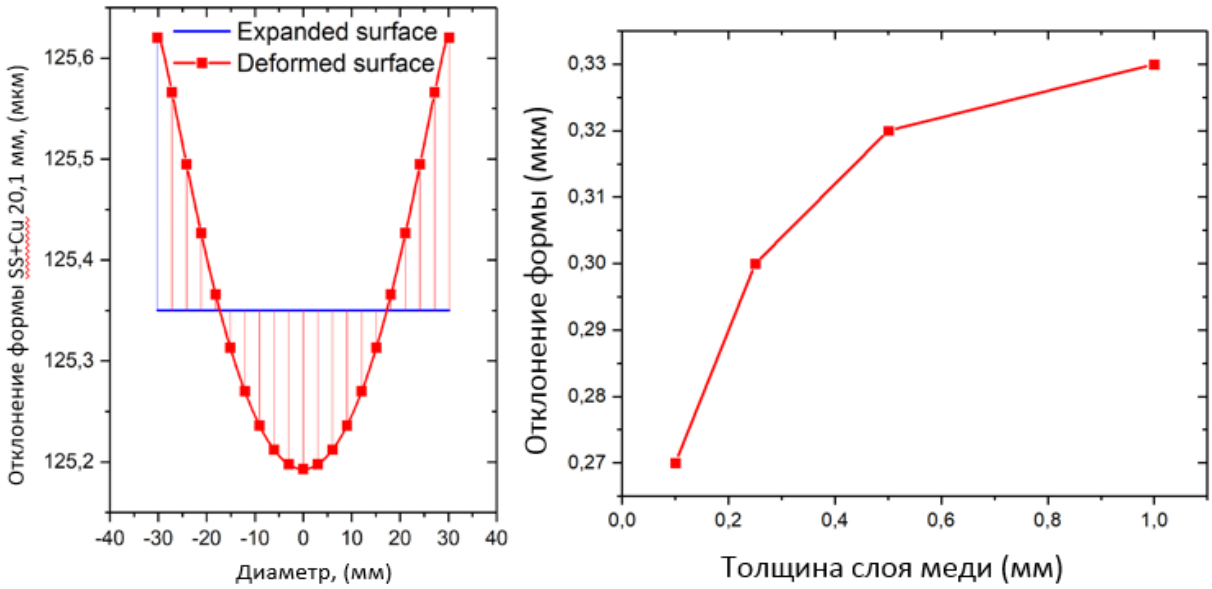


Рис. 2. Отклонение формы биметаллического зеркала с толщиной слоя меди 0.1 мм и зависимость отклонения формы от толщины слоя меди

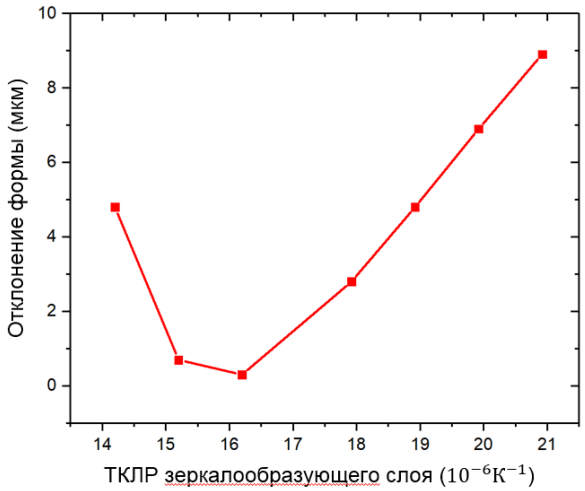


Рис. 3. Отклонение формы отражающей поверхности крупногабаритного зеркала

Из расчётов ясно, что биметаллические зеркала возможно применять в условиях ИТЭР. И есть возможность подобрать материалы с соответствующими ТКЛР. Для того, чтобы посмотреть, как материалы будут вести себя в реальных условиях, необходимо поставить эксперимент по исследованию отклонения формы поверхности зеркала при нагреве.

Установка представлена на рисунке 4, она состоит из вакуумной камеры, в которой установлен исследуемый образец. На него направлен интерферометр.

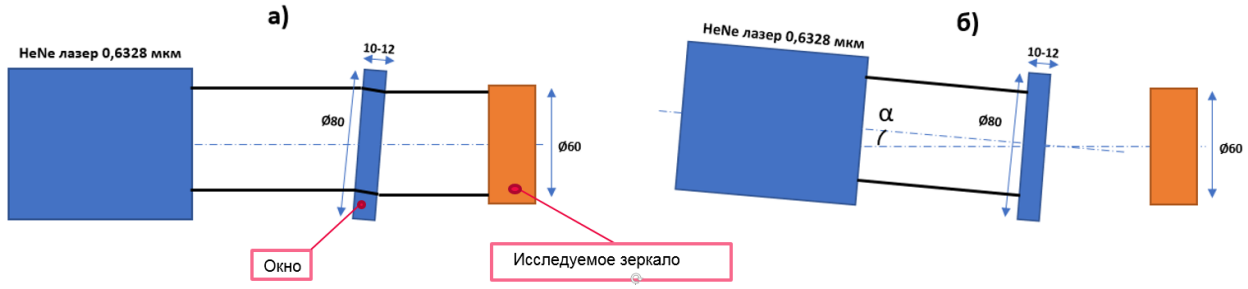


Рис. 4. Подготовка эксперимента по исследованию отклонения формы поверхности зеркала при нагреве

1. Определяем волновой фронт от системы «зеркало+окно» в ненагретом состоянии. Интерферометр устанавливается по нормали к зеркалу и окну для настройки на мертвые полосы (неподвижные).
2. Нагрев зеркала до 300°C.
3. Повтор шага 1 на нагретом стенде.
4. Из шага 1 вычитая из системы «зеркало+окно» деформацию окна. Получаем чистую исходную погрешность формы зеркала.
5. Таким же образом получаем чистую деформацию зеркала в нагретом состоянии.
6. Рассчитываем отклонение от заданной форы зеркала в нагретом состоянии, вычитая результат шага 4 из шага 5.

Положения, выносимые на защиту:

- зеркало с подложкой из нержавеющей стали SS316LNIG, полированной абразивным способом, с оптическим покрытием, состоящим из отражающего слоя серебра (Ag), тонкого адгезионного слоя NiV и защитного покрытия из 3 чередующихся слоев Si3N4/SiO2, прошедшее один цикл климатических испытаний, позволяет получить пропускание внутривакуумной части системы сбора света ДТР ~75% при требовании >50%;
- метод МРП является предпочтительным перед абразивной полировкой для обработки оптической поверхности из нержавеющей стали SS316LNIG, поскольку существует риск снижения стойкости покрытия, полученного на поверхности с абразивной полировкой, при многократных климатических испытаниях, из-за наличия на ней нарушенного слоя и профиля шероховатости, содержащего отдельные крупные дефекты;
- отклонение формы биметаллического зеркала с габаритным размером ~500 мм и толщиной зеркалообразующего слоя 120 мкм, полученного методом ГИП+АМТ, при нагреве до 300°C и разнице с ТКЛР подложки не более 16% составляет ~3 мкм при требовании 5–6 мкм.

Заключение

1. Обосновано условие проведения эксперимента на исследование отклонения формы металлического зеркала при нагреве до 300°C Предложена схема эксперимента и эскизная конструкция экспериментальной установки.
2. Отклонение формы отражающей поверхности крупногабаритного биметаллического зеркала М2 из SS316LNIG/Cu размером 540x110 мм при нагреве составляет примерно 2,8 мкм при допустимом отклонении 5–6 мкм. При разности ТКЛР >16% отклонение становится недопустимым.
3. Метод магнитореологической полировки является предпочтительным для обработки поверхности зеркала.
4. Зеркало с подложкой из нержавеющей стали SS316LNIG, полированной абразивным способом, с отражающим защитным оптическим покрытием, прошедшее один цикл климатических испытаний, позволяет получить пропускание внутривакуумной части системы сбора света ДТР ~75% при требовании >50%.
5. Рассеяния (BRDF-анализ) покрытия на отражающей поверхности после одного цикла испытаний оказалось в два раза выше, чем у подложки, полированной абразивным способом, без покрытия.
6. Рассеяние покрытия приводит к снижению пропускания внутривакуумной части собирающей системы не более чем на 1%.

Выводы

1. Дальнейшее исследование метода МРП и биметаллических зеркал.
2. Исследование возможности применения конструкционного стеклянного покрытия.
3. Проведение эксперимента по исследованию отклонения формы оптической поверхности металлического зеркала при нагреве.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Петров М., Афанасьев В., Мухин Е., Шевелёв А. Физтех — Международному термоядерному реактору // «Природа». 2018. №. 9. DOI: 10.31857/S0032874X0000885-2.
2. Ivanenko S.V., Khilchenko A.D., Puryga E.A., Ovchar V.K., Zubarev P.V., Kvashnin A.N., Ivanova A.A., Kotelnikov A.I. Prototype of Data Acquisition Systems for ITER Divertor Thomson Scattering Diagnostic // IEEE Transactions on Nuclear Science 62. 2015. №. 3. Pp. 1181-1186. https://doi.org/10.1109/TNS.2015.2428195.
3. Samsonov D., Tereschenko I., Mukhin E., Gubal A., Kapustin Yu., Filimonov V., Babinov N. Large-Scale Collecting Mirrors for ITER Optical Diagnostic // Nuclear Fusion 62. 2022. №. 8. P. 086014. https://doi.org/10.1088/1741-4326/ac544d.

Выпускник
Демина Анастасия Павловна
факультет биотехнологий
Направление подготовки: 19.04.02 – Продукты питания из растительного сырья
e-mail: stacydun0@gmail.com

Научный руководитель
Федоров Александр Валентинович
д.т.н.
e-mail: afedorov@itmo.ru

УДК 35.24.12

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВЫСОКООЛЕИНОВОГО ПОДСОЛНЕЧНОГО МАСЛА В ПРОИЗВОДСТВЕ ТВЕРДЫХ МЫЛ

Туалетное мыло – одно из самых необходимых и полезных средств гигиены, которые мы используем в повседневной жизни. Оно имеет следующие преимущества и значение: убивает бактерии и вирусы, которые могут вызывать различные заболевания, помогает предотвратить распространение инфекций от одного человека к другому, освежает кожу. Его используют почти 98% россиян. Таким образом, туалетное мыло играет важную роль в улучшении гигиенических условий и поддержании здоровья кожи [1]. Регулярное использование туалетного мыла является необходимым элементом соблюдения личной гигиены.

Важным преимуществом высокоолеинового подсолнечного масла является его стойкость к окислению, что позволяет значительно повысить качество мыла [2]. Кроме того, использование высокоолеинового масла – более экономичное решение [3], так как будет использоваться дешевое и доступное сырье.

Цель данной работы заключается в исследовании возможности получения твердого мыла из высокоолеинового подсолнечного масла. Для достижения цели необходимо провести анализ литературы, провести эксперимент – изготовить опытные образцы мыла и оценить качество полученных образцов.

Органолептические показатели полученных мыл представлены, в таблице 1.

Таблица 1. **Органолептические показатели полученных мыл**

Наименование образца	Внешний вид	Цвет	Запах
Мыло из обычного подсолнечного масла Образец 1	Мазеобразное, однородное	Желтый	Без запаха
Мыло из высокоолеинового подсолнечного масла холодного отжима Образец 2	Твердое, в разрезе однородное	Светло кремовый	Легкий запах подсолнечного масла
Мыло из высокоолеинового подсолнечного масла ВОРД «Россиянка» Образец 3	Твердое, в разрезе однородное	Светло кремовый	Легкий запах подсолнечного масла

Физико-химические показатели выработанных образцов представлены в таблице 2.

Таблица 2. **Физико-химические показатели полученных мыл**

№ п/п	Наименование показателей	Значение показателя по образцам		
		Обр. 1-1	Обр. 2-2	Обр. 3-3
1	Массовая доля жирных кислот, %	45,3	63,8	61,0
2	Массовая доля свободной едкой щёлочи, %	нет	нет	нет
3	Массовая доля неомыляемых и неомыленного жира, %	0,50	0,51	0,50
4	Температура застывания жирных кислот, выделенных из мыла (титр), °С	16,1	19,9	20,0

Через 2 месяца хранения мыло так же анализировали на органолептические и физико-химические показатели.

Органолептические показатели образцов мыла через два месяца хранения представлены в таблице 3.

Таблица 3. **Органолептические показатели образцов мыла после двух месяцев хранения**

Наименование образца	Внешний вид	Цвет	Запах
1	**2**	**3**	**4**
Мыло из обычного подсолнечного масла Образец 1	Мазеобразное, однородное	Желтый	Без запаха
Мыло из высокоолеинового подсолнечного масла холодного отжима Образец 2	Твердое, в разрезе однородное	Светло кремовый	Легкий запах подсолнечного масла
Мыло из высокоолеинового подсолнечного масла ВОРД «Россиянка» Образец 3	Твердое, в разрезе однородное	Светло кремовый	Легкий запах подсолнечного масла

Как видно из таблицы 1, в образцах мыла, полученных из высокоолеинового подсолнечного масла, органолептические характеристики после двух месяцев хранения не изменились.

Физико-химические показатели образцов мыла через два месяца хранения представлены в таблице 4.

Таблица 4. **Физико-химические показатели образцов мыла после двух месяцев хранения**

№ п/п	Наименование показателей t	Значение показателя по образцам		
		Обр. 1-1	Обр. 2-2	Обр. 3-3
1	Массовая доля жирных кислот, %	75,0	74,8	74,1
2	Массовая доля свободной едкой щёлочи, %	нет	нет	нет
3	Массовая доля неомыляемых и неомылленного жира, %	0,51	0,53	0,52
4	Температура застывания жирных кислот, выделенных из мыла (титр), °С	16,1	19,9	20,0

Был проведен анализ жирных кислот, выделенных из мыл, полученных из растительных масел, выбранных в исследовании:

Образец 1-1 – жирные кислоты, выделенные из мыла, полученного из образца обычного рафинированного подсолнечного масла (Юг Руси).

Образец 2-2 – жирные кислоты, выделенные из мыла, полученного из образца высокоолеинового подсолнечного масла холодного отжима.

Образец 3-3 – жирные кислоты, выделенные из мыла, полученного из образца высокоолеинового подсолнечного масла (ВОРД, Россиянка).

Изменение состава жирных кислот, выделенных из мыл, полученных из высокоолеиновых подсолнечных масел, по сравнению с исходным сырьем представлено в таблице 5.

Анализ количественного соотношения жирных кислот был выполнен методом газо-жидкостной хроматографии.

Были сделаны следующие выводы:

1. Анализ количественного соотношения жирных кислот исходного сырья и кислот мыла из этого сырья показал, что эти соотношения не одинаковы. Можно заметить во всех образцах уменьшение процента содержания линолевой жирной кислоты мыл по сравнению с его значением в исходном сырье. Количество насыщенных кислот увеличивается.

Одинаковая тенденция в двух различных образцах требует объяснения. По-видимому, в процессе мыловарения происходит окисление ненасыщенных жирных кислот, которые далее уже не участвуют в хроматографическом определении, тем самым количество их уменьшается.

Увеличение же количества насыщенных жирных кислот можно объяснить тем, что подсчёт соотношения жирных кислот производится методом внутренней нормализации (суммирование всех площадей пиков и приравнивание их суммы к 100%) [4], а так как часть ненасыщенных жирных выпадает, соответственно, вырастают доли всех остальных компонентов [5].

2. Зависимость изменения количества ненасыщенных жирных кислот будет, скорее всего, зависеть от природы кислоты, природы масла, скорости окисления, температуры и времени воздействия факторов, влияющих на процесс окисления.

Следует также учесть, что при проведении метилирования масел, свободные жирные кислоты не будут реагировать, и, следовательно, не будут образовывать метиловые эфиры, однако, в процессе омыления они и глицериды омыляются. После разложения мыла и выделения жирных кислот, свободные жирные кислоты и жирные кислоты глицеридов пойдут суммарно, что также даст различие в результатах хроматографического анализа исходного сырья и жирных кислот мыл, полученных из этого сырья.

Было создано 3 образца мыла: один из обычного подсолнечного масла и, для достижения оптимальных результатов, два из высокоолеиновых масел разных производителей. Мыло из обычного подсолнечного масла имело мазеобразную структуру. Мыла, изготовленные из высокоолеинового подсолнечного масла, имели твердую структуру, были однородными в разрезе, с глянцевой поверхностью.

Полученные образцы мыла были проанализированы на органолептические и физико-химические показатели сразу после высушивания и через 2 месяца хранения. Массовая доля жирных кислот в мыле из высокоолеинового подсолнечного масла составила 74%, температура застывания жирных кислот, выделенных из мыла – 39ºС. Показатели соответствуют ГОСТ 28546-2002.

В результате проведенных исследований установлено, что высокоолеиновое подсолнечное масло является перспективным сырьем для производства твердого туалетного мыла. Таким образом, выявлена возможность использования высокоолеинового подсолнечного масла в производстве твердого туалетного мыла – цель достигнута.

Таблица 5. **Изменение состава жирных кислот, выделенных из мыл, полученных из высокоолеиновых подсолнечных масел, по сравнению с исходным сырьем**

Число атомов «С» в цепи жирной кислоты	Наименование жирных кислот	Жирн,к-ты, %		Разница в кол. жир. к-ты в исходном сырье и в мыле	Жирн,к-ты, %		Разница в кол. жир. к-ты в исходном сырье и в мыле	Температура, °С	
		из масла обр. 2	из мыла обр. 2-2		из масла обр. 3	из мыла обр. 3-3		Застывания жирных кислот	Плавления жирных кислот
C_{16}^{0}	Пальмитиновая	3,7	4,1	+0,4	3,6	3,7	+ 0,1	62,8	63,1
$C_{16}^{1=}$	Пальмитолеиновая	0,1	0,1	-	0,1	0,1	-	-	0,5
C_{18}^{0}	Стеариновая	3,4	3,6	+0,2	3,5	3,7	+ 0,2	69,3	69,6
$C_{18}^{1=}$	Олеиновая	79,7	81,5	+1,6	82,3	83,9	+ 1,6	10-34	13,4
$C_{18}^{2=}$	Линолевая	11,4	8,6	−2,8	8,6	6,2	− 2,4	-	-5÷-5,1
$C_{18}^{3=}$	Линоленовая	сл.	Сл	-	Сл	Сл	-	-	-10÷-11
C_{20}^{0}	Арахиновая	0,3	0,3	-	0,3	0,3	-	74,9	75,3
$C_{20}^{1=}$	Гондоиновая	0,2	0,2	-	0,3	0,3	-	-	-
$C_{22}°$	Бегеновая	0,9	1,0	+0,1	1,0	1,1	+ 0,1	78,7	79,9
C_{24}^{0}	Лингоцериновая	0,3	0,3		0,3	0,3	-	83,9	84,2
	Прочие		0,3			0,4			-
ИТОГО, %		100	100		100	100	100		
Насыщенные жирные кислоты (сумма)		8,6	9,3		8,7	9,1			
Ненасыщенные жирные кислоты (сумма)		91,4	90,7		91.3	90,9			

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Корнева А.В. Рынок туалетного мыла // Потребитель. 2017. №. 12. С. 19-25.
2. Протопопов А.В., Курис Ю.Е. Исследование получения натриевых мыл из растительных масел и их соапстоков по безотходной технологии // Ползуновский вестник. 2019. №. 2. С. 100-105.
3. Vivian O.P., Nathan O., Osano A., Mesopirr L., Omwoyo W.N. Assessment of the physicochemical properties of selected commercial soaps manufactured and sold in Kenya // Open J. Appl. Sci. – 2014. DOI: 10.4236/ojapps.2014.48040.
4. Ayorinde F.O., Garvin K., Saeed K. Determination of the fatty acid composition of saponified vegetable oils using matrixassisted laser desorption/ionization time-of-flight mass spectrometry // Rapid Commun. Mass Spectrom. 2000. Т. 14. №. 7. Pp. 608-615.
5. Агафонова О.С. и др. Применение метода ЯМР для определения содержания олеиновой кислоты в масле семян подсолнечника // Международная научно-практическая конференция, освященная памяти Василия Матвеевича Горбатова. Федеральное государственное бюджетное научное учреждение Федеральный научный центр пищевых систем им. ВМ Горбатова РАН. 2015. №. 1. С. 24-27.

Выпускник
Дмух Надежда Сергеевна
факультет экотехнологий
Направление подготовки: 18.04.02 – Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии
e-mail: dmuh.nadezhda@yandex.ru

Научный руководитель
Овсюк Елена Алексеевна
к.т.н., доцент
e-mail: ovsuk@mail.ru

УДК 504.06

ВНЕДРЕНИЕ КОНЦЕПЦИИ ОЦЕНКИ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА В ПИЩЕВУЮ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ ДЛЯ ПОИСКА СОСТАВА КОМПЛЕКСНОЙ ПИЩЕВОЙ ДОБАВКИ С НАИМЕНЬШИМ НЕГАТИВНЫМ ВОЗДЕЙСТВИЕМ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

В последнее время прослеживается возрастающая популярность концепции «зелёного бизнеса» в мировом сообществе. Так, исследование, проведённое НП «Экологический союз» совместно с Экобюро Grenns, показало, что самый большой спрос наблюдается на экологичные продукты питания – 83,6%, при этом 78,6% потребителей назвали главным признаком экологичного товара официальную экомаркировку [1]. В ГОСТ Р ИСО 14024-2000 сказано, что одним из принципов получения экологической маркировки первого типа является рассмотрение жизненного цикла продукта. Оценка жизненного цикла при этом может быть полезна не только в качестве количественных данных для получения экологической маркировки и использование её в дальнейшем в маркетинговых целях для увеличения продаж, но и как инструмент для экологического проектирования состава продукта с теми же технологическими качествами, но с меньшим негативным воздействием на окружающую среду. Такой подход к применению методики ОЖЦ позволяет не просто оценить жизненный цикл продукта, но и провести экодизайн продукта питания. Также стоит отметить, что пищевая промышленность занимает третьей место в отраслевой структуре, а ее доля составляет 14% от всего объема промышленности. В соответствии с федеральным законом №219-ФЗ предусмотрено введение нового механизма для контроля экологической безопасности на производстве - переход на технологическое нормирование [2]. Этот механизм будет затрагивать основы государственного регулирования в различных сферах, в том числе в области охраны природы, промышленной политики, строительства и энергетической политики. Из этого следует, что сейчас особенно важно бороться с экологическими проблемами в пищевой промышленности, предлагать новые методы решения и искать комплексный подход для достижения баланса между экологической безопасностью производства и его прибыльностью. Проблема же заключается в неосведомлённости предпринимателей об экологических аспектах и возможном негативном воздействии их продукта на окружающую среду, а также в неразвитости применения метода оценки жизненного цикла в пищевой промышленности в России.

Исследование проводится на базе компании ООО «Нордена», которая производит комплексные добавки для разных направлений пищевой отрасли. В основе деятельности компании лежит поиск, анализ и конвергенция технологических, производственных задач и научных решений, поэтому у компании есть мотивация модифицировать свои продукты для достижения наилучшего результата и для получения экологической маркировки с целью масштабирования производства за счет успешной маркетинговой кампании.

За основу исследования была взята комплексная добавка «Оптилад» для варено-копченных мясных изделий. Ее состав: глюкозный сироп, фосфаты, цитрат натрия,

растительные волокна, плазма крови, аскорбиновая кислота. Единственным компонентом, которому можно подобрать альтернативу, оказался глюкозный сироп. Схожими свойства и функциями обладает подсырная сыворотка. Было решено провести оценку жизненного цикла каждого из компонентов, и сравнить их негативное воздействие на окружающую среду. Для обеспечения пищевой безопасности и той же функциональности нужно также было провести эксперименты по измерению некоторых технологический параметров.

Первым этапом проведения ОЖЦ-исследования является определение целей и выбор функциональной единицы. Цели были озвучены выше. Функцией системы является обеспечение заданных свойств комплексной добавки «Оптилад», вводимой в варено–копченые мясные изделия. Функциональной единицей в таком случае выступает добавление компонента, обеспечивающего необходимые технологические свойства в размере 25% от общей массы, в состав комплексной добавки, в расчете на типовые фасовочные мешки (1 кг) компании ООО «Нордена». В качестве эталонного потока выступало 250 граммов компонента.

Вторым этапом является инвентаризационный анализ. Это самый трудоемкий и продолжительный процесс во всем исследовании. Продукционная система была выбрана на основе метода «от колыбели до ворот». Это означает, что в анализе учитывались этапы добычи сырья, его обработки и производство самой комплексной добавки. Этапы введения добавки уже в мясные изделия не учитывались. Жизненный цикла декстрозы представлен на рисунке 1.

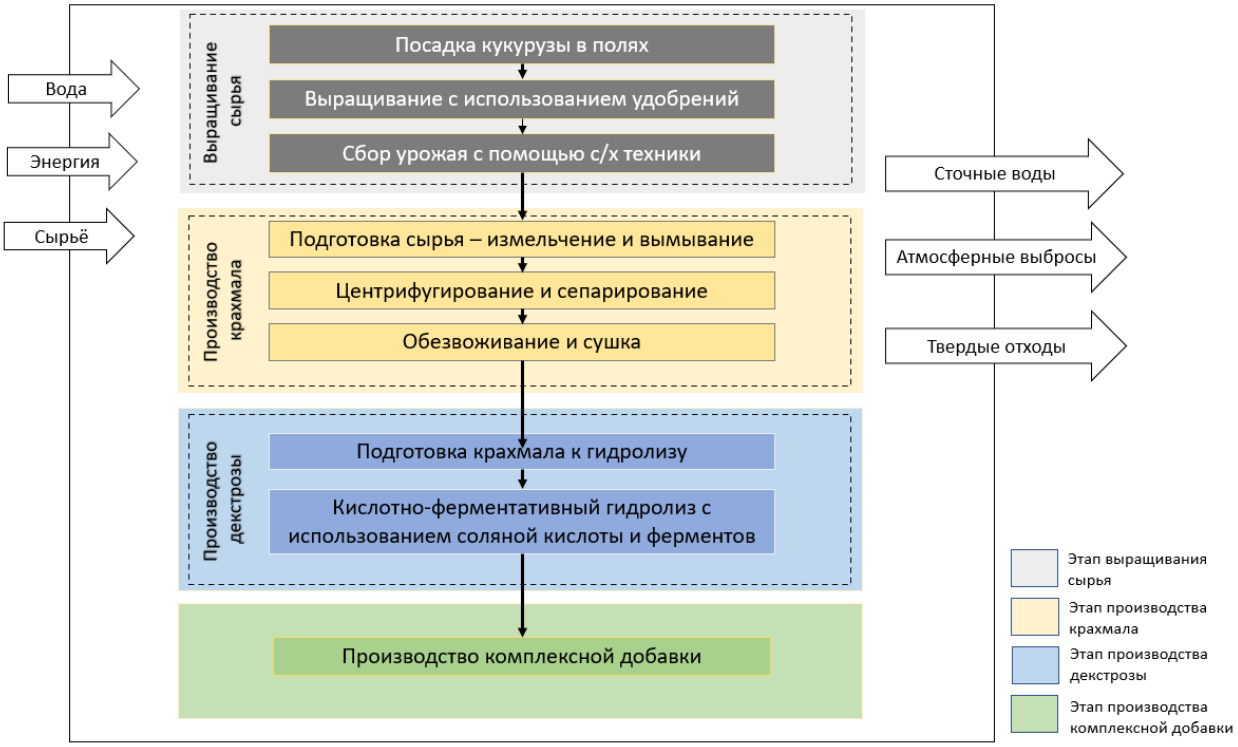


Рис. 1. Продукционная схема жизненного цикла декстрозы

Инвентаризационный анализ проводился с использование как первичных, так и вторичных данных. Данные были представлены поставщиками компании ООО «Нордена», например, данные по производству сухой подсырной сыворотки были представлены компанией ООО «Бонэко». К сожалению, собрать только первичные данные оказалось невозможно из-за отказа компаний сотрудничать. Вторичные данные были взяты из базы данных ecoinvent, в основном по локации были взять данные типа rest-of-the-world, аллокация – cut-off. Если были данные по России, как электричество, например, то были взято они. Данные для оценки транспортировки были основаны на базе Google Maps. Жизненный цикла подсырной сыворотки представлен на рисунке 2.

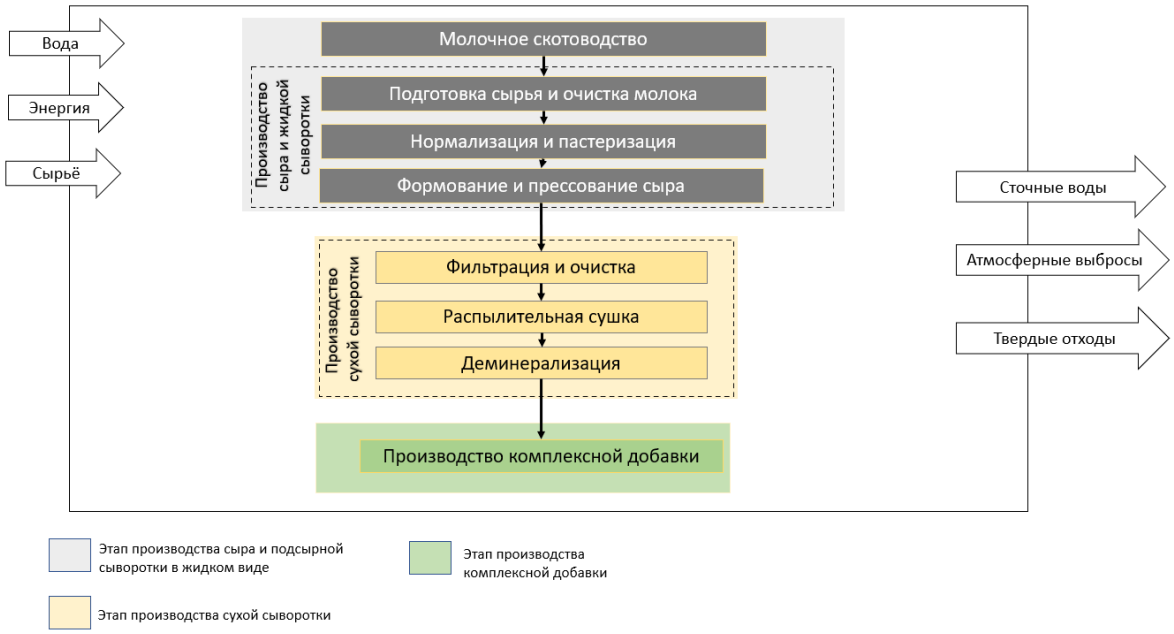


Рис. 2. Продукционная схема жизненного цикла подсырной сыворотки

Для выбора метода оценки воздействия было несколько условий: метод должен быть разработан для глобального использования, включать в себя несколько категорий воздействий. В таблицы 1 представлены результаты сравнительного анализа трех методов – IPCC, CML, ReCiPe [3].

Таблица 1. **Сравнительная таблица методов оценки воздействия**

Категории воздействия и особенности	**IPCC**	**CML**	**ReCiPe**
Изменения климата	Есть	Есть	Есть
Эвтрофикация	Нет	Есть	Есть (отдельно пресноводная и морская)
Закисление	Нет	Есть	Есть (территориальное)
Истощение абиотических ресурсов	Нет	Есть	Есть
Истощение биотических ресурсов	Нет	Нет	Есть
Использование водных ресурсов	Нет	Нет	Есть

Свой выбор я остановила на последнем, так как это метод включал основные категории воздействия. Было разделение на средние и конечные категории воздействия, что показалось мне очень удобным для интерпретации и представлениям результатов заинтересованным лицам и также было деление по временному воздействию. Я использовала воздействие на 100 лет.

Третьим этапом исследования является оценка негативного воздействия. Для расчета использовалось программное обеспечение – SimaPro 9.1.1.1 [4]. База данный – Ecoinvent 3.9.1. [5], метод оценивания – ReCiPe. Смоделированный жизненный цикл декстрозы представлен на рисунке 3.

В работе рассматривался жизненный цикл декстрозы и сыворотки в упаковке из полиэтилена с бумажными вкладышами. В исследовании рассматривались 18 средних категорий воздействия и 3 конечных: здоровье человека, экосистемы и нехватка ресурсов. Смоделированный жизненный цикл подсырной сыворотки представлен на рисунке 4.

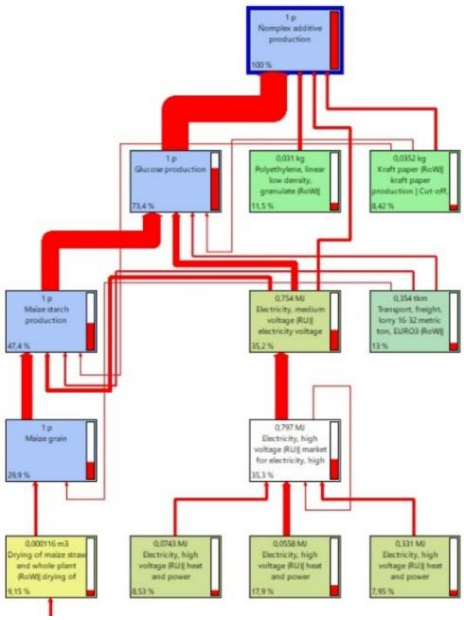


Рис. 3. Жизненный цикл декстрозы

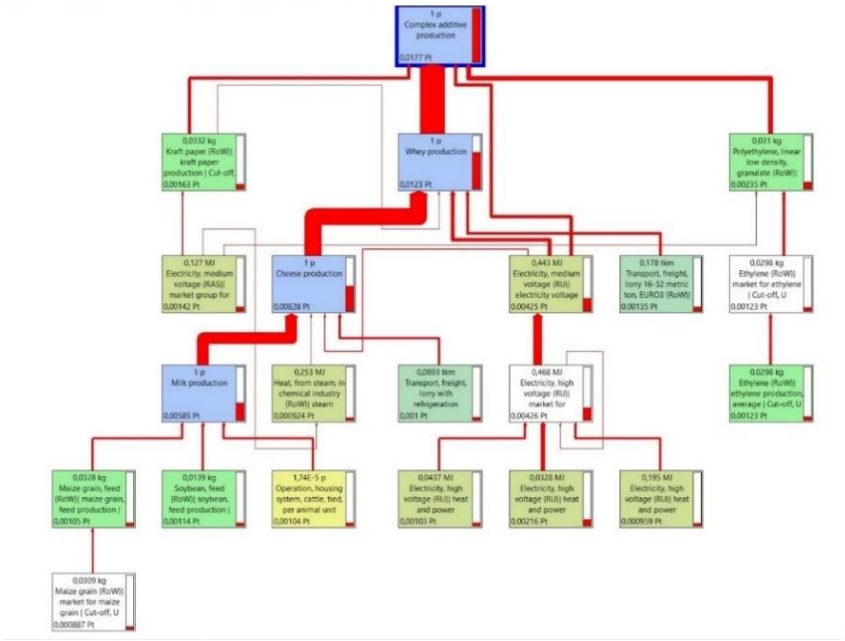


Рис. 4. Жизненный цикл подсырной сыворотки

Заключительным этапом исследования является интерпретация полученных результатов. Оценка воздействия по трем конечным категориям воздействия представлена в таблице 2.

Таблица 2. **Результаты оценки потенциального негативного воздействия на конечные категории**

Компонент / категория воздействия	**Декстроза**	**Подсырная сыворотка**
Здоровье человека	1,12E-06	9,78E-07
Экосистема	5,37E-09	4,07E-09
Ресурсы	5,33E-02	4,68E-02

Результаты оценки жизненного цикла обоих компонентов показали, что подсырная сыворотка оказывает меньшее негативное воздействие на конечные категории воздействия: здоровье человека, состояние ресурсов и экосистем, чем декстроза. Есть несколько средних

категории воздействий, где подсырная сыворотка оказала больше воздействия, например закисление, нехватка минеральных ресурсов, водопользование и другие.

Такие результаты могут объяснены следующими предположениями. Во-первых, подсырная сыворотка все же является побочным продуктом, и она будет производиться в любом случае. И есть только несколько вариантов развития события: либо ее будут сливать вместе со сточными водами, либо она может быть переработана, высушена или пойти на получение биогаза, например. Тогда как получение декстрозы, это долгий, сложный процесс с использованием большого количества входных потоков и электричества. Во-вторых, на результаты не могло не повлиять географическое расположение и вклад этапа транспортировки. Выращивание кукурузы и производство дальнейших продуктов локализованы на юге страны, тогда как производство молока, сыра и сухой сыворотки находится в пределах Ленинградкой области, и путь до Москвы, где и располагается ООО «НОРДЕНА», не так уж и далек.

Далее были проведены анализы по измерению водородного показателя, органолептических свойств, содержанию сахаридов. Результаты представлены в таблице 3.

Таблица 3. **Технологические свойства**

Компонент / свойства	**Декстроза**	**Подсырная сыворотка**
Водородный показатель	6,53	6,77
Органолептические свойства	Белый кристаллический порошок, вкус сладкий, свойственный глюкозе, без посторонних привкусов и запахов	Сухой мелкий порошок белого цвета с кремовым оттенком, вкус сладкий, характерный для сухих молочных продуктов, без посторонних привкусов и запахов
Содержание сахаридов, %	99,9	75,4

Хоть сыворотка и декстроза имеют небольшие различия в технологических характеристиках, это не должно критично повлиять на конечных результат, поэтому компоненты могут быть взаимозаменяемыми. Стоит заметить, что замена декстрозы на сыворотку повысит содержание белка в комплексной добавке, что может стать преимуществом.

Результаты исследования показали, что замена глюкозного сиропа на подсырную сыворотка является целесообразной. Комплексная пищевая добавка не потеряет в своих свойствах, а негативное воздействие на окружающую среду сократится. Следующим этапом исследования является проведение тестов по замене декстрозы на альтернативный вариант в реальных условиях, и при возникновении каких-то нюансов, корректировка процентного соотношения компонентов в составе комплексной пищевой добавки.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Как покупали выбирают экотовары. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.oneplanetnetwork.org/sites/default/files/issledovanie–kak–potrebiteli–vybirayut–ekotovary–2018.pdf (дата обращения: 09.02.2023).
2. Федеральный закон «О внесении изменений в Федеральный закон «Об охране окружающей среды» и отдельные законодательные акты Российской Федерации» от 21.07.2014 № 219–ФЗ (последняя редакция). [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_165823/ (дата обращения: 10.02.2023).
3. ReCiPe. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ec.europa.eu/environment/biodiversity/business/assets/pdf/tooldescriptions/RECiPe%20and%20BioScope%20summary%20description.pdf (дата обращения: 31.03.2023).
4. Ecoinvent 3.9.1 Dataset Documentation. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://v391.ecoquery.ecoinvent.org/Search/Index (дата обращения: 31.04.2023).
5. LCA software for informed change–makers. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://simapro.com/ (дата обращения: 15.10.2022).

Выпускник
Дорохова Екатерина Ринатовна
институт международного развития и партнерства
Направление подготовки:27.04.05 – Инноватика
e-mail: erdorokhova@gmail.com

Научный руководитель
Александрова Екатерина Александровна
к.э.н.
e-mail: aleksandrova_e_a_1@staff.sechenov.ru

УДК 614.1

ОТНОШЕНИЕ ЖЕНЩИН К СКРИНИНГАМ НА РАК МОЛОЧНОЙ ЖЕЛЕЗЫ: СТИМУЛЫ, БАРЬЕРЫ, ЭФФЕКТИВНОСТЬ

Несмотря на то, что онкологические заболевания в России распространены меньше, чем сердечно-сосудистые заболевания, рак молочной железы по-прежнему является серьезной проблемой [1]. По данным Всемирной организации здравоохранения на 2020 год рак молочной железы занимает первое место по распространенности и второе место по смертности среди прочих онкологических заболеваний для женщин [2]. При этом, согласно American Cancer Society, пятилетняя выживаемость женщин с диагностированным раком груди в локализованной начальной стадии составляет 99% [3].

Идея скрининговой диагностики основана на возможности выявлять изменения в тканях на тех этапах, на которых еще не проявляются какие-то видимые симптомы. То есть еще до того, когда это покажет клинический осмотр или самообследование.

В России существует две основные программы, регулируемые государством, включающие в себя маммографический скрининг — это профессиональные осмотры и диспансеризация. Согласно приказу Министерства здравоохранения Российской Федерации №29н, большинство работодателей обязаны проводить своим сотрудникам предварительный и периодический профосмотр или возмещать стоимость проведения. В профосмотры в том числе включена маммография для женщин в возрасте от 40 лет и старше. При этом стоит учитывать, что данная программа не распространяется на женщин на пенсии или тех, чья трудовая деятельность связана с занятостью, не попадающей под регуляцию Министерства здравоохранения [4].

Диспансеризация могла бы закрыть этот пробел, но по данным на 2022 год за период 2020-2022 гг. диспансеризацию прошло около половины граждан обоих полов [5]. В 2021 году 25,2% опрошенных из тех, что не проходили диспансеризацию последние два года, ответили, что не делали этого по причине того, что их не направил врач. И еще 5,4% не знали о такой возможности [6].

В 2022 году были опубликованы данные, полученные вследствие проведения национального мониторинга общественного здоровья. Среди различных показателей, опрос включал вопросы про отношение населения к здоровью, и в частности отношение к скринингам. По результатам исследования стало видно, что 14% процентов опрошенных женщин в возрастной группе от 40 лет и старше никогда не делали маммографию, и еще 30% из этой же группы опрошенных делали ее более двух лет назад [1]. Только 56% ответили, что проходили маммографию в последние два года.

Для понимания возможных причин, влияющих на снижение мотивации у женщин проходить маммографию, был проведен анализ различных исследований, посвященных недоверию маммографии. На основе полученного анализа была разработана анкета-опрос и видео-материал о популярных предубеждениях и мифах, связанных с маммографией.

Результаты эксперимента

По результатам эксперимента был обнаружен недостаток информирования женщин об основных организационных моментах, связанных с маммографическим скринингом. Большинство опрошенных во всех возрастных группах неправильно называли возраст, с которого рекомендуется проходить маммографию (рис.1); большинство также неправильно называли врача-специалиста, проводящего процедуру скрининга (рис. 2), называя врача, выписывающего направления; в вопросе, где нужно было назвать программу, по которой в России можно пройти бесплатно скрининг на РМЖ, большинство респондентов указали, что не знают такой. Последние два пункта могут косвенно указывать на высокую зависимость решения пройти обследование от направления врача.

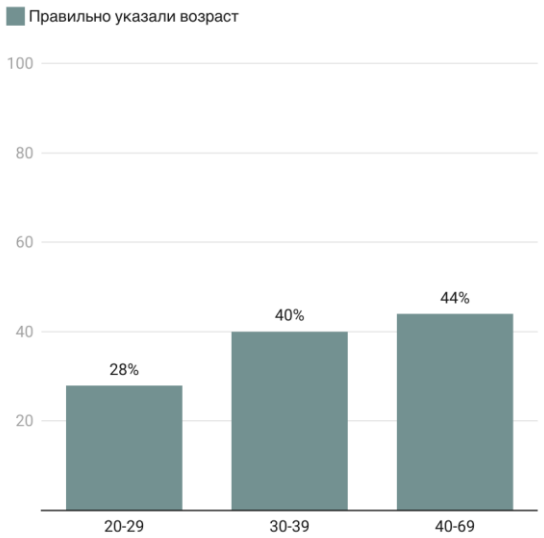


Рис. 1. Распределение правильных ответов на вопрос о рекомендуемом возрасте начала прохождения регулярного скрининга на рак молочной железы

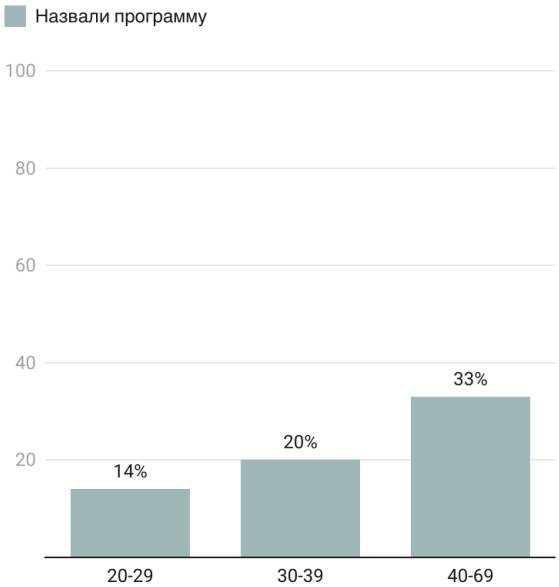


Рис. 2. Распределение правильных ответов на вопрос о известных программах, включающих в себя маммографический скрининг

При этом стоит указать, что принявшие участие опросе в основном регулярно проходили скрининг, имели высшее образование, высоко оценивали эффективность маммографии и свою личную ответственность за собственное здоровье. В такой выборке гипотеза о том, что предубеждения снижают мотивацию женщин проходить обследование, не подтвердилась. Влияние единоразового коммуникативного воздействия на убеждение и мотивацию женщин

из данной выборки относительно скринингов на рак молочной железы оценивается как низкое. Однако участницы высоко оценили подготовленный видеоматериал, он вызвал у них положительные эмоции, поэтому есть основание полагать, что такое коммуникационное воздействие положительно скажется на выборке менее информированных женщин и сможет оказать позитивное влияние на их представление о маммографии.

Дальнейшие направления исследований, на наш взгляд, лежат в области исследований мотивации женщин пропускающих регулярные скрининги, а также в области изучения воздействия конкретных коммуникативных фреймов на формирование убеждений относительно маммографии и рака молочной железы.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Мониторинг общественного здоровья. Национальный отчет. Россия 2022. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://monitoring.sechenov.ru (дата обращения: 02.01.2023).
2. Cancer Today. [Electronic resource]. – Access mode: https://gco.iarc.fr/today/online-analysis-multi-bars?v=2020&mode=cancer&mode_population=countries&population=900&populations=900&key=asr&sex=0&cancer=39&type=0&statistic=5&prevalence=0&population_group=0&ages_group%5B%5D=0&ages_group%5B%5D=14&nb_items=10&group_cancer=1&include_nmsc=0&include_nmsc_other=1&type_multiple=%257B%2522inc%2522%253Atrue%252C%2522mort%2522%253Atrue%252C%2522prev%2522%253Afalse%257D&orientation=horizontal&type_sort=0&type_nb_items=%257B%2522top%2522%253Atrue%252C%2522bottom%2522%253Afalse%257D (date of access: 04.05.2023).
3. ACS Breast Cancer Screening Guidelines. [Electronic resource]. – Access mode: https://www.cancer.org/cancer/breast-cancer/screening-tests-and-early-detection/american-cancer-society-recommendations-for-the-early-detection-of-breast-cancer.html (date of access: 28.03.2023).
4. Приказ Минздрава России от 28.01.2021 N 29н (ред. от 01.02.2022) "Об утверждении Порядка проведения обязательных предварительных и периодических медицинских осмотров работников, предусмотренных частью четвертой статьи 213 Трудового кодекса Российской... \ КонсультантПлюс. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_375353/ (дата обращения: 02.01.2023).
5. Прохождение диспансеризации в течение последних двух лет населением Российской Федерации. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://rosstat.gov.ru/opendata/7708234640-dispanse-2021 (дата обращения: 04.05.2023).
6. КДУ-2021. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://gks.ru/free_doc/new_site/GKS_KDU_2021/index.html (дата обращения: 04.05.2023).

Выпускник
Евшина Яна Алексеевна
факультет технологического менеджмента и инноваций
Направление подготовки: 38.04.01 – Экономика
e-mail: iaevshina@itmo.ru

Научный руководитель
Мурашова Светлана Витальевна
доцент, к.э.н.
e-mail: svmurashova@itmo.ru

УДК 378

ОЦЕНКА ЭФФЕКТА ОТ ЦИФРОВИЗАЦИИ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ ОРГАНИЗАЦИИ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

В настоящее время, цифровая экономика становится все более важной для развития страны. В шестом экономическом укладе, к которому стремятся большинство стран, информационные технологии являются ключевыми, и будущее экономики связано в большой степени с их развитием. Интеграция информационно-коммуникационных технологий с другими видами технологий вызывает масштабные перемены в способах организации производства во всех отраслях, обновляет традиционные бизнес-модели и приводит к изменению логики развития экономики.

Цифровизация образования стала особенно заметной после начала пандемии коронавируса. Школы и вузы были вынуждены перейти на онлайн обучение, что повлияло на всех участников данного процесса – на студентов, преподавателей, учителей и родителей. Этому также свидетельствует рост рынка образовательных цифровых технологий (EdTech), который, по оценкам Всемирного экономического форума, достигнет 342 миллиарда долларов США к 2025 году [1]. В прошлом году только на платформе Coursera онлайн обучались более 100 миллионов людей [2].

В соответствии с указами Президента Российской Федерации от 7 мая 2018 года № 204 и от 21 июля 2020 года № 474, правительство Российской Федерации разработало национальную программу "Цифровая экономика Российской Федерации". Цель этой программы – ускорение внедрения цифровых технологий в экономике и социальной сфере. Программа была утверждена на заседании президиума Совета при Президенте Российской Федерации по стратегическому развитию и национальным проектам от 4 июня 2019 года № 7 [3].

На данную национальную программу выделено более миллиарда рублей, а цели планируется достичь за 6 лет – до конца 2024 года. Основными векторами развития выделены улучшение комфорта и качества жизни граждан (за счет использования цифровой среды), снижение издержек бизнеса и его развитие, а также формирование здоровой конкуренции.

Одной из главных проблем современного образования является несоответствие между потребностями работодателей в кадрах и качествами выпускников вузов. Эта проблема существует уже давно и наблюдается практически во всех странах [4]. В современном мире, с развитием цифровых технологий, последствия этой проблемы становятся более ощутимыми. Учебные программы не могут оперативно изменяться, чтобы соответствовать потребностям рынка труда, который нуждается в специалистах с новыми знаниями и навыками. Это особенно актуально для высокотехнологичных отраслей, которые развиваются быстрыми темпами.

Кроме того, важно отметить, что главной целью цифровизации процессов в высшем образовании является улучшение эффективности всех взаимодействующих подразделений и ускорение обмена информацией с помощью современных коммуникационных технологий внутри образовательных учреждений. Поэтому важной частью инновационного развития в образовании является качественная цифровизация внутренних подразделений.

В Университете ИТМО определена программа развития с 2021 по 2030 год, которая называется “Университет Открытого кода”. Ценности данной программы указаны, как

академическая свобода, уважение к личности, открытость, добросовестность, любовь. Миссия Университета: открывать возможности для гармоничного развития конкурентоспособной личности и вдохновлять на решение глобальных задач. Стратегическая цель определена, как генерация новых знаний, технологий, рынков и самореализация человека в VUCA-мире. А стратегическая цель развития до 2030 г.: подготовка глобально конкурентоспособных кадров для сектора исследований и разработок и ответ на научно- технологические и социально-экономические вызовы, стоящие перед страной, с учетом национальных целей и приоритетов, стратегических задач текущего этапа и особенностей развития рынков и регионов, в условиях максимальной кооперации и вовлечения индустрии и общества во все этапы жизненного цикла знаний, технологий, рынков.

Для изучения в рамках практики был взят процесс выборности дисциплин. Ведущие университеты реализуют разные модели выборности. Модель реализации индивидуальных образовательных траекторий в Университете ИТМО предоставляет возможность студентам бакалавриата, специалитета и магистратуры построить свою образовательную траекторию путем выбора содержания дисциплин. Каждый семестр студентам предлагается выбрать дисциплины, которые он будет изучать в ближайший семестр, а также сделать выбор на последующие семестры (например, во втором семестре можно выбрать предмет к изучению в 4 семестре). Данная инициатива связана с персонификацией образования. Так, студент во время обучения в университете будет изучать только те дисциплины, которые считает нужными к изучению в рамках своей специализации.

Цель выбора дисциплин, форматов обучения и временного периода – создание условий для формирования студентами своей индивидуальной образовательной траектории.

При этом стоить отметить, что независимо от уровня высшего образования в каждой образовательной программе сформирована инвариантная часть дисциплин (модулей), наравне с которой в зависимости от содержания и направленности программы могут быть организованы следующие уровни выборности:

- выборность на общеуниверситетском уровне, где выбор осуществляется среди дисциплин (модулей), направленных на формирование или развитие «надпредметных навыков» и «надпрофессиональных компетенций»;
- выборность на уровне факультета/института (кластера), когда выбор осуществляется между дисциплинами (модулями), которые направлены на развитие общепрофессиональных компетенций;
- выборность на уровне образовательной программы, здесь студенты делают выбор образовательных траекторий (специализаций) или дисциплин (модулей), направленных на развитие профессиональных компетенций.

На каждом уровне выборности реализуются следующие типы выбора:

- выбор одной или нескольких дисциплин из соответствующего модуля;
- выбор модулей внутри дисциплины (выбор определенного содержания внутри дисциплины);
- выбор факультативной дисциплины за пределами образовательной программы;
- выбор формата реализации дисциплины онлайн / оффлайн;
- выбор уровня дисциплины (базовый или продвинутый);
- выбор языка реализации (русский или английский);
- выбор преподавателя;
- выбор времени реализации (при линейной реализации дисциплины – день недели и время, при модульной модели реализации – даты и время проведения модуля).

Выборность дисциплин начала реализовываться с 2019 года и первоначально располагалась на Информационной платформе университета ИСУ. Далее, в 2020 году была реализована платформа my.itmo для снятия нагрузки с основной системы и реализации другого интерфейса, более дружественного к пользователю. Так, с 2020 года в системе выборности были лишь незначительные изменения в логике выбора и интерфейсе.

Выборная кампания в июне 2022 года для осеннего семестра 22/23 уч.г. прошла успешно (самая успешная (пятая кампания), начиная с осени 21/22 уч.г.). Между тем, это самая затратная кампания с точки ресурсов, временных и интеллектуальных, нескольких административных подразделений и всех подразделений, реализующих ОП и дисциплины, по словам самих реализаторов данного процесса. Стоит отметить, что ранняя выборность перестроила бизнес-процессы и дедлайны по организации учебного процесса (учебные планы, РПД, расписание, собственно выборность).

Также были выявлены основные проблемы, которые необходимо было решить:

- анализ внесенных учебных планов приема 2022 года приема показал, что существует до 9 уровней вложенного выбора (количество вложенных модулей). Текущая система выборности поддерживала только 2, в связи с чем студенты не могли корректно выбрать дисциплины в рамках этих модулей;
- доступные потоки дисциплин и их расписание студент просматривал самостоятельно, перебором, нажимая на каждый, затрачивая большое количество времени на просмотр и поиск не пересекающихся предметов;
- одна дисциплина учебного плана могла дублироваться в нескольких модулях, но, при этом, это была одна и та же дисциплина, с одинаковым расписанием и потоками, и приходилось дублировать карточки дисциплин и их расписание, что нагружало систему, создавало беспорядок и добавляло работу;
- имелось ограничение на выбор по времени – 15 минут, если за это время выбор не был завершен и сохранен студентом, он сбрасывался, за счет чего можно было потерять выбранные места, при повторном выборе они уже могли закончиться;
- без автоматической проверки расписания до начала выборности, приходилось выявлять ошибки уже на моменте реализации и запуска выборности, что увеличивало количество недовольных студентов;
- для корректного запуска выборности необходимо иметь минимум 95% готового расписания основного и потокового, для возможности более углубленной проверки расписания и лимитов;
- необходимо систему обработку обращений, в том числе увеличить скорость обработки проблем и уменьшить количество точек входа.

Было принято решение модернизировать имеющуюся цифровизированную систему выборности.

После анализа имеющихся проблем имеющейся системы выборности, были предложены решения, они представлены в таблице 1.

Таблица 1. **“Проблема-решение” к процессу выборности дисциплин**

Проблема	Решение
При большой вложенности модулей в учебных планах, «дерево» выбора не отстраивалось корректно	Сделать акцент на выборе дисциплин, а не модулей, убрать модули из интерфейса
Трата большого количества времени на поиск не пересекающихся предметов	1. Система автоматически подбирает не пересекающиеся потоки дисциплин; 2. Возможность сделать «пробный» выбор в тестовом варианте системы за несколько дней до основного запуска (что позволило бы студентам ознакомиться с правилами выбора)
Дублирование дисциплин и карточек	Объединение одинаковых предметов из разных модулей в одну дисциплину и карточку
Ограничение на выбор по времени – 15 минут, если за это время выбор не был завершен и сохранен, он сбрасывался	1. Убрать таймер в 15 минут; 2. После сборки расписания (автоматического), выбор сразу сохраняется в базу

Продолжение таблицы 1

Проблема	Решение
При изменении или просмотре других вариантов расписания, места на потоке не сохранялись за человеком	Возможность просмотра альтернативных вариантов расписания без потери уже имеющегося (изменение расписания не удаляет предыдущий выбор человека до момента нажатия на кнопку изменения)
Сложная система обработки обращений, длительное решение проблем, большое количество точек входа	Настроить работу с обращениями студентов через специальную систему их обработки (например, Jira)
Информация о факультативах не всегда была корректно заполнена к началу выборности	Выбор факультативных дисциплин проходит происходит во второй этап выборности
Пересечения в расписании во время выборности, невозможность выбора некоторых потоков из-за этого	Автоматическая проверка расписания и пересечений до запуска выборности, внесение корректировок
Студенты наиболее активно совершают выбор в первые три дня	Сокращение периода выборности до трех дней

Таким образом, после анализа предложенных решений, был сделан вывод о том, что текущая система выборности требует цифровизации.

Цифровизация была проведена и выборность на весенний семестр 2022/2023 учебного года (в январе) была запущена уже на обновленной платформе.

Обновленная система выборности была успешно реализована и запущена для студентов в январе 2023 года. Возникали незначительные проблемы, но проблемы, которые были выявлены в предыдущем запуске, были исправлены.

По итогу совершенствования бизнес-процесса были достигнуты следующие результаты:

- в эту кампанию 65% студентов сделали свой выбор в первый день, (при этом, 45% сделали выбор в первые 10 минут с начала выбора). Прирост за последующие два дня составил только 10%;
- в рамках данного решения возможность корректного выбора в учебных планах возросла с 85 до 95%, правила выбора модуля срабатывали в большинстве случаев;
- количество обращений в техническую поддержку сократилось, на обработку одного запроса в среднем уходит от 3 до 10 минут, соответственно, данное решение позволило сократить затраты на 227 рабочих часов, в таблице 2 представлено процентное соотношение количества уникальных обращений к количеству выбирающих в целом;

Таблица 2. **Процентное соотношение количества уникальных обращений к количеству выбирающих в целом**

Весна 2022/2023	Осень 2022/2023	Весна 2021/2022
8,5%	46%	23%

- система обработки обращений прошла цифровизацию, и теперь имеет 4 линии поддержки и общую точку входа, это позволило сократить время обработки запросов, большая часть из них решается в течение дня (при этом, данные запросы решают, в основном, специалисты 1-2 линии, что позволяет техническим отделам снизить нагрузку и подключаться только в крайнем случае);
- в обращениях студентов было минимальное количество вопросов о том, как пользоваться системой (с учетом того, что инструкция к сервису отсутствовала);
- был проведен эксперимент, в котором приняло участие 15 студентов бакалавриата и магистратуры, связанный со скоростью выбора. Студентам было предложено войти в систему и сделать выбор, при этом засекалось время принятия решения. В предыдущей системе, среднее время выбора составило 6 минут, а выбор в новой системе занял в среднем всего 2 минуты 30 секунд;
- с экономической точки зрения, данная разработка не потребовала дополнительного

привлечения специалистов, то есть стоимость разработки осталась, как и планировалось (334480 рублей),

- рассматривая стоимость разработки системы выборности в человеческих часах, это заняло 688 часов. Данная разработка окупит себя спустя 3 запуска, если сравнивать в рабочих часах.

Таким образом, после проведенного исследования по цифровизации одного из процессов в организации высшего образования (в Университете ИТМО), а именно системы выборности дисциплин, были выявлены основные проблемы, предложены решения, а затем – реализованы.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Coursera. Global Skills Report. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.coursera.org/skills-reports/global (дата обращения: 20.01.2023).
2. Чинаева Т.И. Влияние цифровизации на процессы трансформации системы высшего образования // Статистика и Экономика. 2020. Т. 17. №. 4. С. 85-95.
3. Министерство цифрового развития, связи и массовых коммуникаций Российской Федерации. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://digital.gov.ru/ru/activity/directions/858/?utm_referrer=https%3a%2f%2fwww.google.com%2f#section-description (дата обращения: 18.03.2023).
4. OkoCRM.: Автоматизация процессов. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://okocrm.com/glossary/avtomatizaciya-processov/ (дата обращения: 18.03.2023).
5. McKinsey & Company.: The secrets to transformation success. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.mckinsey.com/featured-insights/Mckinsey-live/webinars/the-secrets-to-transformation-success (дата обращения: 18.03.2023).

Выпускник
Жданова Екатерина Андреевна
факультет систем управления и робототехники
Направление подготовки: 27.04.03 – Системный анализ и управления
e-mail: zhdkat.zxc@gmail.com

Научный руководитель
Ковальчук Сергей Валерьевич
к.т.н.
e-mail: sergey.v.kovalchuk@gmail.com

УДК 004.942

ПРЕДСКАЗАТЕЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МНОГОШАГОВЫХ КЛИНИЧЕСКИХ ПУТЕЙ НА ПРИМЕРЕ ЗАДАЧ РЕПРОДУКТИВНОЙ МЕДИЦИНЫ

В современном мире стремительное развитие методов машинного обучения и исследования в данной области стали толчком для внедрения алгоритмов МО в многие сферы, связанные с человеческой жизнедеятельностью. Однако в областях, которые связаны с высоким уровнем риска, искусственный интеллект до сих пор используется с осторожностью. Тем не менее, ограничения, накладываемые высоким уровнем ответственности за принятие решения, не способны остановить прогресс. На данный момент все активнее методы машинного обучения начинают использоваться для решения прогностических задач в области медицины. С одной стороны это обусловлено появившейся возможностью накапливать большие массивы медицинских данных, с другой стороны появились методы, которые позволяют обеспечить конфиденциальность этих данных. Раньше из-за низкого уровня интерпретируемости модели машинного обучения не вызывали доверия у специалистов. Теперь и эта проблема была решена посредством создания алгоритмов, которые способны проиллюстрировать внутренние взаимосвязи между данными, на основании которых модель осуществляет прогноз. Но действительно ли использование методов машинного обучения является необходимым? Если да, то чем обусловлена эта необходимость?

Процесс лечения в медицине является сложным и многоэтапным процессом, причем успех лечения напрямую зависит от результата каждого из этапов. По мере увеличения базы человеческих знаний в области медицины становится очевидным, что многие взаимосвязи почти всегда не тривиальны. Современные тенденции в мировом сообществе указывают на то, что одной из главных тенденций является становление медицины 4P т. е. прогностической, персонализированной, профилактической и совместной. Достижение этой цели возможно только с использованием моделей машинного обучения, которые позволят специалистам обрабатывать большие объемы информации, строить точные прогнозы лечения для каждого пациента, а также моделировать и оптимизировать как процесс лечения, так и каждый из его этапов.

Одним из иллюстративных примеров многоэтапного процесса лечения в медицине является процесс лечения бесплодия из области репродуктивного здоровья. Тем более, что на данный момент проблема бесплодия стоит достаточно остро. В настоящее время в России отмечается тенденция увеличения числа бесплодных браков. К факторам риска бесплодия относятся: возраст, инфекции, передающиеся половым путем, а также факторы образа жизни. Так, по данным ВОЗ, от бесплодия страдают 80 миллионов человек в мире. У нас в стране бесплодие диагностируется у 15% супружеских пар репродуктивного возраста.

Весь процесс лечения бесплодия можно разделить на несколько этапов – чаще всего выделяют диагностический, лабораторный этапы и этап, связанный непосредственно с протеканием беременности. Большинство исследований на сегодняшний день сосредоточено на использовании пространства признаков, которое характеризует один этап лечения, например, первоначальный диагноз или лабораторный этап. Хотя такой подход может дать

представление о факторах, связанных с успешными результатами на каждом этапе, он не позволяет всесторонне оценить влияние различных этапов лечения на конечный результат. Чтобы получить более полное представление о процессе лечения, необходимо использовать информацию о протекании всех этапов лечения.

В рамках данной работы для построения прогностической модели были использованы данные, включающие в себя полную информацию обо всем процессе лечения бесплодия, включая диагностический этап, лабораторный этап и все последующие этапы, такие как перенос эмбрионов или криоконсервация.

Основной целью исследования является разработка модели машинного обучения, которая может точно предсказать исход лечения бесплодия, а также моделирование и оптимизация лечебного процесса на основе рассматриваемых признаков. Исследование сосредоточено на использовании методов обработки естественного языка для анализа историй болезни пациентов и выявления признаков, которые могут повлиять на результаты лечения.

Для достижения этой цели все пространство признаков было разделено на группы, характеризующих этапы процесса лечения. Эти этапы включают первичную консультацию пациента, результаты обследования пациента, результаты материалов из лаборатории и результаты лечения. Группы признаков, полученные на каждом этапе, были последовательно добавлены в модель, и в ходе эксперимента были выявлены наиболее значимые признаки из каждой группы.

Исследование показало, что возраст, инфекции, передающиеся половым путем, и характеристики лабораторного этапа являются значимыми факторами риска бесплодия, что согласуется с результатами предыдущих исследований. Предложенная модель достигла высоких значений целевых признаков, что указывает на ее сильную предсказательную способность в отношении результатов лечения бесплодия. Исследование предполагает, что данный подход может быть использован для разработки аналогичных прогностических моделей для других медицинских состояний и может способствовать повышению эффективности лечения.

Использование методов обработки естественного языка и выявление значимых признаков на каждом этапе лечения обеспечивают новый и эффективный подход к разработке прогностических моделей в области медицины.

Актуальность исследование по созданию прогностической модели на основе данных Международного Центра Репродуктивной Медицины с целью решения прогностической задачи предсказания наступления беременности обусловлена растущими показателями репродуктивной несостоятельности [1] и растущим спросом на повышения уровня эффективности лечения в этой области. Данная работа основана на потребности в более точных и эффективных методах прогнозирования результатов лечения, что может помочь медицинским работникам принимать решения по уходу за пациентами и улучшить результаты лечения.

Данные предоставленные Международный Центром Репродуктивной Медицины содержат информацию о 2438 пациентов. Размер признакового пространства составляет 87 признаков. Пространство признаков было разделено на группы, соответствующие диагностическим и лабораторным стадиям следующим образом (табл. 1).

Таблица 1. **Разделение признаков**

Этап	Разделение по полу	Общее количество
Диагностический	Женские	13
	Мужские	8
Лабораторный	Женские	33
	Мужские	13

Признаков, соответствующих показателям, измеренным у мужчин или характеризующим мужской биоматериал, значительно меньше, чем признаков, соответствующих женским показателям. Данные являются сбалансированными. Целевой

столбец – бинарный признак «Исход лечения», принимающий значения 0 (беременность не наступила) и 1 (беременность наступила).

В качестве признака в датасете присутствовала строка анамнеза, содержащая информацию о диагнозе пациента. Общее количество ненулевых строк в диагнозах составляет 2306 строки. В ходе обработки были удалены служебные символы переноса строки. Затем для исправления опечаток были опробованы две библиотеки для корректировки орфографических ошибок – pytool и MedSpellChecker. Кроме того, так в диагнозах содержалось большое количество специфичных сокращений был опробован мануальный алгоритм удаления орфографических ошибок. По результатам сравнения можно с уверенностью сказать, что MedSpellChecker справляется с исправлением орфографических ошибок на конкретных данных лучше, чем pytool. Однако ввиду специфичности данных было решено использовать мануальный способ обработки диагнозов. Также был сконструирован новый признак, на основе диагнозов, а именно степень бесплодия. Сконструированный признак был отнесен к диагностическому этапу и способен принимать значения 1 (первичное) и 2 (вторичное).

Далее для получения лемм были выполнены следующие шаги:

1) удалены знаки пунктуации;
2) слова приведены к нижнему регистру;
3) удалены цифры и буквы английского алфавита;
4) удалены стоп-слова;
5) токенизация;
6) лемматизация.

Для дальнейшего преобразования лемм в эмбеддинги была использована модель Word2Vec с длиной контекста равным пяти словам. Далее была опробованы различные конфигурации нейросетевой модели с целью оптимизации гиперпараметров таким образом, чтобы достичь наиболее высокого показателя целевой метрики. В качестве целевой метрики была выбрана оценка F1.

В ходе работы были последовательно обучены три модели. Первая модель строилась на основе данных о эмбеддингах, вторая модель на основе данных лабораторного этапа, третья модель с использованием данных диагностического и лабораторного этапов. В таблице 2 представлены максимальные значения целевой метрики для каждой из модели.

Таблица 2. **Влияние гиперпараметров на метрику качества нейросетевой модели**

Гиперпараметр	**Модель на основе эмбеддингов**	**Модель на основе данных диагностического этапа**	**Модель на основе данных диагностического и лабораторного этапов**
Число LSTM слоев	1	1	1
Число нейронов в LSTM слое	32	32	32
Скорость обучения	1,62E-03	1,95E-03	5,71E-03
Число полносязных слоев	1	4	3
Число нейронов в полносвязном слое	64	64	128
Функция активации	sigmoid	relu	relu
Dropout	0,388	0,364	0,308
Число эпох	54	94	97
Значение целевой метрики	0,426	0,510	0,623

Как следует из представленной ранее таблицы, наибольшее значение метрики качества достигается при использовании всего признакового пространства.

Было решено воспользоваться алгоритмами из области машинного обучения, которые не относятся к области глубокого обучения. Это решение было принято ввиду более высокого уровня интерпретируемости и вычислительной эффективности некоторых методов МО. В качестве алгоритмов традиционного машинного обучения были выбраны алгоритм

случайного леса и XGBoost. Данное решение обусловлено большим количеством внутренних взаимосвязей у данных.

В таблице 3 приведены наибольшие значения метрик качества и гиперпараметры, при которых удалось достичь таких значений.

Таблица 3. **Результаты обучения моделей на основе алгоритмов XGBoost и случайный лес**

Алгоритм	Гиперпараметры	F1 score
XGBoost	eta = 6,35E-02 depth = 8 subsample = 0,6 colsample_bytree = 0,6 gamma = 4,22E-03 min_child_weight = 10	0,54
Случайный лес	n_estimators = 200 max_depth = 13 min_sampels_split = 13	0,5

Значение метрики качества для модели, основанной на алгоритме XGBoost, выше, чем для модели, основанной на алгоритме случайного леса. Тем не менее, они обе уступают нейросетевой модели.

На рисунке представлен график, показывающий внутренние взаимосвязи модели, основанной на алгоритме XGBoost.

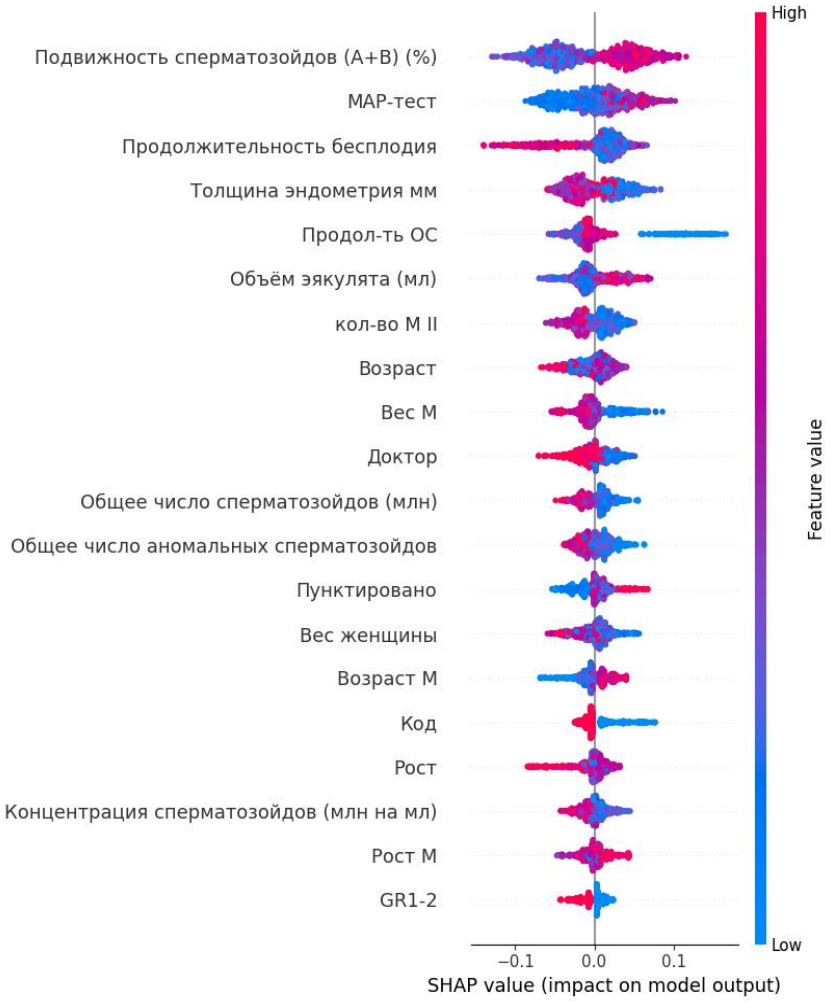


Рисунок. Наиболее важные признаки для модели, основанной на алгоритме XGBoost

На основании графика можно сделать следующие выводы:

1) чем выше процент подвижных сперматозоидов, тем выше вероятность наступления беременности;
2) при некоторых низких значениях признака «MAP-тест», вероятность наступления беременности низкая;
3) чем выше продолжительность бесплодия, тем ниже вероятность наступления беременности;
4) при некоторых низких значениях признака «Толщина эндометрия» вероятность наступления беременности высокая;
5) чем меньше объем эякулята, тем ниже вероятность наступления беременности;
6) чем выше возраст партнеров, тем ниже вероятность наступления беременности.

За исключением предиктора «Доктор», все наиболее важные признаки являются вещественными, поэтому сделать вывод о взаимосвязи наступления целевого действия и рассматриваемого признака можно по графику представленному раннее.

В дальнейшем было решено исследовать влияние значения признака «Доктор» на целевую метку. То есть для более детального рассмотрения влияния предиктора был проведен абляционный анализ с разделением исходных данных в зависимости от значений предиктора. Для каждого значения признака были построены две модели, основанные на алгоритмах случайный лес и XGBoost.

Сводка наиболее удачных конфигураций моделей для различных значений признака «Доктор» представлена в таблице 4. Наборы данных с другими значениями признака «Доктор» не рассматривались из-за слишком малого количества данных для обучения. Стоит отметить, что все фамилии врачей были изменены в целях сохранения конфиденциальности.

Таблица 4. **Итоговые конфигурации моделей**

Значение предиктора	Алгоритм	F1
Доктор №9	Random forest	0.597
	XGBoost	0.643
Доктор №4	Random forest	0.603
	XGBoost	0.712
Доктор №2	Random forest	0.686
	XGBoost	0.639
Доктор №7	Random forest	0.737
	XGBoost	0.793
Доктор №6	Random forest	0,679
	XGBoost	0.717

Таким образом, построение модели, основанной на данных о наблюдаемых пациентов у конкретного врача, демонстрирует более высокие показатели метрик качества. Кроме того, такой подход позволяет смоделировать поведение врача и предположить, какие признаки являются решающими при подборе лечения.

В процессе выполнения работы было проведено исследование методов машинного обучения для решения задачи предсказания результатов лечения бесплодия. Выделены ключевые особенности каждого метода, а также наиболее распространенный способ применения.

Был опробован новый подход к представлению признакового пространства в виде отдельных поднаборов признаков, соответствующих каждому из этапов лечебного процесса. Проведена обработка набора данных, а именно определение и удаление выбросов, нормализация. Для числового представления диагнозов пациентов была использована модель Word2Vec с длиной контекста равным пяти словам.

Для каждого поднабора был проведен ряд экспериментов с целью поиска оптимального алгоритма и гиперпараметров для построения модели МО. Самое большое значение метрики качества модели было получено при использовании нейросетевого алгоритма и информации

обо всех этапах лечебного процесса. В ходе интерпретации результатов моделей удалось выявить ключевые признаки для принятия решения об исходе лечения. Кроме того, был проведен абляционный анализ с разделением признакового пространства по значению признака «Доктор». Такой подход позволил предположить какие признаки являются значимыми для каждого специалиста, а также существенно повысил метрику качества оценки модели.

В ходе экспериментов было выявлено, что признаки лабораторного этапа являются более значимыми для прогностического результата в сравнении с признаками диагностического этапа. Однако для достижения лучшей обобщающей способности модели необходимо использовать полное признаковое пространство.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Carson S.A., Kallen A.N. Diagnosis and management of infertility: a review // Jama. 2021. Т. 326. №. 1. С. 65-76.
2. Кадыров З.А., Фаниев М.В., Прокопьев Я.В., Фаустова К.В., Севрюков Ф.А., Водолажский Д.И., Крупин В.Н. Репродуктивное здоровье населения России как ключевой фактор демографической динамики // Вестник современной клинической медицины. 2022. Т. 15. №. 5. С. 100-106.

Выпускник
Загальский Евгений Владимирович
факультет программной инженерии и компьютерной техники
Направление подготовки: 09.04.04 – Программная инженерия
e-mail: gene.zagalsky@gmail.com

Научный руководитель
Бессмертный Игорь Александрович
д.т.н., профессор
e-mail: bessmertny@itmo.ru

УДК 004.89

ПРИМЕНЕНИЕ СВЕРТОЧНЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ АНАЛИЗА МРТ-СНИМКОВ ГОЛОВНОГО МОЗГА

За последние десятилетия синергия технологического прогресса и медицины полностью изменили алгоритм подходов к обследованию и лечению пациентов с различными патологическими состояниями. Данные, полученные в ходе инструментальных медицинских исследований, позволяют клиницистам устанавливать диагноз в кратчайшие сроки, снижая вероятность ошибочных медицинских заключений.

Злокачественная опухоль головного мозга, известная как глиобластома, представляет собой чрезвычайно опасное для жизни состояние, и порой трудно диагностируемое.

В настоящее время единственным способом определения эффективности ответа пациентов на полихимиотерапию и дальнейших прогнозов заболевания является выявление промотора MGMT (MGMT – *O(6)-methylguanine-DNA methyltransferase*) путем генетического анализа, требующего хирургического вмешательства [3]. Кроме того, данное исследование является дорогостоящим, требующим должного оснащения и высокой квалификации специалиста. Разработка точного метода определения наличия промотора MGMT с использованием только МРТ-снимков может существенно сократить количество инвазивных вмешательств и ускорить процесс выбора персонализированной стратегии лечения.

Для проведении экспериментов использовался оригинальный датасет RSNA-MICCAI [1]. Исходные данные представлены в формате .dcm (DICOM – *Digital Imaging and Communications in Medicine*) и состоят из последовательности снимков мультипараметрической МРТ: *Fluid Attenuated Inversion Recovery (FLAIR), T1-weighted pre-contrast (T1w), T1-weighted post-contrast (T1Gd), T2-weighted (T2).* В клинической практике режим FLAIR используется для визуализации всех структур и тканей центральной нервной системы с помощью контраста; T1-взвешенные изображения позволяют визуализировать мягкие ткани, в том числе жировую; T2-взвешенные изображения показывают жидкости и аномалии, например опухоли, воспаления и травмы.

Исходный датасет включал в себя МРТ-снимки приблизительно тысячи пациентов. Метки о наличии промотора MGMT присутствовали для всех образцов. Данные для обучения (train) включали в себя 585 каталогов, данные для проверки состояли из 87 каталогов (test), а данные тестирования включали около 400 каталогов (private). На рисунке 1 приведен пример предоперационных МРТ-снимков пациентов.

В первую очередь были проведены эксперименты с ансамблями сверточных нейронных сетей с использованием расширенной стратегии аугментации данных. Каждая модель обучалась с применением стратифицированной кросс-валидации с 5 фолдами. Оптимизатором был выбран метод Adam. Каждая обученная модель создавала по десять прогнозов с различными параметрами аугментации для центральных проекций каждой последовательности МРТ-снимков. Далее, происходило усреднение полученных результатов. Самые эффективные модели были получены на основе последовательностей FLAIR и T2w,

они были устойчивее к шумам и неизвестным данным. Результаты исследования были опубликованы в 2022 году [2].

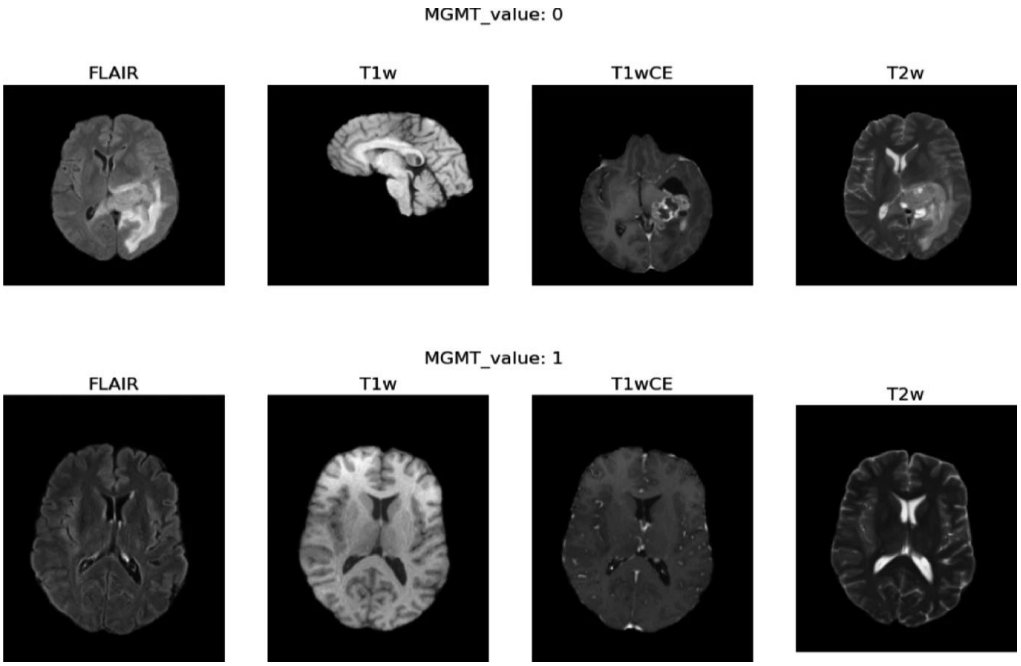


Рис. 1. МРТ-снимки пациентов с отсутствием и наличием промотора MGMT [4]

Далее были проведены эксперименты с CNN-RNN. Выбранная архитектура состояла из *state of the art* модели EfficientNet-B0 и долгой краткосрочной памяти (LSTM – *Long short-term memory*) в качестве RNN. Для препроцессинга исходных медицинских изображений был использован метод сэмплирования и подход расширенной аргументации данных, который подробно описан в предыдущем исследовании [2]. Сэмплирование выполнялось методом отбора фреймов с шагом S=10 для каждого канала *FLAIR, T1w, T1Gd, T2*. Пример сэмплирования приведен на рисунке 2.

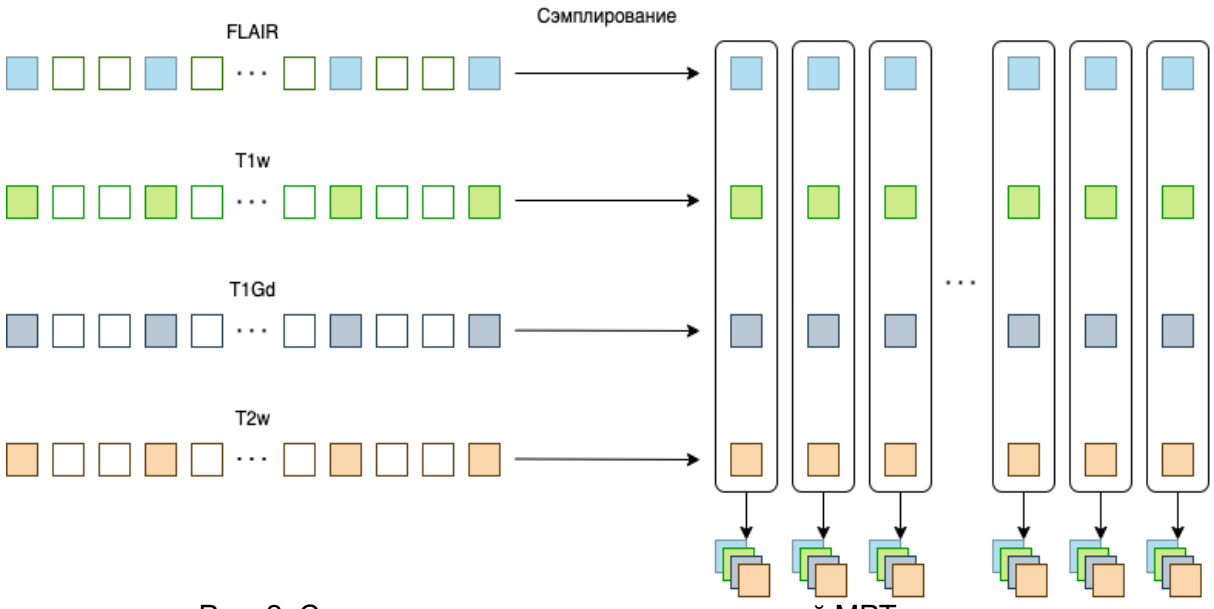


Рис. 2. Сэмплирование последовательностей МРТ-снимков

Модель была реализована с использованием фреймворка *PyTorch*. В обучении модели применялась стратифицированная кросс-валидация (5 фолдов). В качестве оптимизатора был выбран *Adam.* Схема модели CNN-RNN представлена на рисунке 3.

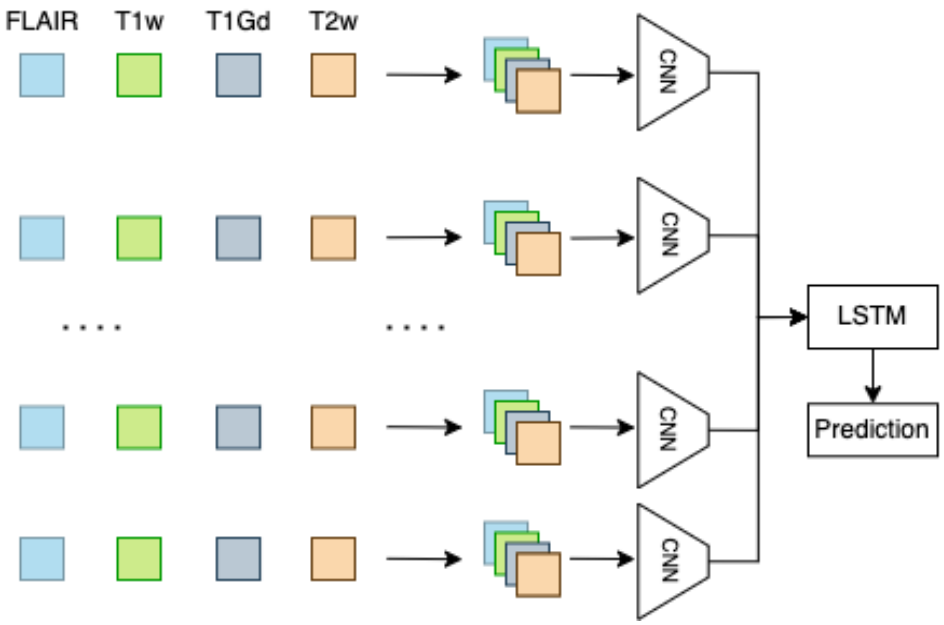


Рис. 3. Схема модели CNN-RNN

Оценка результатов была проведена по метрикам точности и полноты (*accuracy, precision*, recall). В качестве прогноза было использовано среднее значение из всех моделей ансамбля.

По результатам исследования, на тестовом наборе данных среднее значение *accuracy = 65,21%, precision = 65,32%, recall = 25,34%*. Полученные результаты свидетельствуют о малых различиях подхода по метрикам точности (*accuracy, precision*) в сравнении с результатами ранее проведенного исследования [2].

В качестве следующего шага, была проведена апробация 3D-CNN. Архитектура состояла из 3D-CNN, ResNet-10 и *PyThorch-based* фреймворка Monai. В обучении модели применялась стратифицированная кросс-валидация (5 фолдов), epoch =15, batch_size =8. Для апробации был выбран оптимизатор *Adam.*

Для построения трехмерных изображений были выбраны снимки последовательности *FLAIR*. Для построения изображения, были произведены вычисления центрального снимка последовательности (n/2, где n – количество снимков) и выбор изображений в заданном диапазоне. Схема модели представлена на рисунке 4.

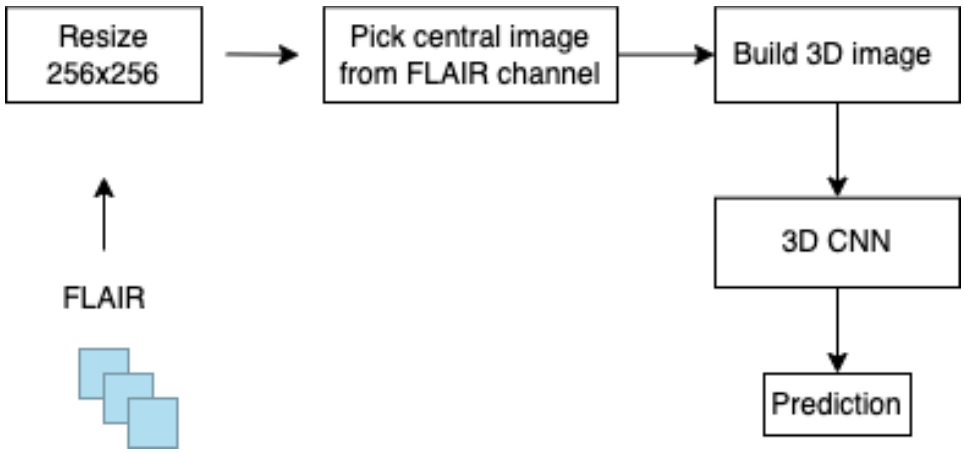


Рис. 4. Схема модели 3D-CNN

По результатам проведенных экспериментов, средние значения показателей точности и полноты (*accuracy, precision*, recall) на тестовом наборе данных *accuracy = 62,12%, precision = 61, 10%, recall = 67.96%* . Полученные данные в ходе апробации 3D-CNN говорят

о малых различиях подхода по метрике точности (*accuracy*) в сравнении с результатами предыдущего исследования [2].

Сравнение показателей результатов проведенных экспериментов между CNN-RNN, 3D-CNN и моделью из ранее проведенного исследования [2] приведены в таблице.

Таблица. **Сравнение результатов проведенных экспериментов**

Эксперимент	Модель	Accuracy (test)	Precision (test)	Recall (test)
CNN	EfficientNet-B0	67.93%	66.83%	74.46%
CNN-RNN	EfficientNet-B0	65.21%	65.32%	25.34%
3D-CNN	ResNet-10	62.12%	61.10%	67.96%

Исходя из результатов сравнения, ансамбли CNN, CNN-RNN и 3D-CNN значительно не отличаются по усредненным показателям точности (*accuracy*, *precision*).

Результаты экспериментов с моделью EfficientNet-B0 с использованием ансамблей CNN показали самое высокое среднее значение полноты (*recall*). Однако, большой диапазон средних значений (*от 25.34% до 74.46%*) показателя полноты (*recall*) указывает на нестабильную работу предсказательных моделей.

В данной работе было проведено сравнение подходов для анализа опухолей головного мозга по мультимодальным МРТ-снимкам на основе 2D и 3D модификаций сверточных нейронных сетей в ходе решения задачи бинарной классификации.

По результатам проведенного исследования был сделан вывод о том, что подходы на основе ансамблей CNN, CNN-RNN и 3D-CNN демонстрирует схожие средние значения показателей точности (*accuracy, precision*). Подход на основе ансамблей CNN из ранее проведенного исследования [2] продемонстрировал лучший результат по показателю полноты (*recall*). Дальнейшем вектором развития исследования является расширение исходного датасета и проведение экспериментов с модификациями 2D и 3D нейронных сетей.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Baid U., et al. The RSNA-ASNR-MICCAI BraTS 2021 Benchmark on Brain Tumor Segmentation and Radiogenomic Classification // 2021. arXiv:2107.02314.
2. Милантьев С.А., Загальский Е.В. Анализ опухолей головного мозга по последовательностям МРТ снимков // Сборник трудов XI Конгресса молодых ученых (Санкт-Петербург, 4-8 апреля 2022 г.). 2022. Т. 1. С. 304-308.
3. Haque, W., Teh, C., Butler, E.B. et al. Prognostic and predictive impact of MGMT promoter methylation status in high risk grade II glioma. J Neurooncol. 2022. Vol. 157. Pp. 137-146. https://doi.org/10.1007/s11060-022-03955-3.
4. Emchinov A. A Deep Learning Approach to Glioblastoma Radiogenomic Classification Using Brain MRI // Crimi, A., Bakas, S. (eds) Brainlesion: Glioma, Multiple Sclerosis, Stroke and Traumatic Brain Injuries. BrainLes 2021. Lecture Notes in Computer Science. 2022. Vol. 12963. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-09002-8_31.

Выпускник
Калемагина Ксения Сергеевна
факультет технологического менеджмента и инноваций
Направление подготовки: 27.04.02 – Управление качеством
e-mail: kalemagina_ksu@mail.ru

Научный руководитель
Сергеева Ирина Григорьевна
д.э.н., профессор
e-mail: igsergeeva@itmo.ru

УДК 658.7.01

ОЦЕНКА ПРОЦЕССА УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ ПРОДУКЦИИ И УСЛУГ, ПРЕДЛАГАЕМЫХ ВНЕШНИМИ ПОСТАВЩИКАМИ

В исследовании определена сущность взаимодействия организаций с внешними поставщиками: установление таких взаимоотношений, которые при оптимальных затратах позволяют организации-заказчику получать качественные продукцию и услуги. Анализ требований к организации по управлению внешне поставляемыми продукцией и услугами в соответствии с п. 8.4 ГОСТ Р ИСО 9001-2015 [2], позволил сделать вывод, что за выбор внешних поставщиков и применяемый тип управления взаимоотношениями с ними ответственна организация-заказчик. Необходим грамотный подход к выбору внешних поставщиков, что невозможно без разработанной методики и критериев оценивания.

Исследование применяемых методов оценки и выбора внешних поставщиков позволило сделать вывод, что средние и малые организации в основном применяют метод рейтинговых оценок (по баллам) [3], а для крупных организаций эффективно комбинирование методов, позволяющих проводить аналитику более детально, применяя систему поддержки принятия решений. В рамках исследования был сделан вывод, что наиболее эффективно комбинировать методы Process Mining [4], рейтинговых оценок и теории нечетких множеств.

Способы управления взаимоотношениями зависят от выбранного метода оценки, схемы работы и степени вмешательства в деятельность внешних поставщиков. Их ключевые преимущества – возможность периодически оценивать по заданным критериям, проверять и сравнивать внешних поставщиков, а недостатки – в ограниченном количестве критериев оценки, которые не всегда учитывают требования ГОСТ Р ИСО 9001 / ISO 9001.

Предлагаемая в рамках исследования классификация критериев оценки представлена на рисунке 1 и рисунке 2. Она позволяет всесторонне анализировать деятельность внешних поставщиков в соответствии со стандартом ГОСТ Р ИСО 9001-2015 и качество предлагаемых ими продукции или услуг по группам показателей.

Применение методики многокритериального анализа: определение рангов и весовых коэффициентов по заданным группам критериев позволило вывести формулу интегрального показателя (R) оценки внешнего поставщика и качества предлагаемой им продукции или услуг.

$$R = \left(\sum O_1 \times B_{коэф.1}\right) + \left(\sum O_2 \times B_{коэф.2}\right) + \left(\sum O_3 \times B_{коэф.3}\right) + \left(\sum O_4 \times B_{коэф.4}\right),$$

где R – итоговая оценка поставщика, рейтинг; O – оценка каждого критерия в группе, $\sum O$ – сумма оценок по группе; $B_{коэф}$ – весовой коэффициент группы.

Для внешнего поставщика продукции:

$$R = (\sum O_1 \times 0{,}57) + (\sum O_2 \times 0{,}10) + (\sum O_3 \times 0{,}23) + (\sum O_4 \times 0{,}10).$$

Для внешнего поставщика услуг:

$$R = (\sum O_1 \times 0{,}67) + (\sum O_2 \times 0{,}11) + (\sum O_3 \times 0{,}11) + (\sum O_4 \times 0{,}11).$$

Группа показателей оценки внешнего поставщика продукции	Критерий оценки	Ранг	Весовой коэффициент
Организационно-управленческие показатели деятельности внешнего поставщика продукции	1.Наличие документированной СМК и подлинного сертификата её соответствия требованиям ISO 9001 / ГОСТ Р ИСО 9001	1	0,03
	2.Анализ требований заинтересованных сторон (п.4.2, 5.1.2, 6.2 ГОСТ Р ИСО 9001-2015)	3	0,08
	3.Компетентность сотрудников (п. 7.1.6, 7.2 ГОСТ Р ИСО 9001-2015)	4	0,11
	4.Определение и описание процессов, влияющих на качество поставляемой продукции (п.4.4, 5.2 ГОСТ Р ИСО 9001-2015)	2	0,06
	5.Риск-ориентированный подход при принятии управленческих решений (п.4.4, 5.1 ГОСТ Р ИСО 9001-2015)	5	0,14
	6.Проведение внутренних аудитов (п.9.2 ГОСТ Р ИСО 9001-2015)	(7) 7,5	0,21
	7.Реализация корректирующих мероприятий для постоянного улучшения (п.10.2 ГОСТ Р ИСО 9001-2015)	(8) 7,5	0,21
	8.Мониторинг удовлетворенности потребителей (п.9.1 ГОСТ Р ИСО 9001-2015)	6	0,16
Итог по группе 1:	Сумма рангов по группе	36	-
	Сумма весовых коэффициентов критериев	-	1,00
	Весовой коэффициент группы	0,57	
Финансово-экономические показатели деятельности внешнего поставщика продукции	1.Коэффициент заемного капитала поставщика к выручке	3	0,50
	2.Выгоды от долгосрочного сотрудничества	1	0,17
	3.Отсутствие сведений о банкротстве, в реестре недобросовестных поставщиков	2	0,33
Итог по группе 2:	Сумма рангов по группе	6	-
	Сумма весовых коэффициентов критериев	-	1,00
	Весовой коэффициент группы	0,10	

Группа показателей оценки внешне поставляемой продукции	Критерий оценки	Ранг	Весовой коэффициент
Качественные показатели предлагаемой внешним поставщиком продукции	1.Наличие подлинного сертификата соответствия, подтверждающего качество продукции и её соответствие требованиям нормативных актов	(1) 1,5	0,10
	2.Аккредитация органа по сертификации продукции (выдавшего сертификат), наличие в его области нормативных требований в отношении данного вида продукции (ОКПД)	(2) 1,5	0,10
	3.Ориентация на требования потребителей (внешний вид продукции, упаковка и другие предъявляемые факторы)	3	0,20
	4.Сроки поставки продукции и удаленность от фокусной организации (заказчика)	4	0,27
	5.Наличие товарно-сопроводительной документации, возможность её предоставления в электронной форме (ЭДО)	5	0,33
Итог по группе 3:	Сумма рангов по группе	15	-
	Сумма весовых коэффициентов критериев	-	1,00
	Весовой коэффициент группы	0,23	
Количественные показатели предлагаемой внешним поставщиком продукции	1.Цена продукции	1	0,17
	2.Транспортные расходы (на доставку и отгрузку продукции)	2	0,33
	3.Система предоставления скидок при неоднократных заказах и крупных поставках данной продукции	3	0,50
Итог по группе 4:	Сумма рангов по группе	6	-
	Сумма весовых коэффициентов критериев	-	1,00
	Весовой коэффициент группы	0,10	
Общая сумма рангов по группам (∑ 1-4)		63	-
Общий весовой коэффициент с учётом всех групп		-	1,00

Рис. 1. Применение методики многокритериального анализа для оценки внешнего поставщика продукции по разработанной классификации критериев

Группа показателей оценки внешнего поставщика услуг	Критерий оценки	Ранг	Весовой коэффициент
Организационно-управленческие показатели деятельности внешнего поставщика услуг	1.Наличие документированной СМК и подлинного сертификата её соответствия требованиям ISO 9001 / ГОСТ Р ИСО 9001	1	0,03
	2.Анализ требований заинтересованных сторон (п.4.2, 5.1.2, 6.2 ГОСТ Р ИСО 9001-2015)	3	0,08
	3.Компетентность сотрудников (п. 7.1.6, 7.2 ГОСТ Р ИСО 9001-2015)	4	0,11
	4.Определение и описание процессов, влияющих на качество поставляемых услуг (п.4.4, 5.2 ГОСТ Р ИСО 9001-2015)	2	0,06
	5.Риск-ориентированный подход при принятии управленческих решений (п.4.4, 5.1 ГОСТ Р ИСО 9001-2015)	5	0,14
	6.Проведение внутренних аудитов (п.9.2 ГОСТ Р ИСО 9001-2015)	(7) 7,5	0,21
	7.Реализация корректирующих мероприятий для постоянного улучшения (п.10.2 ГОСТ Р ИСО 9001-2015)	(8) 7,5	0,21
	8.Мониторинг удовлетворенности потребителей (п.9.1 ГОСТ Р ИСО 9001-2015)	6	0,16
Итог по группе 1:	Сумма рангов по группе	36	-
	Сумма весовых коэффициентов критериев	-	1,00
	Весовой коэффициент группы	0,67	
Финансово-экономические показатели деятельности внешнего поставщика услуг	1.Коэффициент заемного капитала поставщика к собственным средствам	3	0,50
	2.Выгоды от долгосрочного сотрудничества	1	0,17
	3.Отсутствие сведений о банкротстве, в реестре недобросовестных поставщиков	2	0,33
Итог по группе 2:	Сумма рангов по группе	6	-
	Сумма весовых коэффициентов критериев	-	1,00
	Весовой коэффициент группы	0,11	

Группа показателей оценки внешне поставляемой услуги	Критерий оценки	Ранг	Весовой коэффициент
Качественные показатели предлагаемой внешним поставщиком услуги	1.Наличие лицензии на осуществление данного вида деятельности	(1) 1,5	0,25
	2.Ориентация на требования потребителей	(2) 1,5	0,25
	3.Соблюдение сроков предоставления услуг	3	0,50
Итог по группе 3:	Сумма рангов по группе	6	-
	Сумма весовых коэффициентов критериев	-	1,00
	Весовой коэффициент группы	0,11	
Количественные показатели предлагаемой внешним поставщиком услуги	1. Стоимость услуг	1	0,17
	2.Транспортные расходы на предоставление услуг	2	0,33
	3.Система предоставления скидок	3	0,50
Итог по группе 4:	Сумма рангов по группе	6	-
	Сумма весовых коэффициентов критериев	-	1,00
	Весовой коэффициент группы	0,11	
Общая сумма рангов по группам (∑ 1-4)		54	-
Общий весовой коэффициент с учётом всех групп		-	1,00

Рис. 2. Применение методики многокритериального анализа для оценки внешнего поставщика услуг по разработанной классификации критериев

Методом экспертной оценки по разработанным автором рекомендациям происходит выставление баллов (0-5) внешним поставщикам продукции или услуг по каждому критерию в рамках группы показателей. Применяя интегральный показатель, можно узнать итоговую оценку внешнего поставщика. Далее применим метод сегментации внешних поставщиков по разработанной в рамках исследования шкале оценивания на категории A-C по степени приоритетности сотрудничества, представленной на рисунке 3.

Применение на практике формулы интегрального показателя позволило определить поставщика стекол. Трем поставщикам были проставлены оценки, по результатам которых поставщик №2 оказался наиболее приоритетным для сотрудничества (итоговая оценка: 28,14 баллов, более 86%, входит в сегмент А). Для данного внешнего поставщика продукции последующее проведение аудита целесообразно. Автором был предложен план, разработанный в соответствии с ГОСТ Р ИСО 19011-2021 [5].

Рейтинг внешнего поставщика	A (высокий)	B (средний)	C (низкий)
	100-86%	85-71%	менее 70%
Итоговая оценка внешнего поставщика продукции в баллах	31,55-27	26-22	менее 22
Итоговая оценка внешнего поставщика услуг в баллах	31,75-27	26-22	менее 22

A (высокий рейтинг) – внешний поставщик, сотрудничество с которым является наиболее приоритетным, риск заключения неэффективного контракта минимальный;

B (средний рейтинг) – внешний поставщик, сотрудничество с которым является возможным, риск заключения неэффективного контракта менее 50%;

C (низкий рейтинг) – внешний поставщик, сотрудничество с которым не рекомендуется, риск заключения неэффективного контракта более 50%.

Рис. 3. Сегментация внешних поставщиков по степени приоритетности сотрудничества

Аналогично формула интегрального показателя была применена для определения внешнего поставщика услуг по созданию и использованию баз данных и информационных ресурсов: наиболее приоритетным для сотрудничества является поставщик №1 (итоговая оценка: 27,40 баллов, более 86%, входит в сегмент А). Для данного внешнего поставщика услуг последующее проведение аудита целесообразно. В качестве метода дистанционного проведения аудита автором была предложена анкета-вопросник (разработана в соответствии с ГОСТ Р ИСО 9001-2015 и ГОСТ Р ИСО 19011-2021).

Разработанная классификация критериев оценки внешних поставщиков позволяет учитывать требования стандартов ГОСТ Р ИСО 9001 / ISO 9001. Применяя формулу интегрального показателя, можно получить итоговую оценку по внешнему поставщику, провести сегментацию и понять, для каких поставщиков из всех имеющихся проведение аудита целесообразно. Данный метод позволяет рассмотреть поставщика с разных сторон и снизить асимметрию информации. Автором также рассмотрена возможность оценки эффективности предлагаемого метода, которая зависит от всех имеющихся затрат и размеров организации. Для обеспечения прозрачности контрактов применима технология Process Mining, для которой требуется дополнительное программное сопровождение (ProM, Disco, Celonis) – для крупных организаций. Для средних и малых организаций повысить прозрачность контрактов и отслеживание показателей результативности может помочь использование стандартных и доступных инструментов аналитики (MS Excel, Google Data Studio, Tableau) с учетом предложенных критериев и интегрального показателя. Таким образом исследование обеспечивает решение рассматриваемых проблем в сфере оценки процесса управления качеством внешне поставляемых продукции и услуг.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Калемагина К.С., Сергеева И.Г. Анализ влияния аутсорсинга на рынке информационных технологий на конкурентоспособность организации // Russian Economic Bulletin. 2022. Т. 5. №. 3. С. 273-279.
2. ГОСТ Р ИСО 9001-2015 «Системы менеджмента качества. Требования». Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии (Переиздание, ред. от 01.02.2020) // Официальное издание. М.: Стандартинформ, 2018 г.
3. Исаева М.А. Анализ методов экономической оценки поставщика ресурсов // Скиф. 2020. №. 12 (52). С. 24-32.
4. Абдулаев И. Повышение операционной эффективности организации с применением инструментов и методов Process Mining // Стратегии бизнеса. 2019. №. 4 (60). С. 3-10.
5. ГОСТ Р ИСО 19011-2021 «Оценка соответствия. Руководящие указания по проведению аудита систем менеджмента». Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии (Переиздание, ред. от 01.03.2022) // Официальное издание. М.: Стандартинформ, 2021 г.

Выпускник
Калиновский Илья Игоревич
высшая инженерно-техническая школа
Направление подготовки: 12.03.02 – Оптотехника
e-mail: ilya.kalinovsky@yandex.ru

Научный руководитель
Коняхин Игорь Алексеевич
д.т.н., профессор
e-mail: iakoniakhin@itmo.ru

УДК 681.786

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ПЯТИКООРДИНАТНОЙ СИСТЕМЫ ИЗМЕРЕНИЯ УГЛОВЫХ И ЛИНЕЙНЫХ СМЕЩЕНИЙ

Оптико-электронные и лазерные системы имеют широкое применение в сфере высокоточного контроля размеров и состояний объектов. Одна из наиболее обширных сфер их применения - измерение углов и линейных размеров исследуемых объектов. Принцип действия подобных систем основывается на координатной метрологии, в соответствии с которой приемником системы определяются линейные и угловые перемещения специальных контрольных элементов, которые заранее установлены на исследуемый объект.

Ныне существуют достаточно точные системы для измерения углов поворота и достаточно точные системы для измерения линейных перемещений. Однако, известные оптико-электронные измерительные системы для измерения угловых и линейных перемещений одновременно приходится использовать две отдельных измерительных системы, что усложняет структуру и увеличивает габариты и стоимость подобных систем. Помимо этого, возникают проблемы с необходимостью согласованной работы обоих измерительных баз и возникновением погрешностей измерений при их рассогласовании. Этим и обуславливается актуальность разработки системы, измеряющей линейные и угловые перемещения при помощи единственного измерительного канала.

Оптико-электронные системы по принципу работы делятся на автоколлимационные, авторефлекционные и ретрорефлекторные. При этом, ретрорефлекторный тип не удовлетворяет целям данной работы по причине структурной сложности системы.

Так как необходимо было выбрать, по какой схеме реализовывать разрабатываемую систему, необходимо определится с основными отличиями автоколлимационной и авторефлекционной систем. Структурно, основным отличием является расположение источника излучания. Так, в автоколлимационной системе источник находится позади объектива, тогда как в авторефлекционной – перед объективом. Это, в свою очередь, ограничивает дальнодействие автоколлимационной системы габаритами контрольного элемента. Потому – было решено остановить свой выбор на авторефлекционной оптико-электронной системе.

Разрабатывая пятикоординатную авторефлекционную оптико-электронную систему, прежде всего, необходимо было рассмотреть принцип проведения пятикоординатных измерений. Для реализации подобных измерений в качестве контрольного элемента предлагается использовать отражатель в виде четырехгранной пирамиды, один из углов при вершине между противолежащими гранями равен $90°+\delta$, где δ – отклонение от прямого угла, необходимый для формирования на приемнике расхождения изображений, сформированных в прямом и в обратном ходе лучей. Подобный отражатель формирует три изображения марки на приемнике, которые и позволят описать перемещения контролируемого объекта в пяти координатах. С целью обеспечения цветовой селекции, цветовая маска должна быть расположена так, чтобы цветовому каналу с углом при вершине 90° соответствовал красный светофильтр, а цветовому каналу с углом при вершине $90°+\delta$ – красный светофильтр. Для

описания функционирования отражателя, необходимо представить его, как два двугранных отражателя.

Так, был рассмотрен сперва двугранный отражатель, формируемый гранями предложенного контрольного элемента, угол между которыми равен 90° [1]. Если авторефлекционная оптико-электронная система расположена на расстоянии L от контрольного элемента, то мнимое изображение марки, расположенной в плоскости выходного зрачка, строится симметрично на расстоянии L от контрольного элемента и, соответственно, на расстоянии 2L от объектива, тогда как действительное изображение строится на приемнике [2]. Если контрольный элемент смещается вправо на величину x вдоль оси OX, то мнимое изображение марки смещается на величину 2x в ту же сторону. Если же контрольный элемент поворачивается вокруг оси OX на угол Θ против часовой стрелки, то мнимое изображение смещается вверх на величину, равную L, умноженной на тангенс 2Θ.

Затем, был рассмотрен двугранный отражатель, формируемый гранями предложенного контрольного элемента, угол между которыми равен 90°+δ. По причине наличия отклонения угла при вершине от прямого угла, подобный отражатель в положении нулевого отклонения по всем пяти координатам формирует на приемнике два вторичных изображения марки 2" справа и слева от центра матрицы на расстоянии, равном sin(2δ·L). В данном случае линейные и угловые смещения определяются по половине суммы координат данных изображений. Если контрольный элемент смещается вправо или влево на величину x вдоль оси OX, то вторичное изображение марки смещается на величину 2x, в ту же сторону. Если же контрольный элемент поворачивается вокруг оси OX на угол Θ против часовой стрелки, то вторичное изображение смещается вверх на величину, равную L, умноженной на тангенс 2Θ. Кроме того, при наличии угла скручивания вокруг третьей оси Δz', действительные изображения марки 2" смещаются так, что среднее значение 2"ср остается неизменным.

При этом, использование двуцветного светодиода и двуцветной маски позволит разделить данные каналы измерений, позволяя определить, какими гранями контрольного элемента сформированы изображения на матричном приемнике.

На основании полученного алгоритма функционирования были определены основные структурные элементы разрабатываемой системы и, на их основании, разработана структурная схема.

После этого, был математически описан предложенный алгоритм и определены основные методические погрешности, возникающие при апроксимации данного алгоритма. Кроме того, было определено влияние на методическую погрешность измерения погрешности определения координат изображения на матричном приемнике, погрешности изготовления объектива, погрешности расстояния от объектива до контрольного элемента и погрешности изготовления контрольного элемента.

Затем, было необходимо определиться с выбором источника и приемника излучения. При выборе матричного приемника и полупроводникового источника излучения, основным критерием было наличие открытой технической документации, в которой содержатся конкретные, интересующие автора, характеристики и графики.

Так, в качестве матричного приемника была выбрана КМОП-матрица компании Fillfactor IBIS-4-1300-C2 [3], а в качестве полупроводникового источника излучения, было решено остановится на RGB светодиоде компании Arlight ARL-5213RGBC/4A [4]. RGB светодиод было решено использовать для лучшей селекции по красному и синему цветовым каналам.

Затем, был проведен габаритно-энергитический расчет, на основании которого были определены объектив, цветные стекла для двуцветной маски и габариты контрольного элемента. После чего, определившись со всеми основными элементами системы, была синтезирована оптическая принципиальная схема.

В заключение, стоит отметить, что практическими результатами данной работы являются: предложенный автором метод цветовой селекции каналов измерения для многокоординатных оптико-электронных систем, разработанные модели функционирования

четырех- и пятикоординатных измерений, полученный проектный алгоритм измерения трех угловых и двух линейных смещений контрольного элемента и математическая модель влияния на точность работы алгоритма погрешностей изготовления объектива, определения координат и расстояния до контролируемого объекта.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Юстировка оптических приборов / Г. В. Погарев. - 2-е изд., перераб. и доп. - Ленинград: Машиностроение : Ленингр. отд-ние, 1982. 237 с.
2. Справочник по математике для научных работников и инженеров : Определения. Теоремы. Формулы / Г. Корн, Т. Корн ; [Пер. И. Г. Арамановича (ред. пер.) и др.]. 6. изд., стер. - СПб. [и др.] : Лань, 2003. 831 с.
3. IBIS4 1.3 Megapixel rolling shutter CMOS Image Sensor. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.chipfind.ru/datasheet/cypress/ibis4.htm (дата обращения: 07.11.2022).
4. ARL-5213RGBC/4A. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://arlight-russia.ru/upload/iblock/06b/ARL-5213RGBC-4A.pdf (дата обращения: 29.11.2022).

Выпускник
Кешишян Мария Ованесовна
институт международного развития и партнерства
Направление подготовки: 45.04.04 – Интеллектуальные системы в гуманитарной сфере
e-mail: mari.keshishyan@niuitmo.ru

Научный руководитель
Колозариди Полина Владимировна
к.с.н.
e-mail: kolozaridi@itmo.ru

УДК 009

ФЕНОМЕН МОДЫ В ПРОСТРАНСТВЕ ЦИФРОВОЙ РЕАЛЬНОСТИ: ОДЕЖДА КАК ПРЕДМЕТ ЦИФРОВОЙ ГУМАНИТАРИСТИКИ

Представление о цифровой реальности как о чём-то далёком и не-человеческом дистанцирует нас от неё, часто безосновательно. При этом цифровое пространство населено привычными нам объектами, в том числе предметами одежды. Их привычность затемняется цифровой формой, которая, с одной стороны трансформирует объекты, а с другой — даёт больше возможностей для контактирования с ними. Данное исследование проблематизирует отношения между аналоговым и цифровым через объекты моды, в частности, одежду. Исследовательским основанием работы была выбрана цифровая гуманитаристика, или Digital Humanities, как критический подход, дающий возможность теоретического и инструментального рассмотрения предмета.

Начиная с определения того, в чём заключается цифровой гуманитарный подход, мы выделили цифровой объект как объект исследования цифровой гуманитаристики вместе с его свойствами: являясь языковым файлом, произведённым техникой, он предстаёт перед нами как обладающий чувственными качествами объект. Одним из способов создания цифрового объекта является оцифровка, представляющая собой процессом преобразования не-цифрового в цифровое, которое становится цифровой репликой или копией с неопределённым статусом по отношению к аналогу.

Задавшись вопросом, что может быть или должно быть оцифровано, мы выделили культурные объекты как наиболее чувствительные к цифровому вмешательству, но вместе с тем, наиболее интересные. Неотъемлемой частью культурного наследия, оцифровке которого мы посвятили особое внимание, является костюм.

Одежда рассматривается как объект или единичный элемент мира со своими свойствами и качествами, как предмет исследования, и нам удалось изучить основные концепты, подходы, методы исследования моды, чтобы понять, как через моду и её материальное воплощение в одежде можно что-то говорить о мире; так как одежда — артефакт, всегда часть какой-то определённой культуры, имеющая определённые способы и условия потребления, и своё значения. Помимо этого, одежда интересна для исследования как неотъемлемая часть телесности и повседневного тактильного опыта. Через неё происходит взаимодействие человека с внешним миром и наоборот.

Какими способами это можно показать в музейных (аналоговых и цифровых) пространствах мы рассмотрели на примере одного конкретного объекта — Полтавского мундира Петра Первого, который находится в Эрмитаже, поняв, какие техники и подходы в его презентации подсвечивают разные стороны костюма. Мы изучили, как разные типы цифровой представленности мундира влияют на возможности взаимодействия, увидели, какие преимущества имеет цифровая форма перед аналоговой и что из этого можно использовать в создании цифровых гуманитарных проектов.

Словами Б. Гройса можно сказать, что художник в современности показывает, как можно потреблять произведение искусства. Музей учит тому, как на произведение искусства

(или, в нашем случае, объект одежды) смотреть [1]. Цифровой гуманитарий может использовать разнообразие техник, которое предлагает разнообразие взглядов, конструирующихся каждым пользователем по-своему. При этом следует отметить, что лучшая оцифровка — не всегда оцифровка, сделанная более усовершенствованным техническим устройством. Лучшей цифровой репродукцией станет та, которая сфокусируется на какой-либо стороне объекта и расширит его смысл или представит авторскую профессиональную интерпретацию с особым вниманием к типу объекта.

Прямой целью оцифровки интерпретация становится редко. В делегировании части задачи по воспроизведению визуального образа цифровой технике всегда есть запрос на большую точность, чем при механических способах. Л. Дастон и П. Галлисон, исследуя понятие научной объективности и её отражение в визуальных научных образах, отмечают существование т.н. механической объективности, которое выражается в стремлении запечатлеть объект исследование «таким, какой он есть» через различную технику [2].

В работе мы показали, насколько разным может быть «такой, какой он есть» объекта. В истории науки, представленной через упомянутую книгу «Объективность» это понимание выражается в понятии «тренированного суждения» — научной добродетели, предполагающей учёного, профессионала, субъекта, научную самость, стоящего за техническими визуальными воспроизведении [2]. «Познающий субъект» в наше работе конструирует себя научными концепциями и теориями, применимыми к изучению моды, пониманием техники и инструментов, формируя своё «тренированное суждение», как мы показали в таблице.

Таблица. **Технология практической части исследования**

	На что смотреть	**Как смотреть**
Как на объект	На его чувственные качества и целостность восприятия; способность вступать в отношения с другими объектами	Осознавая его самостоятельность и автономность
Как на цифровой объект	Тип оцифровки, инструмент и способ оцифровки; тип файла; интерфейс; метаданные.	Понимая возможные ограничения той или иной цифровой формы
Как на объект одежды	На утилитарные свойства; на хозяина и носителя; взаимовлияние тела и одежды; тактильные и чувственные свойства	Конструируя и воссоздавая в воображении ощущения носителя на основе визуального опыта
Как на часть системы моды	На место в истории моды; символическое и коммуникативное значение; на социокультурные процессы, отражающиеся в предмете	Пытаясь вписать объект в широкие исторические и социокультурные контексты
Как на музейный предмет	Эстетическая, историческая ценность, и ценность страницы; тип музейного пространства; включённость в какой-либо музейный нарратив	С точки зрения того, как предмет вписан в музейный контекст и его отношения с другими музейными предметами

Мы особо внимательно рассмотрели один объект, аналоговый и цифровой, попытавшись реконструировать смыслы, следующие за ним из одной формы в другую. Определение одной формы как интерпретации другой даст ей ещё меньше прав, чем копии. Ведь, несмотря на признавание того, что эти самые смыслы подвижны и расширяемы, мы также признаём автономность объекта как такового, и то, что «никакая реконструкция объекта не может заместить его в космосе» [3, С. 78]. Но мы можем дать своё место в этом же космосе уже цифровому объекту.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Гройс Б. Комментарии к искусству. – М.: Художественный журнал. 2003. 174 с.
2. Дастон Л., Галисон П. Объективность. – М.: Новое литературное обозрение. 2018. 584 с.
3. Харман Г. Четвероякий объект: Метафизика вещей после Хайдеггера. – Пермь: Гиле Пресс. 2015. 152 с.

Выпускник
Ким Анастасия Абдумаликовна
Факультет технологического менеджмента и инноваций
Направление подготовки: 27.04.05 – Инноватика
e-mail: kim-anastasia@bk.ru

Научный руководитель
Павлова Елена Александровна
к.э.н.
e-mail: eapavlova@itmo.ru

УДК 338.332

CARBON BLACK DEVELOPMENT – РАЗРАБОТКА ИННОВАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ КОММЕРЦИАЛИЗАЦИИ ТВЕРДОГО УГЛЕРОДА КАК ПОБОЧНОГО ПРОДУКТА ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ БИРЮЗОВОГО ВОДОРОДА

Декарбонизационная политика стала мощным стимулом не только текущего энергоперехода, но и перехода к экономике замкнутого цикла, в которую вписывается концепция проекта Carbon Black Development.

Постепенный отказ от использования традиционных источников энергии, таких как уголь, нефть и природный газ, ставит новые вызовы, связанные с поиском новых безуглеродных видов топлива, одним из которых в ближайшее время должен стать водород. При этом водород, не являясь первичным энергоносителем требует для своего производства значительных затрат сырья и энергии, однако несмотря на это факт отсутствие при его сжигании эмиссии парниковых газов в том числе и углекислого, делает водород ключевым инструментом декарбонизационной политики многих стран. Среди российских энергетических компаний на него также возлагаются большие надежды. Запущены масштабные проекты по развитию и поддержке водородных проектов.

Среди всех существующих технологий производства водорода, пиролиз метана является наиболее перспективным.

Для поиска инновационного решения по полезному использованию сажи были приняты во внимание современные тренды, в том числе тренд на устойчивое развитие, экономику замкнутого цикла, цифровизацию процессов, бережливое производство и аддтивные технологии.

Также были изучены физико-химические свойства технического углерода, среди которых устойчивость к воздействию УФ-лучей, прочность, свойства интенсивной черной пигментации, горючесть, способность укреплять бетон, а также схожесть с кремнием.

Важным фактором при поиске решения было не только объединить несколько трендов, но и предусмотреть возможность консервирования твердого углерода в продукте не менее, чем на 25 лет, а также предусмотреть динамичное регулярное использование значительных объемов сажи.

Результаты анализа перешли в проект «Black Carbon Development», который разрабатывает технологии полезного использования значительных объемов твердого углерода, образующегося в результате производства бирюзового водорода, для снижения стоимости водорода, уменьшения негативного воздействия на окружающую среду, а также для положительного вклада в решение жилищного кризиса в регионах, а также городов пострадавших от стихийных бедствий.

Вышеперечисленным параметрам удовлетворяет производство строительных материалов на основе технического углерода, в частности для создания кровельных материалов по технологии Smart roof covering (SRC) или карбоновые крыши, а также

использование сажи для производства экструзионной пасты для сегмента высокоэтажного массового строительства с использованием аддиивных технологий (3Д принтинг).

Предложенное решение тесно связано с устойчивым развитием. В первую очередь это обусловлено климатической повесткой. Переход на водород позволит снизить выбросы парниковых газов в атмосферу и сдержать таким образом скорость глобального потепления.

Проект Carbon Black Development разрабатывает инновационные технологии для решения главного вызова, связанного с производством бирюзового водорода, путем полезного применения и коммерциализации всего потенциального объема углерода, образующегося при пиролизе метана.

Поскольку стоимость бирюзового водорода составит около 3$ за килограмм, то любая коммерциализация сажи напрямую скажется на стоимости водорода, делая его более доступным для потребителей.

Для реализации проекта был выбран строительный сектор, ввиду его динамичного и стабильного роста, а также ввиду регулярной необходимости в поставках больших объемов строительных материалов, в том числе кровельных.

Первым продуктом проекта станет карбоновая кровля Smart Roof Covering, являющаяся качественным аналогом представителя премиального класса кровельных материалов – черного сланца. По всем положительным характеристикам, таким как долговечность, устойчивость к агрессивным факторам среды, энергоэффективность, простота в укладке и обслуживанию, наш продукт соответствует сланцу. При этом будут решены главные минусы сланцевой кровли, такие как дороговизна и отсутствие возможности выбрать форму кровельных элементов.

В результате проведенной работы был проведен анализ перспектив производства бирюзового водорода, что позволяет предполагать, что в горизонте ближайших 5 лет именно эта технология займет лидирующие позиции, вытеснив паровой риформинг метана.

Также был исследован существующий рынок технического углерода и рынок кровельных материалов. Было выяснено, что потребности существующего рынка технического углерода в тысячу раз меньше потенциальных объемов производства углерода, что подтверждает необходимость поиска и разработки новых способов использования углерода, образующегося после пиролиза метана.

В ходе работы была разработана технология производства карбоновых кровельных элементов, предусматривающая шесть этапов.

Технология производства элементов карбоновой кровли предусматривает 6 этапов, два из который являются опциональными и используются в зависимости от требований заказчиков и ожидаемых характеристиках продукта.

Производство карбоновой кровли Smart Roof Covering начинается с подготовки сырья, представляющего собой несколько сухих компонентов. Технический углерод, песок и пластификатор подвергаются механической обработке, для достижения однородной смеси, которая затем смешивается с жидкими компонентами до получения гладкой массы.

Далее смесь отправляется на формовку и пресс, через который масса выдавливается согласно заданной техническим заданием форме и размеру.

После формовки заготовки передаются на сушку для затвердевания. Следующие 2 этапа глазурование и гидроизоляция проводятся в зависимости от требований к характеристикам продукта.

Заключительным этапом производства является упаковка, с последующей отгрузкой на склад.

Готовый продукт будет представлять собой плиты черного цвета разной формы и размера по заданным параметрам. Внешний вид вариативен и может быть приближен по форме к керамической черепице или черному сланцу, обладающему гладкой глянцевой поверхностью.

Коммерциализация и полезное использование сажи сделают водород если не бесплатным, то гораздо дешевле. Предложенное решение является альтернативой захоронения большого количества углерода. Поскольку анализ мирового рынка твердого

углерода указывает, что потенциальный рост спроса на сажу будет значительно ниже скорости роста отхода от производства бирюзового водорода, в случае перехода на низкоуглеродную водородную экономику.

Факторы активно развивающегося рынка кровельных материалов, развитие экономики замкнутого цикла, водородная гонка и актуальность вопроса повышения энергоэффективности материалов, дает основание полагать о перспективах развития проекта. Результаты личная встречи с экспертами водородной энергетики ООО Газпромнефть НТЦ также подтверждают высокую жизнеспособность и перспективы успешной реализации проекта.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Прокаев Н.В. и др. Классификация и анализ распределения проектов по производству водорода в мире// Фундаментальная и прикладная наука: Состояние и тенденции развития. 2021. С. 183-189.
2. Рябов Г.А. Использование технологии химических циклов для производства водорода // Альтернативная энергетика и экология (ISJAEE). 2021. №. 4–6. С. 82-92.
3. Dannenberg E.M. Bound rubber and carbon black reinforcement // Rubber chemistry and technology. 1986. Т. 59. №. 3. Pp. 512-524.
4. Fulcheri L., Schwob Y. From methane to hydrogen, carbon black and water // International journal of hydrogen energy. 1995. Т. 20. №. 3. Pp. 197-202.
5. Wimpenny D.I. et al. (ed.). Advances in 3D printing & additive manufacturing technologies. – Singapore : Springer. 2017. Т. 1. Pp. 1-184.

Выпускник
Ковалев Антон Александрович
факультет безопасности информационных технологий
Направление подготовки: 10.04.01 – Информационная безопасность
e-mail: supernaruto21@yandex.ru

Научный руководитель
Федоров Иван Романович
ассистент
e-mail: ivanfedorov@itmo.ru

УДК 004

РАЗРАБОТКА МЕТОДА ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЦЕЛОСТНОСТИ ДАННЫХ В СЕТЯХ ГРАНИЧНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИИ БЛОКЧЕЙН

С увеличением использования Интернета вещей (IoT) и цифровых технологий в различных областях, становится все более важным эффективно обрабатывать, передавать и хранить большие объемы данных. Технология граничных вычислений (edge computing) предлагает решение этой проблемы, позволяя обрабатывать данные прямо на устройствах, генерирующих эти данные, или близко к ним, вместо использования централизованных облачных систем. Это уменьшает время задержки, улучшает пропускную способность сети и делает устройства более автономными.

С учетом увеличения числа сетевых устройств и их географического разброса, сохранение целостности данных становится критически важной задачей. Особенности граничных вычислений, такие как ограниченные ресурсы устройств, низкая пропускная способность сети и высокая латентность, создают препятствия для обеспечения целостности данных. Стандартные методы, применяемые в централизованных системах, могут быть неэффективными в условиях граничных вычислений.

Блокчейн, как децентрализованная технология, основанная на криптографии, может обеспечить целостность, подлинность и неизменность данных. Использование блокчейна для сохранения целостности данных в сетях граничных вычислений может помочь защитить данные от несанкционированных изменений и внешних атак. Блокчейн предлагает децентрализованный подход к хранению данных, что уменьшает риск единой точки отказа и увеличивает устойчивость системы. Блокчейн также предлагает механизмы консенсуса, которые позволяют участникам сети договариваться о состоянии данных и обеспечивать их надежное обновление.

В представленной работе описывается подход к обеспечению целостности данных в сетях граничных вычислений с использованием технологии блокчейн. Приведен сравнительный анализ существующих методов, представлено обсуждение применимости блокчейна и детали предложенного подхода. Исследование подтверждает, что блокчейн может быть эффективно использован для этой цели, несмотря на ограничения ресурсов и сетевые ограничения, характерные для сетей граничных вычислений. В работе представлены специальные алгоритмы и методы с фокусом на выборе консенсуса, оптимизированного для работы в условиях граничных вычислений. Разработанный подход использует блокчейн-систему, основанную на алгоритме HotStuff, для обеспечения целостности данных в сетях с ограниченными ресурсами.

Авторы статьи [1] “Data Security and Privacy-Preserving in Edge Computing Paradigm: Survey and Open Issues” предлагают обзор основных существующих методов обеспечения целостности данных граничных вычислений в соответствии с таблицей 1.

Таблица 1. **Сравнение существующих методов целостности в граничных вычислениях обеспечения**

Метод	Динамическая проверка целостности	Пакетная проверка данных	Конфиденци-альность проверяемых данных	Низкая сложность вычисле-ний
Публичный аудит без нарушения приватности [2]		+	+	
Динамический публичный аудит [3]	+			
Эффективный Динамический аудит [4]	+		+	
Динамический удаленный аудит данных [5]	+			+
Облегченный аудит с сохранением конфиденциальности [6]		+	+	
Схема проверки целостности данных для мобильных облачных вычислений [7]	+			+

(+) – поддержка технологии

Как видно из исследования – существующие методы не могут в полной мере удовлетворить заданным условиям. Предложенный метод позволяет решить эту проблему.

Описание метода

Разработанный метод обеспечения целостности данных в сетях граничных вычислений представляет перспективный подход к обеспечению целостности данных в граничных вычислениях. Основной идеей является интеграция частного (permissioned или private) блокчейна и системы смарт-контрактов для контроля и проверки целостности данных. Структурная схема метода показана на Рисунке 1.

Метод основан на использовании частного блокчейна, эффективность которого была показана в исследованиях [8], [9] Использование частных блокчейнов обеспечивает безопасность, контроль данных и увеличение скорости работы. В методе предлагается использовать собственный частный блокчейн для работы в граничных сетях, и платформу Ethereum для создания контрольных точек. Так, две блокчейн-платформы обеспечивают хороший уровень безопасности и стабильности работы системы. На рисунке представлена структурная схема метода.

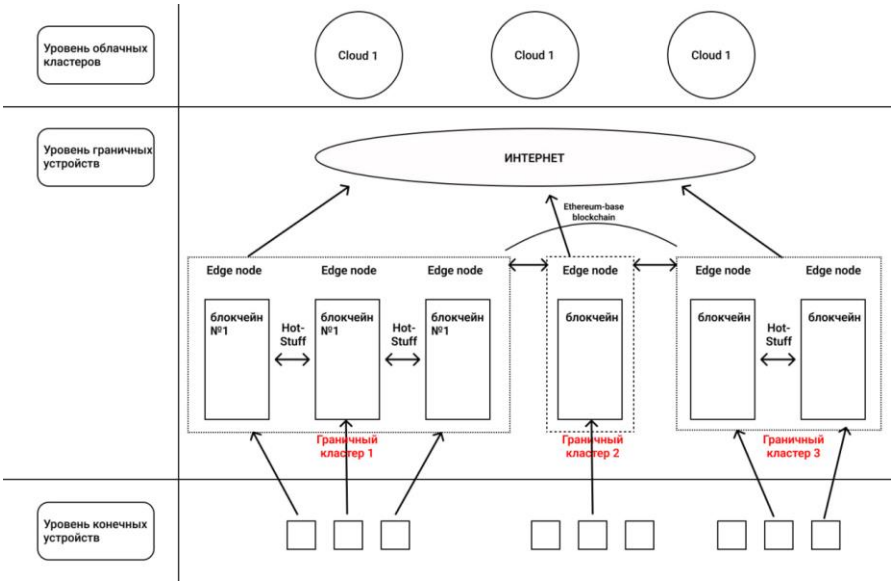


Рисунок. Структурная схема метода

Результаты

В процессе выполнения работы был создан подход, основанный на принципах граничных вычислений и применении технологии блокчейн для гарантии целостности данных. В рамках работы были изучены и проанализированы ключевые аспекты и характеристики таких технологий и концепций, как граничные вычисления, блокчейн и сохранение целостности данных.

Граничные вычисления способствуют эффективному распределению ресурсов между конечными устройствами и облачными серверами, обеспечивая эффективное и надежное взаимодействие между ними. Это особенно важно для сетей Интернета вещей и умных домов, где множество устройств генерируют и обмениваются данными.

Технология блокчейн гарантирует прозрачность, децентрализацию и сохранение целостности данных, что является критическим аспектом в контексте обеспечения безопасности и надежности таких систем. В работе были изучены разные протоколы консенсуса, включая протокол Hot Stuff, а также применение смарт-контрактов для дополнительного уровня гарантии надежности.

Сохранение целостности данных является одним из основных требований для обеспечения безопасности и надежности системы. В работе были рассмотрены разные криптографические алгоритмы и подходы для обеспечения целостности, такие как хеширование и цифровые подписи.

В процессе работы были выявлены потенциальные сложности и проблемы, которые могут возникнуть при создании и внедрении такой системы. Для успешного внедрения проекта и его адаптации к реальным условиям требуются дополнительные исследования и разработки в области граничных вычислений, технологии блокчейн, криптографии и сетевых технологий.

В общем, разработанная система может служить основой для создания новых решений в области умных домов и граничных вычислений, обеспечивая высокий уровень безопасности, прозрачности и надежности для пользователей.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Data Security and Privacy-Preserving in Edge Computing Paradigm: Survey and Open Issues. [Electronic resource]. – Access mode: https://ieeexplore.ieee.org/document/8327600 (date of access: 15.09.2022).
2. Wang C., Wang Q., Ren K., Lou W. Privacy-preserving public auditing for data storage security in cloud computing. // Proc. 29th IEEE Int. Conf. Comput. Commun. (INFOCOM), San Diego, CA, USA, Mar. 2010. Pp. 1-9.
3. Wang Q., Wang C., Ren K., Lou W., Li J. Enabling public auditability and data dynamics for storage security in cloud computing. // IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems. 2011. Vol. 22. №. 5. Pp. 847–859.
4. Yang K. and Jia X. An efficient and secure dynamic auditing protocol for data storage in cloud computing. // IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems. 2013. Vol. 24. №. 9. Pp. 1717-1726.
5. Sookhak M., Gani A., Khan M. K., Buyya R. Dynamic remote data auditing for securing big data storage in cloud computing. // Information Sciences. 2017. Vol. 380. Pp. 101-116.
6. Li J., Zhang L., Liu J.K., Qian H., Dong Z. Privacy-preserving public auditing protocol for low-performance end devices in cloud. // IEEE Transactions on Information Forensics and Security. 2016. Vol. 11. №. 11. Pp. 2572-2583.
7. Lin C., Shen Z., Chen Q., Sheldon T.F. A data integrity verification scheme in mobile cloud computing. // Journal of Network and Computer Applications. 2017. Vol. 77. Pp. 146-151.
8. Беззатеев С.В., Федоров И.Р. Технология блокчейн в сетях 5G // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2020. №. 4. С. 472-484.
9. Gangadevi K, Devi R. A survey on data integrity verification schemes using blockchain technology in Cloud Computing Environment. // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2021. №. 1110. DOI: 10.1088/1757-899X/1110/1/012011.

Выпускник
Колмакова Анастасия Владимировна
факультет технологического менеджмента и инноваций
Направление подготовки: 27.04.08 – Управление интеллектуальной собственностью
e-mail: 5kolmakova.anastasia500@mail.ru

Научный руководитель
Антипов Антон Александрович
к.ф.н., доцент
e-mail: aantipov80@itmo.ru

УДК 338.2

ПРОФИЛАКТИКА ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ КОНФЛИКТОГЕНОВ В ПРОЦЕССЕ СОЗДАНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТЬЮ СТАРТАП-ПРОЕКТОВ (НА ПРИМЕРЕ «IP БИРЖИ» УНИВЕРСИТЕТА ИТМО)

Работа выполнена в рамках темы НИР №622150 «Разработка подходов к системному проектированию интеграции вузовской науки и бизнеса (пилотное исследование)».

На современном этапе научно-технологического развития Российской Федерации одной из ключевых задач выступает создание условий для развития инновационного предпринимательства. При этом социологические исследования показывают, что предпринимательская активность населения страны является очень низкой. Об этом, в частности, свидетельствует исследование Всероссийского центра изучения общественного мнения с Высшей школой экономики, в котором были сопоставлены данные 1991, 2016 и 2020 гг.

Так, 3453 респондентам старше 16 лет из числа городского и сельского населения России был задан вопрос о готовности создать собственное дело, то есть бизнес. В 1991 г. о своей готовности открыть бизнес в положительном ключе высказались 29 % граждан; в 2016 г. – 34% граждан; в 2020 г. – лишь 14% граждан [1].

Таким образом, результаты проведенного исследования показывают отрицательную динамику предпринимательской активности населения России в аспекте готовности создания собственного бизнеса, что объясняется различными социально-экономическими причинами.

Для повышения уровня предпринимательской активности населения России от государства требуется осуществление комплекса мероприятий по развитию культуры предпринимательства на макро-, мезо- и микроуровнях структуры общества. Инструменты высшего образования в полной мере позволяют способствовать достижению поставленной цели.

Одним из таких инструментов, реализуемых в Университете ИТМО, является проект «ВКР как бизнес-проект», который позволяет стимулировать создание результатов интеллектуальной деятельности (РИД).

В большинстве случаев стартап-проекты выступают «производителями» технологических инноваций, которые планируется использовать в практической деятельности. Характерной особенностью технологических стартап-проектов является обеспечение баланса технологической и рыночной готовности инновационного продукта к выходу на массовый рынок. Вместе с тем успех стартап-проекта зависит не только от сроков и стоимости реализации проекта как инновационного продукта, но и понимания участниками стартап-проекта необходимости обеспечения правовой охраны создаваемых РИД [2].

В целях профилактики потенциальных конфликтогенов, связанных с интеллектуальной собственностью стартап-проектов, на базе университетов необходимо создавать инфраструктуру работы с инновациями при помощи таких форм поддержки инновационно-предпринимательской активности, как бизнес-инкубаторы, акселераторы, консалтингово-

консультационные агентства по типу «IP Биржи» Университета ИТМО. Суть работы таких структур заключается в различных мерах сопровождения стартап-проектов: от построения бизнес-модели до привлечения финансирования и т.д. Однако если бизнес-инкубаторы и акселераторы ориентированы в первую очередь на отлаживание бизнес-процессов стартап-проекта, то консалтингово-консультационные агентства по примеру «IP Биржи» сосредоточены на оказании патентно-правовой помощи.

Таким образом, осуществление инновационной деятельности стартап-проектами должно быть скоординировано с различными структурами поддержки инновационно-предпринимательской активности, что способствует эффективному управлению РИД стартап-проектов.

Целью выпускной квалификационной работы стала разработка рекомендаций по повышению эффективности управления интеллектуальной собственностью посредством выявления и предупреждения конфликтогенов на различных этапах реализации стартап-проектов Университета ИТМО.

Для реализации поставленной цели были решены следующие задачи:

1. Рассмотрена сущность понятия «инновация», основные функции и виды.
2. Охарактеризован процесс организации управления жизненным циклом инновации в структуре инновационного процесса.
3. Выявлены подходы в работе с портфелем инновационных проектов университета.
4. Проанализирована инфраструктура стартап-проекта в аспекте инновационной деятельности университета.
5. Рассмотрена «IP Биржа» как форма организации внутренней инновационной среды университета.
6. Охарактеризовано влияние выбора формы трансфера технологий на инновационный продукт стартап-проекта.
7. Разработан опросник и проведено анкетирование и интервьюирование по выявлению конфликтологических барьеров в ходе реализации стартап-проектов.
8. Проанализированы методы профилактики конфликтогенов, возникающих в ходе реализации стартап-проектов Университета ИТМО.
9. Предложены рекомендации по повышению эффективности управления интеллектуальной собственностью в стартап-проекте.

В аспекте повышения эффективности управления интеллектуальной собственностью стартап-проектов было выявлено 6 категорий конфликтологических барьеров, в том числе проанализированы методы их профилактики [3].

Организационно-управленческие и социально-психологические барьеры. Данная категория барьеров связана с организацией командной работы в стартап-проекте, в частности с распределением ролей в команде, выстраиванием системы мотивации участников команды, тайм-менеджментом, стратегиями поведения в конфликте. Методами профилактики организационно-управленческих и социально-психологических барьеров стали: организация тренингов по командообразованию, диагностика типов командных ролей по Р.М. Белбину и стилей управления командой по И.К. Адизесу; применение матрицы Д. Эйзенхауэра и Kanban; мотивирование в соответствии с двухфакторной теорией мотивации Ф. Герцберга; диагностика типа конфликтной личности в соответствии с тестом В.Ф. Ряховского («Диагностика конфликтности») и характера межличностных отношений по Т. Лири («Диагностика межличностных отношений»).

Технологические барьеры. Данная категория барьеров связана с оценкой уровня готовности технологии к этапу коммерциализации. Методами профилактики технологических барьеров стали: самооценка в соответствии с методикой оценки уровня готовности технологии; применение теории решения изобретательских задач Г.С. Альтшуллера.

Рыночные барьеры. Данная категория барьеров связана с проведением маркетинговых исследований в сфере изучения рынка, целевой аудитории, конкурентов и т.д. Методом профилактики рыночных барьеров стало применение методики оценки объема рынка в

соответствии с четырьмя показателями: потенциальным (PAM), общим (TAM), доступным (SAM) и реально достижимым (SOM) объемом рынка.

Барьеры в сфере интеллектуальной собственности. Данная категория барьеров связана с разработкой стартап-проектом инновационного продукта как РИД. Методом профилактики данных барьеров выступила стратегия управления интеллектуальной собственностью стартап-проекта, основанная на этапах жизненного цикла РИД, который представлен на рисунке 1.

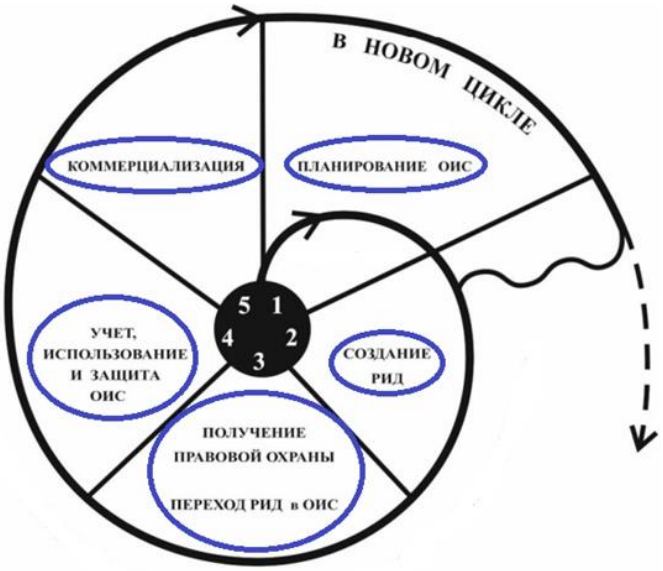


Рис. 1. Жизненный цикл РИД

1. Этап планирования РИД характеризуется сбором научно-технической, финансовой и маркетинговой информации с целью выявления свободных и технологически перспективных сегментов рынка для определения целесообразности создания патентоспособного РИД. На данном этапе стартап-проекту следует:

– проанализировать перспективы выполнения НИОКР;

– сформировать план проведения НИОКР;

– проанализировать возможности финансирования НИОКР;

– оценить возможности коммерциализации планируемых РИД.

2. Этап создания РИД предполагает верификацию факта создания РИД в результате НИОКР. На данном этапе стартап-проекту необходимо:

– провести НИОКР, а также патентные исследования;

– проанализировать результаты НИОКР;

– осуществить проверку результатов НИОКР на наличие охраноспособных и патентоспособных РИД;

– определить направления использования созданных РИД;

– определить условия распределения интеллектуальных прав.

3. Этап получения правовой охраны РИД подразумевает закрепление исключительных прав на РИД за автором РИД. На данном этапе стартап-проекту следует:

– проанализировать целесообразность получения правовой охраны созданных РИД;

– определить способы правовой охраны созданных РИД;

– ввести режим коммерческой тайны для созданных РИД;

– проанализировать процедурные особенности оформления прав на созданные РИД;

– определить способы и территорию правовой охраны созданных РИД;

– подготовить и подать заявку на получение патента или свидетельства.

4. Этап учета и использования объекта интеллектуальной собственности (ОИС) предполагает учет ОИС в реестре ОИС, а также выбор способа коммерциализации ОИС. На данном этапе стартап-проекту необходимо:

– осуществить постановку на учет ОИС в электронном реестре ОИС;

– проанализировать рынки сбыта продукции;
– произвести оценку ОИС;
– определить эффекты от коммерциализации ОИС;
– определить способы коммерциализации ОИС.

5. Этап коммерциализации ОИС подразумевает использование ОИС с помощью одного или нескольких способов коммерциализации ОИС. На данном этапе стартап-проекту следует:
– распорядиться исключительными правами на ОИС;
– мониторить продукцию конкурентов;
– оплатить пошлины за поддержание патента или свидетельства в силе;
– осуществить защиту исключительных прав на ОИС [4].

Финансовые барьеры. Данная категория барьеров связана со сложностями привлечения финансирования на инновационную деятельность стартап-проекта. Методом профилактики финансовых барьеров стала реализация различных стратегий финансирования: инструментов самофинансирования, краудфандинговых платформ, бизнес-ангелов, венчурных фондов и т.д.

Барьеры в сфере бизнеса. Данная категория барьеров связана со стратегией масштабирования бизнес-модели стартап-проекта. Методом профилактики барьеров в сфере бизнеса стало применение моделей осуществления бизнес-процесса в стартап-проекте: каскадной модели («Waterfall»), гибкой методологии разработки («Agile»), короткого поэтапного подхода («Short stage-gate»), клиентоориентированной разработки («Custdev»), «бережливого» стартапа («Lean startup») и т.д.

Методом диагностики, способствующим выявлению конфликтологических барьеров в ходе реализации стартап-проектов, выступил опросник для стартап-проектов – участников проекта «ВКР как бизнес-проект», «шапка» которого представлена на рисунке 2.

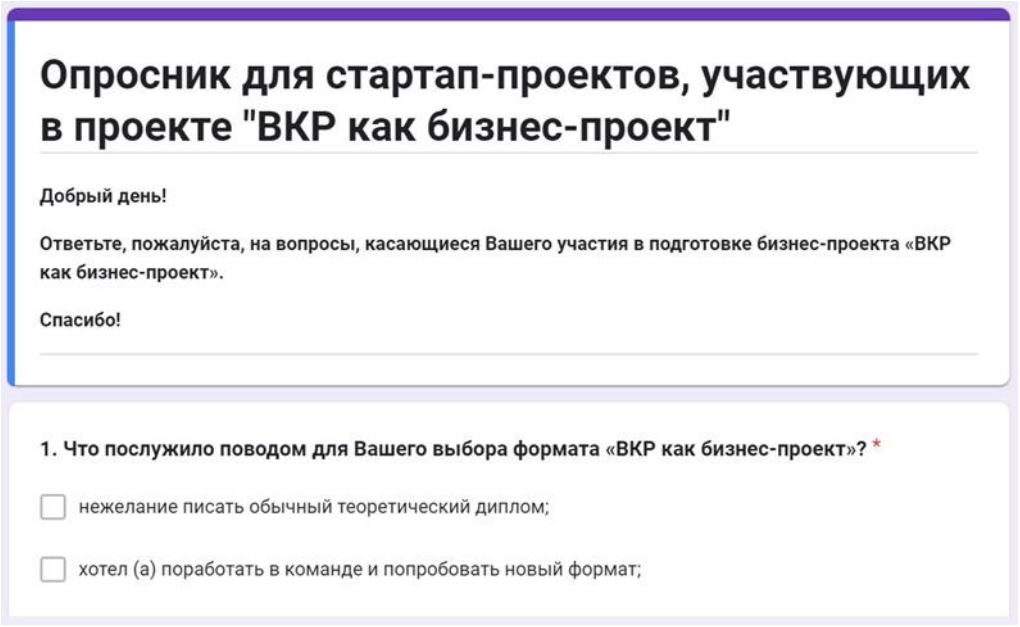


Рис. 2. Опросник для стартап-проектов формата «ВКР как бизнес-проект»

Предполагается, что разработанный опросник будет служить дополнительным инструментом в сфере экспертизы интеллектуальной собственности стартап-проекта на этапе отбора стартап-проектов в «IP Биржу» Университета ИТМО. Так, опросник включил в себя 56 вопросов, которые были распределены между собой по 6 тематическим блокам, отражающим структуру диплома как бизнес-тезиса в соответствии с блоками: «Команда», «Технология», «Рынок», «Интеллектуальная собственность», «Финансы», «Оценка бизнеса». При этом каждый из блоков опросника направлен на выявление определенного конфликтологического барьера.

Таким образом, предложенные в выпускной квалификационной работе рекомендации, основанные на выявлении конфликтологических барьеров и соответствующих методах

профилактики, способствуют повышению эффективности управления интеллектуальной собственностью стартап-проектов Университета ИТМО.

В дальнейшей работе планируется разработка методического пособия по управлению интеллектуальной собственностью стартап-проектов и его апробация в ходе ряда образовательных дисциплин Университета ИТМО.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Социодиггер: журнал / Издательство: «Всероссийский центр изучения общественного мнения». 2021. Т. 1. №. 6. С. 1-66.
2. Кошелева Ю.П. Ценность интеллектуальной собственности в инновационной деятельности стартапов // Экономические и социально-гуманитарные исследования. 2022. №. 2(34). С. 58-65.
3. Абдурахимова З.А. Классификация и роль барьеров при продвижении инноваций // Молодой ученый. 2018. №. 25(211). С. 43-45.
4. Котенева О.Е., Николаев А.С. Методы управления интеллектуальной собственностью: учебно-методическое пособие / О.Е. Котенева, А.С. Николаев. СПб.: Университет ИТМО. 2020. 119 с.

Выпускник
Кондрашов Федор Алексеевич
институт международного развития и партнерства
Направление подготовки: 45.04.04 – Интеллектуальные системы в гуманитарной сфере
e-mail: f.a.kondrashov@niuitmo.ru

Научный руководитель
Могилевич Мария Николаевна
к.ф.н.
e-mail: maria.mogilevich@itmo.ru

УДК 929.521.2

РАЗРАБОТКА ВЕБ-ИНТЕРФЕЙСА ИНТЕРАКТИВНОЙ РОДОСЛОВНОЙ ДИНАСТИИ РОМАНОВЫХ В ПЕРИОД С 1613 ПО 1796 ГОД

Работа выполнена в рамках темы НИР № 622266 «Наука и технологии для человека: проблематизация доверия через междисциплинарные и креативные практики»

Генеалогическая информация визуально может быть презентована в двух вариантах: в виде родословной таблицы или родословного древа [1]. Однако ни тот, ни другой вариант не способен полностью передать суть исторического процесса. В таком случае необходимо продумать новые способы донесения исторических данных. Поиску этих способов и их реализации в виде веб-интерфейса и посвящена данная работа.

Чтобы подтвердить ограниченность информации, передаваемой статичными родословными схемами, в работе было проанализировано 24 варианта генеалогических древ и таблиц, приведённых в сети Интернет [2]. В таблице представлен обзор этих примеров и анализ данных, которые те передают.

Таблица. **Анализ родословных древ и таблиц**

	Имя	Изображения	Годы жизни	Годы правления	Кто правил	Доп. факты	Все ли?
1	+	+	–	–	+	–	+
2	+	+	–	+	+	+	+/–
3	+	–	–	+	+/–	–	–
4	+	–	–	+	+	–	+/–
5	+	+	–	+	+/–	–	–
6	+	–	–	+	+	–	+
7	+	–	+	+	+	–	+
8	+	–	–	+	+/–	–	–
9	+	+	–	–	+/–	–	–
10	+	–	–	+	+/–	–	–
11	+	–	–	+	+/–	–	–
12	+	+	+	–	+/–	+	–
13	+	+/–	–	+	+/–	–	–
14	+	+	–	+	+/–	–	–
15	+	+	–	–	+/–	+/–	–
16	+	+	–	+	+/–	–	–
17	+	+	–	+	+/–	–	–
18	+	+/–	–	+	+	–	+/–
19	+	+/–	–	+	+	–	+/–

Продолжение таблицы 1

	Имя	Изображения	Годы жизни	Годы правления	Кто правил	Доп. факты	Все ли?
20	+	+	–	+	+	–	+/–
21	+	–	–	+	+	–	+/–
22	+	+	–	+	+/–	+/–	–
23	+	+	–	+	+	–	–
24	+	–	–	+	+	–	+
Итог	24	15/3	3	22	24/13	2 и 2	4 и 6

Анализ приведённых образцов показал, что основная информация, которую можно получить из существующих разновидностей родословных – это имена и даты жизни исторических личностей, а также то, кто из представителей династии был в какое-то время правителем страны. Однако имён, дат и списка правителей недостаточно для того, чтобы древо или таблица давали понимание исторических процессов.

Так, например, подобные родословные схемы совершенно не могут передать сути таких сложных исторических процессов, как эпоха дворцовых переворотов. Престол в этот период зачастую передавался насильственным путём, так что для понимания смысла событий важны причины и последствия передачи власти. Кроме того, нередко большое значение в истории имели личности, которые фактически не являлись правителями. Например, Великий князь Константин Павлович, который сыграл отдельную роль в событиях восстания декабристов в 1825 году. Для истории важен и возраст представителей династии: Иоанну VI Антоновичу, не было и года, когда он стал Императором, а Петру I было всего 10 лет, когда произошёл Стрелецкий бунт [3].

То есть для корректной передачи смысла исторических процессов, на родословных схемах необходимо показывать всех представителей династии, а также порядок наследования престола. Желательно показать то, каким образом этот престол передавался, что случалось с монархами после их свержения, возраст представителей династии на момент разных исторических событий, а также дополнительные исторические факты. Всё это невозможно реализовать при существующем подходе к визуализации родословных схем. А значит нужен кардинально новый подход к формированию генеалогических древ и таблиц.

В работе этот новый подход предлагается осуществить посредством введения в родословные элемента интерактивности и цифрового сторителлинга. Перед тем, как приступить к работе, были проанализированы различные примеры передачи исторического материала в цифровом формате, в которых были выделены подходящие функции:

1. «Royal Constellations» – хорошая визуализация [4].
2. «Four Hundred Years» – наглядный таймлайн [5].
3. «1917. Свободная история» – интересный сторителлинг [6].

В результате анализа статичных родословных схем, а также анализируя примеры, была разработана структура проекта. Он представляет из себя веб-интерфейс с интерактивной родословной династии Романовых. «Интерактивность» сайту придаёт то, что пользователь с помощью ползунка или кнопок может выбрать конкретный год в истории династии. В соответствии с этим меняется родословная: на ней отображаются только те люди, которые родились до выбранного года. Причём те, кто был жив на тот момент времени, визуально (степенью прозрачности) отличаются от ушедших к тому моменту представителей династии. Каждая персона имеет свою карточку, которая тоже несёт определённую информацию: имя, годы жизни представителя династии, его портрет. Динамически меняется его возраст, а для тех, кто на тот момент являлся правителем, отображена пиктограмма короны. Для передачи всей дополнительной информации (как и почему передавалась власть, что случилось с монархом после свержения и т.д.) в веб-интерфейсе сконструировано поле с исторической информацией, где события выбранного года описаны в нескольких абзацах. Для

пользователей, которые не имеют желания читать весь этот текст, эта информация сформулирована в краткий заголовок. Для удобства ориентации по схеме, на ней отдельно подсвечиваются личности, о которых идёт речь в поле с историческими фактами. Пример (скриншот) веб-интерфейса представлен ниже на рисунке 1.

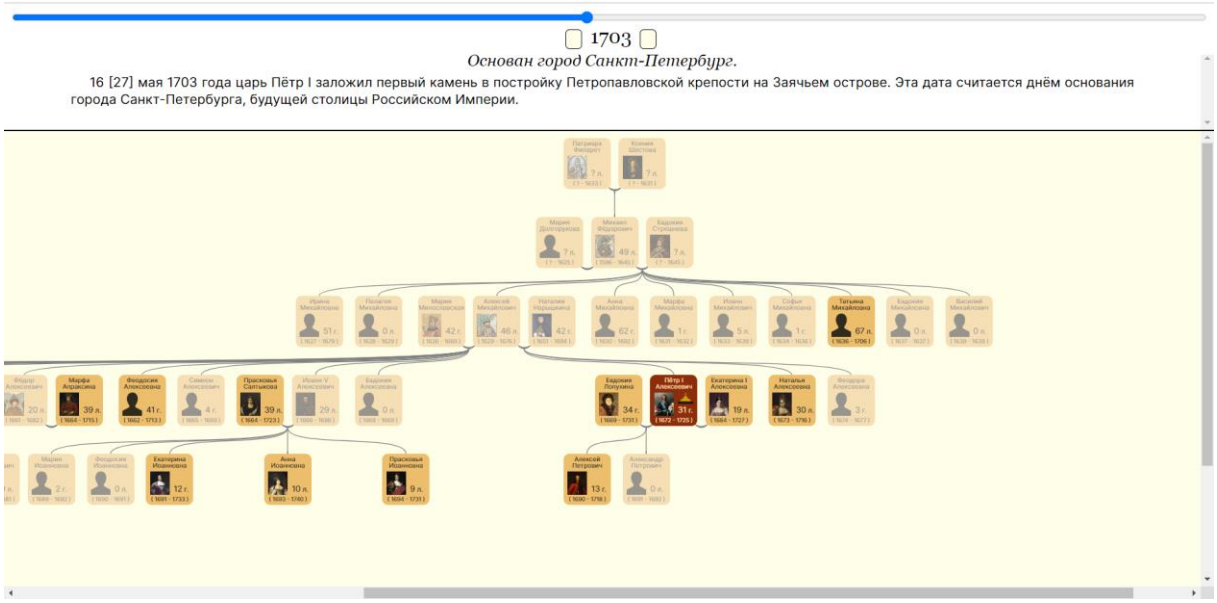


Рис. 1. Внешний вид веб-интерфейса

Для написания кода проекта была использована среда разработки *VisualStudio Code*. Веб-приложение было реализовано в *JavaScript-фреймворке React* с применением функционального подхода к программированию компонентов. Для создания интерактивности были использованы хуки *useState()* и *useEffect()*, а для построения стрелок использована библиотека *react-xarrows*. В таблице стилей *CSS* был прописан внешний вид веб-интерфейса.

Информация гуманитарного характера бралась из книги историка Е.В. Пчелова «Романовы. История Великой династии» [7]. Данные были разделены на два типа: генеалогические (для родословной схемы) и исторические (для поля с фактами). Для генеалогической информации был сформирован массив *romanovs.json*, который состоял из нескольких массивов (поколений), чьими элементами были словари (личности). Для каждого словаря были прописаны имя, годы жизни, годы правления (для монархов), даты свадеб, возраст смерти, отдельные параметры для корректного формирования стрелок. В итоге в родословной оформлено 90 личностей.

Было описано 80 годов, а также для остальных 110 лет были оформлены заголовки. Историческая информация описана в массиве *history.json*, в котором для каждого года отдельно указан заголовок, основной текст и список *id* личностей, которые должны быть подсвечены. Массивы *romanovs* и *history* были сначала описаны в виде таблиц *Excel*, а затем с помощью онлайн-сервиса преобразованы в *JSON* формат.

Так как проект имел целью облегчение понимания исторических процессов, немаловажную роль играл внешний вид проекта. Сначала в сети Интернет было собрано 55 портретов представителей династии. Для тех личностей, чьи портреты неизвестны, в карточке их персоны отображён лишь силуэт. Все эти портреты были объединены в одно изображение, по которому с помощью нескольких сервисов была подобрана цветовая палитра, которая и использовалась при разработке веб-интерфейса [8, 9, 10]. Финальное изображение и палитра к нему представлены на рисунке 2.

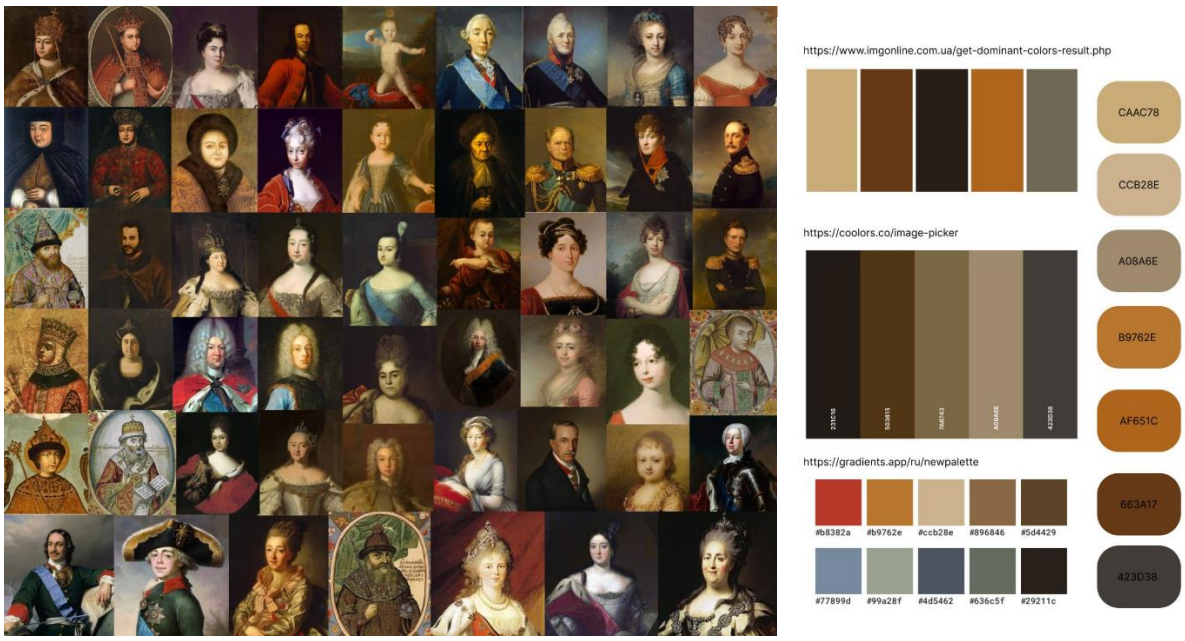


Рис. 2. Разработка цветовой схемы проекта

Шрифты также были подобраны с учётом особенностей веб-интерфейса: для того, чтобы надписи хорошо читались на карточках персоналий и текст исторической информации, был выбран шрифт Inter, а для того, чтобы год и заголовок выделялись на фоне остальных надписей, они реализованы в курсивном стиле *Georgia*.

Код проекта выложен на GitHub [11]. Веб-интерфейс опубликован в сети Интернет [12].

Реализованный проект может быть применён в образовательных целях: он может быть полезен школьникам и студентам, так как на примере веб-интерфейса преподаватель может пояснять материал. Также проект будет интересен и взрослым людям, которые просто интересуются историей.

Другим вариантом применения проекта может быть музейная сфера и культурные институции. Интерактивная родословная может послужить отличным сопровождением к экспозиции: с помощью неё можно пояснять смысл экспонатов и раскрывать их смысл. Например, исторические картины в Третьяковской Галерее, или многочисленные усадьбы Великих князей в ГМЗ «Петергоф».

У проекта есть ряд задач:

1. Дополнить родословную оставшимися Романовыми (продлить период до 1917 года или дальше).
2. Реализовать вариативную адаптивность сайта для мобильных платформ и больших экранов.
3. Проработать масштабируемость и подвижность схемы для лучшей навигации.
4. Расширить информацию о персонах, добавив их подробную биографию (например, по клику по карточке персоны).
5. Сделать ссылки на источники и прописать атрибуцию для портретов.
6. Добавить динамику в веб-интерфейс (плавность появления элементов, движущиеся стрелки и т.д.).
7. Продумать дополнительные способы визуализации информации.
8. Применить, по возможности, проект к родословным других династий.

Несмотря на то, что на будущее для проекта прописан ряд планов, уже сейчас веб-интерфейс представляет из себя законченный продукт. Все задачи, поставленные перед веб-интерфейсом, были выполнены, и таким образом была достигнута главная цель – было облегчено понимание исторических процессов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Что такое родословное древо и откуда оно взялось? [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://projectlife24.ru/news/gentech/chto-takoerodoslovnoe-drevo.html (дата обращения: 09.06.2023).
2. Сайт Федорова Евгения Евгеньевича. Династия Романовых (подробное генеалогическое древо). [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://fedoroff.net/publ/history/istoriya/dinastija_romanovykh_genealogicheskoe_drevo/90-1-0-390 (дата обращения: 24.06.2023).
3. Династия Романовых в публикациях постсоветского периода: к 400-летию Дома Романовых : библиогр. указ. / Рос. гос. б-ка, Науч.-исслед. отд. библиогр.. ; рук. проекта А.В. Теплицкая ; сост.: Т.Я. Брискман, Н.Ю. Бутина,; библиогр. ред.: А.В. Теплицкая, Н.Ю. Бутина ; подгот. текста к размещению на сайте РГБ О.В. Решетниковой. — Москва, 2013.— Режим доступа свободный. 244 с. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.rsl.ru/ru/nauka/editions/bibliography-editions/romanov-postsoviet (дата обращения: 24.05.2023).
4. Royal Constellations. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://royalconstellations.visualcinnamon.com/ (дата обращения: 24.05.2023).
5. Histography – Timeline of History. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://histography.io/ (дата обращения: 24.05.2023).
6. 1917. Свободная история. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://project1917.ru/ (дата обращения: 24.05.2023).
7. Пчелов Е.В. Романовы. История великой династии.— М.: ОЛМА-ПРЕСС, 2003. 494 с.
8. Результат обработки изображения – IMG online. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.imgonline.com.ua/get-dominant-colors-result.php (дата обращения: 31.05.2023).
9. Extract palette from image – Coolors. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://coolors.co/image-picker (дата обращения: 31.05.2023).
10. Цветовая палитра по фото для сайта. Генератор цветовых схем. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://gradients.app/ru/newpalette (дата обращения: 31.05.2023).
11. Interactive lineage of the Romanovs Royal Family. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://github.com/fak1kondrashov24/romanovs-test (дата обращения: 30.06.2023).
12. React App. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://master--romanovy-test.netlify.app/ (дата обращения: 29.06.2023).

Выпускник
Копыть Никита Михайлович
институт дизайна и урбанистики
Направление подготовки: 07.04.04 – «Градостроительство»
e-mail: nkopyt@itmo.ru

Научный руководитель
Степура Михаил Геннадьевич
к.арх.н., доцент
e-mail: spb@mlaplus.ru

УДК 712.4

РАЗРАБОТКА МЕТОДА ПЛАНИРОВАНИЯ ПОРОДНОГО СОСТАВА ЗЕЛЁНЫХ НАСАЖДЕНИЙ НА УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ С УЧЕТОМ ПОПУЛЯЦИОННОГО ВЛИЯНИЯ ИНВАЗИВНЫХ ВИДОВ РАСТИТЕЛЬНОСТИ

Работа выполнена в рамках темы НИР № 622263 «Планирование видового состава городских зеленых насаждений при помощи сетевого моделирования».

Городские зеленые насаждения Санкт-Петербурга обширны по видовому разнообразию. Путем освоения территории, человеком было индродуцированно множество видов растений, многие из которых стали инвазивными и приняли опасную тенденцию к распространению и вытеснению местных видов.

Грамотный подбор породного состава растений для озеленения территорий трудоемкий процесс, производимый в настоящее время методом ручного подбора ассортимента растений профессионалами или же обывателями, иногда сводящийся к неграмотному подбору, влекущему за собой крупные экономические затраты и потери. На предотвращение которых направленно данное исследование и разработка метода подбора породного состава древесных, кустарниковых и травянистых растений для объектов зеленых насаждений.

В рамках исследования не ведется ограничение использования метода на определенную территорию, но все первичные тесты и подобранные перечни ассортиментов растений, влекущие на первичном этапе ручную перепроверку, относятся к Северо- Западному региону РФ и Санкт-Петербургу, в частности.

Исконно природных местных видов древесно-кустарниковых растений данного региона не так много, главным фактором образования исторических биотопов служила заболоченность территории. Основными местными видами территории Санкт-Петербурга являются: береза плакучая, береза пушистая, ель обыкновенная, ива козья, ольха серая, ольха черная, сосна обыкновенная, тополь дрожащий (*betula pendula, betula pubescens, picea abies, salix caprea, alnus incana, alnus glutinosa, pinus sylvestris, populus tremula*) и другие некоторые виды семейства ивовых, которые не были завезены из стран азиатской части Евразии в период расцвета торговых путей [1, 2].

Видами, имеющими тенденцию к инвазии в условиях произрастания в Северо- Западном региона РФ (рис. 1, 2, 3) на территориях зеленых насаждений Санкт- Петербурга и Ленинградской области можно считать: астра степная, дерен белый, золотарник канадский, ива козья, карагана древовидная, клен ясенелистный, лох смешиваемый, люпин многолистный, малина душистая, облепиха крушиновидная, подсолнечник клубненосный, рейнутрия сахалинская, рейнутрия японская, рудбекия рассеченолистная, тополь белый, тополь дрожащий, шиповник морщинистый, шиповник колючейший (*aster amellus, cornus alba, solidago canadensis, salix caprea, caragana arborescens, acer negundo, elaeagnus commutate, lupinus polyphyllus, rubus odoratus, hippophae rhamnoides, helianthus tuberosus, reynoutria*

sachalinensis, reynoutria japonica, rudbeckia laciniata, populus alba, populus tremula, rosa rugosa, rosa spinosissima) [3, 5].

Рис. 1. Распространение подсолнечника клубненосного на ул. Кораблестроителей, СПб

Рис. 2. Распространение облепихи крушиновидной. Южный намыв, Санкт-Петербург

Рис. 3. Распространение лоха смешиваемого, дер. Добручи. Ленинградская область

Данные виды склоны к опасному инвазивному распространению в условиях искусственных зеленых насаждений на территории Северо-Западного региона РФ по причине агрессивного вытеснения и затмевания развития соседствующих видов растений [4, 6]. Использование приведенных видов в зеленых насаждениях крайне опасно, но возможно при условии классификации их по типу распространения и применения метода к регулирующему сдерживанию при произрастании.

В рамках исследования была обобщена классификация распространения инвазивных видов древесных, кустарниковых, травянистых растений на три стратегии распространения: надземный, наземный и подземный. Классификация на данные три стратегии указанная на рисунке 4 способствовала созданию грамотного применения метода выращивания с учетом условий распространения конкретного вида для использования инвазивных видов в условиях с нейтральной и/или негативной характеристикой совокупных признаков окружающей средой.

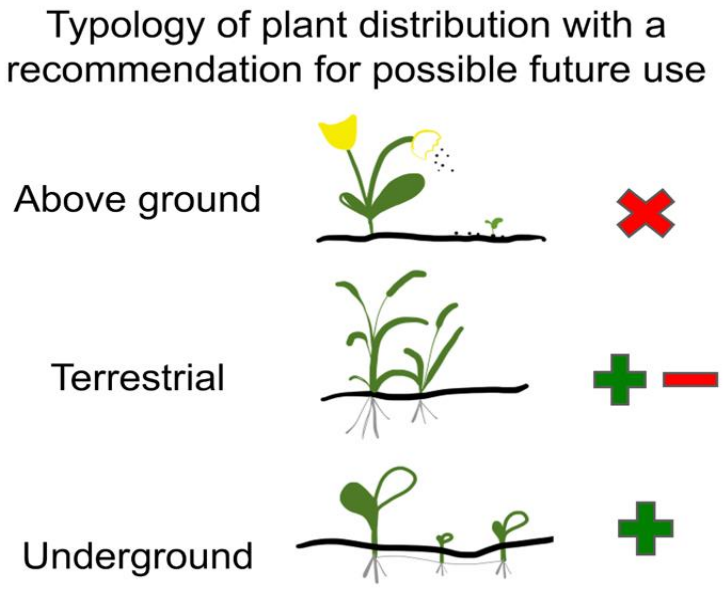


Рис. 4. Классификация распространения инвазивных видов растений

Основная концепция по разработке метода планирования породного состава зелёных насаждений на урбанизированных территориях с учетом популяционного влияния инвазивных видов растений легла на использование сетевого моделирования, что являлось на начальном этапе выборкой данных из созданного коллективом лаборатории технологий умного города Университета ИТМО обширного массива данных по характеристикам произрастания растений – База данных породного состава. Отрывок базы данных, представлен для ознакомления на рисунке 5.

	Наименование	*Латинское название*	Зона USDA											Высота	Размер кроны	Лимитирующи е факторы						Состав почвы																		Агресс-ть развития	Живучесть	Инвазивный вид	Свет			Влажность		
																						Кислотность							ородие			Разновидности почв																
			USDA1	USDA2	USDA3	USDA4	USDA5	USDA6	USDA7	USDA8	USDA9	USDA10	USDA11			к переуплотнению	зость к засолению	ст. к пересыханию	ст. к подтоплению	Газостойкость	етроустойчивость	Сильнокислые (4)	Кислые (5)	Слабокислые (6)	Нейтральные (7)	лабощелочные (8)	Щелочные (9)	ьнощелочные (10)	Плодородная	дне плодородные	Бедные почвы	Песчаная	Супесчаная	Суглинистая	Глинистая	Каменистые	Щебнистые	Тяжёлая	ю дренированная				олное освещение	Полутень	Тень	Ксерофит	Мезофит	Гигрофит
1	2	3												15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49
222	Микробиота перекрёстнопар	*Microbiota decussata Kom.*			1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	-1	-1	0	-1	0	1	1	1	1	1	1	-1	-1	0	1	-1	-1	1	-1	-1	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	-1	1	-1
223	Миндаль трехлопастной	*Louiseania triloba (Lindl.) Pachom.*					0	1	1	1	1	1	1	3	3						0				1	1	1		1				1	1								0	1				1	
224	Можжевельник виргинский	*Juniperus virginiana L.*			1	1	1	1	1	1	1	1	1	20	7	0	-1	1	-1	1	1	1	1	1	0	-1	-1	-1	1	1	0	-1	0	1	1	0	0	-1	1	-1	1	0	1	1	-1	-1	1	-1
225	Можжевельник высокий	*Juniperus excelsa M. Bieb.*		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	10	5	0	-1	1	-1	1	1	1	1	1	1	-1	-1	-1	1	1	0	-1	0	1	1	0	0	-1	1	-1	1	0	1	1	-1	-1	1	-1
226	Можжевельник горизонталь	*Juniperus horizontalis Moench*						1	1	1	1	1		0.5	1.5			0		0	1		1	1	1				0	1	0		1			1	1		1		1		1	1	0		1	
227	Можжевельник казацкий	*Juniperus sabina L.*			1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	-1	1	-1	1	1	1	1	1	0	-1	-1	-1	1	1	0	-1	0	1	1	0	0	-1	1	-1	1	0	1	1	-1	-1	1	-1
228	Можжевельник китайский	*Juniperus chinensis L.*						1	1	1	1	1		25	7	0	-1	1	-1	1	1	1	1	1	0	-1	-1	-1	1	1	0	-1	0	1	1	0	0	-1	1	-1	1	0	1	1	-1	-1	1	-1
229	Можжевельник красный	*Juniperus oxycedrus L.*								1	1	1		6	1	0	-1	1	-1	1	1	1	1	1	0	-1	-1	-1	1	1	0	-1	0	1	1	0	0	-1	1	-1	1	0	1	1	-1	-1	1	-1
230	Можжевельник обыкновенн	*Juniperus communis L.*		1	1	1	1	1	1	1	1	1		5	3	0	-1	1	-1	1	1	1	1	1	0	-1	-1	-1	1	1	0	-1	0	1	1	0	0	-1	1	-1	1	0	1	1	-1	-1	1	-1
231	Можжевельник сибирский	*Juniperus sibirica Burgsd.*	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	2	-1	-1	1	-1	1	1	1	1	1	0	-1	-1	-1	1	1	0	-1	0	1	1	0	0	-1	1	-1	1	0	1	1	-1	-1	1	-1
232	Можжевельник твёрдый	*Juniperus rigida Siebold & Zucc.*	-1	-1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	8	2	0	1	1	-1	1	1	1	1	1	1	-1	-1	-1	1	1	0	-1	0	1	1	0	1	1	1	-1	1	0	1	1	-1	-1	1	-1
233	Облепиха крушиновидная	*Hippophae rhamnoides L.*	0	0	1	1	1	1	1	1	0	-1	-1	6	3	1	0	-1	-1	0	1	-1	0	0	1	1	0	-1	1	1	0	1	1	0	-1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	-1	1	-1
234	Ольха бородатая	*Alnus barbata C.A. Mey.*	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	-1	30	10	1	1	0	1	1	1	-1	0	1	1	1	1	0	0	1	1	-1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	0	1	1	-1	-1	1	0
235	Ольха серая	*Alnus incana (L.) Moench*	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	-1	20	5	1	1	0	1	1	1	-1	0	1	1	1	1	0	0	1	1	-1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	0	1	1	-1	-1	1	1
236	Ольха чёрная	*Alnus glutinosa (L.) Gaertn.*	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	-1	25	5	-1	1	0	1	1	1	-1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	-1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	0	1	1	-1	-1	1	1
237	Орех айлантолистный	*Juglans ailanthifolia Carriere*	-1	-1	-1	0	1	1	1	1	1	1	0	20	10	-1	-1	0	-1	1	1	-1	-1	1	1	0	-1	-1	1	0	-1	-1	1	1	0	-1	-1	-1	1	-1	1	0	1	1	0	-1	1	-1
238	Орех грецкий	*Juglans regia L.*	-1	-1	-1	-1	-1	0	1	1	1	1	0	20	10	-1	-1	0	-1	0	1	-1	-1	1	1	1	1	-1	1	1	0	-1	1	1	-1	0	0	-1	1	-1	0	0	1	1	-1	-1	1	-1
239	Орех Маньчжурский	*Juglans mandshurica Maxim.*	-1	-1	-1	0	1	1	1	1	1	1	0	25	10	-1	-1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	1	-1	-1	1	0	-1	-1	1	1	0	-1	-1	-1	1	-1	1	0	1	1	0	-1	1	-1
240	Орех серый	*Juglans cinerea L.*	-1	-1	-1	0	1	1	1	1	1	1	0	30	10	-1	-1	1	-1	1	1	-1	-1	0	1	1	0	-1	1	1	0	0	1	1	-1	-1	-1	-1	1	-1	1	0	1	1	0	-1	1	-1
241	Орех чёрный	*Juglans nigra L.*	-1	-1	-1	0	1	1	1	1	1	1	0	30	10	-1	-1	0	-1	1	1	-1	-1	1	1	1	0	-1	1	1	0	0	1	1	-1	-1	-1	-1	1	-1	1	0	1	1	0	-1	1	1
242	Павловния войлочная	*Paulownia tomentosa (Thunb.) Ste*	-1	-1	-1	-1	0	1	1	1	1	1	0	20	10	-1	-1	0	0	1	1	-1	-1	0	0	0	-1	-1	1	1	0	-1	1	1	-1	-1	-1	-1	1	-1	0	0	1	-1	-1	-1	1	-1
243	Парротия персидская	*Parrotia persica (DC.) C.A. Mey.*	-1	-1	-1	-1	0	1	1	1	1	1	0	20	7	-1	-1	1	-1	1	1	-1	-1	1	1	0	-1	-1	1	1	0	1	1	-1	-1	0	0	-1	1	-1	1	0	1	0	-1	-1	1	-1
244	Персик обыкновенный	*Persica vulgaris Mill.*	-1	-1	-1	-1	0	1	1	1	1	1	1	4	2	-1	-1	0	-1	0	0	-1	-1	1	1	1	-1	-1	1	0	-1	-1	1	1	-1	-1	-1	-1	1	-1	1	0	1	-1	-1	-1	1	-1
246	Пихта бальзамическая	*Abies balsamea (L.) Mill.*	-1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	15	5	-1	-1	-1	0	0	1	0	1	1	0	-1	-1	-1	1	1	0	-1	1	0	0	-1	-1	-1	0	-1	0	0	0	1	0	-1	1	-1

Рис. 5. Фрагмент базы данных породного состава

В последствии были внесены коррективы и сейчас использование сетевого моделирование и графовых визуализации насыщены весовой подборкой критериев, что дает возможность назвать подбор растений интеллектуальным при помощи сетевой модели.

В рамках выполнения ВКР:

– структурирована классификация описательной характеристики территорий по почвенно-грунтовым условиям влияющие на подбор породного состава;
– разработана типология распространения инвазивных видов с рекомендациями по возможности использования инвазивов в озеленении;
– проведены экспериментальные посадки инвазинных видов, апробированные произрастанием в течении двух вегетативных сезонов, с двумя покосами по корень и способностью полноценного восстановления в кротчайшие сроки. Посадки не сбежали из изначальных заложенных территориальных границ, что послужило положительной оценкой для метода грамотного выращивания инвазивного вида растения;
– написаны 4 статьи на схожие темы тематике исследования в ВКР;
– проведены 5 выступлений на конференциях различного уровня, включая одно выступление на английском языке на международной конференции.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Белехов А.А. Инвазионные и потенциально инвазионные растения Санкт-Петербурга //Заметки ученого. 2021. №. 9-1. С. 47-61.
2. Фирсов Г.А., Бялт В.В. Обзор древесных экзотов, дающих самосев в г. Санкт-Петербурге (Россия) // Российский журнал биологических инвазий. 2015. №. 4/2015. С. 129-152.
3. Цвелёв Н.Н. Натурализация адвентивных и культивируемых видов сосудистых растений в Северо-Западной России // Инвазии чужеродных видов в Голарктике. Материалы российско-американского симпозиума по инвазионным видам. Борок, 27–31 августа 2001 г. Борок. 2003. С. 125-138.

4. Копыть Н.М. Планирование породного состава зеленых насаждений на урбанизированных территориях с учетом популяционного влияния инвазивных видов растений // Альманах научных работ молодых ученых Университета ИТМО. Том 1. – СПб.:Университет ИТМО. 2023. 384 с.
5. Priede A. Distribution of some invasive alien plant species in riparian habitats in Latvia // Botanica Lithuanica. 2008. Т. 14. №. 3. Pp. 137-150.
6. Pyšek P., Pergl J., Essl F., Lenzner B., Dawson W., Kreft H., Weigelt P., Winter M., Kartesz J., Nishino M., Antonova L.A., Barcelona J.F., Cabezas F.J., Cárdenas, D., Cárdenas-Toro J. Naturalized and invasive alien flora of the world: species diversity, taxonomic and phylogenetic patterns, geographic distribution and global hotspots of plant invasion // Preslia. 2017. Vol. 89/2017. Pp. 203-274.

Выпускник
Костина Елизавета Николаевна
факультет технологического менеджмента и инноваций
Направление подготовки: 27.04.02 – Управление качеством
e-mail: iamlizzart@gmail.com

Научный руководитель
Василенок Виктор Леонидович
д.э.н., профессор
e-mail: fem1421@yandex.ru

УДК 658.5

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВНЕДРЕНИЯ СИСТЕМЫ МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА В ОРГАНИЗАЦИИ

Решение задач всеобщего управления качеством оказывается первостепенным для наиболее современных отраслей науки и техники. С экономической точки зрения это можно объяснить тем, что общее повышение качества выпускаемой продукции не только снижает уровень брака на производстве, тем самым снижая издержки и увеличивая чистую прибыль, но и уменьшает количество потенциальных угроз процессу реализации продукции, а значит, повышает скорость этого процесса, то есть позволяет быстрее получить прибыль, что является основной целью производства. Но нельзя говорить о качестве продукции и не рассматривать систему менеджмента качества организации в целом, ведь от уровня эффективности работы внутренних процессов в организации во многом и зависит итоговый производимый продукт.

Актуальность данной работы обусловлена необходимостью совершенствования процесса внедрения системы менеджмента качества в организации.

Исходными данными работы являются законы, законодательные и нормативно-правовые акты Российской Федерации, стандарты: ИСО 9000-2015 [1], ИСО 9001-2015 [2], ГОСТ Р ИСО/МЭК 7810-2015 [3] (и др.), отраслевая регламентирующая документация, нормативные документы и материалы, полученные в процессе прохождения преддипломной практики в ООО «Фабрика карт».

Также для выполнения работы были изучены следующие работы Филипа Кросби (Quality is Free: The Art of Making Quality Certain), Джозефа Джурана (Juran's Quality Handbook), Эдварда Деминга (Quality, Productivity and Competitive Position), Вальтера Шухарта (Statistical method from the viewpoint of quality control) и др. Также серьезное влияние на ход исследования оказали работы отечественных авторов-современников, работавших с вопросами качества.

Практическая значимость данной выпускной квалификационной работы заключается в том, что предложенные разработки могут быть применены не только в организации, рассматриваемой в ходе преддипломной практики, но и на других предприятиях обрабатывающей промышленности, связанной с производством полиграфической продукции, близкой или аналогичной продукции, производимой ООО «Фабрика карт».

Целью данной выпускной квалификационной работы является анализ процесса внедрения системы менеджмента качества в организации и разработка процедуры, способствующей улучшению данного процесса.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- исследовать теоретические основы процесса внедрения системы менеджмента качества в организации;
- проанализировать методическое обеспечение процесса внедрения системы менеджмента качества в организации;
- разработать процедуру по улучшению процесса внедрения системы менеджмента качества в организации;

– создать инструмент контроля состояния системы менеджмента качества в организации.

Объект исследования – система менеджмента качества.

Предмет исследования – совершенствование процесса внедрения системы качества в организации.

Новизна исследования заключается в разработке процедуры по улучшению процесса внедрения системы менеджмента качества в организации и последующем создании инструмента контроля состояния системы менеджмента качества в организации.

Также в третьем параграфе третьей главы выпускной квалификационной работы приведена формула для оценки успешности процесса внедрения системы менеджмента качества в организации и выявления динамики развития данного процесса в связи с применением предложенных процедуры по улучшению процесса внедрения СМК и инструмента контроля состояния СМК в форме чек-листа.

Процедура по улучшению процесса внедрения системы менеджмента качества:

1. Выявление и снабжение требованиями всех процессов, осуществляющихся на предприятии.
2. Определение целей внедрения СМК и критериев оценки качества технологических процессов.
3. Обеспечение обучения для персонала.
4. Разработка подробной программы внедрения СМК.
5. Настройка процессов согласно требованиям стандарта.
6. Разработка нормативной документации СМК.
7. Создание отдельной службы качества.
8. Внутренний аудит.

Важным условием совершенствования системы менеджмента качества является применение квалиметрических инструментов – простые инструменты качества образуют эффективную систему методов контроля, анализа и оценки качества выпущенной продукции, которая даёт возможность минимизировать вмешательства после выпуска на рынок [4]. Такие инструменты могут быть использованы и для текущего контроля состояния системы менеджмента качества, и для подготовки организации к процедуре сертификации системы менеджмента качества. Исходя из этого к рассмотрению предлагается чек-лист (рисунок).

№	Задача	Ответственный	Дата выполнения (планируемая/фактическая)	Готовность (+/–)	Комментарии
	СМК (объект сертификации)				
1	Идентификация внутренних и внешних процессов организации, определяющих систему менеджмента качества.				
2	Проверка соответствия процессов положениям национальных стандартов.				
3	Проверка соответствия процессов внутренним техническим требованиям компании.				
	Документация				
4	Установление вида подтверждения соответствия, которому подлежит СМК (объект сертификации).				
5	Подготовка сопроводительной документации к СМК (объекту сертификации).				
6	Принятие решения о форме сертификации СМК (на бумажном носителе или в электронном виде).				
7	Выбор органа по сертификации.				
8	Формирование и подача заявки на сертификацию СМК на бумаге в органе по сертификации или в электронном виде на сайте органа по сертификации.				
9	Передача в орган по сертификации сопроводительной документации в соответствии с требованиями органа по сертификации.				

Рисунок. Чек-лист для контроля состояния СМК и подготовки организации к процедуре сертификации СМК

Данный контрольный лист может использоваться в разных компаниях вне зависимости от сферы и масштабов деятельности организации. Представленный чек-лист вмещает в себя ключевые аспекты, при постоянном контроле которых риск возникновения проблем как производственного, так и непроизводственного характера, снижается до минимума и которые необходимо учитывать при подготовке организации к процедуре сертификации системы менеджмента качества.

С целью оценки и определения результативности предлагаемой процедуры были сняты определенные показатели, по которым на сегодняшний день и можно определить изменения процесса внедрения системы менеджмента качества в указанной организации. К рассмотрению предлагается следующая формула:

$$K_{\text{увн}} = \sqrt[8]{I_1 * I_2 * I_3 * I_4 * I_5 * I_6 * I_7 * I_8},$$

где I_1 – показатель оснащенности требованиями процессов организации; I_2 – показатель снижения брака производства; I_3 – показатель квалификации работников; I_4 – показатель готовности подробной программы внедрения СМК; I_5 – показатель отлаженности процессов; I_6 – показатель готовности специального руководства (нормативная документация СМК); I_7 – показатель подготовленности службы качества; I_8 – показатель успешности прохождения периодического контроля.

Рассчитывать показатель оснащенности требованиями процессов организации показатель предлагается по формуле:

$$I_1 = \frac{p_{\text{вп}}+p_{\text{оп}}+p_{\text{пп}}}{3},$$

где $p_{\text{вп}}$– индикатор процесса взаимодействия с потребителями, $p_{\text{оп}}$– индикатор организационных процессов, $p_{\text{пп}}$– индикатор производственных процессов.

Для расчета показателя отлаженности процессов предлагается следующая формула:

$$I_5 = g_{\text{ди}} \frac{(g_{\text{фо}}+g_{\text{п}}+g_{\text{ком}}+g_{\text{отк}})}{4},$$

где $g_{\text{ди}}$ – индикатор успешности освоения должностной инструкции; $g_{\text{фо}}$– индикатор взаимодействия с финансовым отделом; $g_{\text{п}}$– индикатор взаимодействия с производством; $g_{\text{ком}}$– индикатор взаимодействия с коммерческим отделом; $g_{\text{отк}}$ – индикатор взаимодействия с отделом технического контроля.

Было принято решение оценивать все остальные показатели по трехбалльной шкале.

Максимальное значение $K_{\text{увн}} = \sqrt[8]{3 * 3 * 3 * 3 * 9 * 3 * 3 * 3}$ = $\sqrt[8]{19683}$ = 3,44.

Предлагается учитывать два знака после запятой, так как при уменьшении хотя бы одного индикатора или показателя на единицу коэффициент становится равен 3,27, а значит, изменения можно проследить при учете сотых долей.

Минимальное значение $K_{\text{увн}} = \sqrt[8]{1 * 1 * 1 * 1 * 1 * 1 * 1 * 1}$ = $\sqrt[8]{1}$ = 1.

В рассматриваемой компании перед применением процедуры по улучшению процесса внедрения СМК были сняты контрольные данные, поэтому можно рассчитать коэффициент успешности процесса внедрения системы менеджмента качества на начало взаимодействия с организацией: $K_{\text{увн}}$=1,83. Так как коэффициент выше 1 можно сделать вывод, что процесс внедрения системы менеджмента качества в рассматриваемой организации не был особо успешным до применения процедуры по улучшению данного процесса, однако, основные требования к процессу внедрения СМК были выполнены.

Коэффициент успешности процесса внедрения системы менеджмента качества в рассматриваемой организации после применения предложенной процедуры по улучшению составляет $K_{\text{увн}}$= 3,07. Значительное изменение данного коэффициента указывает на то, что предложенная процедура по улучшению данного процесса является эффективной и действительно оказывает благотворное влияние на состояние СМК организации.

Сравнение значений предложенного коэффициента на разных этапах в процессе подготовки к внедрению СМК позволит оценить, как меняется ситуация – улучшается и показатель растет или ухудшается и показатель снижается. Сопоставление величины изменения показателя с приложенными усилиями по улучшению позволит точнее планировать работу в рамках внедрения системы менеджмента качества.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. ГОСТ Р ИСО 9000-2015 «СМК. Основные положения и словарь».
2. ГОСТ Р ИСО 9001-2015 «СМК. Требования».
3. ГОСТ Р ИСО/МЭК 7810-2015 «Национальный стандарт Российской Федерации. Карты идентификационные».
4. Юраков Н.С., Левицкая К.М., Юракова Т.Г. Квалиметрическая оценка как основа показателя качества продукции // В сборнике: Фундаментальные и прикладные научные исследования: инноватика в современном мире Сборник статей по материалам международной научно-практической конференции. 2019. С. 161-166.

Выпускник
Коцелябина Софья Сергеевна
факультет экотехнологий
Направление подготовки: 18.04.02 – Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии
e-mail: kotselybinasof@gmail.com

Научный руководитель
Сергиенко Ольга Ивановна
к.т.н., доцент
e-mail: oisergienko@itmo.ru

УДК 504.4.062.2, 628.387

СНИЖЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ ОТ СИСТЕМЫ ВОДОПОДГОТОВКИ ТЭЦ НА ОСНОВЕ ПРИНЦИПОВ ЭКОЛОГИЧЕСКИ БОЛЕЕ ЧИСТОГО ПРОИЗВОДСТВА

Актуальность темы обусловлена тем, что используемые на сегодняшний день типовые системы водоподготовки на ТЭЦ основаны на морально и технически устаревших технологиях, внедренных более 50 лет назад. В результате этого процесс водоподготовки характеризуется большим расходом реагентов, большим объемом сточных вод и их высоким солесодержанием, превышающим ПДК в десятки раз. Проблема заключается в необходимости снижения объемов агрессивных и высокоминерализованных сточных вод ТЭЦ. В связи с этим целью работы является определение возможности модернизации системы водоподготовки на ТЭЦ для увеличения ресурсоэффективности и снижения экологической нагрузки от агрессивных сточных вод на основе принципов экологически более чистого производства с применением НДТ.

В работе рассматривается «Южная» ТЭЦ г. Санкт-Петербург. «Южная ТЭЦ» – предприятие энергетики Санкт-Петербурга, входящее в ПАО «ТГК-1», является самой мощной среди петербургских электростанций (установленная электрическая мощность – 1 207,0 МВт, установленная тепловая мощность – 2 353,0 Гкал/ч) [1].

Система водоподготовки на анализируемом объекте типовая и включает в себя два этапа: предочистка, состоящая из этапов реагентной очистки и механической очистки, и глубокое обессоливание. На ТЭЦ предусмотрены локальные очистные сооружения (ЛОС), на которых предусмотрено устройство двух раздельных систем канализации –промливневых стоков (ПЛК) и замазученных стоков (КЗС).

Для оценки чистого производства на предприятии «Южная» ТЭЦ г. Санкт-Петербург на основании [2] проведена оценка водопотребления и водоотведения, представленная в виде материального баланса (рис. 1).

Рис. 1. Материальный баланс по водопотреблению и водоотведению

Больший объем сточных вод образуется из воды, которая идет на собственные нужды, процесс водопотребления на внутренние процессы химического цеха приведен на рисунке 2.

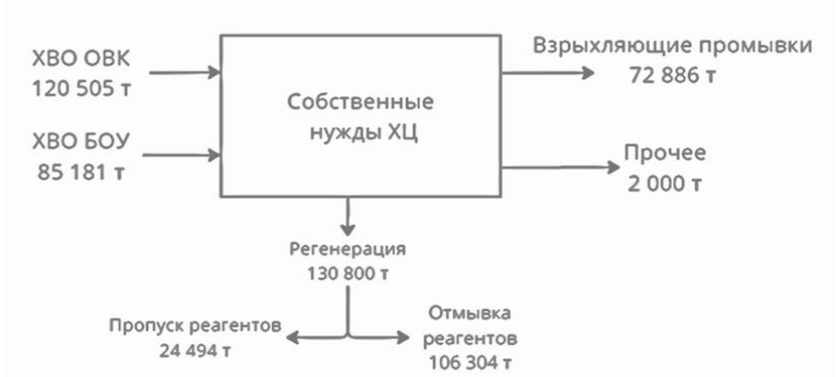


Рис. 2. Материальный баланс по водопотреблению на собственные нужды химического цеха

Согласно системе водоподготовки на ТЭЦ, образующиеся сточные воды поступают на очистные сооружения. Материальный баланс работы очистных вооружений можно представить в виде формулы (1):

$$M_{вход} = M_{ОС} + M_{шлам} = 300 + 60 = 360 \text{ м}^3/\text{час}, \quad (1)$$

где $M_{вход}$ – масса входящего потока сточных вод, $M_{ОС}$ – масса потока, проходящего через ОС; $M_{шлам}$– масса стоков поступающих на шламоотвал.

Переполнение шламоотвалов происходит в результате поступления в них стоков, не попавших на ЛОС; дальнейшая утилизация шламоотвалов не производится, что приводит к периодическим сезонным разливам. Таким образом, проблема заключается в сокращении объемов образующихся сточных вод.

В рамках экологического обследования было установлено, что характерной особенностью сточных вод системы водоподготовки является высокое содержание сульфатов (более 2000 мг/дм^3) и натрия (более 2500 мг/дм^3), при установленных нормах ПДК 500 мг/дм^3 и 200 мг/дм^3 для сульфатов и натрия, соответственно [3].

Для выбора оптимального решения существующей проблемы проведен АВС-анализ предлагаемых решений на основе внедрения НДТ, приведенных в ИТС 8-2015 «Очистка сточных вод при производстве продукции (товаров), выполнении работ и оказании услуг на крупных предприятиях» (табл. 1) [4].

Для дальнейшего анализа внедрения технологии в качестве НДТ выбраны мероприятия 2, 3, 6.

Проект предусматривает отказ от используемого метода реагентной очистки в процессе водоподготовки, т.к. недостаточно он эффективен по ряду причин:

1) дополнительная нагрузка на фильтры глубокого обессоливания из-за содержания катионов алюминия в коагулированной воде;
2) превышение норм содержания алюминия в сточных водах, отводимых от взрыхляющих промывок механических промывок;
3) дополнительные затраты на реагенты;
4) недостаточная степень очистки от органических загрязнений.

Эффективной альтернативой является НДТ В-4 Очистка сточных вод от биологически разлагаемых органических загрязнений. Использование метода аэробного окисления позволит полностью отказаться от использования сернокислого алюминия и полиакриламида в водоподготовке на ТЭЦ.

На сегодняшний день из-за неэффективной работы предочистки исходной воды происходит повышение нагрузки по вредным примесям на ионообменные фильтры. Внедрение в качестве фильтрующего материала активного оксида алюминия (ПТ-1) в механических фильтрах второй ступени позволит увеличить фильтроцикл фильтров глубокого обессоливания, что снизит количество регенераций и объем сточных вод.

Таблица 1. **Классификационный анализ НДТ**

№	Наименование мероприятия	A-B-C анализ	Правило 5R
1	Составление регламентных карт для хим. цеха по использованию очищенной воды (НДТ 1-1)	A	Reformulate
2	Использование альтернативных фильтрующих материалов – повышение эффективности очистки от анионов (ПТ-1)	B	Reduce
3	Использование электродиализа – обработка осадков и отходов водоподготовки станций промышленного водоснабжения (НДТ В-10)	B	Reorganize
4	Использование баков повторного использования воды в хим. цехе (НДТ 2-6)	B	Reuse
5	Утилизация шламоотвалов аутсорсинговыми компаниями (НДТ 4-2)	B	Reformulate
6	Замена реагентного метода очистки на биологический – очистка сточных вод от биологически разлагаемых органических загрязнений (НДТ В-4)	B	Reorganize
7	Замена ионообменных фильтров установками нанофильтрации (НДТ В-2)	C	Reorganize
8	Проектирование АСУТП (НДТ 1-4)	C	Reduce
9	Внедрение и постоянная поддержка принципов экологического менеджмента (НДТ 1-1)	A	Reformulate
10	Сокращение водозабора и образования сточных вод (НДТ 2-4)	A	Reduce

При этом использование метода электродиализа (НДТ В-10) для очистки образующихся стоков приведет к сокращению расхода регенерационных реагентов за счет их частичного извлечения из сточных вод и повторного использования. Также состав очищенных сточных вод позволяет использовать их для подпитки энергоблоков, что снижает водопотребление сырой воды и затраты на водоподготовку.

Экологическая и экономическая оценка проекта приведена в таблице 2.

Общие затраты на реализацию проекта комплексной модернизации станции водоподготовки на ТЭЦ приведены в таблице 3. Возможно и поэтапное внедрение проекта, по отдельным мероприятиям, для снижения нагрузки с инвестиционными затратами.

НДТ планируется внедрять на разных участках цеха, что делает целесообразным комплексную оценку проекта. Технологическая схема модернизированной системы водоподготовки приведена на рисунке 3.

Таблица 2. **Экономическая оценка проекта комплексной модернизации системы водоподготовки на ТЭЦ**

Вид воздействия	Текущая ситуация, т/год	Количество после внедрения, т/год			Экологические сбережения		Экономия, тыс. руб./год
		НДТ-3	ПТ 1	НДТ-2	т/год	%	
Сокращение содержания алюминия в сточных водах	0,26	0	–	–	0,26	100	750
Сокращение расхода сернокислого алюминия	42,8	0	–	–	42,8	100	1 968
Сокращение расхода полиакриламида	0,1	0	–	–	0,1	100	112
Сокращения образования сточных вод	130 800	–	117 200	23 440	107 360	82	–
Сокращение потребления свежей воды	527 663	–	–	423 023	104 640	20	4 950
Сокращение расхода щелочи на регенерацию	63,4	–	44,8	33,6	29,8	47	3 386
Сокращение расхода кислоты на регенерацию	99,4	–	73,6	55,2	44,2	44,5	4 624
Увеличение расхода аллюмината натрия	0	–	-26,5	–	-26,5	0	-1 503
Итого							**14 287**
Эксплуатационные затраты							**- 1 048**
Чистая годовая экономия							**13 239**

Таблица 3. **Общие затраты на внедрение проекта**

Наименование проекта	Инвестиционные затраты
НДТ-1: НДТ В-4 Очистка сточных вод от биологически разлагаемых органических загрязнений	5 731
ПТ 1: Очистка от свободной кремниевой кислоты активным оксидом алюминия	4938
НДТ-2: НДТ В-10 Очистка сточных вод от неорганических солей (общей минерализации)	14 475
Итого	**25 144**

Показатели рентабельности проекта рассчитаны согласно [5] и представлены в таблице 4. Проведенная технико-экономическая оценка подтверждает рентабельность проекта.

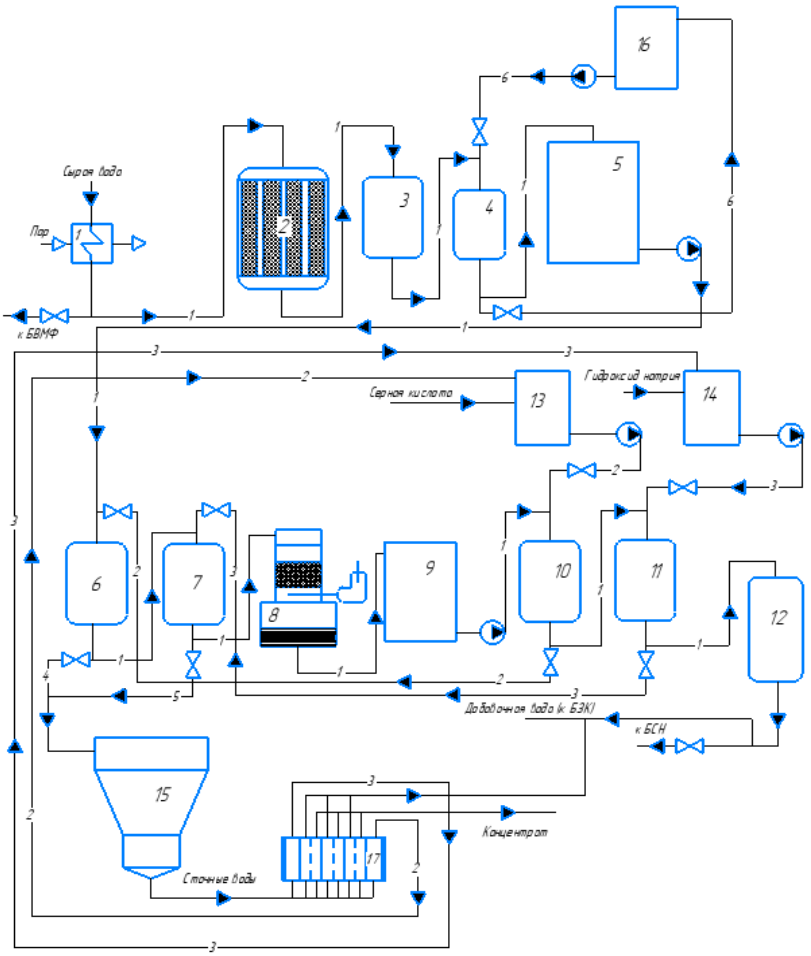


Рис. 3. Технологическая схема модернизированной системы водоподготовки на ТЭЦ
1 – пароподогреватель, 2 – биофильтр с ершовой загрузкой, 3 – механический фильтр 1 ступени, 4 – механический фильтр 2 ступени, 5 – бак осветленной воды, 6 – катионитовый фильтр 1 ступени, 7 – анионитовый фильтр 1 ступени, 8 – деаэратор, 9 – бак деаэрированной воды, 10 – катионитовый фильтр 2 ступени, 11 – анионитовый фильтр 2 ступени, 12 – фильтр смешанного действия; 13 – бак мерник кислоты; 14 – бак мерник щелочи; 15 – бак нейтрализатор; 16 – бак алюмината натрия; 17 – электродиализная установка. потоки : 1 – очищаемая вода, 2 – серная кислота , 3 – гидроксид натрия, 4 – кислотные сточные воды, 5 – щелочные сточные воды, 6 – алюминат натрия

Таблица 4. **Показатели рентабельности проекта чистого производства**

Показатель	Единица измерения	Обозначение	Значение
Общие инвестиции	тыс. руб.	I_0	25 144
Чистая годовая экономия	тыс. руб./год	B	13 239
Срок окупаемости	год	PB	1,9
Чистый дисконтированный доход	тыс. руб.	NPV	70 351
Внутренняя норма рентабельности	%	IRR	30
Индекс доходности	–	PI	2,8

Основную опасность от сточных вод ТЭЦ для окружающей среды представляет их высокое солесодержание. Источником поступающих в стоки солей является станция водоподготовки химического цеха. Внедрение проекта позволит значительно снизить негативное воздействие сточных вод и экономические затраты на водоподготовку на ТЭЦ.

В работе сформулированы актуальные проблемы систем водоподготовки на ТЭЦ. На основании анализа технологических схем производства и технических процессов, оказывающих наибольшее влияние на формирование потока агрессивных сточных вод, подобраны пути снижения негативного воздействия от стоков ТЭЦ.

Согласно методологии экологически более чистого производства проведено экологическое обследование системы водоподготовки на ТЭЦ. Разработаны предложения по внедрению наилучших доступных технологий в водоподготовке и очистке сточных вод на объектах теплоэнергетики и проведена технико-экономическая оценка проекта комплексной модернизации системы водоподготовки ТЭЦ. Предлагается использование НДТ В-4 «Очистка сточных вод от биологически разлагаемых органических загрязнений», ПТ «Очистка от свободной кремниевой кислоты активным оксидом алюминия», НДТ В-10 «Очистка сточных вод от неорганических солей (общей минерализации)». Полученные расчетные данные доказывают экологическую и экономическую эффективность проекта: снижение образования сточных вод на 82%, сокращение расхода серной кислоты и щелочи на 47% и 45%, соответственно, расхода алюмината натрия и полиакриламида на 100%, снижение водопотребления на 19,8%.

Комплексный проект модернизации системы водоподготовки является рентабельным и при общей сумме инвестиций 25 144 тыс. руб. позволит получить чистую годовую экономию 13 239 тыс. руб., чистый дисконтированный доход 70 351 тыс. руб. Проект окупается за 1,9 года и рекомендуется к внедрению на ТЭЦ-22 и других аналогичных объектах теплоэнергетики.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. ПАО «ТГК-1» : «Южная ТЭЦ». [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.tgc1.ru/production/complex/spb-branch/yuzhnaya-chpp/ (дата обращения: 09.03.2022).
2. Показатели работы ВПУ ТЭЦ-22 2022 г / И.Г. Григорьева , ПАО «ТГК-1» филиал «Невский» Южная ТЭЦ, Санкт-Петербург : ПАО «ТГК-1», 2021. 14 с.
3. Постановление Правительства РФ от 29 июля 2013 г. N 644 «Об утверждении Правил холодного водоснабжения и водоотведения и о внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации» (с изменениями и дополнениями) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://base.garant.ru/70427212/ (дата обращения: 19.01.2023).
4. ИТС 8-2015 Очистка сточных вод при производстве продукции (товаров), выполнении работ и оказании услуг на крупных предприятиях. – Москва: Стандартинформ, 2017. 129 с.
5. Наилучшие доступные технологии и организация экологически более чистого производства : учебно-методическое пособие / О.И. Сергиенко, В.А. Савоскула, А.С. Павлова. – Санкт-Петербург : университет ИТМО, 2018. 36 с.

Выпускник
Кравченко Павел Павлович
факультет технологического менеджмента и инноваций
Направление подготовки: 27.04.05 – Инноватика
e-mail: pavkrav08@rambler.ru

Научный руководитель
Бурцев Даниил Сергеевич
к.с-х.н.
e-mail: dsburtcev@itmo.ru

УДК 330.34

ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРАВЛЕНИЙ ВНЕДРЕНИЯ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ЛЕСНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Лесная промышленность в настоящее время заметно отстает от других отраслей российской экономики в плане технологического и инновационного развития, многие предприятия испытывают трудности, связанные с эксплуатацией устаревшей техники и оборудования, географическими и климатическими особенностями лесозаготовительной территории, недостатком кадров, способных внедрять современные цифровые технологии, и отсутствием инвестиций в инновационную деятельность [1]. А поскольку во всех отраслях российской экономики активно используются и разрабатываются инновационные технологии, интересен вектор внедрения цифровых технологий в лесной промышленности как способа решения некоторых проблем лесопромышленного комплекса.

С целью подтверждения актуальности исследования, рассмотрим основные проблемы лесной промышленности, которые представлены на рисунке 1, метод исследования – анализ 30 научных публикаций в тематике проблем лесопромышленного комплекса, значение проблемы на графике по оси ординат – частота упоминаний в научных статьях из вышеупомянутой выборки.

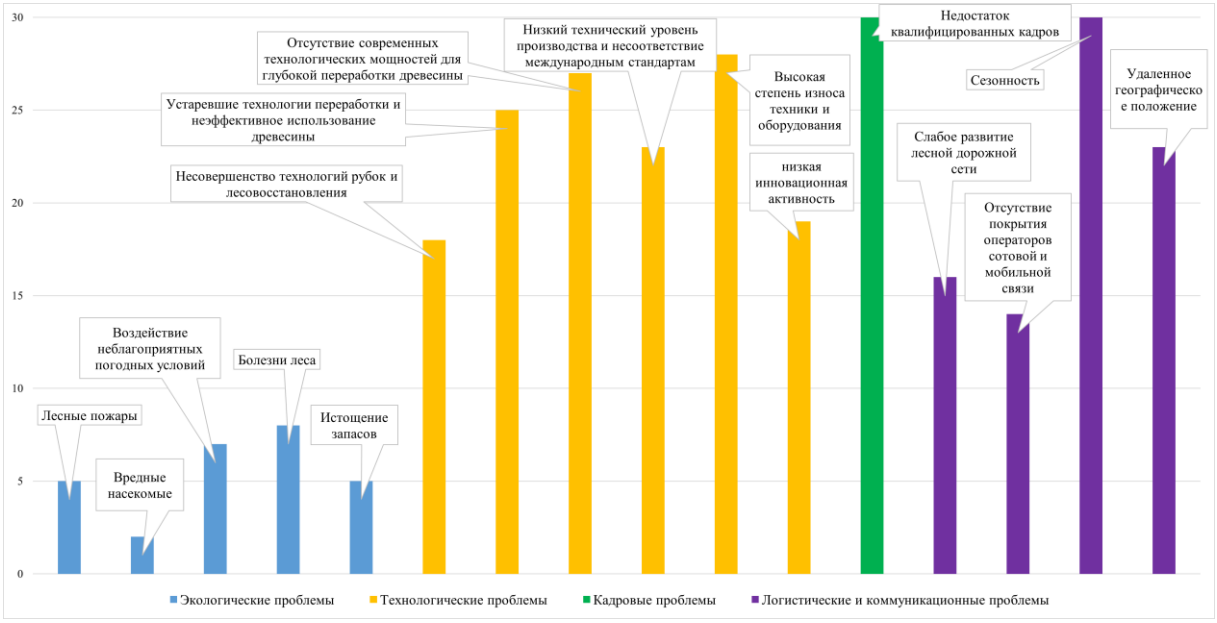


Рис. 1. Проблемы лесной промышленности

Технологические, кадровые и логистические проблемы являются наиболее востребованными в лесопромышленном комплексе согласно рисунку 1. Стоит отметить, что внедрение цифровых технологий позволит решить не только технологические проблемы, но

частично кадровые и экологические. Логистические и коммуникационные проблемы будут выступать основным препятствием к внедрению цифровых решений ввиду проблем с транспортировкой технологий к предприятиям, невозможности работы технологий без сети Интернет, а также невозможности своевременного обслуживания на удаленных территориях от городских поселений.

Определим ключевые направления внедрения цифровых технологий в лесной промышленности. На рисунке 2 приведена их классификация в рамках этапов цепочки создания ценности современного предприятия лесной промышленности [2] на основе анализа научных публикаций и изучения отчетов устойчивого развития 10 предприятий ЛПК (на основе критериев – спрос на технологию (ось Y), технологическая зрелость (ось X) по методу «TRL»).

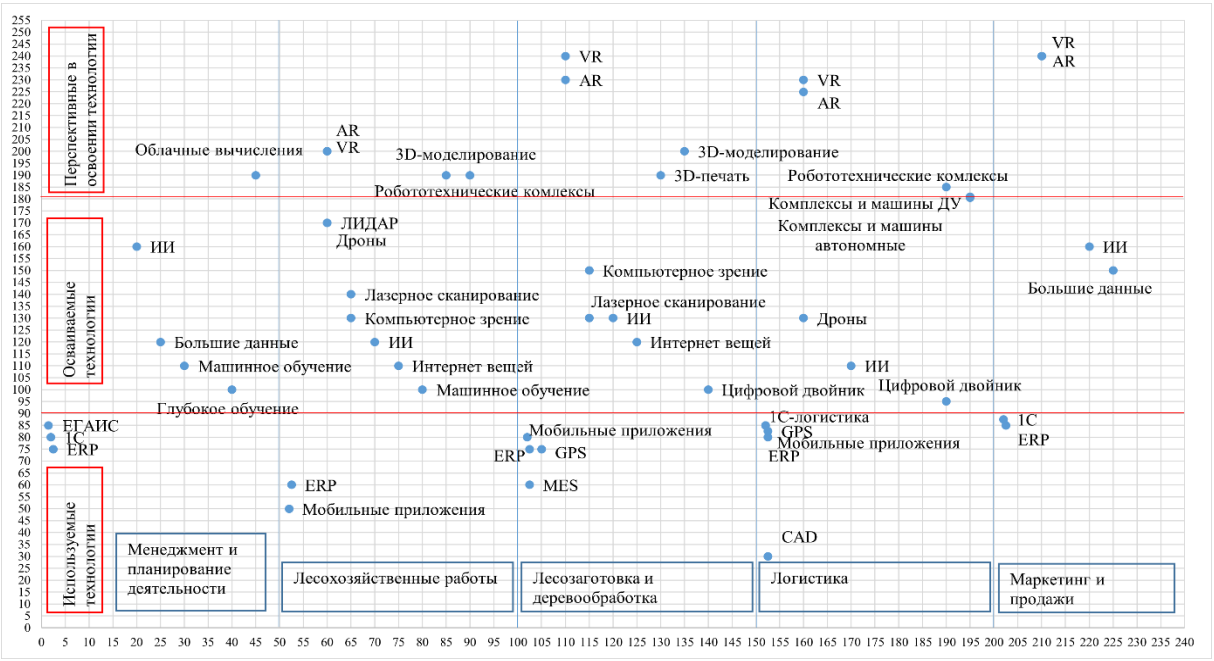


Рис. 2. Классификация цифровых технологий в лесной промышленности

Согласно рисунку 2, значительное количество цифровых технологий в лесной промышленности находятся в статусе осваиваемых и перспективных в освоении в связи с пониженным спросом на такие технологии среди малого и среднего бизнеса и их низкой технологической зрелостью в рамках применения в лесной промышленности.

Для того, чтобы развеять неопределённость и страх внедрения цифровых решений среди малого и среднего бизнеса, докажем, что цифровые технологии активно признаются и зарекомендовали себя среди крупных предприятий в лесопромышленном комплексе. Анализ подходов к внедрению цифровых технологий в лесной промышленности на основе изучения публичных отчетностей 10 крупных лесопромышленных предприятий России и стран зарубежья за 2020–2022 гг. и метода Квадрата Декарта [3] представлен на рисунке 3.

Рисунок 3 показывает, что большинство крупных игроков в лесной промышленности при внедрении цифровых технологии используют подход цифровой трансформации, активно внедряя аппаратные и программные цифровые технологии в бизнес-процессы.

Далее в работе проанализируем влияние специфики современных предприятий лесной промышленности на возможность внедрения цифровых технологий на основе экспертного опроса 10 представителей лесопромышленного комплекса (экспертные оценки выставлялись в пределах 1–4 для каждого фактора специфики), что отражено на рисунке 4.

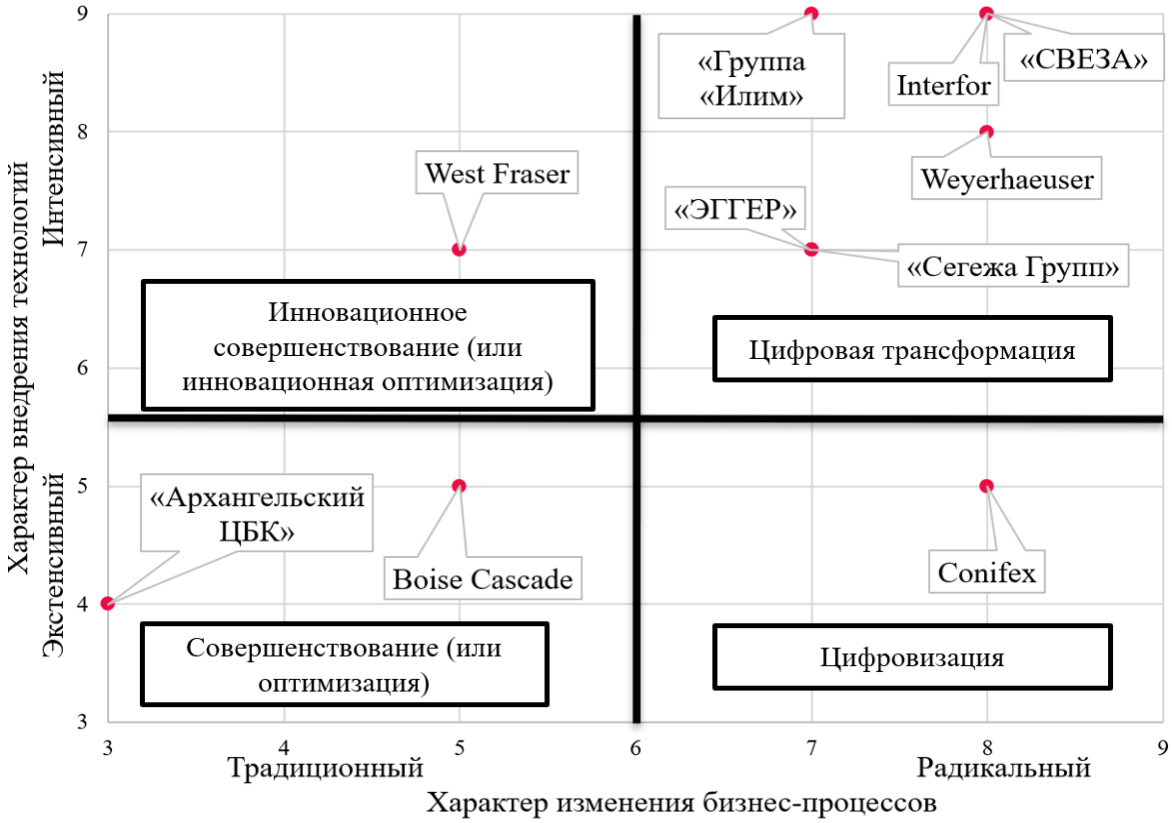


Рис. 3. Анализ подходов внедрения цифровых технологий на предприятиях лесопромышленного комплекса

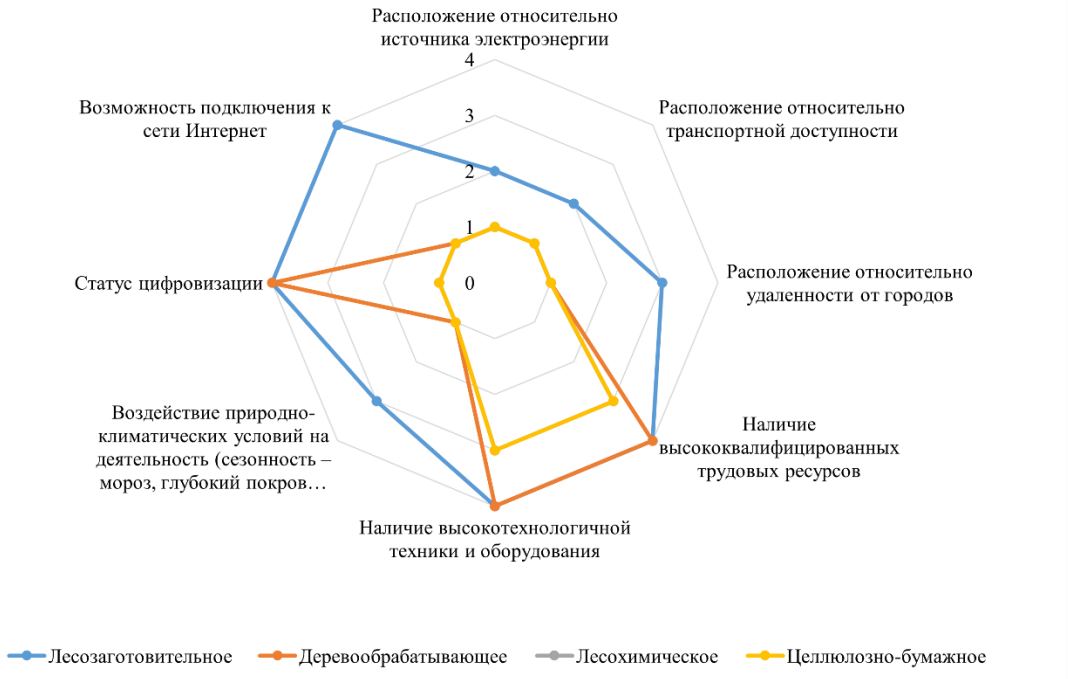


Рис. 4. Влияние факторов специфики предприятия лесной промышленности на внедрение цифровых технологий

Специфика лесозаготовительного предприятия, отраженная на рисунке 4, оказывает значительное воздействие на процесс внедрения цифровых технологий по сравнению с другими типами предприятий лесопромышленного комплекса.

С учетом требований специфики разработаем алгоритм [4] внедрения цифровых технологий на предприятиях лесной промышленности. Шаги верхних уровней алгоритма представлены на рисунке 5.

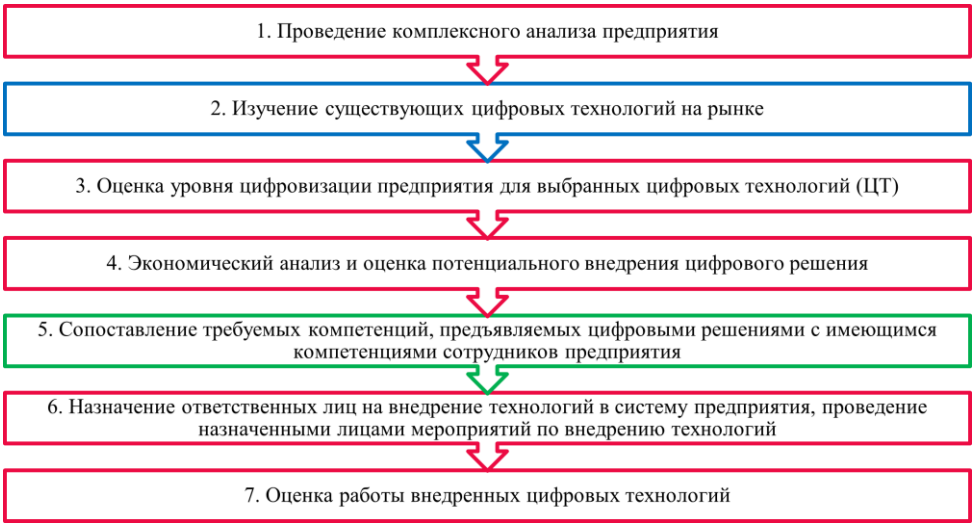


Рис. 5. Алгоритм внедрения цифровых технологий на предприятиях лесной промышленности

На рисунке 5 обратим внимание на шаги верхнего уровня 2 и 5, где в первом случае предъявляются требования к специфике предприятия, а во втором – к требуемым компетенциям сотрудников. Раскроем шаг 2 алгоритма (рис. 5) и отразим его на рисунке 6 в виде элемента блок-схемы алгоритма внедрения цифровых технологий на предприятиях лесной промышленности.

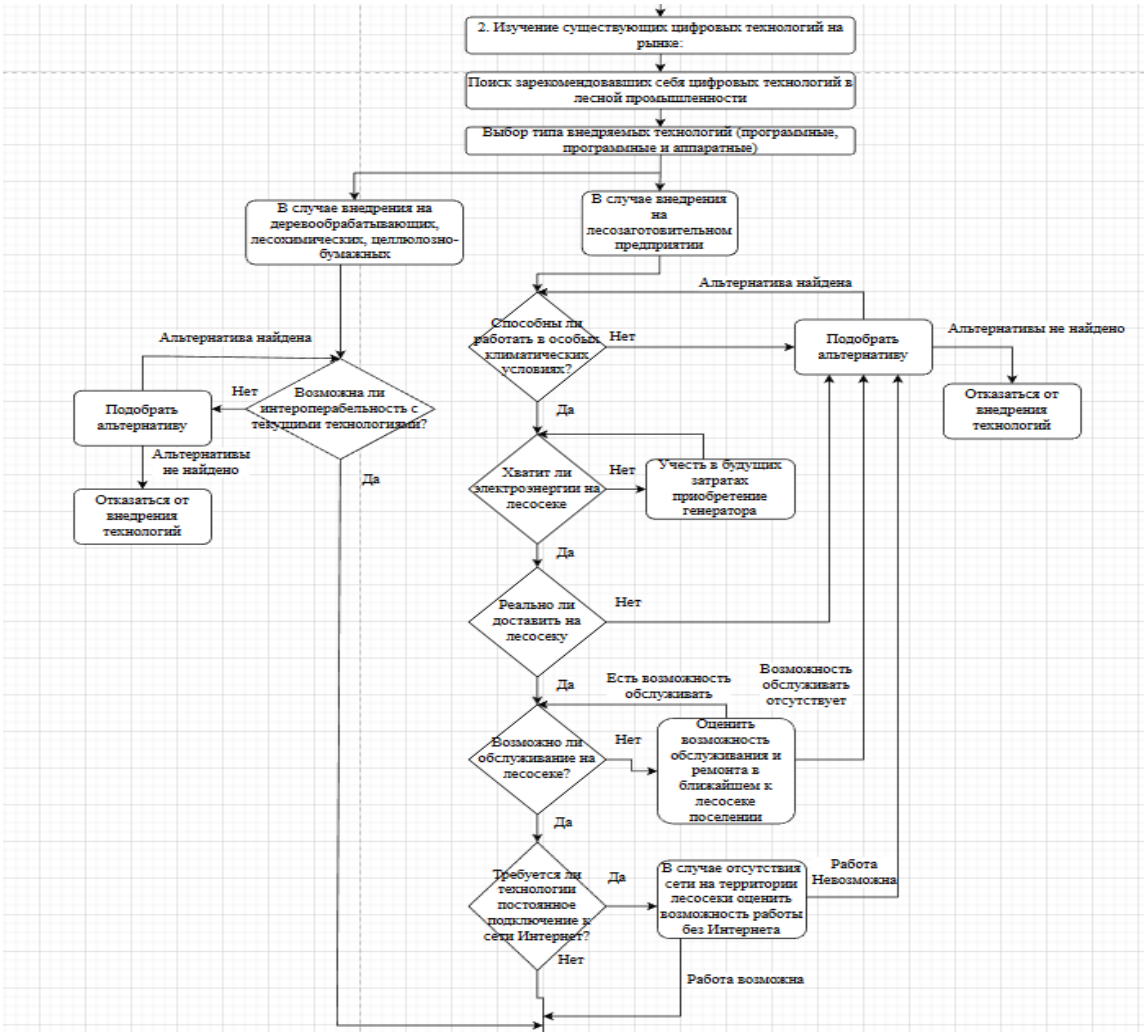


Рис. 6. Элемент блок-схемы алгоритма внедрения цифровых технологий на предприятиях лесной промышленности, отражающий специфику предприятий при внедрении цифровых решений

Рисунок 6 показывает, что при внедрении цифровых технологий на лесозаготовительных предприятиях стоит принимать во внимание такие факторы специфики как климатические условия, наличие электроэнергии, возможность доставки и обслуживания технологий, а также доступ к сети Интернет. В то же время современные деревообрабатывающие, лесохимические и целлюлозно-бумажные предприятия предъявляют требование к интероперабельности с имеющимися технологическими решениями.

На основе 5 шага алгоритма (рис. 5) определим наиболее актуальные компетенции в рамках внедрения цифровых технологий на предприятиях лесопромышленного комплекса. Результат представлен на рисунке 7, метод исследования – экспертный опрос 10 представителей лесной промышленности, в результате которого даны оценки выявленных компетенций в рамках составленной матрицы компетенций и должностей сотрудников лесопромышленного комплекса.

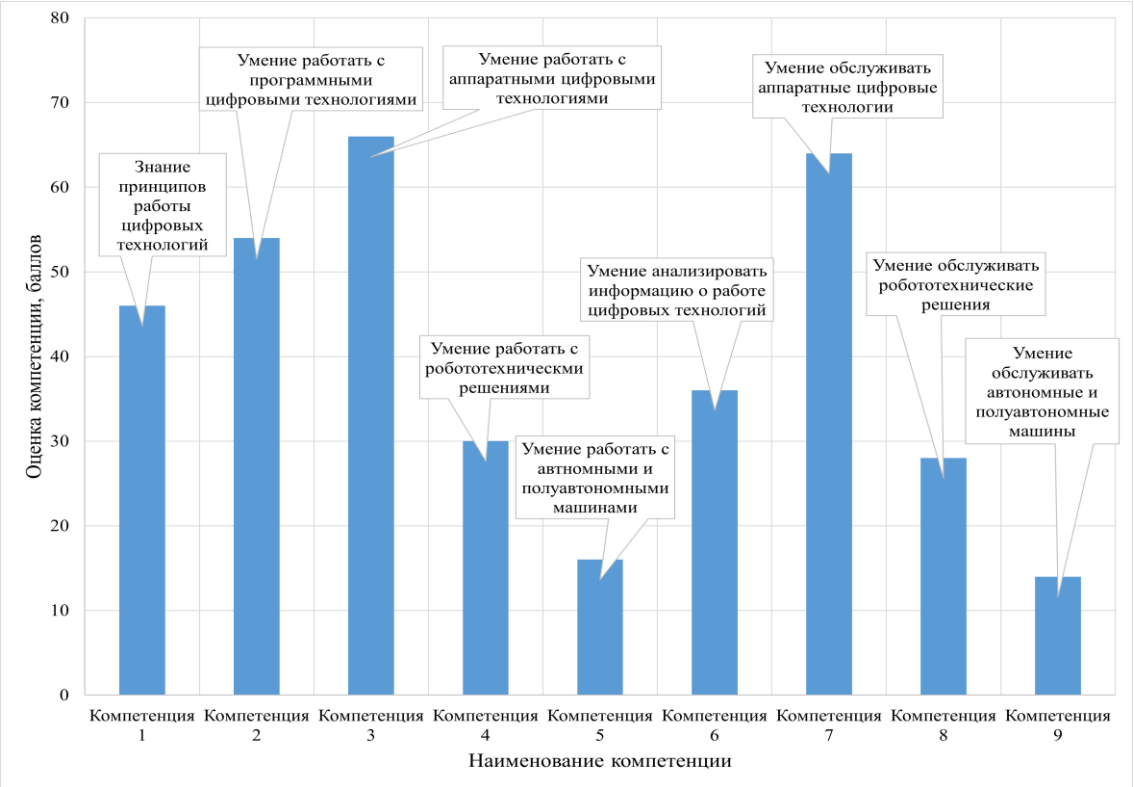


Рис. 7. Цифровые компетенции в лесной промышленности и их значимость

Согласно рисунку 7 наиболее значимыми компетенциями являются компетенция №3 – умение работать с аппаратными цифровыми технологиями, компетенция №7 – умение обслуживать аппаратные цифровые технологии и компетенция №2 – умение работать с программными цифровыми технологиями.

Таким образом, значительное число цифровых технологий в лесной промышленности находятся в статусе осваиваемых или перспективных в освоении, большинство крупных предприятий лесной промышленности Российской Федерации и зарубежных стран активно реализуют проекты цифровой трансформации, а факторы специфики оказывают наибольшее влияние на лесозаготовительные предприятия при внедрении цифровых технологий, алгоритм внедрения цифровых решений на лесозаготовительных предприятиях значительно отличается от других предприятий лесопромышленного комплекса ввиду уникальной специфики лесозаготовки, наиболее востребованными цифровыми компетенциями будут являться навыки по работе с аппаратными и программными решениями цифровых технологий.

В рамках дальнейшей разработки темы исследования необходимо учесть новые технологические решения, которые будут изобретены в будущем или те цифровые решения, которые в данном исследовании не были затронуты, но, возможно, найдут свое применение в отрасли в будущем.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Dayneko D., Dayneko A., Dayneko V. Problems and Prospects of the Forest Industry Development in Russia: a case study of Baikal region. E3S Web of Conferences. 2021. 247. 01033. DOI: 10.1051/e3sconf/202124701033.
2. Feng Y., Audy J.-F. Forestry 4.0: a framework for the forest supply chain toward Industry 4.0. Gestão & Produção, 2020. 27(4). e5677. DOI: 10.1590/0104-530X5677-20.
3. Журавлева Н.В. Метод ранжирования рисков с использованием принципов Квадрата Декарта // Современное образование: содержание, технологии, качество. 2021. Т. 1. С. 135-137.
4. Стратегия цифровой трансформации по методике Минцифры. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.info-strategy.ru/publications/digital-transformation-strategy-method-mincifra/ (дата обращения: 14.06.2023).

Выпускник
Кривко Валерий Витальевич
факультет цифровых трансформаций,
Направление подготовки: 11.04.02 – Финансовые технологии больших данных
e-mail: ad0739010258@yandex.ru

Научный руководитель
Шполянский Юрий Александрович
д.ф.-м. н., доцент
e-mail: yuri.shpolyanskiy@gmail.com

УДК 519.63

МЕТОДИКА ВЫЧИСЛИТЕЛЬНО ЭФФЕКТИВНОГО РАСЧЕТА ЦЕН ФИНАНСОВЫХ ОПЦИОНОВ

Ужесточающиеся с каждым днем требования со стороны пользователей систем алгоритмической торговли на биржах производных финансовых инструментов определяют актуальность исследований, целью которых является поиск наиболее точных и быстрых численных методов для расчёта цен финансовых опционов, в том числе методами конечных разностей, применяя которые в совокупности с соответствующими начальными и граничными условиями к специальному дифференциальному уравнению в частных производных Блэка-Шоулза (1), можно получить приближенные теоретические цены для различных видов финансовых опционов [1].

$$\frac{\partial \mathrm{V}}{\partial \mathrm{t}} + (\mathrm{r} - \mathrm{q})\mathrm{S}\frac{\partial \mathrm{V}}{\partial \mathrm{S}} + \frac{1}{2}\sigma^2\mathrm{S}^2\frac{\partial^2 \mathrm{V}}{\partial \mathrm{S}^2} - \mathrm{rV} = 0. \quad (1)$$

Методика вычислительно эффективного расчета цен опционов представляет собой набор подходов, которые позволяют проводить вычисления с минимально возможной вычислительной сложностью, сохраняя, или даже улучшая, при этом точность решения. Цель такой методики заключается в том, чтобы снизить затраты времени и ресурсов, необходимых для расчета цен опционов, при сохранении достаточно высокой точности решений.

Предлагаемая нами методика вычислительно эффективного расчета цен опционов с дивидендами и без них основывается на использовании зарекомендовавшего себя конечно-разностного метода Кранка-Николсон, который обладает абсолютной устойчивостью и имеет второй порядок точности по обеим переменным, при условии гладких начальных и граничных условий, демонстрируя при это превосходную вычислительную эффективность, а различные подходы, предполагаемые методикой, позволяют избавить метод от его недостатков, улучшив при этом качество полученного численного решения и сократив вычислительные ресурсы, требуемые для расчеты цен финансового опциона.

Проблема в том, что в финансах начальные условия задаются функциями выплаты, которые не являются гладкими для большинства финансовых опционов. Для стандартных опционов функции выплаты имеют разрыв первой производной по цене базового актива S в цене исполнения X. Для барьерных опционов появляется еще один разрыв на уровне барьера. Условия перехода выполняющиеся между интервалами непрерывности, как в случае с выплатой дивидендов или датами фиксации азиатских опционов приводят к другим видам прерывистости. Во всех этих случаях разностная схема метода Кранка-Николсон демонстрирует порядок точности меньше двух [2]. При этом наблюдаются ложные колебания рассчитанной цены опциона в зависимости от его параметров, в первую очередь цены базового актива S, из-за недостаточной L-устойчивости схемы метода Кранка-Николсон. Эти колебания могут быть слабыми по сравнению с рассчитанной ценой опциона, но они приводят к большим неточностям в очень важных на практике греческих производных, таких как дельта, гамма и других. Ложных колебаний вряд ли можно избежать: это требует очень большого числа шагов

в разностной сетке, что несовместимо с требованиями клиентов по вычислению цен на сотни или даже тысячи опционов в режиме реального времени.

Сходимость второго порядка схемы Кранка-Николсон может быть восстановлена при подходе методики, когда в начале каждого интервала непрерывности для уравнения Блэка-Шоулза (1) в частных производных первый шаг разностной схемы Кранка-Николсон по времени заменяется несколькими подшагами (так называемыми шагами Раннахера [3]) полностью неявного метода, который сильнее, чем в методе Кранка-Николсон, связывает соседние значения приближенного решения, в результате чего ложных колебаний не возникает: на рисунках 1 и 2 проиллюстрирован эффект от применения этого подхода.

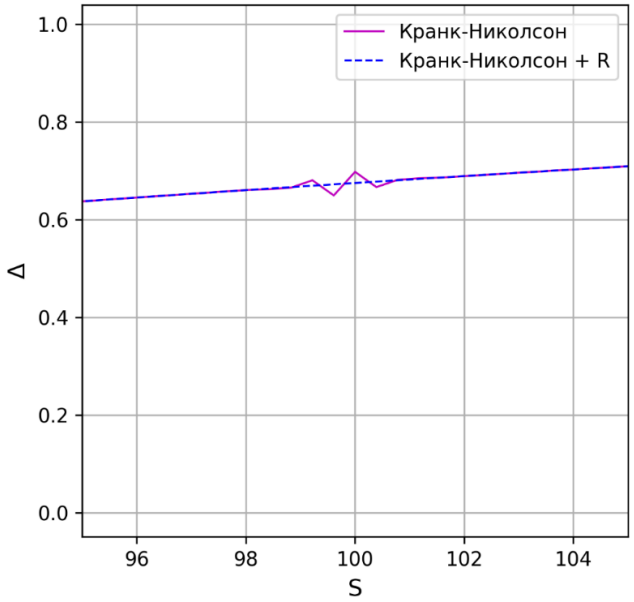


Рис. 1. Первая производная численных решений по цене базового актива (дельта) для финансового опциона без дивидендов: с использованием шагов Раннахера и без их использования

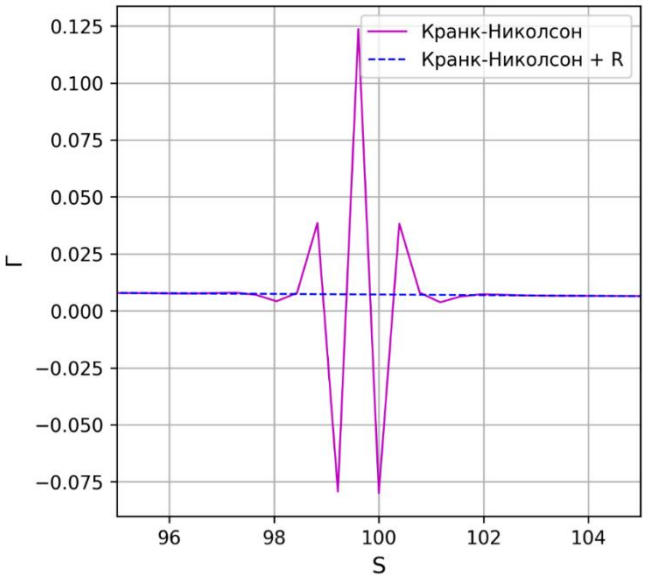


Рис. 2. Вторая производная численных решений по цене базового актива (гамма) для финансового опциона без дивидендов: с использованием шагов Раннахера и без их использования

Кривыми пурпурного цвета изображены первая (греческий коэффициент «дельта») и вторая (греческий коэффициент «гамма») производные численного решения, полученного с

помощью метода Кранка-Николсон без учета предлагаемого подхода, по переменной цены базового актива S для европейского опциона «колл» с параметрами $T = 1$, $X = 100$, $r = 0.1$, $q = 0$, $\sigma = 0.3$ без дивидендов. Кривыми синего цвета изображены те же греческие коэффициенты, но уже для численного решения полученного с помощью метода Кранка-Николсон с четырьмя подшагами полностью неявной разностной схемы, сделанными в начале интервала непрерывности. Отчетливо видно, что ложные колебания, появляющиеся в греческих коэффициентах вблизи цены исполнения опциона ($S \sim X$), действительно нейтрализуются благодаря предлагаемому подходу.

Таким образом, полностью неявная разностная схема обеспечивает сглаживание разрывов самосогласованным образом.

Другой вид самосогласованного сглаживания, который предполагает предлагаемая нами методика, – это использование, если возможно, точных аналитических решений на последнюю экс-дивидендная дату. Эти точные аналитические решения являются гладкими функциями благодаря наличию третьего члена в (1), который вводит диффузионно-подобный эффект, и обеспечивает мгновенное сглаживание в пределах временных интервалов непрерывности: точное решение уравнения Блэка-Шоулза (1) и его производные являются гладкими функциями на области, над которой вычисляются. Это очень помогает при использовании опционов европейского стиля исполнения: ложные колебания уменьшаются также значительно, как и ошибка численного решения. На рис. 3 проиллюстрирован эффект от применения этого подхода. Кривой синего цвета изображена кривая максимума абсолютной ошибки численного решения, полученного с помощью метода Кранка-Николсон в комбинации с вышеописанным подходом (расчет схемой Кранка-Николсон начинается на основе гладкого аналитического решения, с момента времени $T/2$) для европейского опциона «колл» с параметрами $T = 1$, $X = 100$, $r = 0.1$, $q = 0$, $\sigma = 0.3$ без дивидендов. Как можно заметить, точность такого численного решения существенно выше, чем у решения, полученного без учета вышеобозначенного подхода, проиллюстрированного на рисунке 3 кривой пурпурного цвета.

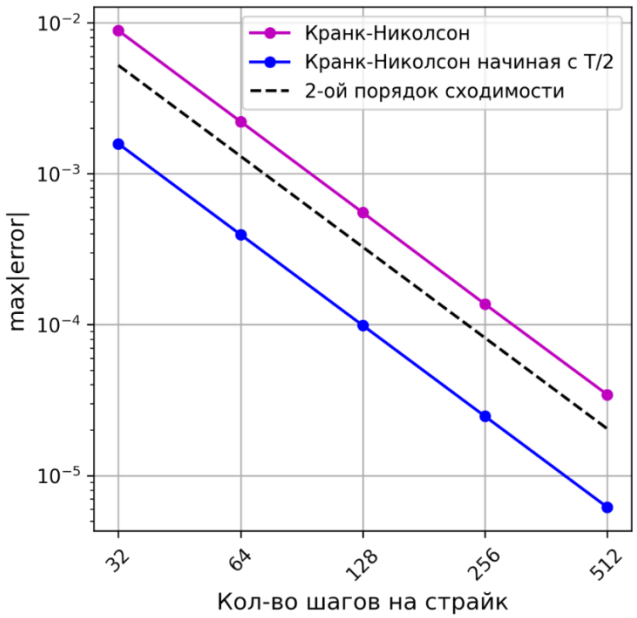


Рис. 3. Сходимость метода Кранка-Николсон по переменной цены базового актива: с использованием аналитического решения и без его использования

Кроме того, тем самым мы сокращаем область вычислений и, соответственно, самое количество вычислений. Как упоминалось выше, для простых европейских и барьерных опционов мы используем точные аналитические решения на последнюю экс-дивидендную дату, в то время как для азиатских опционов должно использоваться приближение Куррана [4].

Для американских опционов «колл» с неотрицательной процентной ставкой r и нулевой дивидендной доходностью q решение сразу после последней даты выплаты дивидендов совпадает с решением для обычных европейских опционов «колл», но в даты выплаты дивидендов появляются новые негладкие функции из-за сравнения с внутренней стоимостью в условии перехода (2).

$$V\left(S, t_i^{d-}\right) = \max\left[V\left(S - d_i(S), t_i^{d+}\right), P(S)\right] \quad (2)$$

Для американских опционов «пут» без дивидендов не существует точного аналитического решения. Таким образом, предлагаемый временной подшаг полностью неявной разностной схемы является основным инструментом, позволяющим избежать ложных колебаний для американских опционов со схемой Кранка-Николсон.

В ходе работы, среди прочего, была сформулирована методика вычислительно эффективного расчета цен финансовых опционов как с дискретными дивидендами, так и без них. Предлагаемая методика комбинирует использование метода Кранка-Николсон, полностью неявной разностной схемы и точных аналитических решений для сглаживания разрывов и минимизации ложных колебаний при расчете цен опционов с дивидендами и без, что позволяет достичь высокой точности решений при снижении вычислительных затрат, что особенно важно в условиях ужесточающихся, с каждым днем, требований со стороны пользователей к производительности и точности систем алгоритмической торговли на электронных биржах деривативов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Wilmott P. On quantitative finance. - second ed. изд. – Wiley. 2006. 1488 p.
2. Richtmyer R.D., Morton K.W. Difference methods for initial-value problems. - 2-е изд. - Krieger Pub Co. 1994. 405 p.
3. Giles M., Carter R. Convergence analysis of Crank-Nicolson and Rannacher time-marching // Journal of Computational Finance. 2006. С. 89-112.
4. Curran M. Beyond average intelligence // Risk. 1992. С. 60-63.

Выпускник
Кузьмин Артем Алексеевич
факультет цифровых трансформаций
Направление подготовки: 01.04.02 – Прикладная математика и информатика
e-mail: 337762@niuitmo.ru

Научный руководитель
Духанов Алексей Валентинович
д.т.н., доцент
e-mail: dukhanov@itmo.ru

УДК 004.04

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ОБРАБОТКИ ЕСТЕСТВЕННОГО ЯЗЫКА ДЛЯ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В МАТРИЧНОМ ДИЗАЙНЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ПРОГРАММ

Данная работа посвящена решению задач, направленных на улучшение качества проектирования образовательных программ (ОП) на базе подходов к информационному моделированию с применением технологий машинного обучения. Подход к информационному моделированию ОП состоит в представлении образовательной программы в виде специальной Х-матрицы, разработанной в Университете ИТМО. Данная Х-Матрица позволяет при проектировании ОП учесть интересы не только сторон образовательного процесса, но и потенциальных работодателей, ожидающих соответствующих выпускников [1]. Технологии машинного обучения, в том числе методы/алгоритмы обработки естественного языка (МОЕЯз), которые применены в настоящем исследовании, позволили автоматизировать анализ и заполнение элементов Х-Матрицы. Полученный метод применения МОЕЯз позволяет методистам или продюсерам быстрее проектировать ОП, попутно выявляя нестыковки между ее элементами.

В настоящий момент задачам автоматизации отдельных процессов проектирования ОП посвящено множество статей, особенно автоматизации этапа оценивания программы после её запуска. Так, например, в [2] была разработана NLP-система для решения задачи анализа тональности обратной связи студентов в отношении отдельных дисциплин и образовательной программы в целом, что позволяет автоматизировать весь процесс обработки отзывов студентов от закрытых вопросов до открытых с подробным описанием проблем. Однако данная система основана на апостериорных данных после запуска ОП, хотя таких данных может не быть в случае разработки новой программы. Наиболее часто разрабатываются методы автоматизации заполнения документов, отчётов на основе шаблонов и данных из баз, похожих на [3]. Такие методы значительно улучшают презентабельность данных, но не отражают в явной форме действия, которые должен совершить методист для улучшения ОП и не предоставляют интеллектуальную поддержку. Также активно разрабатываются методы, решающие задачу Curriculum Sequencing, как в [4], определяющих оптимальную последовательность курсов в программе с помощью эволюционных алгоритмов, что сокращает время на проектирование. При этом они явно не учитывают изменение требований рынков (в том числе рынка труда, рынка образовательных продуктов) и современные технологии для генерации оптимальной последовательности. В [5] разработан подход, оптимизирующий пары курс – компетенция и курс – преподаватель в отношении эффективности развития компетенций у студентов. Данный подход хоть и учитывает потребности работодателей в коэффициентах, но никак не учитывает влияние новейших технологий и не имеет удобной визуализации результатов.

В таблице 1 приведена краткая сравнительная характеристика указанных методов.

Таблица 1. **Сравнительная характеристика подходов к автоматизации проектирования образовательных программ**

Метод автоматизации	Помощь в принятии решений	Учёт потребностей работодате-лей	Учёт современных технологий	Присутствие оценочного модуля
NLP рекомендательные системы	+	+	-	+
Методы генерации вспомогательной документации	-	+	-	-
Методы определения оптимальной логической последовательности дисциплин	+	-	-	+
Использование преподавательских и учебных ресурсов для наилучшего развития компетенций	+	+	-	+

Таким образом, не было найдено литературных источников, позволяющих удовлетворить всем требованиям подхода, ориентированного на быструю разработку образовательных программ.

Для улучшения производительности работы методистов были поставлены задачи генерации элементов ОП. Матричный подход, представленный в [1], был выбран отчасти потому, что в рамках него образовательная программа может быть легко формализована и представлена в виде явных сущностей, анализ и генерацию которых легче автоматизировать. X-матрица представляет образовательную программу в виде следующих компонентов: требования работодателей, современные технологии, учебные мероприятия и компетенции. Кроме того, в угловых элементах X-матрица имеются подматрицы, элементами которых является степени связей между двумя сущностями, например, компетенции и образовательные мероприятий. Такие связи задаются с применением шкалы от 0 до 3, где 3 отражает вклад, в частности, учебного мероприятия в компетенцию на уровне критики и развития (высший уровень). Для удобства «нуль» не отображается, а значения 1, 2 или 3 заменяется на соответствующее число символов «X». Особенность X-матричного подхода заключается в привлечении людей из индустрии и научного сектора для разработки образовательной программы, что позволяет актуализировать знания выпускников, а также в валидации образовательной программы и простоты выявления ошибок/нестыковок проектирования.

В рамках данной работы были рассмотрены задачи автоматической генерации X-матрицы на основе готовых документов, проверка балансировки ОП на основе угловых подматриц и автоматической генерации угловых элементов с помощью NLP-системы.

Первая задача была решена с помощью разработанного предметно-ориентированного языка, чтобы и методисты из гуманитарных областей с навыками low code могли разработать свои программы. Таким образом, система анализирует входные файлы с содержимым, написанном на предметно-ориентированном языке, и преобразует их к xlsx-файлам, содержащим X-матрицу.

Проверка балансировки базируется на сопоставлении максимального числа в строке или колонке, относящейся к данной сущности. Правило заключается в том, что максимальное значение в одной подматрице должно равняться максимальному значению в другой подматрице, иначе сущность считается несбалансированной. На рисунке 1 показан пример валидации экземпляра технологического сектора матрицы.

Если, например, рассматривается балансировка технологии «Big data technologies», то нужно посчитать максимальное число крестиков в соответствующих колонках, выделенных синим цветом, двух смежных подматриц. Максимальное значение в юго-западной матрице равно двум, тогда как в северо-западной равно единице, следовательно возникает дисбаланс в отношении данной технологии.

x	xx	Conducting scientific research and performing analytical work using big data technologies and machine learning	xx
x	x	The development of requirements, terms of reference for the design and development / purchase of high-tech software	xx
Big data technologies	Distributed computing and database technologies		Able to manage analytical work
xx	x	Methodology of translational research	x
x	xx	Methods and models for multivariate data analysis	

Рис. 1. Демонстрация правила валидации технологии

Наиболее важным этапом была реализация модуля генерации угловых подматриц на основе комплексных объектов учебных дисциплин и компетенций. С точки математической точки зрения стоит задача классификации с четырьмя классами. Система должна определить, позволяет ли данный курс развить определенную компетенцию, и на каком уровне. На рисунке 2 изображен цикл обработки X-матриц для решения задачи классификации с помощью моделей машинного обучения.

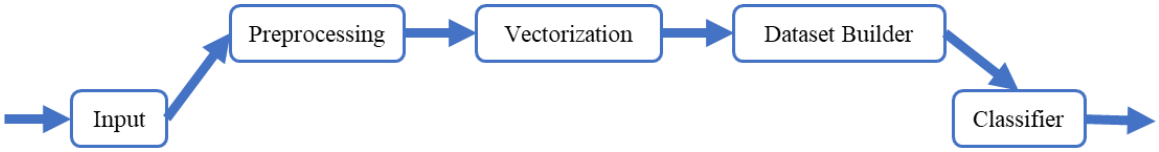


Рис. 2. Модули обработки X-матриц в NLP-системе

Сущности X-матриц в виде JSON файлов загружаются в память через Input-модуль. Затем текстовые описания сущностей подвергаются предобработке. В модуле векторизации генерируются эмбединги текстов на основе предобученных моделей word2vec и трансформеров. В Dataset Builder модуле создаётся и дополняется таблица признаков, определяющих близость курса и компетенции по некоторым текстовым полям. Для вычисления близости курса и компетенции использовалось косинусное расстояние между эмбедингами отдельных N-грам либо между усредненными эмбедингами по текстовому полю курса и компетенции. Таблица используется в качестве обучающего и тестового датасета моделей машинного обучения.

Эксперимент представлял сбор данных по X-матрицам трех образовательных программ Университета ИТМО факультета цифровых трансформаций и использование собранных данных для обучения классификаторов и генерации предсказаний уже обученных моделей. В качестве исходных данных было получено 6 X-матриц, созданных методистами Университета ИТМО, а сбор данных по дисциплинам осуществлялся на основе портала курсов Университета ИТМО. На портале доступны следующие данные по курсам: название, краткое описание, пререквизиты, компетенции, основные главы и темы, рассматриваемые в рамках курса. В итоге после сбора данных и обработки 6 X-матриц получилась таблица с 460 записями. Изначальное распределение классов получилось неравномерное: наиболее распространенные классы с двумя крестами, а наименее распространенным оказался класс с тремя крестами.

При эксперименте учитывается, что компетенции формулируются с использованием формулировок, указанных в образовательных стандартах Университета ИТМО. Такие формулировки потенциально могут снизить уровень отражения индивидуальности компетенций. В свою очередь такой эффект может привесит к ухудшению значений соответствующих метрик машинного обучения.

Для увеличения размера датасета и снижения дисбаланса классов использовались техники аугментации, а именно метод обратного перевода с другого языка для получения схожих по смыслу текстовых полей. На рисунке 3 отображено изначальное распределение меток и после аугментации данных.

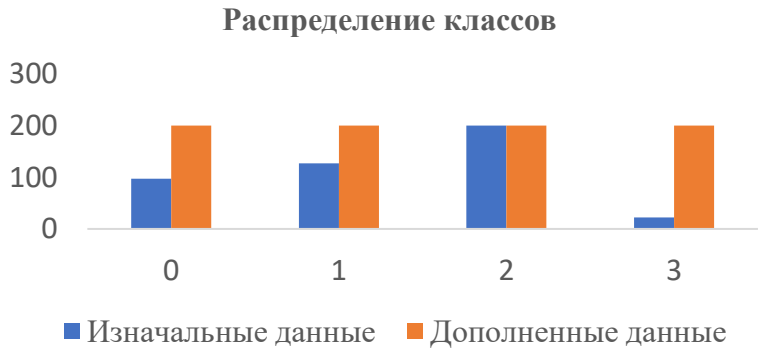


Рис. 3. Распределение классов в датасете

Полученные данные использовались для обучения различных классификаторов, не требующих больших объёмов данных для нахождения паттернов. Исходный датасет разбивали на обучающую и тестовую выборки в соотношении 70:30.

В таблице 2 представлены взвешенные метрики классификации для каждой отдельной модели на тестовой выборке.

Таблица 2. **Результаты обучения классификаторов в наилучших условиях обучения**

Модель	**Accuracy**	**Точность**	**Полнота**	**F_1**
Random Model	0.27	0.25	0.25	0.21
Logistic Regression	0.42	0.19	0.42	0.27
Support Vector Machine	0.43	0.21	0.43	0.29
Decision Tree	0.46	0.27	0.27	0.27
Random Forest	0.51	0.49	0.49	0.45
Naïve Bayes	0.50	0.51	0.51	0.48
XGBoost	0.52	0.51	0.51	0.51
CatBoost	0.52	0.48	0.49	0.49
Light GBM	0.58	0.53	0.53	0.54
GPT-3.5	0.46	0.47	0.47	0.47

Из результатов видно, что использование модели Light GBM позволяет наиболее уверенно предсказывать степень связи между дисциплинами и компетенциями. Стоит отметить, что предсказания с помощью модели GPT были получены иным образом без использования основных модулей. Модель GPT была использована в рамках исследования, чтобы определить, как данная задача может быть решена наиболее развитыми NLP моделями. Кроме того, целью исследования также было получения объяснений решений, принятых моделью, чтобы методист мог основывать своё решение на конкретных аргументах, предоставляемых Chat GPT.

Кроме того, до определения наилучшего классификатора был проведён выбор оптимальных условий обучения, которые зависят от работы некоторых модулей.

В таблице 3 представлены метрики для Light GBM в разных условиях.

Таблица 3. **Результаты оптимизации параметров для модели Light GBM**

Условия	Accuracy	Точность	Полнота	F_1
Стандартные (N=0, эмбединги: «Word2Vec», метрика близости: косинус, признаки: все)	0.44	0.38	0.38	0.39
Лучший размер N-грамм (N = 3)	0.41	0.41	0.41	0.41
Лучший набор признаков («Description», «Prerequisites», «Outcomes»)	0.46	0.46	0.46	0.47
Лучшая модель для получения эмбедингов («all-distilroberta-v1»)	0.56	0.52	0.52	0.52
Метрика близости: минимальный косинус	0.53	0.49	0.51	0.51
Метрика близости: максимальный косинус	0.51	0.51	0.51	0.51
Метрика близости: средний косинус	0.52	0.46	0.46	0.48
Оптимальные (N = 3, эмбединги: «all-distilroberta-v1», метрика близости: косинус, признаки: [«Description», «Prerequisites», «Outcomes»], аугментация данных)	0.58	0.53	0.53	0.54

Результаты показывают значимость использования эмбедингов, полученных трансформерами вместо Word2Vec. Влияние размера окна для выбора N-грамм мало, так же, как и выбор метрики близости. Также показательным стал выбор признаков для обучения моделей. Лучше всего модель делала предсказания на основе краткого описания, пререквизитов и компетенций курса, минуя темы и название. Некоторый прирост в метриках дала аугментация данных.

Модель Light GBM была протестирована на сгенерированной X-матрице для проверки качества классификатора. Результаты проверены методистами. Заключение методистов заключается в том, что модели улавливают паттерны для некоторых курсов, иногда выставленные значения можно оспорить, но случаются и очевидные промахи.

Также была протестирована модель Chat GPT на сгенерированной X-матрице. В качестве запроса был использован следующий ввод:

"How much the following course {file} is connected to a competence '{outcome}'?", "How much they are connected if 0 means 'not connected', 1 means 'course allows mastering the competence at the basic level', 2 means 'course allows mastering a competence at the practical level" and 3 means "course allows mastering competence at deep level"? Why do you think so?', "Give the result in the form 'number : explanation'"

Объяснения модели строятся на связях компетенций, тем и пререквизитов курсов. Chat GPT помечает, какие именно поля могут вносить значимый вклад в развитие той или иной компетенции, но связи остаются неявными. Результаты предсказаний для того же образца X-матрицы были проверены методистами. Было выявлено частое завышение результатов, но аргументация в отношении вклада отдельных полей показалась убедительной.

В ходе работы был разработан прототип системы поддержки принятия решений для помощи методистам в проектировании и оценивании образовательных программ. Эксперимент показал, что даже несмотря на недостатки в данных, некоторые модели смогли на макроуровне выявлять некоторые паттерны в объектах дисциплин и компетенций, позволяющих разделить классы. Предсказания, полученные моделью Chat GPT, дали также понять, что необходимо большее количество данных, как в отношении количество записей, так и в отношении детального рассмотрения каждого учебного мероприятия.

В дальнейшей работе планируется сбор данных для улучшения качества модели, а также применения её для генерации остальных матричных элементов. Также планируется рассмотрение не попарных взаимодействий, а цельных циклов для более глубокого анализа образовательных программ.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Dukhanov A., Lutsenko A., Klimova A., Kraev S. A Systemically Synergistic Approach to the Design of Integrative Advanced Training Courses in the Field of Cross-Cutting Technologies // 2021 IEEE Frontiers in Education Conference (FIE). 2021. Pp. 1-9. DOI: 10.1109/FIE49875.2021.9637425.
2. Dorça F.A., Araújo R.D., de Carvalho V.C., Resende D.T., Cattelan R.G. An automatic and dynamic approach for personalized recommendation of learning objects considering students learning styles: An experimental analysis // Informatics in Education. Vol. 15. №. 3. Pp. 45-62. 2016. DOI: 10.15388/infedu.2016.03.
3. Zhurakhovska L. Automation of the compliance matrix «Discipline – Competence» (by example of the educational masters program «Financial Intermediation») // Technology audit and production reserves. vol. 4. №. 4(60). Pp. 15–18. Jul. 2021. DOI: 10.15587/2706-5448.2021.237758.
4. Shmelev V., Karpova M., Dukhanov A. An Approach of Learning Path Sequencing Based on Revised Bloom's Taxonomy and Domain Ontologies with the Use of Genetic Algorithms // Procedia Computer Science, Elsevier B.V. 2015. Pp. 711-719. DOI: 10.1016/j.procs.2015.11.081.
5. Zykina A.V et al. Technical University 11 Mira Av // Omsk. Vol. 14. №. 4. 2018. DOI: 10.25559/SITITO.14.201804.931-937.

Выпускник
Кулебакина Юлия Юрьевна
факультет технологического менеджмента и инноваций
Направление подготовки: 27.04.02 – Управление качеством
e-mail: juliakulebakina99@mail.ru

Научный руководитель
Василенок Виктор Леонидович
профессор, д.э.н.
e-mail: fem1421@yandex.ru

УДК 658.5

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕДУРЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫМИ РИСКАМИ В МЕНЕДЖМЕНТЕ КАЧЕСТВА ТРУДА И ОХРАНЫ ЗДОРОВЬЯ

Для оценки уровня психосоциального риска необходима разработка интегрального показателя, который будет объединять несколько факторов или переменных в единый показатель, отражающий их общий или уровень. Интегральный показатель уровня психосоциального риска отражает общую степень влияния психологических и социальных факторов, способных негативно повлиять на здоровье и благополучие человека, а также позволяющий произвести анализ и оценку рисков, которые может вызвать опасность и разработать мероприятия по влиянию на опасность и/или профилактические меры по поддержанию и/или восстановлению эмоционального состояния персонала.

Интегральный показатель уровня риска необходим для анализа психосоциальной среды в подразделении и разработке мероприятий восстановлению и/или поддержанию баланса здоровья сотрудников [1, 2] и имеет следующий вид:

$$y_{по} = \Sigma о * (C_T + В_{зэ}), \quad (1)$$

где $y_{по}$ – это уровень психосоциальной опасности; $\Sigma о$ – количество опасностей, возникающих в подразделении; C_T – степень влияния потенциальных рисков на сотрудника; П – вероятность проявления негативных эмоций. Для определения числового значения таких показателей как C_T и $В_{зэ}$ используется таблица 1.

Таким образом, интегральный показатель уровня психосоциальных рисков будет отображать три уровня психосоциальной среды в подразделении:

1) критическая ситуация, где $y_{по} \leq 90$. В данном случае необходимо устранить от 30% до 50% возникающих опасностей в подразделении, а также разработка профилактических мероприятий для снижения влияния остальных опасностей на эмоциональное состояние работников;
2) умеренная ситуация, где $31 \leq y_{по} \leq 75$. В данном случае необходимо устранить до 30% возникающих опасностей в подразделении;
3) незначительная ситуация, где $1 \leq y_{по} \leq 30$. Такая характеристика психосоциальной среды не несете нагрузки на эмоциональное состояние сотрудников подразделения, но необходимо проводить периодическое наблюдение за эмоциональным состоянием персонала в подразделении при помощи анонимных опросов.

Интегральная оценка психосоциального риска отражает численную оценку уровня рисков и опасностей, существующих в подразделении. Данный метод оценки позволяют достаточно точно оценить психосоциальную среду в организации и эмоциональное состояние сотрудников, тем самым разработать меры реагирования на эти риски, а также, при необходимости, меры профилактики. Такой подход к оценке позволяет существенно повлиять на эмоциональное состояние сотрудников подразделения и предотвратить развитие психосоматических

заболеваний, связанных с длительным проявлением негативных эмоций и переживаний на рабочем месте.

Таблица 1. **Шкала определения показателей для определения уровня психосоциального риска**

Показатель	Характеристика	Весовой коэффициент
Степень влияния потенциальных рисков на другие процессы, выполняемые сотрудником		
Сильная	Риски имеют сильное влияние на состояние сотрудника в такой степени, что ему трудно выполнять свои основные должностные обязанности, а также риски могут поспособствовать совершению ошибок и последующему получению травмы	5
Средняя	Риски имеют умеренное влияние на состояние сотрудника в такой степени, что ему нелегко выполнять свои основные должностные обязанности, при этом влияние рисков может поспособствовать совершению ошибок и последующему получению травм	3
Слабая	Риски имеют слабое влияние на состояние сотрудника, и он может без труда выполнять свои должностные обязанности, включая дополнительные задачи, при этом не подвергаясь возможности совершать ошибки	1
Вероятность проявления негативных эмоций		
Сильная	Влияние рисков приведет к проявлению негативных эмоций на рабочем месте	5
Средняя	Влияние рисков потенциально может привести к проявлению негативных эмоций на рабочем месте	2
Слабая	Влияние рисков никак не сказывается на проявлении негативных эмоций среди персонала	1

На основе использования интегрального показателя оценки психосоциальных рисков и особенностей данной классификации рисков разработана процедура управления данными рисками, представленная на рисунке в виде блок-схемы.

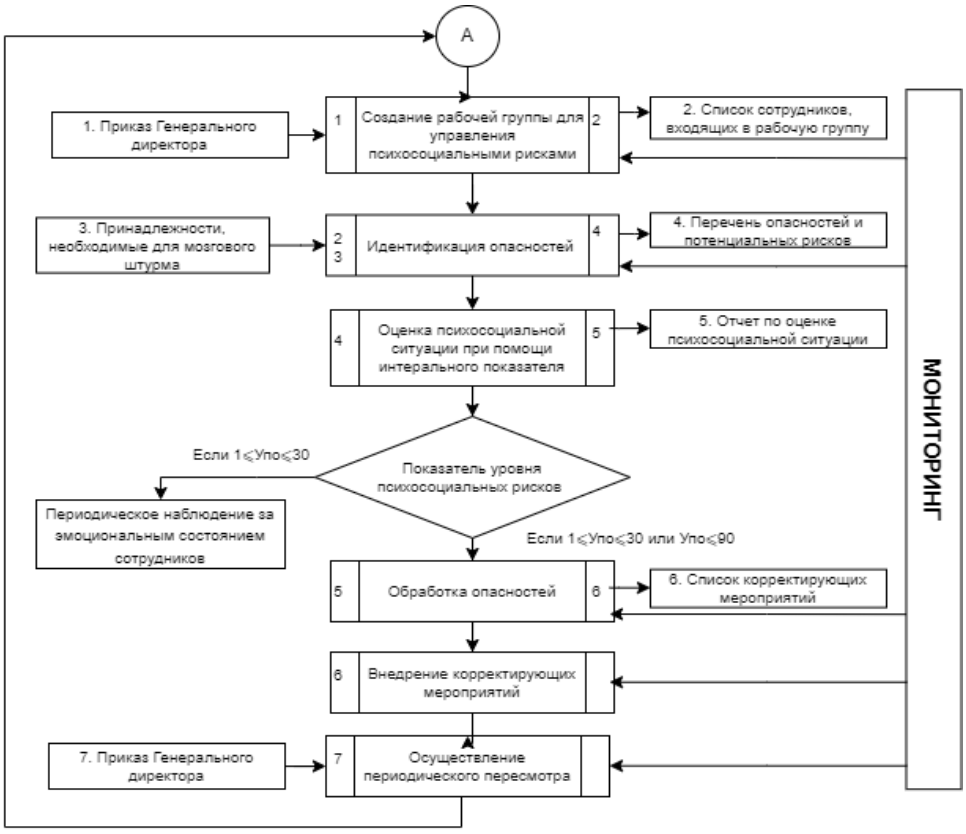


Рисунок. Блок-схема процедуры управления психосоциальными рисками

Первым этапом управления психосоциальными рисками является идентификация опасностей и их потенциальных рисков. На данном этапе рабочая группа при помощи мозгового штурма определяет какие опасности могут возникнуть в подразделениях и какие риски они могут вызвать. Рекомендуется использовать доску и стикеры для коллективной генерации идей. С помощью этого метода группа может сгенерировать большое количество идей за короткий период времени, причем все участники могут внести свой вклад в этот процесс. Кроме того, такой метод ускоряет процесс принятия решений и помогает избежать возможных конфликтов между членами группы.

Для определения потенциальных опасностей в процессе идентификации рекомендуется использовать таблицу 2, поскольку она содержит в себе все существующие на сегодняшний день психосоциальные опасности и их характеристику.

Таблица 2. **Опасности, возникающие при психосоциальном факторе, и их характеристика**

Психосоциальная опасность	Характеристика опасности
Тип работы	Выполнение монотонной работы и действий, которые не соответствует должностным обязанностям; длительное выполнений работы, которое не способствует профессиональному развитию; отсутствие информированности о задачах, о способах их выполнения; трудовая деятельность включает в себя постоянное взаимодействие с людьми
Повышенная интенсивность работы	Повышенное количество труда, затрачиваемое работников за определенный промежуток рабочего времени; дополнительные рабочие часы, перенос работы на дом; выполнение работы за другого сотрудника; постоянная работа в режиме «горящих сроков»
Инфраструктура	Рабочее пространство, не соответствующее правилам безопасности, отсутствие предупреждающих знаков и инструкций; рабочее место с некомфортным расположением и низкой доступностью объектов, необходимых для выполнения рабочих задач; наличие непригодного или недостаточно технически обслуженного оборудования, использование оборудования, без системы поверок и калибровок
Контроль	Недостаточный контроль за работой персонала; отсутствие заинтересованности в потребностях сотрудников; чрезмерная опека сотрудников; отсутствие доверия к работникам; отсутствие конструктивной обратной связи по результатам работы и процессов оценки; неправомерное использование цифрового видеонаблюдения; отсутствие вовлеченности работников в технологический процесс производства, неверное распределение рабочей нагрузки, делегирование обязанностей без предупреждения и контроля высшего руководства
Карьерный рост	Наличие отстраненности высшего руководства от создания резерва кадров, отсутствие программ повышения квалификации, а также программы карьерной лестницы, что способствуют повышению в должностях тех, у кого меньше опыта и навыков, чем у остальных; отсутствие атмосферы, где каждый сотрудник и каждая должность вносит вклад в организацию
Организационные изменения	Сотрудникам организации не оказывается поддержка при изменениях в организации; длительная или повторяющаяся реструктуризация отсутствие консультаций и общения по поводу изменений на рабочем месте или консультации и общение, которые являются некачественными и несвоевременными или не значимыми
Баланс между работой и личной жизнью	Рабочие задачи, роли, графики, которые заставляют работников продолжать работать в свое личное время

Использование разработанной таблицы 2 имеет ряд преимуществ:

- описаны все существующие опасности и дана их характеристика, из этого следует, что члены рабочей группы смогут быстро и правильно определить наличие той или иной психосоциальной опасности в конкретном подразделении;
- простота в использовании: достаточно распечатать или предоставить в электронном виде таблицу для ознакомления перед началом процесса идентификации опасностей и потенциальных рисков;
- четко представление перед глазами всех существующих психосоциальных опасностей исключает риск упустить одну из опасностей, которая присутствует в подразделении.

Результаты идентификации опасностей и потенциальных психосоциальных рисков должны быть задокументированы рабочей группой.

Вторым этапом является управления психосоциальными рисками является оценка психосоциальной ситуации при помощи интегрального показателя (формула 1).

Далее определяется уровень психосоциальной обстановки в подразделении, на котором полученный уровень психосоциальной опасности сопоставляют с критериями в соответствии с разработанной процедурой [3, 4].

Следующим этапом в процедуре управления психосоциальными рисками является их обработка: на основе критерия разрабатывают мероприятия по влиянию на психосоциальные опасности.

Заключительным этапом управления психосоциальными рисками является внедрение разработанных мероприятий по влиянию на опасности.

Мониторинг и пересмотр процедуры управления психосоциальными рисками осуществляется на каждом этапе процедуры с целью обеспечения повышения качества и эффективности.

Таким образом, использование разработанной процедуры управления психосоциальными рисками имеет несколько преимуществ для организации:

– внедрение не требует никаких затрат, а также наличие опытных специалистов для применения процедуры (затраты требуются только на внедрение разработанных мероприятий по влиянию на психосоциальные опасности);

– процедура позволяет своевременно выявлять и предотвращать потенциальные психосоциальные риски, способных нанести вред здоровью сотрудников и производительности организации;

– позволяет повысить мотивацию персонала, улучшить коммуникацию и сотрудничество между коллегами, что создаёт продуктивную рабочую обстановку.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Воробинская Л.И., Финоченко В.А. Особенности оценки и управления профессиональными рисками // Известия ТулГУ. Технические науки. 2021. №. 11. С. 253-259.
2. Козина И.М., Серёжкина Е.В. Оценка психосоциальных рисков и качество трудовой жизни российский профессионалов // Мониторинг. 2021. №. 3. С. 21-40.
3. ГОСТ Р 55914-2013 «Менеджмент риска. Руководство по менеджменту психосоциального риска на рабочем месте».
4. ISO 45003:2021 Occupational health and safety management — Psychological health and safety at work — Guidelines for managing psychosocial risk.

Выпускник
Кутырев Максим Антонович
научно-образовательный центр инфохимии
Направление подготовки: 18.04.01 – Химическая технология
e-mail: kutyrev.maksim@mail.ru

Научный руководитель
Уласевич Светлана Александровна
к.х.н, доцент
e-mail: saulasevich@itmo.ru

УДК 544.032.7

СОЗДАНИЕ САМОСОБИРАЮЩИХСЯ СУПРАМОЛЕКУЛЯРНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ДОСТАВКИ ЛЕКАРСТВ В КЛЕТКУ

Одной из стратегий в разработке супрамолекулярных систем для доставки биологически активных компонентов в клетку является биомиметическая надмолекулярная самосборка, которая включает использование молекулярных взаимодействий для формирования сложных структур, подобно тому, как биологические системы создают минерализованные ткани. Такой подход используется для разработки синтетических материалов на основе гидроксиапатита (ГА) (рис. 1), который имитирует костную ткань. Этот синтетический материал показал себя многообещающим для различных применений, включая регенерацию кости [1], зубов [2], систему доставки лекарств [3]. Поскольку поверхность материалов на основе ГА имеют пористую структуру, это позволяет инкапсулировать и контролировать высвобождение лекарственных средств. Основные компоненты могут как загружаться в поры гидроксиапатита, так и адсорбироваться на поверхности каркасов из ГА.

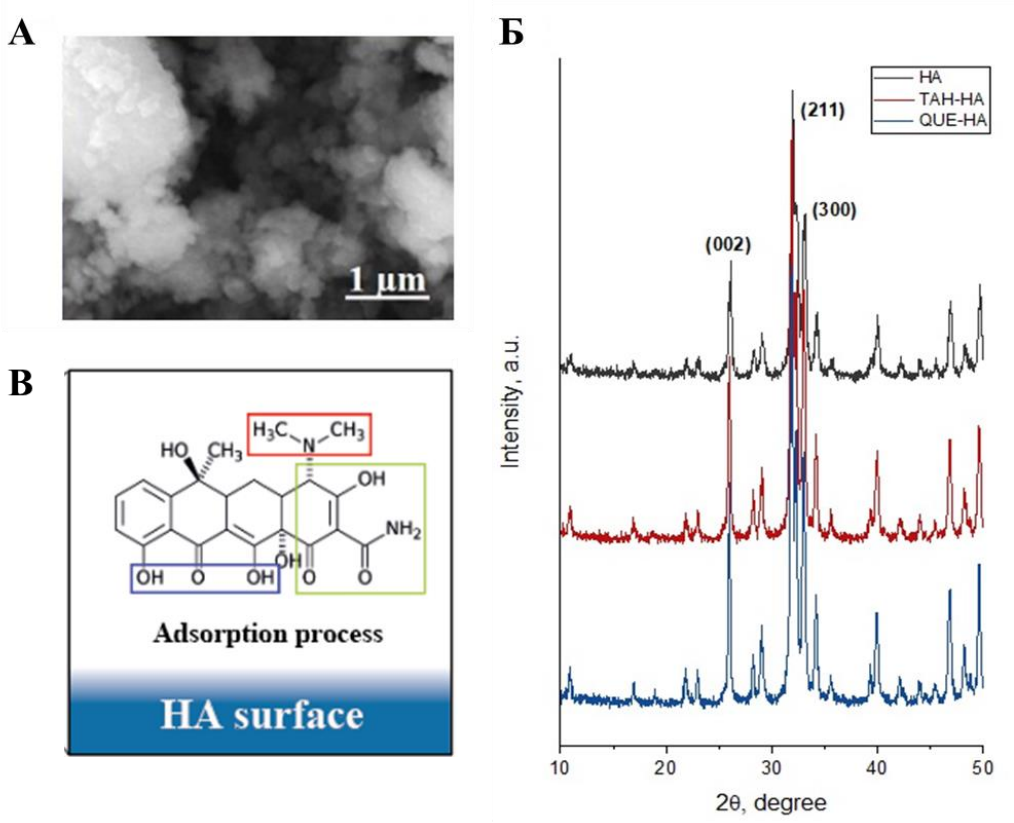


Рис. 1. (А) СЭМ-изображение частиц гидроксиапатита; (Б) рентгеновская дифрактограммы порошков гидроксиапатита, гидроксиапатита с тетрациклином и кверцетином; (В) схема адсорбции тетрациклина на поверхности гидроксиапатита

Гидроксиапатит является остеокондуктивным, то есть поддерживает рост и регенерацию костной ткани. При использовании в качестве системы доставки лекарственных средств, он также способствует процессу регенерации. ГА – универсальный материал для транспорта фармацевтических молекул за счет его свойств биосовместимости, структуры и морфологии. Именно в сочетании с антибиотиками каркасы из гидроксиапатита являются многообещающими в лечении костной инфекции.

Частицы ГА могут действовать посредством нескольких механизмов, включая разрушение бактериальной клеточной мембраны [4] и генерируя активные формы кислорода, которые повреждают бактериальную ДНК.

В связи с этим целью данной работы является разработка порошков на основе гидроксиапатита с антибактериальными и антиоксидантными свойствами, сравнение адсорбционной способности молекул тетрациклина и кверцетина, а также исследование совместимости биосовместимости полученных материалов.

Для изучения свойств поверхностного заряда полученных образцов были проведены измерения дзета-потенциала (рис. 2). Результат чистого порошка ГА составил -14.4 мВ, а дзета-потенциал композита ГА с адсорбированным на нем тетрациклином и кверцетином в высокой степени концентрации (10^{-3} моль/мл) составил 6.1 и 5.5 мВ соответственно. Для концентрации ниже 10^{-3} моль/моль значения поверхностного заряда частиц ГА становится снова отрицательным. Такая разница в значениях свидетельствуют о перезарядки поверхности частиц ГА, что обуславливается такими параметрами как концентрация, pH растворов.

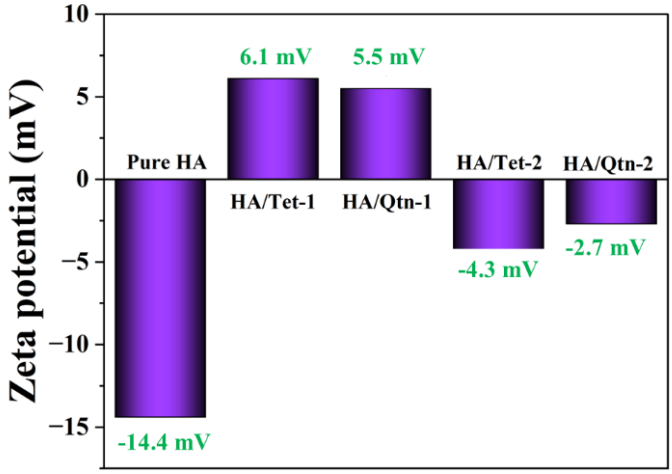


Рис. 2. Дзета-потенциал порошков ГА, ГА с тетрациклином и кверцетином при различной концентрации

Порошки ГА, использованные в данном исследовании, служили высокоэффективной подложкой для адсорбции тетрациклина и кверцетина. Процесс адсорбции обусловлен электростатическим взаимодействием между ионами PO_4^{3-} и Ca^{2+} и отрицательно заряженными молекулами тетрациклина и кверцетина. Тетрациклин имеет пики при 265 и 364 нм (рис. 3, а). Интенсивность с увеличением времени адсорбции уменьшалась. Это свидетельствует об успешном внедрении адсорбированных компонентов на поверхности ГА.

Антибактериальную активность материалов из ГА, содержащих тетрациклин и кверцетин оценивали методом диффузии в агаре с *S. aureus* и *E. faecalis*. На рисунке 4, а показаны результаты тест зоны ингибирования, демонстрирующие, что ГА с тетрациклином при концентрации 10^{-3} моль/мл проявляет высокую антибактериальную активность по сравнению с другими образцами. Измеренные диаметры зоны ингибирования для *S. aureus* для данного образца составляет 37 мм. Диаметры зон ингибирования после сорбции тетрациклина из его растворов с концентрациями 10^{-4} и 10^{-5} моль/мл на ГА равны 7 и 15 мм, соответственно (рис. 4, б).

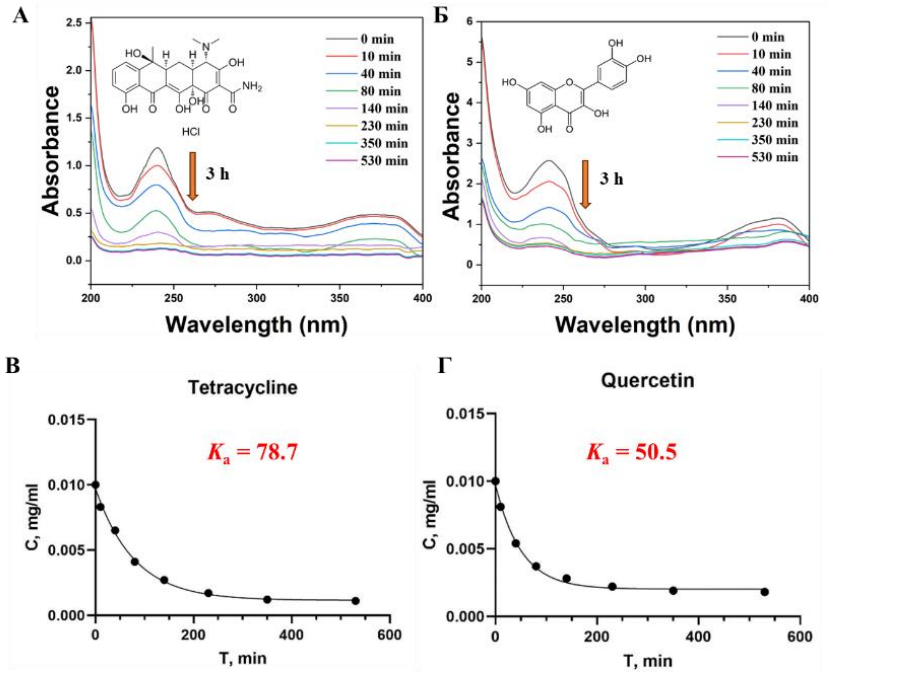


Рис. 3. Спектры поглощения растворов тетрациклина (А) и кверцетина (Б) после адсорбции на гидроксиапатите; зависимость концентрации растворов тетрациклина (В) и кверцетина (Г) после адсорбции на тетрациклине

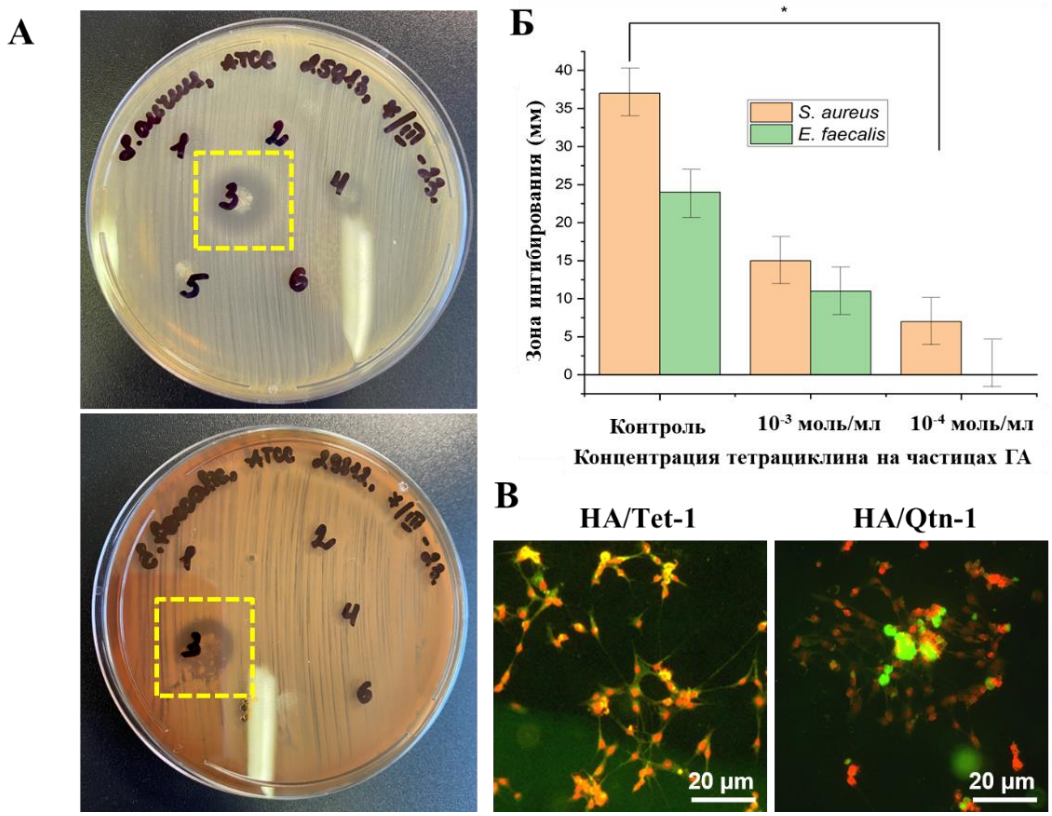


Рис. 4. (А) Ингибирование роста бактерий на агаровых подложках с ГА каркасами; (Б) График распределения зон ингибирования против штаммов бактерий, обработанных порошком ГА с тетрациклином в высокой концентрации; (В) Изображения клеток, окрашенных акридиновым оранжевым и пропидий йодидом после обработки ГА каркасами

Для штамма бактерий *E. faecalis*, обработанный порошком ГА с тетрациклином в высокой степени концентрации, измеренный диаметр зоны ингибирования составляет 24 мм. Адсорбция тетрациклина из раствора с концентрацией ниже 10^{-6} моль/мл не приводит к

получению образцов с биоцидными свойствами. Аналогичная тенденция наблюдается и для образцов ГА с кверцетином.

Биосовместимость полученных бактерицидных порошков HA/Tet-1 и HA/Qtn-1 оценивали с использованием клеточной линии миобластов C2C12 в качестве модели. Оценку жизнеспособности клеток к материалу проводили окрашиванием акридиновым оранжевым и пропидий йодидом (рис. 4, в), которое показывает, что клетки, обработанные порошком HA/Tet-1 в высокой концентрации показывают лучшую биосовместимость по сравнению с HA/Qtn-1, поскольку акридиновый оранжевый, связываясь с двуцепочечной ДНК в клетке флуоресцирует зеленым.

На основе экспериментальных данных была рассчитана константа связывания тетрациклина и кверцетина на гидроксиапатите. Константа связывания тетрациклина на частицах ГА составляет 78.7 и является выше по сравнению с кверцетином. Это обусловлено не только электростатическим взаимодействием между поверхностью гидроксиапатита и тетрациклином или кверцетином, но также и образованием водородных связей между гидроксильными группами гидроксиапатита и функциональными группами тетрациклина или кверцетина. Порошки с тетрациклином в высокой концентрации продемонстрировали высокую антибактериальную эффективность и хорошую биосовместимость. Учитывая эти преимущества, мы ожидаем, что данные бактерицидные порошки могут быть перспективным материалов для различных биомедицинских целей.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Bal Z., Kaito T., Korkusuz F., Yoshikawa H. Bone regeneration with hydroxyapatite-based biomaterials // Emergent Materials. 2020. V. 3(4). Pp. 521-544.
2. Sharma K., Sharma S., Thapa S., Bhagat M., Kumar V., Sharma V. Nanohydroxyapatite-, Gelatin-, and Acrylic Acid-Based Novel Dental Restorative Material // ACS Omega. 2020. V. 5(43). Pp. 27886-27895.
3. Loca D., Locs J., Dubnika A., Zalite V., Berzina-Cimdina L. Porous hydroxyapatite for drug delivery // Hydroxyapatite (Hap) for Biomedical Applications. 2015. Pp. 189-209.
4. Pendey A., Midha S., Sharma R. K., Maurya R., Nigam V. K., Ghosh S., Balani K. Antioxidant and antibacterial hydroxyapatite-based biocomposite for orthopedic applications // Materials Science and Engineering. 2018. Pp. 13-24.

Выпускник
Лещев Алексей Сергеевич
международный научно-образовательный центр физики наноструктур
Направление подготовки: 12.04.03 – Физика и технология наноструктур
e-mail: 19Leshal@gmail.com

Научный руководитель
Рождественский Юрий Владимирович
д.ф-м н., профессор
e-mail: rozd-yu@itmo.ru

УДК 537.212

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЛОКАЛИЗУЮЩЕГО ПОЛЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ ИОННЫХ ЛОВУШЕК С ПОМОЩЬЮ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ДИРИХЛЕ ДЛЯ РАВНОМЕРНО ЗАРЯЖЕННОЙ ТРЕУГОЛЬНОЙ ОБЛАСТИ

В данной работе впервые получено решение задачи Дирихле методом Грина для равномерно заряженной треугольной области. Полученное решение позволяет описывать электрические поля поверхностных ионных ловушек, состоящих из насколько угодно сложных плоских электродов. До нынешнего момента не существовало универсального аналитического метода описания электрического поля поверхностных ионных ловушек. В настоящее время ионные ловушки широко распространены в различных областях науки, среди которых можно отметить квантовую информатику, масс-спектрометрию и стандарты частоты. Свою популярность в разных областях науки ионные ловушки получили благодаря способности длительно и стабильно удерживать различные заряженные частицы: от относительно больших, такие как биологические объекты, до малых, например, отдельные атомы. При этом, возможно не только удержание одиночных заряженных объектов, но и удержание сразу группы заряженных частиц для формирования различных объектов, например квантовых кристаллов или кубитов. Полученное в данной работе решение позволяет моделировать поля поверхностных ионных ловушек со сложной формой электродов для формирования новых различных полей, что позволяет по-разному взаимодействовать с заряженными частицами для решения различных задач из области физики, химии, биологии или информатики.

Ионные ловушки — это устройства для длительного и стабильного удержания заряженных частиц. Все ионные ловушки состоят из электродов различной формы. Ионные ловушки можно разделить по форме электродов. В данной работе исследуются поверхностные ионные ловушки, состоящие из плоских электродов, расположенных на изолирующей подложке, тогда как остальные типы ловушек состоят из объёмных электродов. Из-за формы электродов, поверхностных ионные ловушки обладают рядом отличительных черт. Одной из главных черт является то, что электрическое поле поверхностной ловушки может быть получено как сумма полей каждого отдельного электрода, или элементарных ячеек, на которые могут быть поделены электроды ловушки.

Первая краевая задача или задача Дирихле заключается в нахождении распределения потенциала по известному значению потенциала на границе некой области. Задача Дирихле в электростатике позволяет найти потенциал, создаваемый некой областью, содержащей заряды. В случае плоских фигур, самой простой фигурой является треугольник. Задача Дирихле для равномерно заряженной треугольной области была решена в условиях модели простого заряженного слоя [1]. В условиях данной модели, заряженная область изолирована от других зарядов. Однако, данная модель не подходит для описания поверхностных ионных ловушек. Во-первых, ионные ловушки состоят хотя бы из нескольких электродов, что противоречит модели простого заряженного слоя. Отметим, что поверхностная ионная ловушка может состоять из одного сложного электрода, например в форме диска с отверстием,

но при использовании метода триангуляции данный электрод будет разбит на множество треугольников, что будет противоречить модели простого заряженного слоя. Во-вторых, любая поверхностная ловушка имеет изолирующий корпус на котором расположены электроды, то есть область, где потенциал равен нулю, что не может быть учтено в рамках модели простого заряженного слоя.

В данной работе впервые решена задача Дирихле методом Грина для равномерно заряженной треугольной области, расположенной в изолирующей плоскости [2]. Ранее, такие задачи были решены для прямоугольного и круглого элементов [2]. Данная модель подходит для описания поверхностных ионных ловушек, так как в ней учитывается изолирующий корпус, а также данная модель подходит для применения методов триангуляции. В условиях данной модели, задача Дирихле для любой плоской равномерно заряженной области сводится к вычислению интеграла

$$U = \frac{z}{2\pi}\int_S U_0 \frac{dS}{r^3}, \tag{1}$$

где U – значение потенциала в некой точке, z – высота над заряженной областью, Uo – значение потенциала на границе области, S – площадь заряженной области, r – расстояние от точки, принадлежащей заряженной области до точки, в которой вычисляется потенциал.

Интеграл (1) для треугольной области примет вид

$$U_N = \frac{U_0 z}{2\pi}\int_{\xi_1}^{\xi_2}\int_{k_1\xi+b_1}^{k_2\xi+b_2} \frac{d\xi d\eta}{((x-\xi)^2+(y-\eta)^2+z^2)^{\frac{3}{2}}}. \tag{2}$$

Для вычисления интеграла (2) необходимо последовательно выполнять замены переменной интегрирования. Для интегрирования по $d\eta$ применялось две замены переменной, и, в результате, выражение (2) примет вид:

$$U_N = \frac{U_0 z}{2\pi}\left(-\int_{\xi_1}^{\xi_2} \frac{(y-k_1\xi-b_1)d\xi}{(z^2+(x-\xi)^2)\sqrt{(x-\xi)^2+(y-k_1\xi-b_1)^2+z^2}} + \int_{\xi_1}^{\xi_2} \frac{(y-k_2\xi-b_2)d\xi}{(z^2+(x-\xi)^2)\sqrt{(x-\xi)^2+(y-k_2\xi-b_2)^2+z^2}}\right). \tag{3}$$

Для вычисления интеграла (3) применялось три замены переменной. В результате решения задачи, потенциал в точке M вычисляется по формуле:

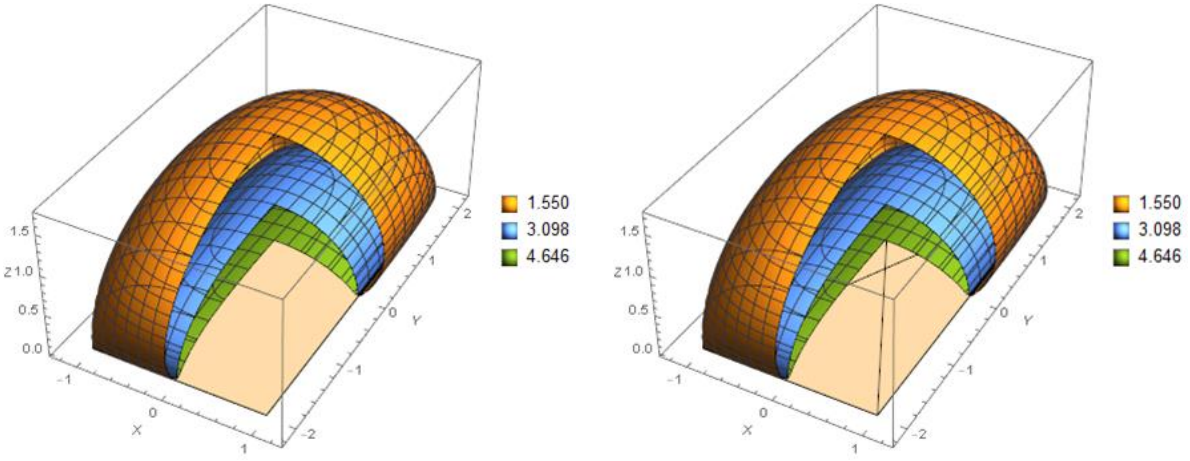
$$U_N = \frac{U_0}{2\pi}\left(arctg\left(\frac{z}{P_{11}}\sqrt{\frac{(L_1+z^2)(y-\xi_1k_1-b_1)^2+P_{11}^2}{L_1}}\right) - arctg\left(\frac{z}{P_{12}}\sqrt{\frac{(L_2+z^2)(y-\xi_1k_2-b_2)^2+P_{12}^2}{L_1}}\right) - \right.$$
$$\left. -arctg\left(\frac{z}{P_{21}}\sqrt{\frac{(L_1+z^2)(y-\xi_2k_1-b_1)^2+P_{21}^2}{L_2}}\right) + arctg\left(\frac{z}{P_{22}}\sqrt{\frac{(L_2+z^2)(y-\xi_2k_2-b_2)^2+P_{22}^2}{L_2}}\right)\right), \tag{4}$$

где

$$L_j = (y-b_j-k_jx)^2 + k_j^2z^2,$$
$$P_{ij} = (y-b_j)(x-\xi_i) + k_j(x\xi_i - z^2 - x^2).$$

Выражение (4) описывает потенциал в верхнем полупространстве над треугольной равномерно заряженной областью. Также, было получено выражение, описывающее потенциал над прямоугольным треугольником, у которого катеты параллельны осям. Далее, было выполнено графическое сравнение потенциала прямоугольника с помощью известного выражения для прямоугольной области и с разделением области на треугольники и применением выражения (4). Данное сравнение представлено на рисунке 1.

На рисунке 1 показано, что потенциальные поля полностью совпадают во всём пространстве над прямоугольной областью. Таким образом, мы показали, что метод триангуляции позволяет получать потенциальные поля более сложных областей с помощью полученного нами решения для треугольной области.



а б

Рис. 1. Сравнение потенциальных полей: а) Потенциальное поле прямоугольной области; б) Потенциальное поле прямоугольной области, разделённой на треугольники

Также, было построено потенциальное поле в плоскости $z \to 0$. В данной плоскости потенциальное поле должно совпадать с граничными условиями, так как при небольшом изменении высоты потенциальное поле не успевает измениться достаточно сильно. Данное моделирование представлено на рисунке 2.

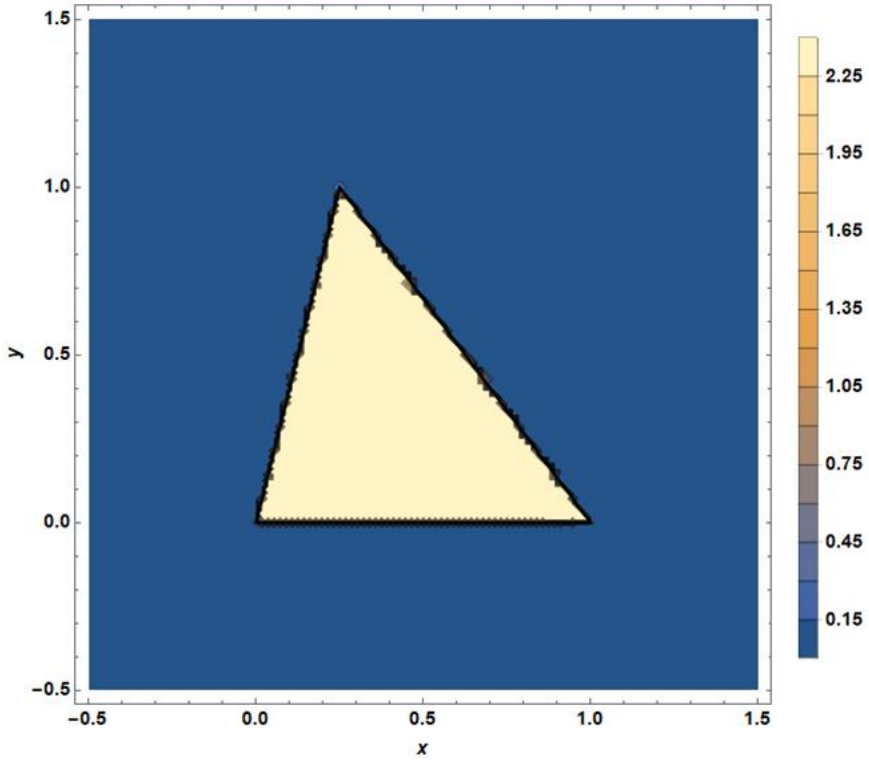
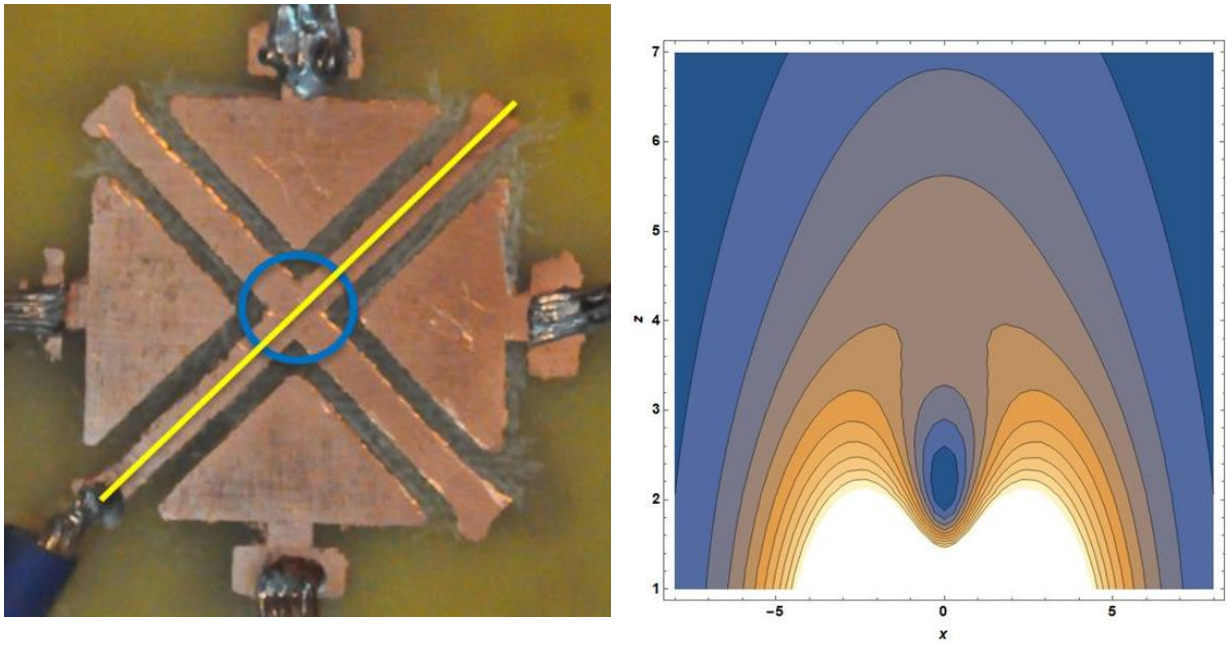


Рис. 2. Эквипотенциальные линии в плоскости $z \to 0$

На рисунке 2 видно, что треугольник заряжен равномерно, на границе треугольной области потенциал уменьшается с граничного значения до нуля, и остаётся равным нулю вне треугольника. Таким образом, полученное выражение полностью соответствует граничным условиям модели. На основе рисунков 1 и 2 можно сделать выводы, что задача Дирихле была правильно решена и может применяться для получения полей более сложных областей. Поэтому полученное решение было применено для конструирования поверхностных ионных ловушек. Стоит заметить, что задача Дирихле позволяет вычислить электростатическое поле, но в ионных ловушках для удержания частиц применяется переменное электрическое поле. Полученное решение будет являться амплитудой такого поля.

Далее, нами было выполнено моделирование электрических полей различных конфигураций электродов. Для проверки результатов моделирования были изготовлены различные поверхностные ионные ловушки, одна из которых показана на рис. 3а. Все ловушки изготавливались методом химического травления и состояли из медных электродов на подложке из стеклотекстолита. На каждой ловушке проводилась серия экспериментов по удержанию заряженных частиц с различным напряжением на электродах. Ловушка, изображённая на рисунке 3, а состоит из четырех треугольных электродов, к которым может быть приложено переменное напряжение или заземление и крестообразный электрод, который всегда заземлён. Для каждого эксперимента проводилось моделирование зон локализаций заряженных частиц методом псевдопотенциала. Идея данного метода заключается в замене переменного электрического поля на некое постоянное поле, которое действует на заряженную частицу так же, как переменное за время одного колебания поля. Заряженные частицы могут удерживаться в областях локального минимума псевдопотенциала. На рисунке 3, б представлены результаты моделирования псевдопотенциала, когда на два противолежащих треугольных электрода подаётся переменное напряжение, а два другие заземлены. Моделирование проводилось в плоскости, проходящей над крестообразным электродом, обозначенная жёлтой линией на рисунке 3, а. На рисунке 3, б минимальные значения псевдопотенциала соответствуют синему цвету. Таким образом, образуется одна область локализации над геометрическим центром ловушки, обозначенная синим кругом на рисунке 3, а.



а б

Рис. 3. а) Поверхностная ионная ловушка; б) Результаты моделирования псевдопотенциала

На рисунке 4 изображена схема экспериментальной установки для удержания заряженных частиц.

Экспериментальная установка состоит из:

А) поверхностная ионная ловушка, состоящая из четырёх треугольных электродов и одного крестообразного;

Б) электрическая цепь. В качестве источника напряжения используется электрическая сеть, цифрой пять обозначен лабораторный автотрансформатор, предназначенный для изменения амплитуды переменного напряжения, а под цифрой шесть находится трансформатор для повышения амплитуды напряжения в 20 раз;

В) заземление;

Г) оптическая система для визуализации частиц. Состоит из лазера KLM-532/SLM-100,генерирующего оптическое излучение с длиной волны 532 нм (цифра семь на рис. 4) и рассеивающей линзы (цифра восемь на рис. 4).

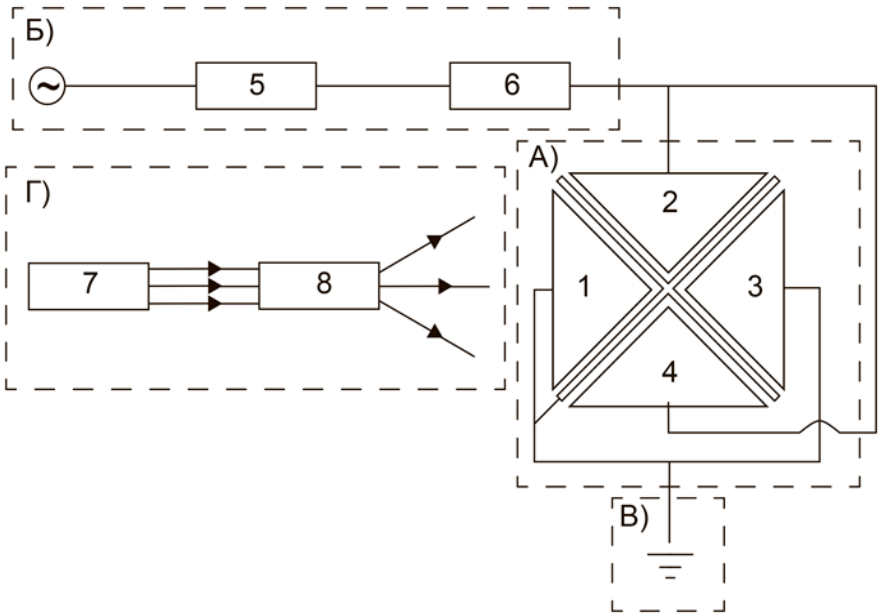


Рис. 4. Экспериментальная установка, предназначенная для проверки результатов моделирования областей локализации

На рисунке 5 представлена локализация частицы ликоподия (зрелые споры разных видов растений рода Плаун). Частица локализована над геометрическим центром ловушки, что совпадает с результатами моделирования. При этом на рисунке 5, б наблюдается небольшое отклонение траектории частицы от геометрического центра ловушки. Это объясняется тем, что удержание частицы проводилось в условиях атмосферы, и потоки воздуха сдвигали частицу от центра ловушки.

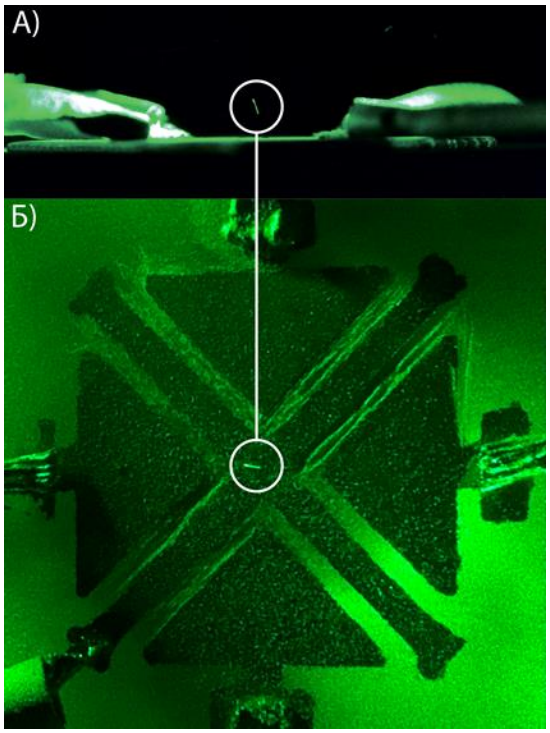


Рис. 5. Локализация частицы ликоподия: а) Вид сбоку; б) Вид сверху

В данной работе получено решение задачи Дирихле методом Грина для равномерно заряженной треугольной области, расположенной в изолирующей плоскости. С помощью полученного решения было выполнено моделирование областей локализаций поверхностных ионных ловушек. Были изготовлены поверхностные ионные ловушки, на которые были проведены эксперименты, подтверждающие результаты моделирования. Полученное решение позволяет, с помощью методов триангуляции, получать электрические поля любых поверхностных ионных ловушек. Продолжение данной работы будет заключаться в моделировании электрических полей поверхностных ионных ловушек со сложной формой электродов, которые будут формировать новые сложные электрические поля, открывающие новые возможности для взаимодействия с заряженными частицами для решения различных задач в физике, химии, биологии или информатике.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Kim U.R., Han W., Jung D.W., Lee J., Yu C. Electrostatic potential of a uniformly charged triangle in barycentric coordinates //European Journal of Physics. 2021. Т. 42. №. 4. С. 045205.
2. Миролюбов Н.Н., Костенко М.В., Левинштейн М.Л., Тиходеев Н.Н. Методы расчета электростатических полей. М.: Высшая школа. 1963. 415 с.

Выпускник
Лосич Антон Алексеевич
факультет технологического менеджмента и инноваций
Направление подготовки: 27.04.05 – Инноватика
e-mail: antonlosich@mail.ru

Научный руководитель
Янова Елена Алексеевна
доцент, к.э.н.
e-mail: prof.yanova.ea@gmail.com

УДК 336.225.611.4:336.74:004.056:004.8

БИЗНЕС-ТЕЗИС «BITOK»: РАЗРАБОТКА И ВНЕДРЕНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО СЕРВИСА ДЛЯ ОТСЛЕЖИВАНИЯ, УЧЁТА И КОНТРОЛЯ КРИПТОВАЛЮТ

С каждым днем быстро растущий рынок криптовалют активнее взаимодействует с классическими экономическими и государственными институтами. Из-за данных взаимодействий появляется большое количество различных проблем и потребностей. Криптовалютный рынок, как и государственные институты, хотят и готовы работать официально в правовых рамках государств. Однако на сегодняшний день категорически не хватает нужных для данного взаимодействия решений.

Представленный в ВКР сервис BitOK нацелен на решение именно этих проблем. Проект предоставляет услуги: учета, контроля и правового взаимодействия с криптовалютами участникам рынка. Автор данной работы является Head of Content проекта и принимал непосредственное участие во всех процессах, описанных в ВКР.

Сервис BitOK предлагает услуги как для B2C, так и для B2B сегментов. Флагманскими решениями проекта являются [1]:

1. Портфолио трекер, который при помощи API технологий позволяет отслеживать аналитику портфелей и контролировать все крипто активы клиентов в одном окне в удобном интерфейсе.
2. Автоматическое составление правовых и бухгалтерских криптовалютных документов. В том числе клиенты сервиса имеют возможность составления 3НДФЛ декларации от торговли криптовалютами за несколько минут. За 2021-2022 гг. более 4000 клиентов сервиса успешно подали налоговые декларации и прошли камеральные проверки в ФНС.
3. AML мониторинг - решение позволяющие проверять чистоту криптоактивов в портфелях пользователей. Сервис имеет подключение к специальным базам данных и показывает клиентам риск блокировок их счетов и аккаунтов, в связи с хранением запрещенных «грязных» криптовалют, которые были замечены в незаконной деятельности.
4. B2B KYT решение направлено на работу с финансовыми организациями и банками. Сервис также проверяет наличие «грязной» криптовалюты на счетах компаний. А банкам дает возможность проследить криптовалютный путь клиентов до вывода ими активов фиатную валюту. До создания данного решения имелось большое количество проблем с аналитикой криптовалютного пути клиентов банков и, следовательно, блокировок карт согласно 115 ФЗ [2].

Не менее важной частью работы было описание маркетинговой стратегии развития компании. В ВКР были подробно раскрыты следующие виды маркетинга, используемые сервисом BitOK: Performance-маркетинг, SEO-маркетинга, Контент-маркетинг, SMM и Community маркетинг. Также в работе была представлена подробная таблица расчета бюджета на маркетинг.

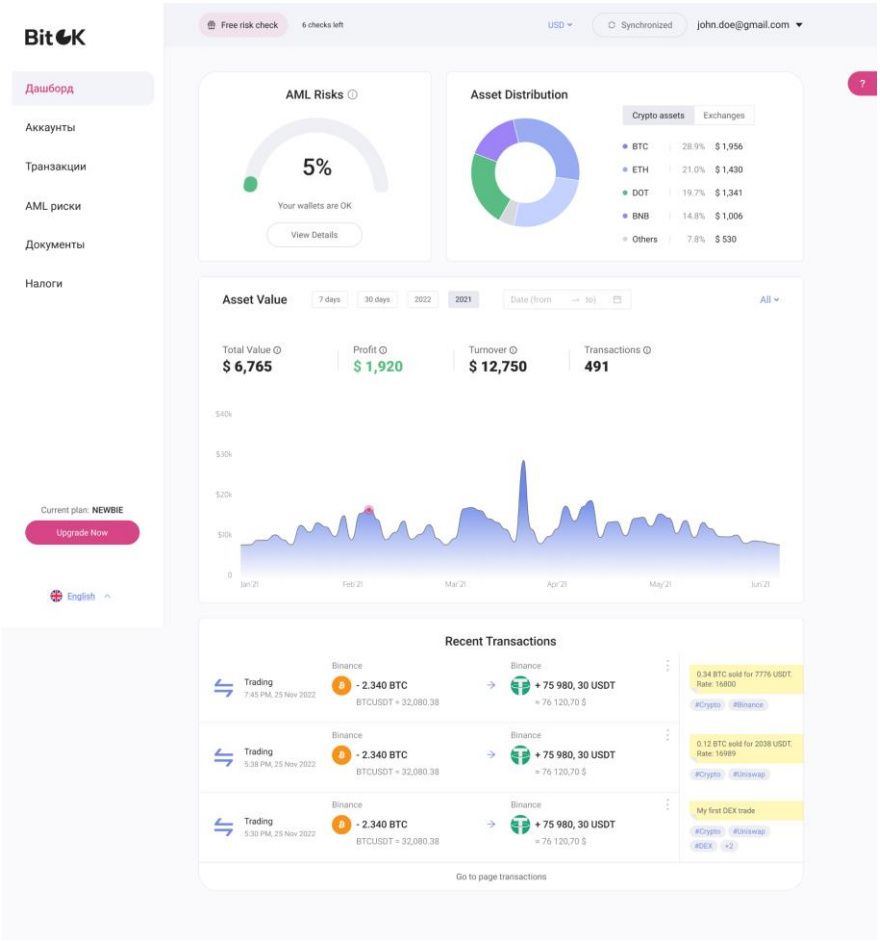


Рисунок. Интерфейс сервиса BitOK

Таблица. **Расчет маркетинг бюджета сервиса BitOK**

#	Site/Subcontractor/Tool	Price	Lead	Quality lead	Orders	CPO
Платное продвижение						
Complex	**Google search**	$360,00	120	60	18	$20,00
	Facebook	$360,00	180	90	27	$13,33
	DOT	$500,00	145	73	22	$22,99
	Twitter	$300,00	150	75	23	$13,33
		$1 520,00	**688**	**309**	**89**	
AML	**Google search**	$360,00	120	60	18	$20,00
	Dragon X	$420,00	210	105	32	$13,33
	DOT	$500,00	150	75	23	$22,22
	Twitter	$300,00	150	75	23	$13,33
		$1 580,00	**630**	**315**	**95**	
Portfolio tracker	**Google search**	$360,00	120	60	18	$20,00
	Facebook	$420,00	210	105	32	$13,33
	DOT	$500,00	150	75	23	$22,22
	Twitter	$300,00	150	75	23	$13,33
		$1 580,00	**630**	**315**	**95**	

Актуальность работы обусловлена быстрым развитием рынка криптовалют и срочной потребностью новых решений для взаимодействия всех участников криптовалютного института с цифровыми активами.

Практическая значимость работы состоит в создании нового рынка криптовалютных услуг в РФ и в мире. Исследования, произведенные в данной работе, позволили не только

успешно выйти на существующий рынок криптовалют, но и создать новый продукт аналогов, которому не существует в РФ и остальном мире.

Научная новизна ВКР заключается в исследовании и создании абсолютно нового подхода к регулятивному контролю цифровых крипто активов всех участников института криптовалют. А также в анализе и применении конкретных современных стратегий и методов, использованных сервисом BitOK при разработке своего сервиса.

Итогом работы является успешно выполненное исследование рынка криптовалют, сбор теоретической и аналитической базы, а в следствии успешное создание, развитие и описание сервиса по учету и контролю криптовалют BitOK с более, чем 25000 активных пользователей и 1,5 млн. долл. привлеченных инвестиций за первый seed раунд.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. BitOK. (2023). BitOK Overview. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://bitok.org (дата обращения: 27.06.2023).
2. Федеральный закон «О противодействии легализации (отмыванию) доходов, полученных преступным путем, и финансированию терроризма» от 07.08.2001 №115-ФЗ.

Выпускник
Матыцина Виктория Владимировна
факультет биотехнологий
Направление подготовки: 19.04.02 – Продукты питания из растительного сырья
e-mail: vikaamtcn@mail.ru

Научный руководитель
Баракова Надежда Васильевна
доцент, к.т.н.
e-mail: n.barakova@mail.ru

УДК 542.87:543.393

РАЗРАБОТКА УНИВЕРСАЛЬНОГО МЕТОДА ПОСЛОЙНОГО НАЛОЖЕНИЯ ДЛЯ СЕНСОРА НА ОСНОВЕ АПТАМЕРА ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ ГЛИФОСАТА В ВОДНЫХ СРЕДАХ И ПИТЬЕВОЙ ВОДЕ

В настоящее время применение пестицидов является самым массовым способом защиты растений по причине простоты использования, высокой эффективности воздействия при правильном использовании, во всем мире используется около 2 миллионов тонн пестицидов, из которых 47.5% являются гербицидами.

Глифосат – действующее вещество пестицидов, а именно гербицидов с широким спектром активности. Глифосат имеет формулу $C_3H_8NO_5P$, является N-фосфонометильным производным аминокислоты глицина, он применяется для подавления однолетних и многолетних сорняков. Пестициды имеют свойство аккумулироваться в плодах растений и почве, переходить в грунтовые воды и атмосферу.

В 2015 году Всемирная организация здравоохранения классифицировала глифосат как канцерогенное соединение для людей. Пестициды могут попадать в организм человека как прямо, так и косвенно и вызывать различные формы рака, психические расстройства, отравления и другие негативные последствия.

Единственный способ предупредить возможный вред – отслеживать концентрации таких препаратов в сельскохозяйственной продукции, питьевой и водопроводной воде и природных средах [1].

На сегодняшний день остаточное содержание пестицидов определяется в основном такими традиционными методами как жидкостная, газовая хроматография, масс-спектрометрия, спектрофотометрия и капиллярный электрофорез, однако эти методы требуют высокой квалификации, трудоемких процедур пробоподготовки, сложной установки приборов и занимают много времени, что делает их использование довольно неудобным. Для решения этих проблем были разработаны биосенсоры [2].

Биосенсоры – это аналитические устройства, состоящие из двух важных функциональных компонентов: элемента распознавания цели (биослой) и элемента преобразования (трансдьюсер). Принцип работы биосенсоров состоит в следующем: биологический детектирующий элемент меняет собственные физико-химические характеристики (или характеристики среды возле него) под влиянием исследуемой пробы, по величине сдвига которых определяется содержание исследуемого вещества.

Биосенсоры на основе аптамеров являются наиболее перспективными для обнаружения глифосата, по сравнению с обычно используемыми антителами или ферментами, поскольку они обладают лучшей стабильностью, меньшей молекулярной массой и легче поддаются модификации. Аптамеры представляют собой одноцепочечную ДНК или РНК длиной 10-50 нуклеотидов, они могут специфически связываться с различными анализируемыми веществами с высоким сродством за счет образования стабильных водородных связей между двумя комплиментарными цепями нуклеиновых кислот [3].

Таким образом, основной целью представляемой работы является разработка универсального метода послойного наложения для сенсора на основе аптамера на платформе в виде углеволоконного электрода для обнаружения глифосата в водных средах и питьевой воде.

Объекты исследования, используемые полиэлектролиты и подложки представлены на рисунке 1.

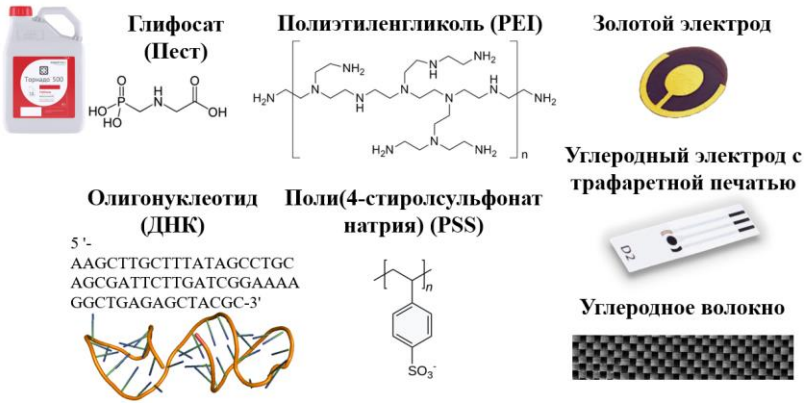


Рис. 1. Химические структуры используемых материалов и подложки

На первом этапе был исследован метод послойного наложения для выбора структуры слоя полимерной матрицы электрогравометрическим методом с помощью eQCM 10M (Gamry, США). Принцип работы электрогравометрического метода заключается в изменении массы в ответ на связывание пестицида с селективным олигонуклеотидом и детектируется как изменение частоты датчика QCM. Пересчет частоты на массу осажденного вещества производится при помощи уравнения Зауэрбрея (1).

$$\Delta m = \frac{A\sqrt{\mu\rho}}{2{f_0}^2}\Delta f, \quad (1)$$

где f_0 – резонансная частота основной моды (Гц), Δf – нормированное изменение частоты (Гц), Δm – изменение массы (г), A – площадь активного кристалла кварца (площадь между электродами, $см^2$), μ – плотность кварца (2.648 $г/см^3$), ρ – модуль сдвига кварца для кристалла при огранке ($2.947 \times 10^{11} г*см^{-1}*с^{-2}$).

Первый слой полиэлектролитной сборки был сформирован с использованием катионного полиэлектролита PEI из-за его преимущества в равномерном распределении по поверхности полупроводника толщиной в микрон (рис. 2). Молекулы олигонуклеотида заряжены отрицательно благодаря фосфатной группе на 3'-конце, что способствовало образованию полиэлектролитных комплексов с PEI, связанных электростатическими взаимодействиями. Следующий слой был сформирован путем добавления отрицательно заряженного PSS, чтобы компенсировать сохраненный положительный заряд и увеличить запутывание цепей в полиэлектролитных слоях [4]. Последний слой матрицы был представлен молекулами глифосата.

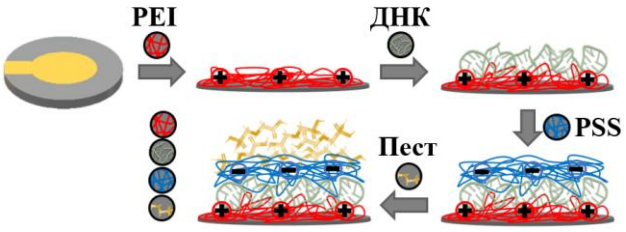


Рис. 2. Модификация золотого электрода

Для демонстрации специфичных взаимодействий олигонуклеотида и глифосата использовали простейшую комбинация поликатионного и полианионного слоев с

расположенным между ними олигонуклеотидом без промывки (рис. 3, А, Б) и с промывкой между слоями (рис. 3, В, Г). Добавление каждой новой молекулы приводит к последующему увеличению массы (рис. 3, А, Б) , что можно объяснить успешным образованием слоев на электроде.

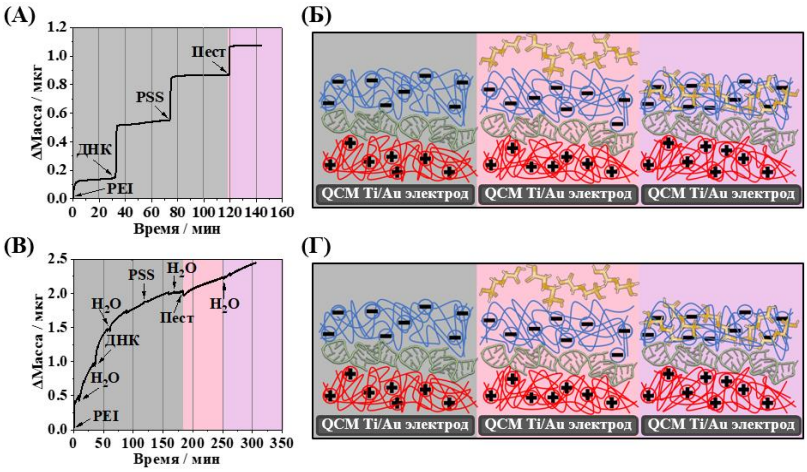


Рис. 3. Образование комплексов аптамер-пестицид в полимерной матрице методом QCM: (А) Изменение массы при формировании последовательных слоев; (Б) схематическое изображение процесса; (В) Изменение массы при формировании последовательных слоев с промывкой; (Г) схематическое изображение процесса

Когда образовавшуюся структуру промывали водой, из слоев вымывались ионы, что приводило к компенсации зарядов внутри слоев за счет электростатического притяжения макромолекул и, следовательно, к уплотнению нанослоев. В свою очередь, уплотнение нанослоев вызывало уменьшение частоты микровесов, отражающих увеличение массы (рис. 3, В, Г).

В этих случаях взаимодействие аптамера с молекулами глифосата происходит на поверхности матрицы. Эти результаты указывают на то, что взаимодействие между аптамером и глифосатом является специфичным.

Для мониторинга неспецифичных взаимодействий олигонуклеотида вместо глифосата использовали антибиотик хлорамфеникол (рис. 4, А, Б).

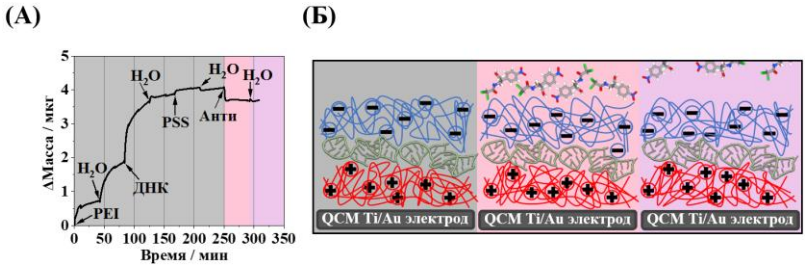


Рис. 4. Образование комплекса аптамер-антибиотик в полимерной матрице методом QCM: (А) Изменение массы при формировании последовательных слоев; (Б) схематическое изображение процесса

Антибиотик содержит аналогичную пестициду структуру с такими компонентами как -NH-C=O-, но с другими заменителями. В этом случае добавление хлорамфеникола после слоя PSS приводило к быстрому вымыванию антибиотика с поверхности вглубь слоя PSS и к последующему уменьшению массы электрода (рис. 4).

Эти результаты указывают на то, что взаимодействие между аптамером и антибиотиком является неспецифичным.

В подтверждение правильности концепции полученной структуры слоев полимерной матрицы углеродные электроды с трафаретной печатью были модифицированы в соответствии с выбранной полиэлектролитной последовательностью слоёв.

На этих электродах были зарегистрированы циклические вольтамерограммы каждого слоя (рис. 5, А) и разных концентраций пестицида (рис. 5, Б), чтобы подтвердить доступность поверхности электрода для электрохимических реакций.

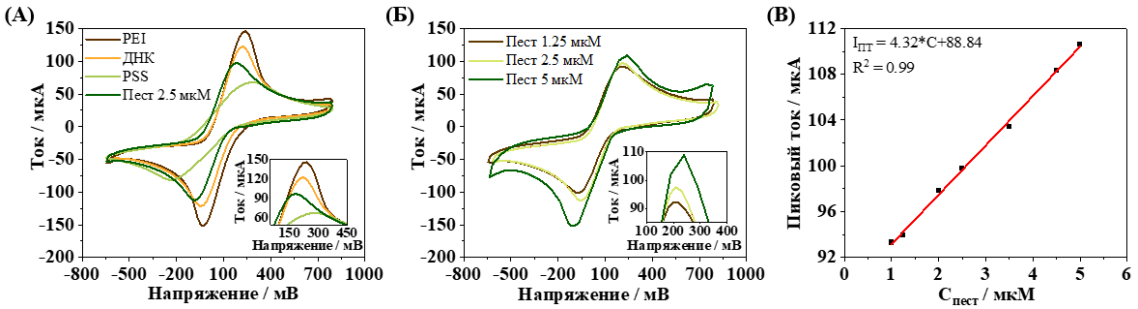


Рис. 5. Регистрация циклических вольтамперограмм (А) при различном составе слоев; (Б) при выбранных концентрациях глифосата; (В) Изменение пиковых токов при различных концентрациях глифосата

Увеличение концентрации пестицида приводило к более высоким значениям пикового тока без значительного сдвига потенциала (рис. 5, В). Кроме того, предел обнаружения был рассчитан как 0.56 мкМ.

Для создания углеволоконных электродов, мы переносим утвержденную последовательность слов на подложку из углеродного волокна (рис. 6).

Для исследования влияния концентрации пестицида на отклик аптамера, модифицированные углеволоконные электроды с добавлением 2.5 мкМ олигонуклеотида были охарактеризованы методом циклической вольтамперометрии в растворе, содержащем пестицид с концентрациями в диапазоне от 0.5 до 4.5 мкМ и 1М KCl в качестве поддерживающего электролита (рис. 7, А).

Тем не менее, пиковый ток изменяется вместе с концентрацией пестицида в растворе и, более того, он показывает линейную зависимость тока от концентрации глифосата (рис. 7, Б).

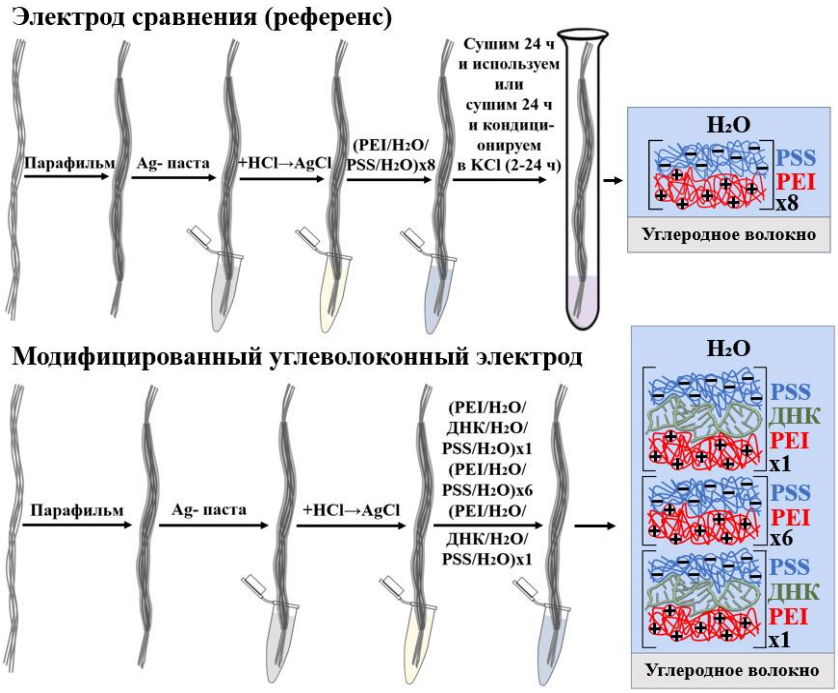


Рис. 6. Схема процесса модификации углеродного волокна. Архитектура электрода сравнения была (PEI/PSS)x8. Модифицированный электрод и углеродного волокна имеет состав (PEI/олигонуклеотид/PSS) (PEI/PSS)x6(PEI/олигонуклеотид/PSS). …/H_2O/… описывает этапы промывки деионизированной водой

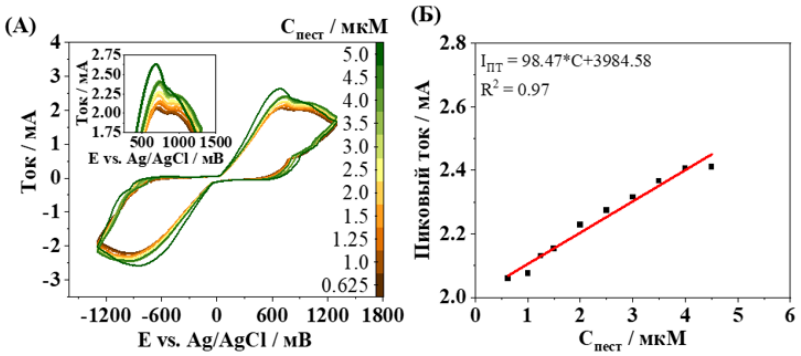


Рис. 7. (А) Циклические вольтамперограммы модифицированных углеволоконных электродов при различных концентрациях глифосата в 1М растворе KCl; (Б) Зависимость пикового тока от концентрации глифосата в растворе и линейная аппроксимация экспериментальных данных

Для исследования влияния концентрации аптамера на отклик пестицида было зарегистрировано изменение потенциала разомкнутой цепи для различных концентраций пестицида и трёх концентраций олигонуклеотида (рис. 8). Поскольку молекула пестицида проникает в мягкую матрицу полиэлектролитов на поверхности электрода и образует комплекс с олигонуклеотидом, она изменяет распределение плотности заряда вблизи электрода. Последнее влияет на Ерц, который может быть использован для определения присутствия пестицида в растворе и измерения его концентрации.

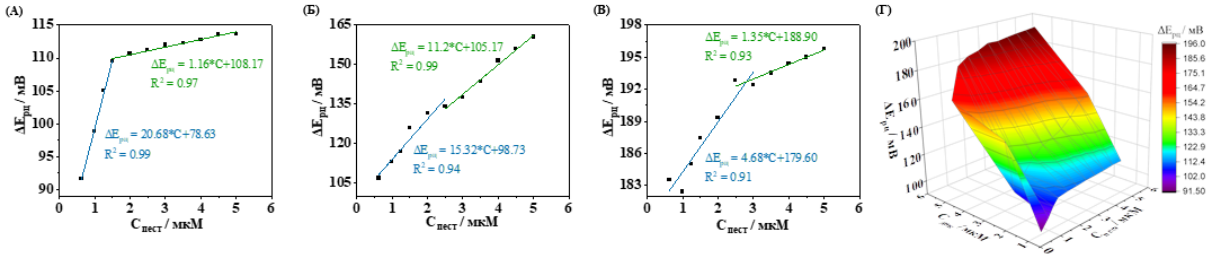


Рис. 8. Изменение потенциала разомкнутой цепи для модифицированных углеволоконных электродов в растворах с различными концентрациями глифосата. Концентрации олигонуклеотида в полиэлектролитной матрице составляла А) 1 мкМ, Б) 2.5 мкМ, В) 5 мкМ. Г) представляет 3D-график зависимостей А-В

Интересно, что зависимость ΔЕрц от концентрации пестицида, состоящая из двух частей, разделяется вблизи концентрации, соответствующей концентрации олигонуклеотида. Более высокая чувствительность или более высокий наклон наблюдались, если концентрация пестицида ниже концентрации олигонуклеотида. Предел обнаружения для первой линейной области был рассчитан как 0.30, 0.51, 0.67 мкМ для концентрации олигонуклеотидов 1.0, 2.5 и 5.0 мкМ, соответственно.

Для подтверждения экономической выгоды использования углеволоконных электродов был произведен расчет себестоимости этих электродов. стоимость одного рабочего углеволоконного электрода составила 38.5 рублей, а электрода сравнения 16.3 рубля. Суммарно стоимость пары необходимых для анализа углеволоконных электродов составила 54.8 рублей.

Для сравнения, углеродный электрод ItalSens с трафаретной печатью, обойдется в 180 рублей, а золотой датчик (5 МГц, с покрытием Au) для QCM имеет стоимость 2500 рублей, без учета доставки и модификаций.

Исходя из представленных цен на заграничные материалы, можно подытожить, что углеволоконные электроды имеют стоимость в 3–45 раз ниже своих аналогов на рынке.

Так как поставки зарубежных материалов на территорию России имеют некоторые ограничения, создание углеволоконных электродов из местных материалов являются перспективной и экономически выгодной альтернативой.

Был разработан прототип биосенсора на основе аптамера с углеволоконными электродами для определения глифосата в водных средах и питьевой воде. Это устройство формы конуса или усеченного конуса, со сквозными отверстиями в нижней его части. Устройство погружается в исследуемой образец воды, жидкость поступает через отверстия, наполняя нижнюю часть устройства, тем самым погружая электроды в образец. Потенциостат подает ток на электроды, данные передаются на телефон по блютузу, приложение их обрабатывает и на выходе мы получаем простой и ясный результат: содержание глифосата в у.е. Электроды способны выдерживать порядка 50 измерений. После каждого анализа воды необходимо очищать электроды, делая измерение по чистой воде.

В рамках технического задания была представлена разработка портативной системы для определения глифосата на основе биосенсоров в водных средах. Наилучший достигнутый предел обнаружения при измерениях потенциала разомкнутой цепи составил 0.3 мкМ, что соответствует текущим потребностям в контроле над этим пестицидом.

Процесс изготовления электродов из углеродного волокна, основанный на послойной самосборке, может быть полностью автоматизирован, что открывает возможности для полностью роботизированной аналитической системы. Более того, структура и состав олигонуклеотидов могут быть точно подобраны в соответствии с любой молекулой-мишенью и, следовательно, интегрированы в портативные лабораторные устройства на чипе.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Van Bruggen A.H.C. et al. Environmental and health effects of the herbicide glyphosate // Science of the total environment. 2018. Т. 616. С. 255-268.
2. Valle A.L. et al. Glyphosate detection: methods, needs and challenges // Environmental chemistry letters. 2019. Т. 17. С. 291-317.
3. Liu M. et al. Aptasensors for pesticide detection // Biosensors and Bioelectronics. 2019. Т. 130. С. 174-184.
4. Ying Y.L. et al. A nanopore phosphorylation sensor for single oligonucleotides and peptides // Research. 2019. Т. 2019. DOI: 10.34133/2019/1050735.

Выпускник
Мешков Андрей Владимирович
факультет безопасности информационных технологий
Направление подготовки: 10.04.01 – Информационная безопасность
e-mail: meshkov-av.official@yandex.ru

Научный руководитель
Попов Илья Юрьевич
к.т.н., доцент
e-mail: iupopov@itmo.ru

УДК 004.056

РАЗРАБОТКА МЕТОДА АНАЛИЗА ИНЦИДЕНТОВ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В СЕТЕВОЙ ИНФРАСТРУКТУРЕ

По прогнозам, мировой ущерб в 2023 году от киберпреступлений достигнет 8 триллионов долларов в год. Данная оценка основана на исторических показателях киберпреступности, включая все политические события и особенности, которые связаны с ними (рост киберпреступлений, смена лидеров в области кибербезопасности на мировой арене и в России и т.д.).

Разработка метода анализа инцидентов информационной безопасности в сетевой инфраструктуре необходима по следующим причинам:

1. Увеличение сложности киберугроз: с развитием технологий киберугрозы становятся все более изощренными и сложными. Злоумышленники постоянно разрабатывают новые методы использования уязвимостей в сетевой инфраструктуре.
2. Защита критической инфраструктуры: сетевая инфраструктура часто содержит критически важные узлы и конфиденциальную информацию, которые необходимо защищать.
3. Своевременное обнаружение и реагирование: быстрое обнаружение и реагирование на инциденты безопасности необходимы для минимизации ущерба, наносимого злоумышленниками.

Существующие технические инструменты решают узкие задачи в области информационной безопасности и не позволяют однозначно определить вектор атаки злоумышленника за короткий промежуток времени. В связи с этим был разработан метод, позволяющий повысить эффективность анализа инцидентов информационной безопасности в сетевой инфраструктуре посредством классификации событий операционной системы по матрице MITRE ATT&CK [1].

В общем виде метод анализа инцидентов информационной безопасности выглядит следующим образом (рис. 1):

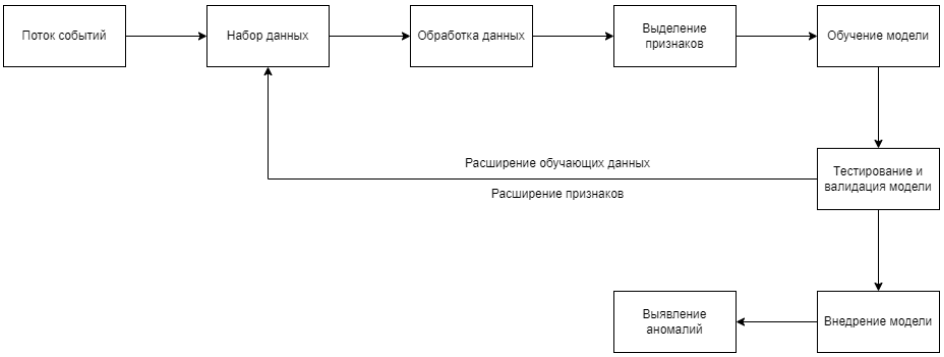


Рис. 1. Общая схема работы метода анализа инцидентов информационной безопасности в сетевой инфраструктуре

Из потока событий в операционной системе выделяется определённый объём данных, проводится его нормализация, выделяются необходимые признаки. Также есть заготовленный набор данных с техниками и тактиками по матрице MITRE ATT&CK. После предобработки данных происходит обучение и тестирование модели, валидация данных, внедрение и получение результата. В работе рассмотрены журнал событий операционной системы Windows, в частности Windows PowerShell.

Для реализации описанного метода применены методы машинного обучения для обработки больших массивов данных и предсказания тактик и техник по матрице MITRE ATT&CK событиям операционной системы Windows.

Эти методы предлагают различные подходы к классификации и кластеризации данных. Методы кластеризации направлены на объединение схожих точек данных на основе определенных критериев, в то время как методы классификации сосредоточены на присвоении меток точкам данных на основе их характеристик. Каждый метод имеет свои сильные стороны и ограничения, и выбор метода зависит от характера данных, решаемой задачи и желаемого результата анализа (табл. 1).

Таблица 1. **Сравнительная таблица методов машинного обучения**

Метод	Преимущества	Недостатки
MultinomialNB + CountVectorizer + GridSearch	+ простота и легкость реализации + быстрое обучение и прогнозирование; + поиск по сетке помогает найти оптимальные гиперпараметры	- предполагает независимость между признаками; - ограниченная интерпретируемость
Random Forest	+ хорошо справляется с нелинейными зависимостями	- требует больше вычислительных ресурсов и времени на обучение; - ограниченная интерпретируемость
DBSCAN	+ не требует предварительного задания количества кластеров	- может быть трудно работать с высокоразмерными данными; - трудности с определением подходящих значений epsilon и min_samples
K-means	+ эффективный и масштабируемый	- требует предварительного определения количества кластеров; - чувствителен к первоначальному выбору центроидов

Анализируя данные из таблицы 1, в качестве метода машинного обучения была выбрана связка MultinomialNB + CountVectorizer + GridSearch, т.к. она проста и легка в реализации, имеет способность к быстрому обучению (доли миллисекунд) и прогнозирование, возможность автоматизированного поиска оптимальных параметров. Основным преимуществом классификации перед кластеризацией является скорость обучения модели.

В статье [2] авторы рассматривают поиск аномальных событий пользователя с помощью построения рекомендательных систем, используя подход collaborative filtering. Данный подход позволяет не описывать каждую потенциально аномальный процесс в системе, а оценивать «предпочтения» пользователей: например, бухгалтеры с низкой вероятностью будут использовать программное обеспечение для написания программного кода и с высокой вероятностью системы учета сотрудников, зарплат и т. д. Таким образом, выстраиваются «предпочтения» групп пользователей и любые отклонения становится легче фиксировать. Недостаток предложенного метода заключается в том, что, если компьютер пользователя, информационная система или пользователь скомпрометирован, то логика работы машинного обучения будет построена неверно. В таком случае необходимо применять supervised-модели, которые не обучаются на трафике конкретных инфраструктур.

Для оценки эффективности полученных результатов используется метрика, которая представляет собой долю правильно предсказанных положительных случаев из всех случаев, предсказанных как положительные, т.е. точность (precision):

$$\text{Precision} = \frac{TP}{TP+FP}. \quad (1)$$

В данном исследовании, где необходимо провести сопоставление тактик и методов MITRE ATT&CK с журналами событий операционной системы Windows, положительные случаи относятся к присутствию конкретных тактик и техник в событиях, наиболее релевантным показателем является точность (precision), поскольку она сосредоточена на способности модели правильно идентифицировать все положительные экземпляры.

Для решения поставленных задач в работе использовались следующий инструменты:

– ысокоуровневый язык программирования Python;
– фреймворк MITRE Caldera [3].

Схема работы разработанного метода представлена ниже (рис. 2).

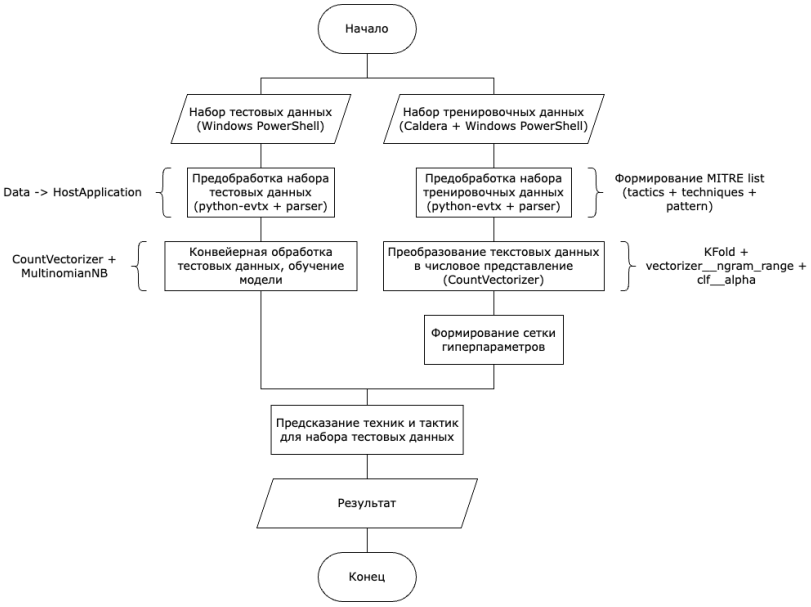


Рис. 2. Схема работы разработанного метода анализа инцидентов информационной безопасности

Предобработка данных набора тестовых и тренировочных данных происходит следующим образом:

1. Журналы событий Windows в формате .evtx (XML представление) (рис. 3) с помощью библиотек python-evtx и json конвертируются в формат JSON (рис. 4) для единообразия и удобства работы с данными.

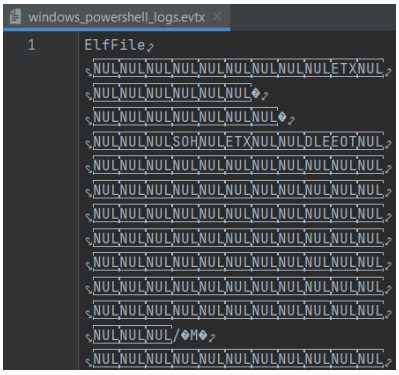


Рис. 3. Пример журнала событий Windows PowerShell в формате .evtx

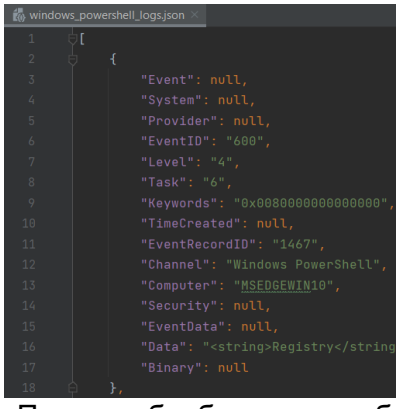


Рис. 4. Пример обработанного события в формате JSON

2. Далее, с помощью библиотеки re формируется массив данных из полученного JSON: из каждого события по ключу “Data” получаем его значение. Затем работаем над полученным значением: применяя регулярные выражения, получаем параметр “HostApplication” и записываем в массив данных (рис. 5).

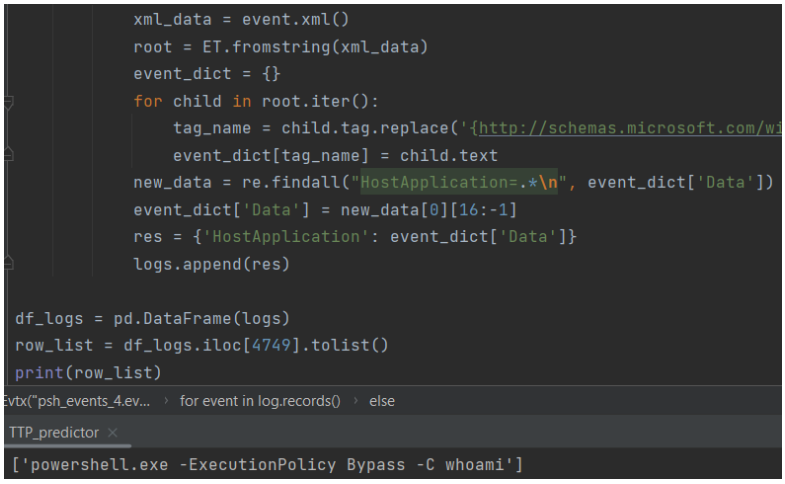


Рис. 5. Результат предобработки данных на примере одного события

Код следует структурированному подходу для загрузки данных, предварительной обработки, обучения модели, предсказания и оценки. В нём используются различные библиотеки для анализа данных, визуализации результатов (pandas, scikit-learn, matplotlib и seaborn).

В ходе эксперименты были реализованы атаки со следующими тактиками и техниками по матрице MITRE ATT&CK:

1. Discovery:

– T1033 (User Discovery);
– T1046 (Network Service Discovery);
– T1018 (Remote System Discovery);
– T1069.001 (Permission Groups Discovery).

2. Credential Access:

– OS Credential Dumping.

Всего было подготовлено 4816 событий:

– training data — 1444 события;
– test data — 3372 события.

После проведения эксперимента были получены следующие результаты:

– график распределения событий по техникам матрицы MITRE ATT&CK (рис. 6);
– значения метрик True-Positive, False-Positive, True-Negative, False-Negative, Precision (табл. 2);
– расширенная матрица ошибок (рис. 7);
– общая матрица ошибок (рис. 8).

Из результатов видно, что точность правильного отнесения события к той или иной тактике составляет 0,9. С учётом времени работы программной реализации (~3 сек. на указанном объёме данных) использование разработанного решения позволяет существенно повысить эффективность анализа инцидентов информационной безопасности, снижая время на реагирования, не теряя качества, при работе с большим количеством событий. Эксперимент проводился с использованием стенда на основе инструмента для эмулирования атак, разработанного компанией MITRE, CALDERA.

В дальнейшем в работе планируется применение анализа событий с операционной системы Linux и использование универсального формата .log.

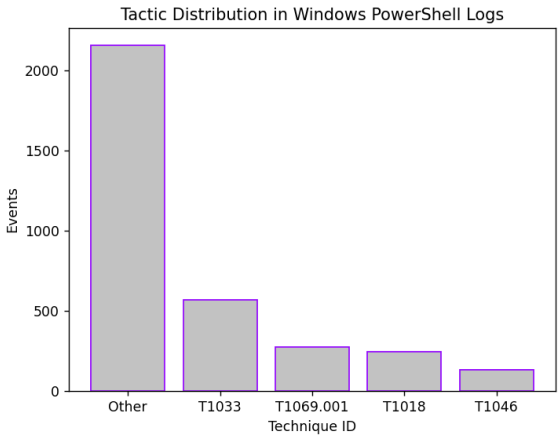


Рис. 6. График распределения событий по техникам MITRE ATT&CK

Таблица 2. **Полученные результаты по метрикам**

Метрика	Результат
True-Positive	1217
False-Positive	133
True-Negative	2022
False-Negative	0
Precision	0,9

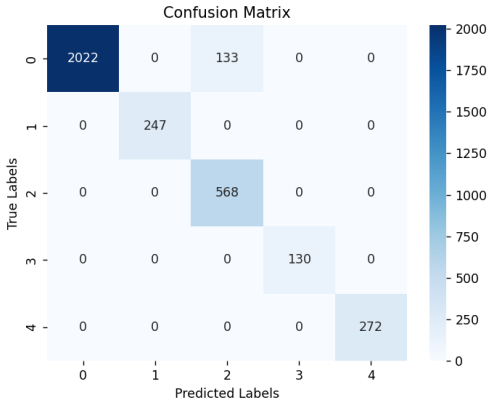


Рис. 7. Расширенная матрица ошибок

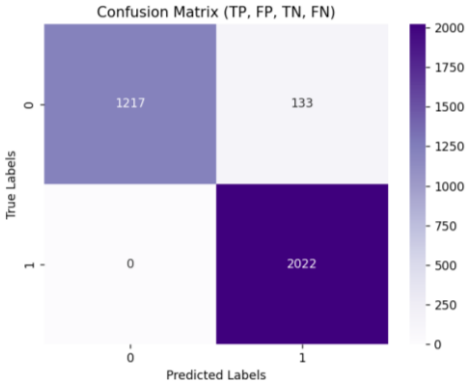


Рис. 8. Общая матрица ошибок

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. MITRE ATT&CK® // MITRE. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://attack.mitre.org/ (дата обращения: 16.05.2023).
2. Поиск аномалий при запусках процессов Windows с помощью рекомендательных систем // Хабр. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://habr.com/ru/companies/pt/articles/726172/ (дата обращения: 24.05.2023).
3. CALDERA // MITRE. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://caldera.mitre.org/ (дата обращения: 16.05.2023).
4. Windows Security Log Encyclopedia // Randy Franklin Smith's Ultimate Windows Security. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.ultimatewindowssecurity.com/securitylog/encyclopedia/ (дата обращения: 16.05.2023).

Выпускник
Нежевенко Сергей Сергеевич
институт "Высшая инженерно-техническая школа"
Направление подготовки: 12.04.02 - Оптотехника
e-mail: S-nezh@mail.ru

Научный руководитель
Ежова Ксения Викторовна
к.т.н., доцент
e-mail: ezhovakv@itmo.ru

УДК 535.015

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ФОРМИРОВАНИЯ ДИНАМИЧЕСКОГО ФОТОННОГО КРИСТАЛЛА С УЧЕТОМ ПРОЦЕССА САМОДИФРАКЦИИ ИЗЛУЧЕНИЯ

Весьма активно в настоящее время развиваются области оптоэлектроники, связанные с изучением динамических наноструктур, позволяющих создавать изменяемые полупроводниковые оптические наносистемы и сенсорные устройства. Объектом исследования являются динамические фотонные кристаллы, которые благодаря природе своей структуры, создающейся в растворе квантовых точек наведенным излучением лазерных источников, могут изменять собственные параметры, вследствие чего изменять своё воздействие на проходящее излучение.

Целью данной работы является создание и исследование математической модели, моделирующей синтез динамического фотонного кристалла произвольной размерности и выполняющей расчёт его параметров.

В процессе работы требуется выполнить следующие задачи [1]:

- расчёт лазерной интерференционной картина в малом объеме пространства;
- вычисление периодов кристалла, сформированного данной картиной;
- расчёт самодифракции лазерных пучков на данном кристалле.

Считывание начальных условий и данных, вводимых пользователем, включает количество лучей, их расположение, интенсивности, длины волн, углы схождения. Воплощение этого шага относительно просто реализовать в программировании, оно осуществляется путем считывания в созданные переменных чисел из отведенных окон приложения.

Расчет суммарной интенсивность для каждой точки в определенном объеме пространства при циклическом изменении радиус-векторов с заданным шагом производится с использованием формулы (1):

$$I = \sum_i \quad {E_{oi}}^2 + \sum_{j<i} \quad 2 * E_{oi} * E_{oj} * cos\ cos\left(\vartheta_{ij}\right) * cos\left(\left(k_j - k_i\right)r + \phi_{0j} - \phi_{0i}\right), \qquad (1)$$

где i, j =2-4, E_{oi}, E_{oj};– амплитуды i,j-ой плоских волн, k_j, k_i– соответствующие волновые вектора, ϕ_{0j}, ϕ_{0i} – начальные фазы, ϑ_{ij} – угол между направлением поляризаций i и j волн.

Данным способом можно моделировать распределение интенсивности в объеме кюветы, симулируя наведение нескольких лазерных пучков в эксперименте, как на рисунке 1.

Далее, циклически сравнивая все записанные величины в памяти с минимальным значением интенсивности, возможно определить периоды данного кристалла через сложение темных, где отношение равно единице, и светлых пятен, где отношение превосходит единицу.

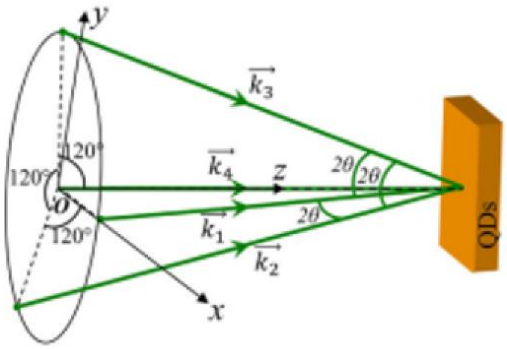


Рис. 1. Схема формирования динамического трехмерного фотонного кристалла четырьмя лазерными лучами [2]

Используя полученные периоды, можно приступить к расчёту углов дифракционных максимумов, формируемых кристаллом, при прохождении через него образующих лазерных пучков. В данном сегменте применяются следующие формулы (2) – (5):

$$a_1(cos\ cos\ (\alpha)\ - cos\ (\alpha_0)) = m_1\lambda, \quad (2)$$

$$a_2(cos\ (\beta) - cos\ (\beta_0)) = m_2\lambda, \quad (3)$$

$$a_3(cos\ (\gamma) - cos\ cos\ (\gamma_0)) = m_3\lambda, \quad (4)$$

$$cos\ cos\ (\alpha^2)\ + cos\ cos\ (\beta^2)\ + cos\ cos\ (\gamma^2)\ = 1, \quad (5)$$

где m_1, m_2, m_3 – целые числа, обозначающие порядок максимума, $\alpha_0, \beta_0, \gamma_0$ – углы падающего пучка относительно координатных осей, α, β, γ – углы дифрагированных пучков.

Таким образом, получив углы порядков дифракционных максимумов и выразив порядки дифракции через гиперболы, вытянутые вдоль каждой из осей, можно определить координаты максимумов на общем распределении интенсивности самодифрагированных пучков на экране позади кюветы. Эти максимумы будут находиться на пересечении вышеупомянутых гипербол, если сумма их порядков является четной. Пример такой картины представлен на рисунке 2.

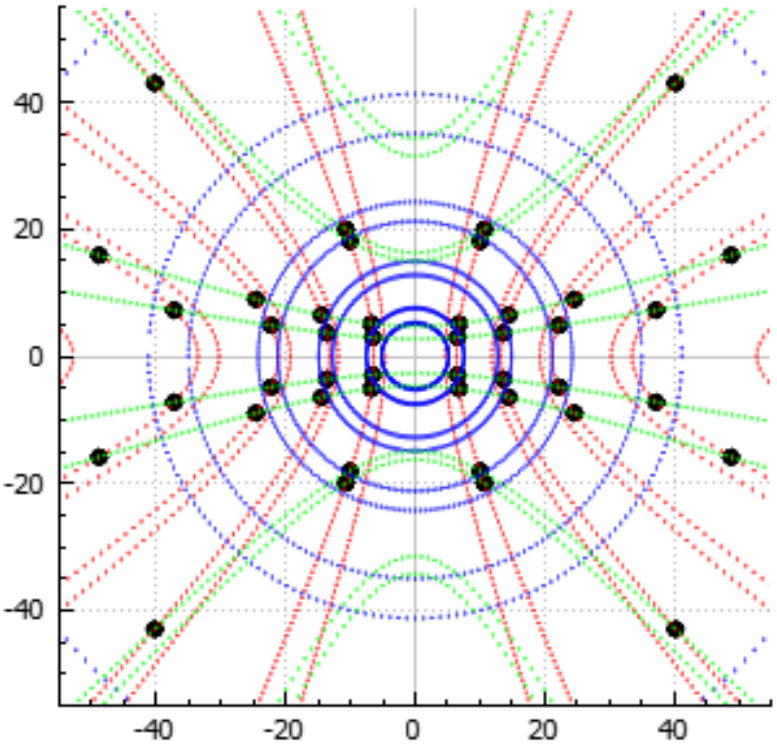


Рис. 2. Рассчитанное распределение интенсивности самодифрагированного пучка на трехмерном динамическом фотонном кристалле

В ходе исследования был написан программный код на языке C++ с использованием компилятора QtCreator, выполняющий поставленные задачи, а также создано графическое приложение, позволяющее взаимодействовать с программой путем ввода данных. Таким образом можно моделировать структуры динамических фотонных кристаллах при различных положениях лазерных источников, а также для получения необходимой информации для каждого из таких случаев.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Смирнов А.М., Голинская А.Д., Ежова К.В., Манцевич В.Н., Днепровский В.С. Самодифракция на сформированном в коллоидном растворе квантовых точек динамическом фотонном кристалле // МГУ им. М.В. Ломоносова, Физический факультет. DOI: 10.7868/S0370274X16220045.
2. Smirnov A.M., Ezhova K.V., Mantsevich V.N., Dneprovskii V.S. Dynamic photonic crystal in a colloidal quantum-dot solution: formation, structure analysis, and dimensionality switching // Quantum Technology Center and Chair of the Department of Semiconductors, Faculty of Physics, Lomonosov Moscow State University. DOI: 10.1364/OL.389127.
3. Smirnov A.M., Tikhonov I.V., Mantsevich V.N., Dneprovskii V.S. Two-dimensional dynamic photonic crystal creation by means of three non-coplanar laser beams interference in colloidal CdSe/ZnS quantum dots solution // Department of Physics, Lomonosov MSU. DOI: 10.1134/S0021364015160122.

Бюллетень аннотаций ВКР выпускников Университета ИТМО

Редакционно-издательский отдел Университета ИТМО
Зав. РИО Н.Ф. Гусарова
Дизайн обложки Д.В. Гавриш
Вёрстка К.Д. Бутылкина
Подписано к печати 01.03.2024
Заказ № 4768 от 01.03.2024

Учебный центр студенческой науки,
конференций и выставок