ИТМО

БЮЛЛЕТЕНЬ АННОТАЦИЙ

выпускных квалификационных работ

часть 1

2022 г.

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИТМО

Бюллетень аннотаций ВКР выпускников Университета ИТМО

Часть 1

Санкт-Петербург
2023

УДК 082.2
ББК 94.3
Бюллетень аннотаций ВКР выпускников Университета ИТМО. Часть 1. – СПб.: Университет ИТМО, 2023. – 422 с.

В бюллетене представлены лучшие аннотации научно-исследовательских выпускных квалификационных работ победителей и лауреатов конкурса на лучшую научно-исследовательскую выпускную квалификационную работу (НИВКР) среди выпускников Университета ИТМО 2022 года.

Университет ИТМО (Санкт-Петербург) — национальный исследовательский университет, ведущий вуз России в области информационных, фотонных и биохимических технологий. Альма-матер победителей международных соревнований по программированию: ICPC (единственный в мире семикратный чемпион), Google Code Jam, Facebook Hacker Cup, Яндекс.Алгоритм, Russian Code Cup, Topcoder Open и др. Приоритетные направления: IT и искусственный интеллект, фотоника, робототехника, квантовые коммуникации, трансляционная медицина, Life Sciences, Art&Science, Science Communication.
Входит в ТОП-100 по направлению «Автоматизация и управление» Шанхайского предметного рейтинга (ARWU) и занимает 74 место в мире в британском предметном рейтинге QS по компьютерным наукам (Computer Science and Information Systems). Представлен в мировом ТОП-200 по телекоммуникационным технологиям (Telecommunication engineering), а также в ТОП-300 по нанонаукам и нанотехнологиям (Nanoscience & Nanotechnology) ARWU. Входит в ТОП-200 по инженерным наукам (Engineering and Technology), в ТОП-300 по физике и астрономии (Physics & Astronomy), наукам о материалах (Materials Sciences), а также по машиностроению, аэрокосмической и промышленной инженерии (Mechanical, Aeronautical & Manufacturing Engineering) рейтинга QS. Лидер проекта «Приоритет – 2030».

© Университет ИТМО, 2023
© Авторы, 2023

ВВЕДЕНИЕ

«Бюллетень аннотаций ВКР выпускников Университета ИТМО» опубликована по результатам конкурса на лучшую научно-исследовательскую выпускную квалификационную работу выпускников Университета ИТМО 2022 года (Приказ о подготовке и проведении конкурса № 599-од от 26.05.2022 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 13 бакалавров и 22 магистров, лауреатами II степени – 13 бакалавров и 19 магистров, лауреатами III степени - 8 бакалавров и 13 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 НТС (заключительном этапе). Таким образом, на мегафакультетах состоялось 5 конкурсов на «Лучшую НИВКР» среди бакалавров и 5 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 770 выпускников. Из них приняло участие: 129 магистров и 52 бакалавра.

Статистические данные участия бакалавров в конкурсе

Этап	Название конкурса	Приняло участие	Победители различных степеней
I	Конкурс факультетов/ институтов/кластеров	52	34
II	Конкурс мегафакультетов	12	5
III	Конкурс университета	6	6

По итогам конкурса среди бакалавров было определено 6 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	129	54
II	Конкурс мегафакультетов	17	6
III	Конкурс университета	11	11

По итогам конкурса среди магистров было определено 11 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 приказом ректора Университета ИТМО № 2561-уч от 08.08.2022 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» ... 12

Борисов Н.О.
Разработка технологии производства закваски прямого внесения для производства ферментированных продуктов на молочной основе ... 13

Власова Е.К.
Крупномасштабный анализ нейтрализующих антител против COVID-19 на основе данных из открытых источников ... 19

Гусельников М.С.
Инерционность колебательного механизма гигантской нелинейности оптических материалов в терагерцовом спектральном диапазоне ... 24

Дорофеева В.В.
Разработка стратегии продвижения инновационного продукта на рынке Foodtech России ... 30

Пименов А.В.
Разработка и анализ методов обеспечения информационной безопасности данных при передаче в туманных вычислениях на основе технологии блокчейн ... 32

Прокошева А.В.
Изучение показателей качества и безопасности зоокомпоста после культивирования личинок мухи Hermetia Illucens ... 36

БАКАЛАВРЫ Лауреаты I степени «Лучшую научно-исследовательскую выпускную квалификационную работу бакалавров Университета ИТМО» ... 40

Алликас Д.Д.
Разработка оптико-электронной системы для контроля качества готовой продукции на поточной линии ... 41

Бондаренко А.Г.
Лазерное управление смачиваемостью поверхности стекла для задач микрофлюидики ... 46

Власова М.А.
Разработка конструкции и технологии изготовления ячейки ядерного магнитного гироскопа ... 52

Климшина В.И.
Исследование характеристик растворов на основе гиалуроновой кислоты с мангиферином ... 57

Маньшина Е.В.
Разработка автоматизированного рабочего места начальника смены центра дистанционного контроля и управления для организации движения электропоездов ... 62

Садовщиков И.И.
Разработка алгоритмов анализа текстовых комментариев при проведении экспертизы рабочей программы дисциплины ... 67

Яковлев З.А.
Межслоевой экситонный полярон в атомарно-тонких полупроводниках ... 69

БАКАЛАВРЫ Лауреаты II степени «Лучшую научно-исследовательскую выпускную квалификационную работу бакалавров Университета ИТМО» ... 75

Виссарионова Е.С.
Разработка и создание макета абсолютного углового оптического энкодера ... 76

Гармаев А.Т.
Исследование и разработка рефрактометра на основе наклонных волоконных брэгговских решеток 81

Диденко Е.С.
Программный модуль для систем идентификации личности по рисунку вен пальцев 87

Ермолаев В.М.
Исследование возможности соединения волос для наращивания лазерным излучением с длиной волны 980 нм 92

Казакова С.А.
Разработка модели детектирования опасных отказов автоматизированной системы управления в процессе самодиагностики с использованием методов машинного обучения 97

Корнеев С.Г.
Моделирование и исследование фильтрации спектра системой трёх интерферометров Фабри-Перо 101

Микаилов Т.И.
Прототип коммуникационного мобильного приложения для создания и прослушивания коротких аудио 104

Митенева С.Е.
Подбор химических реагентов для нормализации работы системы очистки сточных вод BIOCON 109

Моисеенкова Е.Д.
Разработка модели системы электропривода для управления движением робота на сферическом основании 114

Никитин И.Ю.
Получение анодного оксида алюминия на поверхности массива серебряных наночастиц для устройств плазмоники 118

Пунченко Е.В.
Проект «Современное школьное кафе» 123

Соболева В.А.
Расчет характеристик цилиндрических капсул с теплоаккумулирующим веществом 128

Стукалов Д.О.
Разработка модуля уведомлений микросервисного приложения 132

БАКАЛАВРЫ Лауреаты III степени «Лучшую научно-исследовательскую выпускную квалификационную работу бакалавров Университета ИТМО» 135

Берников М.Д.
Разработка солнечной скульптурной инсталляции для установки на улицах города 136

Волошина А.Л.
Изготовление суперпозиций чирпированных волоконных решеток Брэгга и исследование их применения для измерения температуры 142

Гончаров Ф.М.
Исследование фазовых искажений в системе квантового распределения ключа на непрерывных переменных 147

Кийски В.Д.
Разработка технологии получения комплекса биологически активных веществ из рябины черноплодной (Arónia Melanocárpa) 149

Осипов Е.В.
Исследование алгоритмов управления четырёхногого робота с гибкой спиной 154

Цителова А.Д.
Создание VR локации «Дом Рона Уизли» 157

Шницарь Н.В.
Генерация цифровых водяных знаков и их внедрение методами машинного обучения 162

МАГИСТРЫ Победители конкурса на «Лучшую научно-исследовательскую выпускную квалификационную работу магистров Университета ИТМО» 168

Алибутаев А.К.
Бизнес-тезис «MENTO»: разработка стратегии реализации и вывода на рынок проекта для предотвращения эмоционального выгорания 169

Aliev T.A.
Application of artificial intelligence methods and data processing for chemical systems analysis 173

Артемьев Д.В.
Совершенствование технологических процессов теплопередачи в ожижителях природного газа 178

Борисова Ю.И.
Гибридизация гидродинамических моделей и методов автоматического машинного обучения для повышения эффективности решения прогностических задач 181

Годовова А.С.
Создание и исследование системы контроля динамического диапазона для схемы гомодинной демодуляции в волоконно-оптических интерферометрических датчиках 186

Горланова К.С.
Арт-проект «~~любовь~~. эсхатология. машина»: критическое исследование характера межличностных отношений при обмене данными онлайн 192

Дружинина А.Р.
Бизнес-тезис "Return-It": разработка установки по опознанию вторсырья 198

Кинёв И.Е.
Методы расчета и визуализации пространственного распределения освещенности в трехмерных моделях оптически сложных сцен 202

Разливина Ю.С.
Реализация подхода synthesis-by-design для получения наноматериалов с каталитической активностью 208

Рыбин В.В.
Эффекты нелинейной динамики в ловушке пауля для характеристики одиночных мезоскопических объектов 211

Сомонов В.В.
Совершенствование механизма управления интеллектуальной собственностью организации в сфере аддитивного производства 216

МАГИСТРЫ Лауреаты I степени «Лучшую научно-исследовательскую выпускную квалификационную работу магистров Университета ИТМО» 221

Абрамов А.Н.
Разработка источников одиночных фотонов на основе двумерных полупроводников, интегрированных с нанофотонными структурами 222

Бокарева А.А.
Проектирование и исследование влияния мобильного приложения единая персональная медицинская карта 228

Завитаев А.С.
Исследование механических характеристик ядерного магнитного гироскопа 233

Иванова Т.В.
Создание ван-дер-ваальсовых гетероструктур из двумерных материалов / fabrication of van der waals heterostructures from two-dimensional materials 237

Козлова О.К.
Разработка и анализ светодиодной системы для проекта освещения паркового пространства 240

Михтанюк С.Е.
Исследование некоторых лизинсодержащих дендримеров и их взаимодействия с лекарственными пептидами 245

Мишина М.Э.
Разработка метода восстановления данных городского контекста с использованием геопространственной информации 250

Федосенко М.Ю.
Разработка методики выявления мошеннических транзакций с применением методов машинного обучения на основе анализа моделей поведения пользователей 253

Щедрина Н.Н.
Изменение функциональных свойств поверхности металлов для различных применений путем лазерного управления смачиванием 259

МАГИСТРЫ Лауреаты II степени «Лучшую научно-исследовательскую выпускную квалификационную работу магистров Университета ИТМО» 265

Баранова Е.А.
Структура городской идентичности в проектировании дизайн-кода для брендинга малых городов 266

Воропаева А.И.
Разработка графической новеллы о поддержке онкологических пациентов и их близких 271

Головко А.А.
Адаптация системы сбора и предоставления данных с промышленного оборудования к облачной архитектуре 275

Голубева А.С.
Технологический аспект комплексного направления устойчивого развития: разработка проекта создания реактора для мусороперерабатывающих установок 278

Дрозд В.С.
Бинарные антисмысловые олигонуклеотидные агенты (БиАСО) для онкомаркер-зависимой деградации целевой РНК 284

Иванов А.А.
Исследование и разработка универсальной системы управления динамическим тестированием безопасности веб-приложений 289

Инь Чанчэн
Development of underwater wireless communication system 292

Каршева К.
Исследование интенсификации процесса гидролиза кератинсодержащих отходов птицеперерабатывающей отрасли при помощи ультразвукового воздействия 298

Климова Е.Н.
Вопросы магнитного экранирования чувствительного элемента волоконно-оптического гироскопа 300

Ковач Я.Н.
Оптимизация схемы оптической стыковки полупроводникового кристалла фотоприемника спектрального диапазона 1,3–1,6 мкм и одномодового оптического волокна 305

Коннов Д.А.
Разработка и исследование волоконно-оптического интерферометра Фабри-Перо для высокотемпературных измерений 309

Корнеев А.И.
Development Of a multilevel adaptive algorithm for urban events detection through social media data. 315

Кузнецова А.П.
Оценка степени биоразложения материалов по ISO 17556, совершенствование методики и разработка установки по ГОСТ Р 57219–2016 320

Летова Е.Ю.
Исследование методов определения центра пятна рассеяния и разработка программы для анализа качества оптической системы по зарегистрированной функции рассеяния точки 325

Li Chunyu
Laser direct writing of volume diffraction phase elements in glass: design, fabrication and testing 330

Матюшкина А.А.
Исследование фотолюминесценции с временным и спектральным разрешением аллоидных квантовых точек CdxZn1-xSeyS1-y/ZnS и их нанокомпозитов с SPION в живых клетках 336

Олимпиев Н.В.
Сравнительный анализ интерпретаторов языка python для создания веб-приложений 342

Петраков Д.А.
Разработка системы распознавания людей в режиме реального времени для низкопроизводительных устройств 348

Семыкина В.В.
Определение спектральных маркеров цитомегаловирусной инфекции в плазме крови человека.... 352

МАГИСТРЫ Лауреаты III степени «Лучшую научно-исследовательскую выпускную квалификационную работу магистров Университета ИТМО» 357

Бородина Л.Н.
Индуцированное светом и магнитным полем движение люминесцентных наночастиц по данным лазерной сканирующей микроскопии 358

Веселова М.Д.
Разработка алгоритма повышения безопасности процедуры обмена сообщениями между судном и береговыми объектами 364

Дмитриева А.П.
Наноструктурные электрокатализаторы ля катодного электроорганического синтеза 368

Журавлев Д.Д.
Разработка библиотеки приема-передачи данных по протоколу UART для проведения исследований тепловых воздействий на волоконно-оптический гироскоп 372

Канунникова К.И.
Разработка проекта по организации производства экологически чистых упаковочных материалов 377

Карташова М.В.
Разработка метода обеспечения динамической устойчивости в системах управления роботами на сферическом основании 383

Погостина А.С.
Разработка метода оценки потенциала развития улиц 389

Скрутелев Е.С.
Особенности разработки мобильных приложений для устройств под управлением ос ioS с использованием технологии Bluetooth Low Energy 395

Сметанин А.А.
Разработка метода классификации признаков объектов по малым обучающим выборкам оптических изображений их поверхностей.....401

Столбова Е.С.
Исследование и обоснование технологии мясного продукта с защитным пленкообразующим покрытием на основе хитозана.....406

Файзрахманов Р.Р.
Разработка и исследование пользовательских интерфейсов систем «Умный дом».....411

Фахртдинова С.З.
Исследование опыта внедрения предиктивных систем контроля промышленных выбросов 417

БАКАЛАВРЫ

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

УДК 663.18

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ЗАКВАСКИ ПРЯМОГО ВНЕСЕНИЯ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ФЕРМЕНТИРОВАННЫХ ПРОДУКТОВ НА МОЛОЧНОЙ ОСНОВЕ

Борисов Н.О.

Научный руководитель – Ашихмина М.С., младший научный сотрудник лаборатории интеллектуальных технологий в инфохимии, факультета биотехнологий, научно-образовательного центра инфохимии

borisov_nikita@itmo.ru

Ключевые слова

Закваска прямого внесения, молочнокислые бактерии, ферментированный продукт, кривая роста бактерий, лиофилизация, криопротектор.

Людям со всего мира давно известно, что молочные ферментированные продукты содержат все необходимые компоненты для организма, которые играют передовую роль в выполнении физиологических функций организма человека. Закваскими называют культуры микроорганизмов, чаще всего бактерий, которые вносятся в естественный субстрат для получения ферментированных продуктов. Микроорганизмы, попав в среду, начинают активно размножаться, вызывая молочнокислое, спиртовое или пропионовокислое брожение.

Применение заквасок в современной пищевой промышленности широко распространено. В последнее время ученые и технологи начали создавать новые закваски с улучшенными свойствами и штаммами микроорганизмов, входящих в состав.

Главным объектом данной работы являются бактерии, используемые в качестве закваски (*Bacillus Coagulans* и *Streptococcus Thermophilus)*.

Изучение культуральных свойств бактерий – основополагающий процесс, необходимый для построения кривых роста двух видов бактериальных культур [1]. Оптимизация питательной среды нужна для более интенсивного роста микроорганизмов. Производится с помощью добавления в среду ростового вещества – лактозы, дисахарида, ускоряющего рост бактерий. Схема данного этапа приведена на рисунке 1.

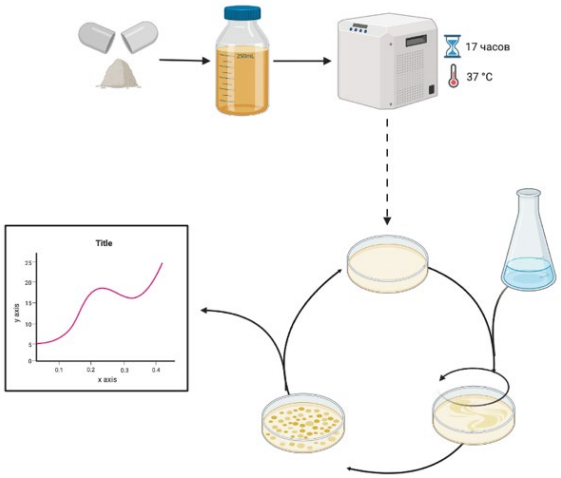


Рис. 1 – Схема этапа исследования культуральных свойств

Процесс оптимизации питательной среды позволяет увеличить количество колониеобразующих единиц в единице объема с помощью добавления дополнительного источника углерода, лактозы, в питательную среду. Для определения внесения необходимого количества дисахарида, была выбрана продолжительность культивирования в течение 17 часов и четыре различные концентрации выбранного сахара: 5%, 10%, 15% и 20%. Полученные результаты можно увидеть на рисунке 2.

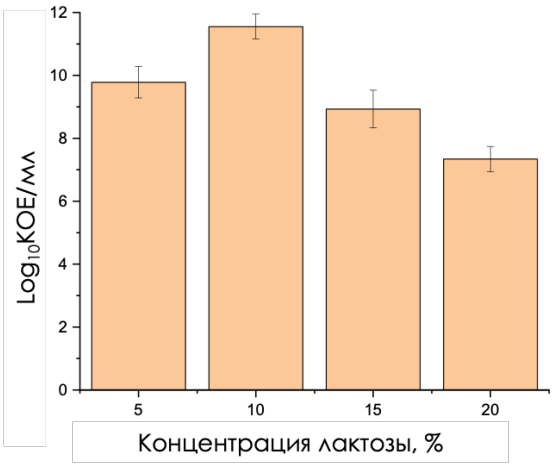


Рис. 2 – Количество КОЕ в мл продукта в зависимости от концентрации лактозы

На рисунке 2 наибольшее количество КОЕ на мл среды соответствует концентрации сахара в 10%. Именно ввиду этого факта для оптимизации питательной среды была выбран раствор лактозы с концентрацией 10%.

Основные результаты исследования были получены на этапе изучения объектов данной работы – бактерий *Bacillus Coagulans* и *Streptococcus Thermophilus.* Были построены две кривые роста для каждой из бактерий соответственно [2]. Рисунок 3 отражает полученные зависимости количества КОЕ/мл от продолжительности культивирования.

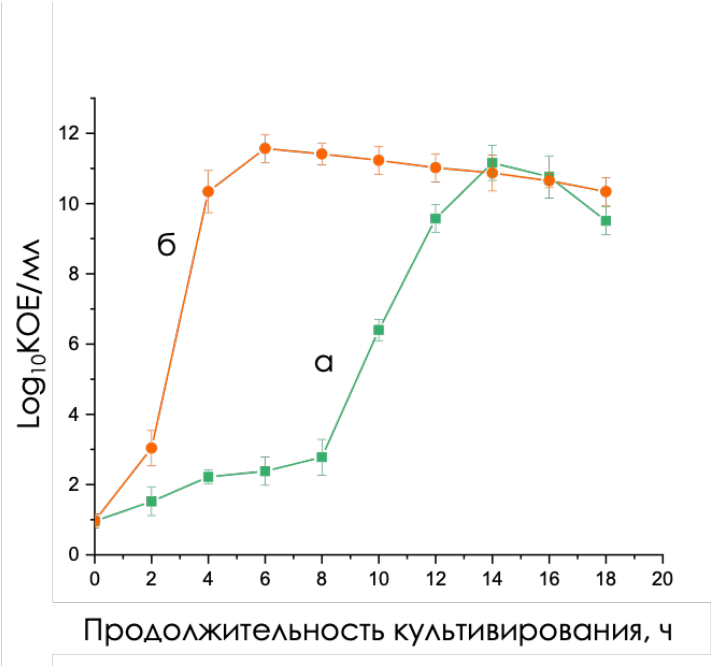


Рис. 3 – Кривая роста бактерий: а – Bacillus Coagulans; б – Streptococcus Thermophilus

Проанализировав приведенные выше графики, можно однозначно сказать, что они соответствуют классическому представлению кривой роста бактерий и имеют четкие границы экспоненциальной и стационарной фазы. Это нам позволяет определить момент, когда бактерии максимально активны и многочисленны.

Подготовка к лиофилизации – важнейший этап исследования. Он необходим для сохранения жизнеспособности микроорганизмов в процессе лиофилизации. Включает в себя часть подбора методов подготовки и непосредственную подготовку бактерий. Схема данного этапа экспериментальной части приведена на рисунке 4.

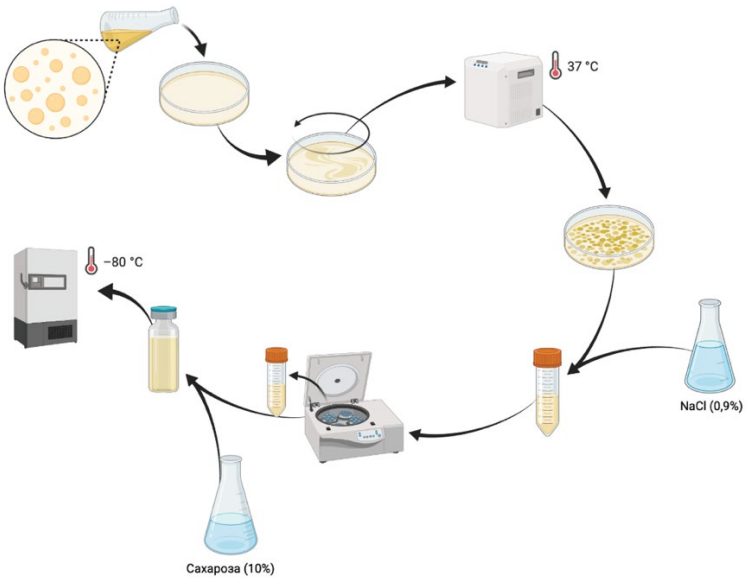


Рис. 4 – Схема этапа исследования подготовки к лиофилизации

Центрифугирование для осаждения биомассы проводилось в течение 5 минут при 5000 rpm. Данный режим позволяет качественно отделить бактериальную массу от супернатанта, а также сохранить жизнеспособность клеток. После проведения центрифугирования и отделения супернатанта необходимо внести криопротектор. В результате в качестве криопротектора была выбрана сахароза. Для определения оптимальной концентрации были проведены предварительные исследования, результаты которых приведены на рисунке 5.

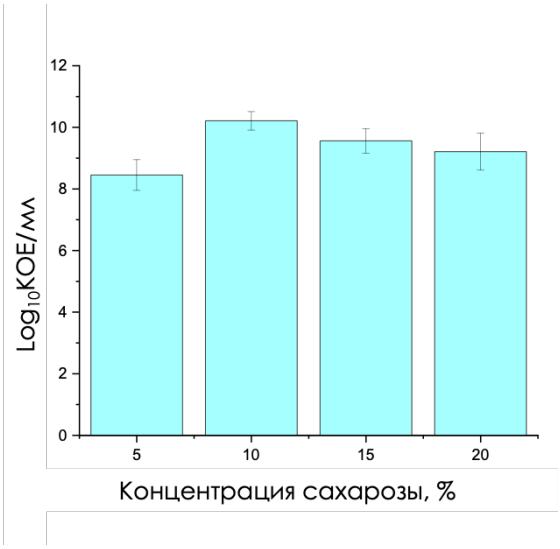


Рис. 5 – Значения lg КОЕ/г в зависимости от концентрации криопротектора

На рисунке приведены данные зависимости десятичного логарифма КОЕ/г от концентрации криопротектора, используемого при лиофилизации бактериальной массы. В результате предварительных исследований в качестве используемого криопротектора была выбрана сахароза с массовой долей 10%.

Основной этап исследования, проводимого в рамках выпускной квалификационной работы – лиофилизация. Именно низкотемпературная сушка позволяет впоследствии использовать бактерии в качестве закваски и максимально продлить срок ее хранения.

Следующий этап исследовательской работы – исследование свойств закваски на предмет возможности применения для производства ферментированного продукта на молочной основе. Для этого проводится определение титруемой и активной кислотности в зависимости от продолжительности сквашивания.

Последний этап исследования – хранение полученной закваски. Полученную закваску оставляют на хранение при температурах 4°С, 20°С, –18°С и –80°С. В процессе хранения выполняется определение количества КОЕ/г закваски для определения выживаемости, и, соответственно, срока хранения полученной закваски. Схема исследования данных этапов экспериментальной части приведена на рисунке 6.

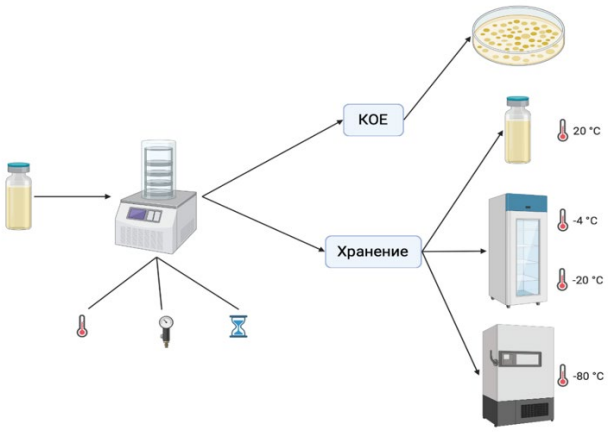


Рис. 6 – Схема этапов исследования лиофилизации и хранения

Для обеспечения наиболее качественного протекания лиофилизации необходимо подобрать оптимальные параметры режима лиофилизации: давление, температура, продолжительность. Проанализировав аналогичные исследования, проводимые отечественными и зарубежными авторами, был подобран следующий режим лиофилизации, состоящий из 5 этапов: первичная сушка I (560 минут, –5°С, 0,90 мбар), первичная сушка II (420 минут, 15°С, 0,60 мбар), вторичная сушка I (240 минут, 25°С, 0,40 мбар), вторичная сушка II (120 минут, 25°С, 0,30 мбар), вторичная сушка III (120 минут, 25°С, 0,10 мбар).

Определение показателей активной и титруемой кислотности производилось в течение времени сквашивания молока. Ниже на рисунке 7 представлены графики изменения активной и титруемой кислотности в процессе сквашивания полученной бактериальной закваской [3].

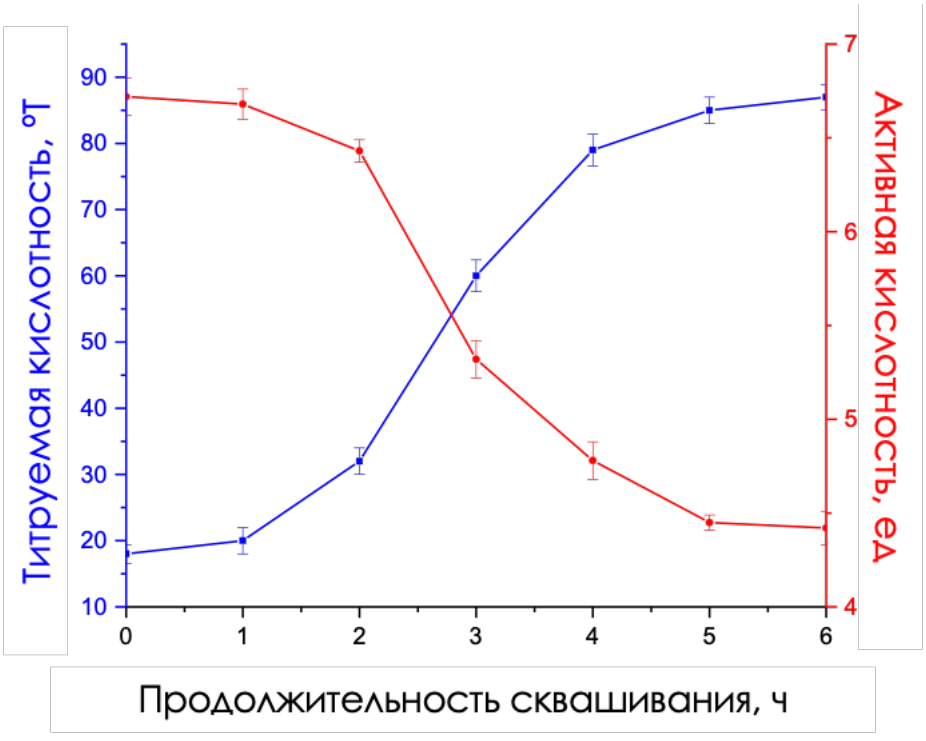


Рис. 7 – Динамика кислотонакопления в процессе скавашивания: а – активная кислотность; б – титруемая кислотность

Исходя из полученных результатов можно сделать вывод, что в течение третьего часа сквашивания наблюдается резкий скачок кислотонакопления. Именно в это время уже наблюдается плотный сгусток. Это свидетельствует о том, что полученная закваска сквашивает молоко в течение 3 – 4 часов.

Помимо физико-химических и биохимических показателей необходимо было также оценить органолептические свойства полученного продукта. Оценка проводилась по семи показателям: общее впечатление о продукте, глянцевость поверхности, ощущение вязкости, сладость, кислинка, запах и горечь. Анализ проводился комиссией из десяти человек. Профилограмма оценки органолептических показателей представлена на рисунке 8.

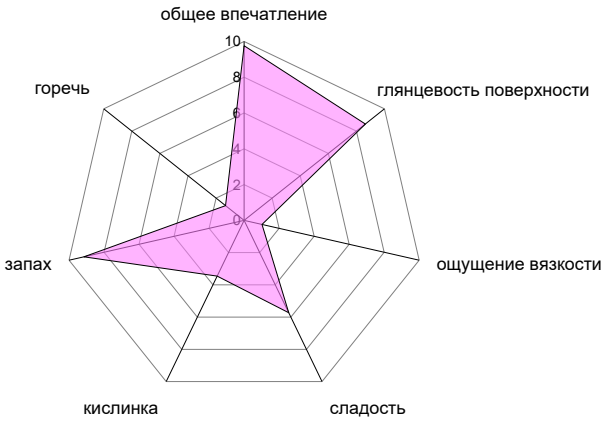


Рис. 8 – Профилограмма органолептической оценки продукта

Проанализировав полученные результаты, можно утверждать, что полученный продукт на закваске прямого внесения обладает приемлемыми для ферментированного продукта органолептическими свойствами, что позволяет ему стать аналогом классических кисломолочных продуктов.

Определение сроков хранения – одна из ключевых задач при промышленном и лабораторном производстве закваски. Таким образом, после основных этапов исследования, необходимо было определить минимальный срок хранения полученной закваски.

Условия хранения закваски не изменялись в течение времени хранения: –80°С, –18°С, 4°С, 20°С в стерильных флаконах пенициллиновых [4]. Измерение проводилось каждый месяц в течение 12 месяцев. Полученные результаты можно увидеть на рисунке 9.

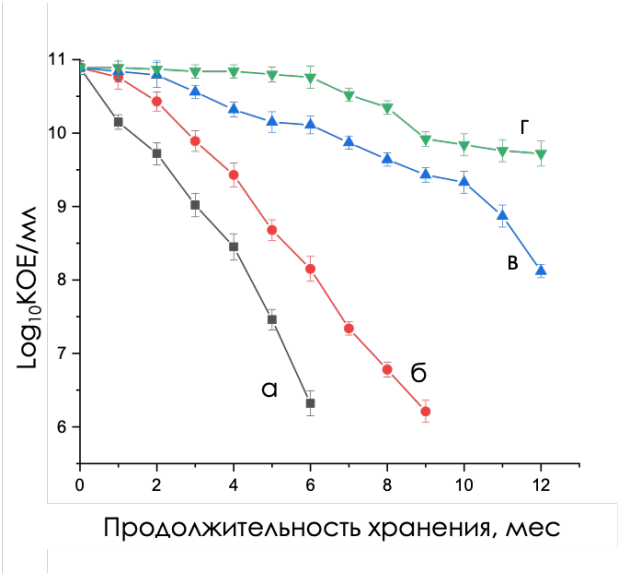


Рис. 9 – Динамика количества колониеобразующих единиц в процессе хранения:
а – при 20°С; б – при 4°С; в – при –18°С; г – при –80°С

Проанализировав полученные данные, был сделан вывод, что оптимальная температура хранения –80°С позволяет сохранить полученную закваску максимальное количество времени. Ожидается, что это время составит минимум 18 месяцев.

Проанализировав полученные результаты научно-исследовательской части, можно сделать вывод, планируемые эксперименты проведены полностью, а результаты получены и обработаны в полном объеме.

В рамках данной темы будет продолжена научно-исследовательская работа по изучению применения других ростовых веществ для питательных сред, криопротекторов и их концентраций, а также определение срока хранения.

Список использованных источников

1. ГОСТ ISO 6887-6-2015 «Подготовка проб для анализа, исходной суспензии и десятичных разведений для микробиологического анализа»: Специальные правила приготовления проб, отобранных на начальной стадии производства. – введ. 2016-07-01. – М.: Стандартинформ, 2016. – 15 с.
2. Общая фармакопейная статья ОФС.1.7.2.0008.15 «Определение концентрации микробных клеток»: Министерство Здравоохранения РФ.
3. ГОСТ 3624-92 «Молоко и молочные продукты»: Титриметрические методы определения кислотности. – введ. 1994-01-01. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2004. – 9 с.
4. Cabello-Olmo M. et al. Influence of storage temperature and packaging on bacteria and yeast viability in a plant-based fermented food //Foods. – 2020. – Т.9. – №3. – С. 302.

УДК 004.023

КРУПНОМАСШТАБНЫЙ АНАЛИЗ НЕЙТРАЛИЗУЮЩИХ АНТИТЕЛ ПРОТИВ COVID-19 НА ОСНОВЕ ДАННЫХ ИЗ ОТКРЫТЫХ ИСТОЧНИКОВ

Власова Е.К.

Научный руководитель – Алексеев Н.В., кандидат физико-математических наук, сотрудник Международной лаборатории «Компьютерные технологии»

evlasova@niuitmo.ru

Ключевые слова

Иммуногеномика, репертуар антител, SARS-CoV-2, аллельный анализ, статистический анализ.

Антитела – это белки, состоящие из двух легких и двух тяжелых цепей. Они генерируются при помощи так называемой VDJ рекомбинации, в ходе которой три гена (один V ген, один D ген и один J ген) конкатенируются, образуя общую последовательность нуклеотидов. Самым длинным из этих трех генов является V ген, поэтому наибольший акцент в данном исследовании сделан именно на этом типе генов. Наиболее важными частями в антителе являются CDR (complementarity determining region) – части белка, которыми он связывается с антигеном. Всего в антителе три CDR, из которых наиболее часто используется CDR3. Обычно после генерации антителам нужно время на приобретение дополнительных соматических мутаций для того, чтобы стать наиболее эффективными против антигена. Однако, в 2021 году было проведено исследование, которое показало, что в случае с SARS-CoV-2 действенными оказываются также антитела, которые сразу после генерации являются довольно селективными [1]. Такие антитела называют стереотипными, и они обладают следующими свойствами: последовательность CDR3 имеет длину в девять аминокислот, CDR3 достаточно консервативен, такие антитела генерируются при помощи одного из двух V генов – IGHV3-53 или IGHV3-66. Кроме того, стоит отметить, что обычно разные пациенты генерируют абсолютно различные антитела, но в случае с SARS-CoV-2 у большого числа пациентов находятся одинаковые стереотипные антитела. Таким образом, целью данной работы было понять, какие факторы отвечают за генерацию стереотипных антител, и правда ли, что наличие стереотипных антител положительно сказывается на тяжести заболевания пациентов.

Данные секвенирования репертуаров антител

Для проведения анализа в первую очередь было необходимо собрать большое количество данных. Стоит отметить, что исследование [1], упомянутое выше, было проведено на относительно небольшой когорте (всего 17 пациентов), чего недостаточно для полноценного статистического анализа. Для расширения выборки пациентов был проведен поиск других проектов по секвенированию репертуаров антител пациентов, больных COVID-19, в открытых базах данных. В результате этого было собрано 8 проектов, в которых в общей сложности участвовало 132 пациента. Поскольку некоторых пациентов секвенировали несколько раз (в разные дни заболевания), в этих проектах было 396 запусков секвенирования. В ходе дальнейшего анализа были обнаружены значительные отличия в пробоподготовке двух проектов, что не позволило продолжить работать с ними. В результате исключения этих двух проектов из общей выборки осталось 99 пациентов и 253 запуска секвенирования.

Поиск стереотипных антител

Для поиска стереотипных антител была реализована вероятностная процедура, которая для каждого антитела высчитывала штраф за его отнесение к стереотипным как сумму штрафов на всех позициях, относящихся к CDR3 вариабельному региону антитела. Штраф за каждую позицию вычислялся как разность единицы и вероятности увидеть какую-либо

аминокислоту на этой позиции. В частности, вероятность высчитывалась как вероятность увидеть эту аминокислоту в последовательностях CDR3, которые были найдены в исследовании Kim et al [1]. Отсечка для максимального размера штрафа, позволяющего отнести антитело к стереотипным, была определена при помощи перебора различных отсечек с учетом того, чтобы распределение запусков секвенирования не значительно менялось при переходе от одного значения отсечки к следующему.

В результате работы алгоритма стереотипные антитела были найдены у 55 пациентов из 99 (78 запусков секвенирования). Это говорит о том, что стереотипные антитела действительно встречаются часто у людей разной национальности и с разной тяжестью заболевания. Для оценки влияния наличия стереотипных антител на тяжесть заболевания был проведен статистический тест хи-квадрат, который позволил отвергнуть нулевую гипотезу о том, что наличие стереотипных антител не влияет на тяжесть заболевания ($P = 0{,}0009$) (рис.1,a). Для более детального анализа стереотипных антител запуски секвенирования были поделены на четыре группы: none – запуски без стереотипных антител, 66 – запуски только со стереотипными антителами, полученными из гена IGHV3-66, 53 – только из гена IGHV3-53, both – запуски с обоими типами стереотипных антител. В результате такого разбиения было обнаружено, что используемость гена IGHV3-66 статистически значимо зависит от типа стереотипных антител, присутствующих в запуске, хотя в случае с геном IGHV3-53 такого не наблюдается (рис.1,b).

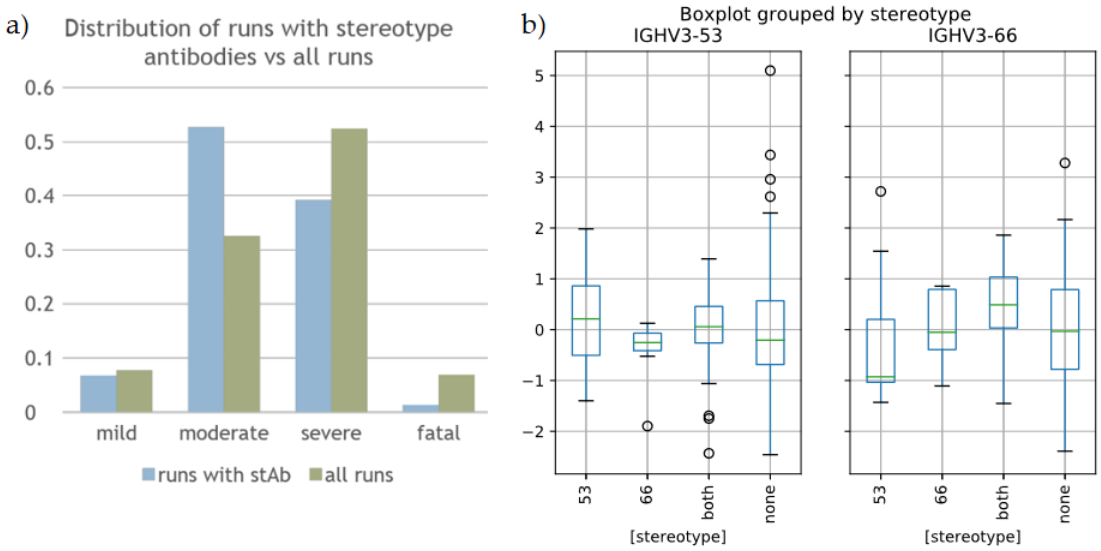


Рис. 1 – a) Распределение тяжести заболевания в запусках со стереотипными антителами (синий) и всех запусках секвенирования (зеленый); b) Ящики с усами, построенные для генов IGHV3-53, IGHV3-66 при группировке по типу стереотипных антител. Отличия для IGHV3-66 являются статистически значимыми (ANOVA тест)

Известно, что в целом по популяции корреляция между используемостью генов IGHV3-53 и IGHV3-66 отрицательная, в результате чего было принято решение проверить это на наших данных. Однако, при рассмотрении всех данных оказалось, что корреляция отсутствует (рис.2,a). Возникла гипотеза, что отсутствие корреляции есть комбинация двух разных по модулю корреляций, что подтвердилось в ходе дальнейшего анализа. Оказалось, что корреляция отрицательна, если рассматривать только те данные, в которых есть хотя бы какие-то стереотипные антитела (рис.2,c), но положительна в том случае, если стереотипных антител нет (рис.2,b). Кроме того, значение отрицательной корреляции увеличивается по модулю при переходе от наличия хотя бы каких-то стереотипных антител к наличию стереотипных антител обоих типов (рис.2,d). Такие результаты могут говорить о возникновении аномалии при отсутствии стереотипных антител, которая устраняется при их появлении. В частности, возникла гипотеза о влиянии генотипа на наличие стереотипных антител, поэтому следующим этапом анализа стал анализ аллелей генов, отвечающих за генерацию стереотипных антител.

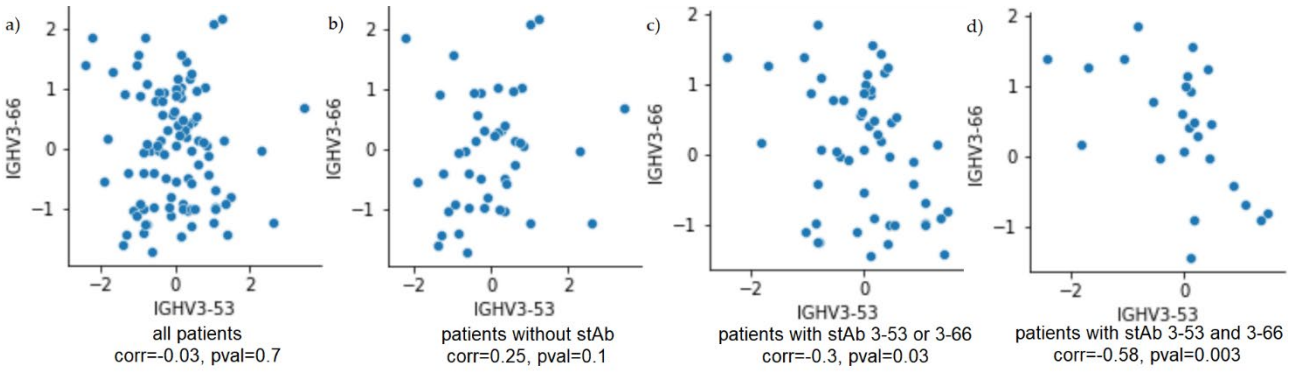


Рис. 2 – Корреляции между используемостью генов IGHV3-53, IGHV3-66: a) все пациенты; b) пациенты без стереотипных антител; c) пациенты с какими-либо стереотипными антителами; d) пациенты со стереотипными антителами, полученными как из IGHV3-53, так и из IGHV3-66; использована ранговая корреляция Спирмана

Аллельный анализ генов IGHV3-53, IGHV3-66

Наивный алгоритм определения аллелей заключается в определении процента антител, пришедших из каждой аллели гена с последующим отнесением каждого запуска как гомо- или гетерозиготного в зависимости от полученных отношений процентов встречаемости каждой аллели. В случае, если никакая сумма процентов встречаемости двух аллелей не превышает 65% запуск секвенирования помечается как запуск с тремя активными аллелями. В ходе проведения аллельного анализа при помощи наивного метода было обнаружено, что около трети всех запусков секвенирования имеют три аллели IGHV3-66. Поскольку организм человека может быть либо гомозиготным, либо гетерозиготным по какому-либо гену, был сделан вывод о том, что данный эффект возник в результате неправильной работы наивного алгоритма.

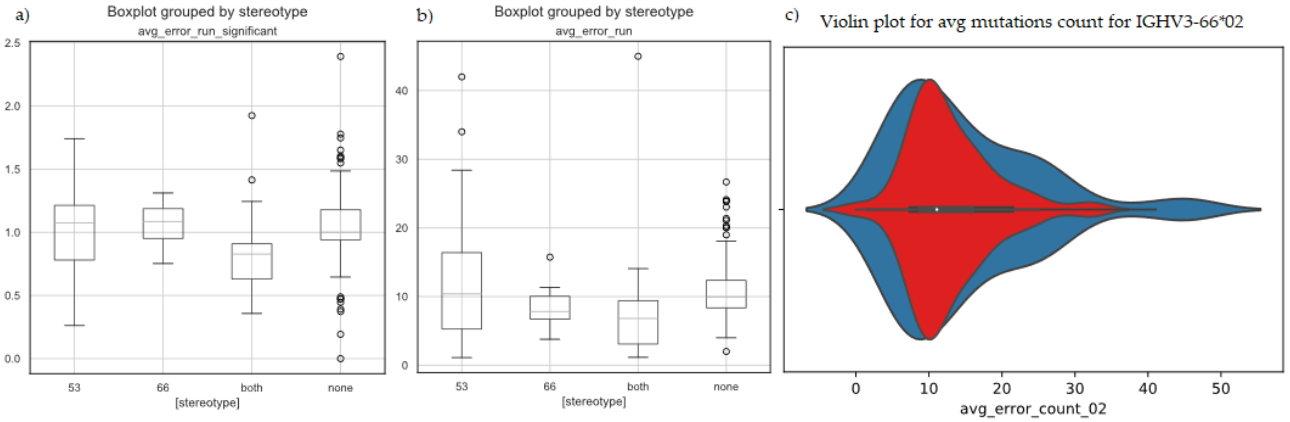


Рис. 3 – a) Ящик с усами для числа всех мутаций в зависимости от наличия стереотипных антител и от их типа; b) Ящик с усами для числа важных мутаций в зависимости от наличия стереотипных антител и от их типа; c) Сравнение распределений числа мутаций для антител второй аллели в запусках без стереотипных антител (красный) и со стереотипными антителами (синий)

Для определения причин неправильной работы алгоритма был проведен анализ антител, полученных из гена IGHV3-66. В результате этого выяснилось, что среднее число мутаций в антителах из этого гена около 10 на 300 нуклеотидов в антителе, что достаточно много и может привести к тому, что антитела из одной аллели гена могут стать более похожим на какую-то другую аллель. Мутации в антителах были поделены на две группы: все мутации и significant мутации – мутации, которые произошли в позициях, где два референсных генома разных аллелей отличаются. В результате такого разделения оказалось, что число мутаций в запусках секвенирования со стереотипными антителами в среднем больше для significant позиций, чем в запусках без стереотипных антител. В то же время среднее число всех мутаций меньше для

запусков со стереотипными антителами, чем в запусках без такого типа антител (рис.3,a и b). Помимо этого, было обнаружено, что дисперсия числа мутаций для антител, полученных из второй аллели, значительно больше в случае наличия стереотипных антител (тест Левена, $P < 0.05$) (рис.3,c).

Из полученных зависимостей можно сделать несколько выводов. Во-первых, в некоторых антителах наблюдается слишком большое число мутаций, в результате чего антитела, полученные из аллели X, могут в результате мутаций стать более похожими на аллель Y и выравниваться на нее. Во-вторых, мутагенез в запусках со стереотипными антителами и без них происходит по-разному, что не позволяет рассматривать такие запуски вместе. В-третьих, антитела, полученные из второй аллели гена IGHV3-66, имеют слишком большой разброс мутаций.

По результатам описанного выше анализа был предложен алгоритм, который отсекает сильно мутировавшие антитела по каждому из двух параметров: все мутации и важные мутации. Отсечки были выбраны как квантиль распределения для каждого запуска секвенирования, и были определены отдельно для запусков без стереотипных антител и с ними.

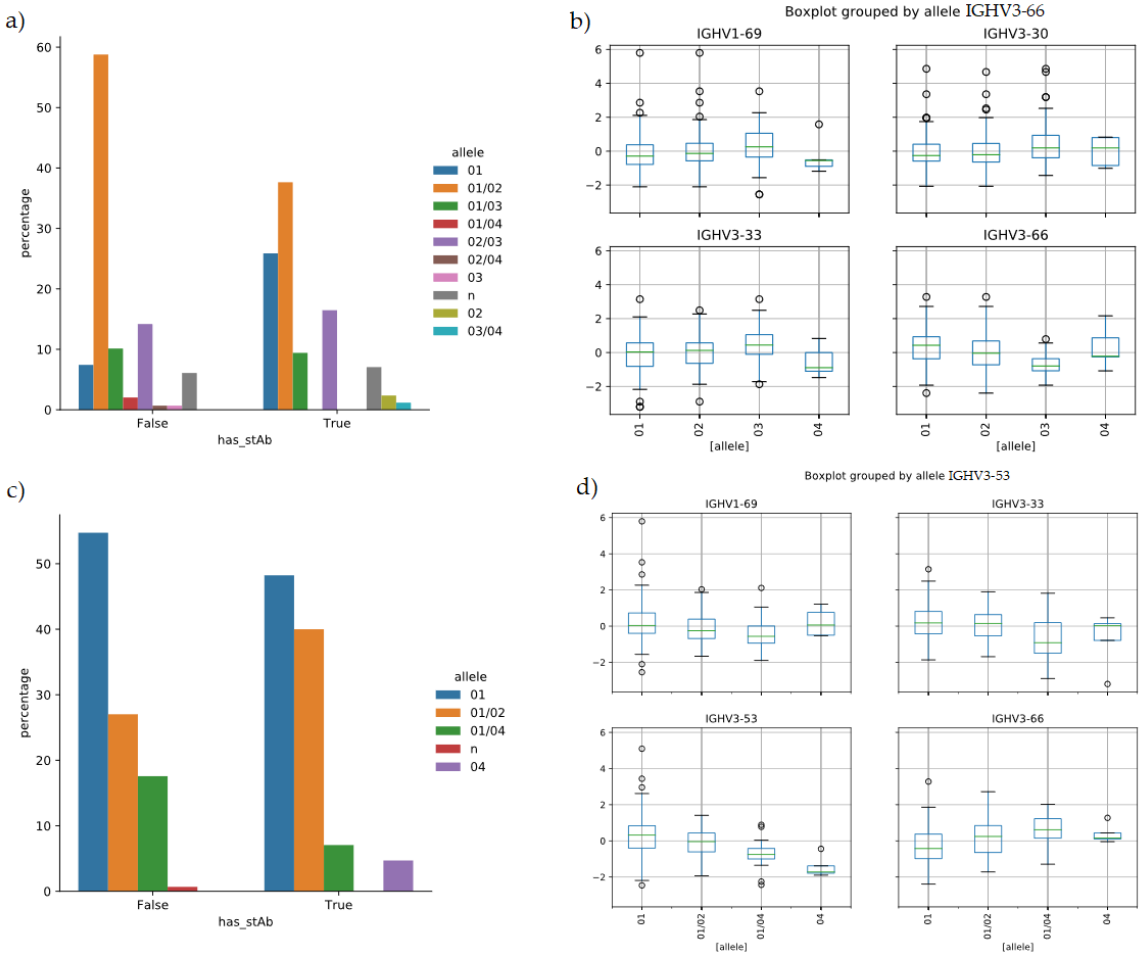


Рис. 4 – a) Распределение запусков секвенирования по аллелям IGHV3-66 в зависимости от наличия стереотипных антител; b) ящики с усами, построенные для используемостей генов в зависимости от аллели гена IGHV3-66; c) распределение запусков секвенирования по аллелям IGHV3-53 в зависимости от наличия стереотипных антител; d) ящики с усами, построенные для используемостей генов в зависимости от аллели гена IGHV3-53

В результате определения аллелей генов IGHV3-53 и IGHV3-66 удалось выяснить, что в отличие от аллелей гена IGHV3-53, которые не влияют на наличие стереотипных антител (рис.4,c), вторая аллель гена IGHV3-66 является невыгодной для генерации стереотипных антител (рис.4,a). Для проверки нулевой гипотезы о том, что аллель гена IGHV3-66 (01, 01/02) не зависит от наличия стереотипных антител был проведен тест хи-квадрат, который позволил отвергнуть нулевую гипотезу и сделать вывод о зависимости ($P = 6*10^{-4}$).

Кроме того, были найдены статистически значимые отличия между используемостью генов, отвечающих за генерацию других типов антител против COVID-19 (IGHV3-53 [1], IGHV3-66 [1], IGHV3-30 [2], IGHV3-23 [3], IGHV1-46 [3], IGHV1-69 [4]) и аллелями генов IGHV3-66 (рис.4,b), IGHV3-53 (рис.4,d). Для поиска таких зависимостей был использован статистический тест ANOVA с учетом поправки Бонферрони на множественную проверку гипотез.

Результаты работы

В ходе данной работы были найдены и предобработаны данные по секвенированию репертуаров антител людей, больных ранними штаммами COVID-19, а также реализованы алгоритмы для поиска стереотипных антител и определения аллелей V генов IGHV3-53, IGHV3-66. При использовании реализованных алгоритмов и собранных данных были получены следующие результаты:

- отклонена нулевая гипотеза о том, что наличие стереотипных антител к вирусу SARS-CoV-2 не влияет на распределение тяжести заболевания;
- наблюдается изменение корреляций между используемостями генов IGHV3-53, IGHV3-66: в случае наличия стереотипных антител корреляция между используемостями этих генов отрицательна, в то время как у пациентов без стереотипных антител корреляция положительна;
- аллельный анализ показал, что антитела, сделанные из IGHV3-66*02 имеют больший разброс числа мутаций, а также эта аллель является невыгодной для генерации стереотипных антител;
- при рассмотрении аллелей генов IGHV3-53 и IGHV3-66 обнаружены статистически значимые отличия в используемости как этих генов, так и некоторых других генов, известных за генерацию антител против COVID-19, таких как IGHV1-69, IGHV3-30, IGHV3-33 в зависимости от аллелей генов IGHV3-53, IGHV3-66.

В дальнейшем планируется продолжить работу над этим проектом в двух направлениях. Во-первых, планируется продолжить анализ данных пациентов, больных COVID-19 с целью более подробного анализа зависимости наличия стереотипных антител от наличия других публичных антител к SARS-CoV-2. Во-вторых, планируются дальнейшие исследования в области алгоритмов генотипирования по данным секвенирования репертуаров антител. Планируется применить алгоритм, основанный на принципе максимума правдоподобия, для шаблонов мутаций антител каждой аллели.

Список использованных источников

1. Kim S.I., Noh J., Kim S., Choi Y., Yoo D.K., Lee Y., Lee H., Jung J., Kang C.K., Song K.H., Choe P.G., Kim H.B., Kim E.S., Kim N.J., Seong M.W., Park W.B., Oh M.D., Kwon S., Chung J. Stereotypic neutralizing VH antibodies against SARS-CoV-2 spike protein receptor binding domain in patients with COVID-19 and healthy individuals // Sci Transl Med. – 2021. DOI: 10.1126/scitranslmed.abd6990.
2. Xiaojie S., Yu L., Lei Y., Guang Y., Min Q. Neutralizing antibodies targeting SARS-CoV-2 spike protein // Stem Cell Research. – 2021. – V.50. DOI: 10.1016/j.scr.2020.102125.
3. Zhou P., Song G., He W.-T., Beutler N., Tse L.V., Martinez D.R., Schäfer A., Anzanello F., Yong P., Peng L., Dueker K., Musharrafieh R., Callaghan S., Capozzola T., Yuan M., Liu H., Limbo O., Parren M., Garcia E., Rawlings S.A., Smith D.M., Nemazee D., Jardine J.G., Wilson I.A., Safonova Y., Rogers T.F., Baric R.S., Gralinski L.E., Burton D.R., Andrabi R. Broadly neutralizing anti-S2 antibodies protect against all three human betacoronaviruses that cause severe disease // bioRxiv 2022. DOI: 10.1101/2022.03.04.479488.
4. Wang Y., Yuan M., Lv H., Peng J., Wilson I.A., Wu N.C. A large-scale systematic survey reveals recurring molecular features of public antibody responses to SARS-CoV-2 // Immunity. – 2022. – №55(6). – Pp. 1105-1117.

УДК 535.14

ИНЕРЦИОННОСТЬ КОЛЕБАТЕЛЬНОГО МЕХАНИЗМА ГИГАНТСКОЙ НЕЛИНЕЙНОСТИ ОПТИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ В ТЕРАГЕРЦОВОМ СПЕКТРАЛЬНОМ ДИАПАЗОНЕ

Гусельников М.С.

Научный руководитель – Козлов С.А., профессор, доктор физико-математических наук, профессор факультета фотоники, ведущий научный сотрудник международного научного центра оптической и квантовой информатики, биофотоники, руководитель международного научного центра оптической и квантовой информатики, биофотоники

msguselnikov@itmo.ru

Ключевые слова

Нелинейная кубическая по полю поляризованность среды, инерционность механизма нелинейности, нелинейный отклик сред колебательной природы, интенсивное терагерцовое излучение, одноперiодный терагерцовый импульс, двухфотонный резонанс, квадратичная нелинейная восприимчивость.

Появление в последние годы высокомощных источников импульсного терагерцового (ТГц) излучения стимулировало исследователей к активному изучению особенностей нелинейных явлений, возникающих в оптических средах в поле ТГц волн. В теоретической работе [1] было предсказано, что доминирующим малоинерционным механизмом нелинейности показателя преломления диэлектрических сред, взаимодействующих с ТГц излучением, могут оказаться локальные ангармонические колебания атомов в молекулах вещества. При этом ожидалось, что такая колебательная нелинейность для ряда материалов будет гигантской. Авторы работы [2] первыми экспериментально обнаружили, что коэффициент нелинейного показателя преломления воды и ряда других жидкостей в ТГц диапазоне спектра (0,1 – 2 ТГц) в миллион раз больше, чем в видимом и ближнем инфракрасном (ИК) диапазонах. Оценки показали, что измеренные значения коэффициента нелинейного показателя преломления соответствуют тому, что дает теория ангармонических молекулярных колебаний указанных веществ [2]. До этого открытия материалы с высокой нелинейностью уже были известны – например, полупроводники InAs, InSb, GaAs, и др., однако все они характеризуются инерционностью, превышающей 1 нс, что не позволяет использовать данные среды для управления пикосекундными ТГц импульсами. В то же время обнаружение гигантской нелинейности ряда диэлектрических материалов в ТГц спектральном диапазоне, которая, согласно экспериментальным данным, обладает малой инерционностью, открывает широкие перспективы для развития сверхбыстрой ТГц фотоники, основанной на эффектах самовоздействия волн. Вследствие этого создание подобных устройств управления параметрами ТГц излучения требует исчерпывающего теоретического исследования инерционности колебательного механизма гигантской нелинейности сред и характеризующих ее временных параметров.

Другая, не менее актуальная задача, с точки зрения развития устройств сверхбыстрой ТГц фотоники, заключается в описании динамики электрического поля ТГц импульсов из малого числа колебаний при их распространении в средах с гигантской нелинейностью колебательной природы. Ранее уже были построены модели динамики электрического поля для различных типов нелинейности. Например, в монографии [3] приведены феноменологические уравнения для описания динамики электрического поля в материалах с электронной и электронно-колебательной нелинейностью. Данная модель использовалась, в частности, авторами работы [4] для анализа эволюции одноперiодного ТГц импульса при нерезонансном взаимодействии с нелинейной дисперсионной средой. Тем не менее, о наличии подобных аналитических моделей именно для колебательного механизма нелинейности на данный момент неизвестно.

В фундаментальной работе, посвященной теории колебательной нелинейности [1], акцент сделан прежде всего на анализ кубической нелинейности, так как рассматриваемый в статье коэффициент нелинейного показателя преломления обуславливается именно кубическим нелинейным откликом молекул вещества. В то же время все чаще у исследователей ТГц излучения возникает необходимость в наличии аналитических формул для расчета квадратичной нелинейной восприимчивости колебательной природы. Полученная в данной работе модель динамики нелинейного поляризационного отклика сред колебательной природы позволила решить эту задачу.

Анализ времени установления нелинейного отклика поляризованности среды колебательной природы в поле импульсного терагерцового излучения

В настоящей работе на основе классической теории дисперсии показано, что динамика поляризованности изотропной диэлектрической среды колебательной природы описывается системой параметрически связанных уравнений [5].

$$\frac{\partial^2 P_л}{\partial t^2} + \gamma \frac{\partial P_л}{\partial t} + \omega_0^2 P_л = Nq\alpha E,$$

$$\frac{\partial^2 P_{нл}}{\partial t^2} + \gamma \frac{\partial P_{нл}}{\partial t} + \omega_0^2 P_{нл} = RP_л - \frac{b}{\left(Nq\right)^2} P_л^3, \qquad (1)$$

$$\frac{\partial^2 R}{\partial t^2} + \gamma \frac{\partial R}{\partial t} + \omega_0^2 R = \frac{2a^2}{\left(Nq\right)^2} P_л^2$$

где t – время, с; γ – коэффициент затухания колебаний молекулярного осциллятора, $с^{-1}$; ω_0 - частота его свободных колебаний, $с^{-1}$; N – концентрация молекул, $см^{-3}$; q – заряд атомов, фр; α – коэффициент поляризации среды, фр/г; E – электрическая напряженность электромагнитного поля ТГц импульса, статВ/см; b – коэффициент, характеризующий кубический ангармонизм молекулярных колебаний, $см^{-2}с^{-2}$; a – коэффициент, характеризующий квадратичный ангармонизм молекулярных колебаний, $см^{-1}с^{-2}$.

Первое уравнение модели (1) описывает динамику линейной части поляризационного отклика среды колебательной природы $P_л$, а второе и третье уравнения описывают нелинейный кубический по полю поляризационный отклик среды $P_{нл}$ с учетом влияния на него квадратичного ангармонизма локальных молекулярных колебаний, характеризуемого функционалом R. Несмотря на тот факт, что в изотропном материале квадратичная нелинейность отклика отдельной молекулы из-за усреднения по объему не возбуждает макроскопического квадратичного по полю отклика поляризованности среды, локальный квадратичный ангармонизм все же вносит вклад в кубическую нелинейность поляризованности. Более того, в настоящей работе показано, что квадратичный вклад в определенных ситуациях может оказаться доминирующим.

Ключевое отличие модели (1) от часто используемой в теоретических исследованиях классической нелинейной теории дисперсии излучения в изотропных средах, основанной на материальном уравнении:

$$\frac{\partial^2 P}{\partial t^2} + \gamma \frac{\partial P}{\partial t} + \omega_0^2 P + \frac{b}{\left(Nq\right)^2} P^3 = qN\alpha E, \qquad (2)$$

к которому сводится система (1) в пренебрежении квадратичной нелинейностью колебаний отдельной молекулы, качественно не соответствует той модели, что дает квантовая теория [3]. Уравнение (2) не предсказывает, например, такой известный в нелинейной оптике эффект, как возрастание нелинейного показателя преломления при двухфотонном резонансе, в то время как система (1), что продемонстрировано в настоящей работе, описывает этот эффект в деталях.

Другое важное преимущество модели (1) заключается в том, что ее параметры выражаются через хорошо известные из справочной литературы тепловые, оптические и спектральные характеристики вещества, что позволяет использовать данные уравнения не только для построения абстрактных теоретических моделей, но и для численной характеристики физических процессов. В частности, в (1) коэффициент поляризации среды, а также коэффициенты, характеризующие квадратичный и кубический ангармонизм молекулярных колебаний, связаны с известными параметрами среды соотношениями:

$$\alpha = \frac{\omega_0^2}{4\pi q N}\left(n_{0,\nu}^2 - 1\right), \tag{3}$$

$$a = -\frac{m\omega_0^4 a_l}{k_B}\alpha_T, \tag{4}$$

$$b = \frac{6\pi q^2 N \omega_0}{(n_{0,\nu}^2 - 1)\hbar}, \tag{5}$$

где $n_{0,\nu}$ – колебательная часть нерезонансного показателя преломления среды в случае $\omega \ll \omega_0$; m – приведенная масса колебательной моды, г; k_B – постоянная Больцмана, эрг/К; a_l – постоянная решетки (для твердых тел) или диаметр молекулы (для жидкостей), см; α_T – коэффициент теплового расширения материала, K^{-1}; $\hbar$ – приведенная постоянная Планка, эрг·с.

В настоящей работе с помощью модели (1) показано, что инерционность резонансного взаимодействия ТГц импульсов с колебательной модой изотропной среды характеризуется постоянными времени инерционности:

$$\tau_{\mathrm{Re}} = \frac{\gamma/2}{\gamma^2/4 + \Delta^2},\ \tau_{\mathrm{Im}} = \frac{\Delta}{\gamma^2/4 + \Delta^2}, \tag{6}$$

где Δ – величина отстройки от резонанса.

Параметры (6) при отстройке от резонанса $\Delta = \gamma/2$ (при такой отстройке значения этих времен совпадают) составляют для жидкой воды, диоксида кремния и альфа-пинена (т.е. для материалов, в которых экспериментально обнаружена гигантская колебательная нелинейность) $\tau_{\mathrm{Re}}^{\mathrm{H2O}} = 91$ фс; $\tau_{\mathrm{Re}}^{\text{α-пинен}} = 185$ фс, $\tau_{\mathrm{Re}}^{\mathrm{SiO2}} = 200$ фс соответственно.

Приведенные оценки показывают, что инерционность колебательного механизма нелинейности рассмотренных материалов при резонансе дальнего ИК излучения с колебательными модами вещества составляет порядка 100 – 200 фс.

При удалении от резонанса система (1), как нами показано в [5], может быть сведена виду

$$P_{NL} = \chi_{NL} E, \tag{7}$$

$$\tau^2 \frac{\partial^2 \chi_{NL}}{\partial t^2} + \chi_{NL} = \chi E^2,$$

где P_{NL} – нелинейная часть поляризационного отклика среды, χ – нелинейная восприимчивость среды и

$$\tau = \frac{1}{\omega_0}\sqrt{\frac{8a^2 - 3b\omega_0^2}{2a^2 - b\omega_0^2}} \tag{8}$$

τ – постоянная времени инерционности нерезонансного нелинейного отклика.

Выражение (7) демонстрирует, что инерционность нерезонансной нелинейной восприимчивости изотропной среды колебательной природы определяется характеристиками как кубической (4), так и квадратичной (3) нелинейности молекулярных осцилляторов,

формирующих данный материал. Величина соотношения (7) для воды, альфа-пинена и диоксида кремния составляет 3.2 фс, 3.5 фс и 8.6 фс соответственно. Иными словами, инерционность колебательного механизма нелинейности рассмотренных сред при нерезонансном взаимодействии ТГц излучения с колебательными модами вещества находится в диапазоне 1–10 фс.

Закономерности самовоздействия одноперiодной терагерцовой волны при двухфотонном резонансе с колебательной модой изотропной среды

В настоящей работе из модели (1) и волнового уравнения для динамики электрического поля ТГц импульсов, однонаправленно распространяющихся в нелинейной среде, в приближении медленно меняющегося профиля [3] впервые для колебательного механизма нелинейности получена модель динамики электрического поля ТГц импульсов вида:

$$\frac{\partial E}{\partial z} - \beta \frac{\partial^3 E}{\partial \tau^3} + g_1 E^2 \frac{\partial E}{\partial \tau} + g_2 \frac{\partial}{\partial \tau}\left(RE\right) = 0, \qquad (9)$$

$$\frac{\partial^2 R}{\partial t^2} + \gamma \frac{\partial R}{\partial t} + \omega_0^2 R = \Gamma E^2,$$

где

$$g_1 = -6\pi bqN\alpha^3 / cn_0\omega_0^8,$$

$$g_2 = 2\pi qN\alpha / cn_0\omega_0^4,$$

$$\Gamma = 2a^2\alpha^2/\omega_0^4.$$

Данная модель позволяет, в частности, описать эволюцию предельно короткого по числу полных колебаний поля одноперiодного ТГц импульса, который на входе в нелинейную среду имеет вид:

$$E(z=0,t) = E_0 \frac{t}{\tau_0} e^{-(t/\tau_0)^2}, \qquad (10)$$

где E_0 – амплитуда электрического поля импульса; а τ_0 – его длительность. В работе показано, что на выходе из нелинейной среды колебательной природы, спектр (10) представляется выражением:

$$\tilde{G}(\tilde{z},\tilde{t}) = \tilde{G}^{(0)}(\tilde{z},\tilde{t}) + \mu_1^{PE3}\tilde{G}^{(1)}(\tilde{z},\tilde{t}) + \mu_2^{PE3}\tilde{G}^{(2)}(\tilde{z},\tilde{t}), \qquad (11)$$

где

$$\tilde{G}^{(0)}\left(\tilde{z},\tilde{\omega}\right) = \frac{i\tilde{\omega}}{2\sqrt{2}} e^{-\frac{\tilde{\omega}^2}{4}} e^{i\tilde{\omega}\tilde{z}},$$

$$\tilde{G}^{(1)}\left(\tilde{z},\tilde{\omega}\right) = \frac{\tilde{\omega}^2\left(\tilde{\omega}^2 - 18\right)}{648\sqrt{6}} \tilde{z} e^{-\frac{\tilde{\omega}^2}{12} + i\tilde{\omega}\tilde{z}},$$

$$\tilde{G}^{(2)}\left(\tilde{z},\tilde{\omega}\right) = \frac{1}{128\sqrt{\pi}} \tilde{\omega}\tilde{z} e^{-\frac{\tilde{\omega}^2}{4} + i\tilde{\omega}\tilde{z}} \int_{-\infty}^{+\infty} \left(\tilde{\omega} - x\right) \frac{4 - x^2}{x^2 + 2i\tilde{\beta}x - \tilde{\omega}_0^2} e^{-\frac{3}{8}x^2 + \frac{\tilde{\omega}}{2}x} dx,$$

$$\mu_1^{PE3} = g_1 E_0^2 c / n_0,$$

μ_1^{PE3} – малый параметр, характеризующий вклад кубического ангармонизма локальных молекулярных колебаний в макроскопический резонансный нелинейный кубический отклик вещества;

$$\mu_2^{PE3} = g_2 \Gamma \tau_0^2 E_0^2 c / n_0,$$

μ_2^{PE3} – малый параметр, характеризующий вклад квадратичного ангармонизма локальных молекулярных колебаний в макроскопический отклик.

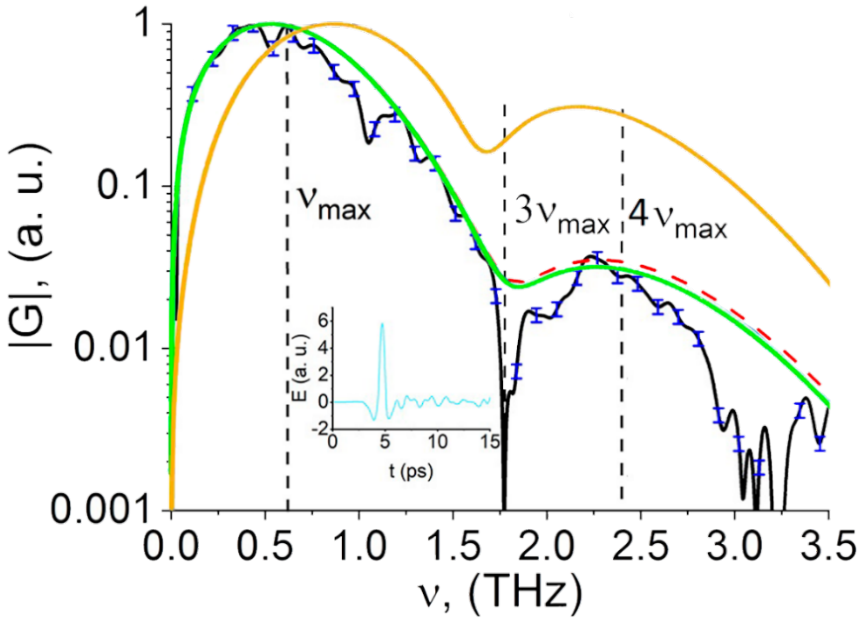


Рис. 1 – Суммарный спектр однопериодного ТГц импульса на выходе из образца $LiNbO_3$. Черная и красная кривые соответствуют экспериментальным и аналитическим результатам, которые получены в работе [4] для нерезонансного случая; зеленая и желтая кривые соответствуют теоретическим расчетам для нерезонансного и двухфотонного резонансного случая соответственно, полученным в данной работе

На рисунке 1 представлен суммарный частотный спектр (11) для $LiNbO_3$ в нерезонансном и двухфотонном резонансном приближениях при сопоставлении со спектрами, полученными авторами работы [4] для нерезонансного случая.

Анализ квадратичной нелинейной восприимчивости изотропных сред колебательной природы в поле импульсного терагерцового излучения

Модель (1) позволяет описывать не только особенности кубического нелинейного отклика, но и, в частности, квадратичную нелинейность. Так, в данной работе, из системы (1) впервые для колебательного механизма, взаимодействующего с полем квазимонохроматических ТГц импульсов, получена аналитическая формула для нерезонансной квадратичной нелинейной в случае $\omega_0 \gg \omega$, выраженная через известные тепловые, спектральные и оптические характеристики вещества:

$$\chi^{(2)}_{\omega_0 \square\ \omega} = \frac{1}{32}\frac{m\omega_0^2 a_1 \alpha_T}{\pi^2 q N k_B}\left(n^2_{0,\nu} - 1\right)^2.$$

В настоящей работе в рамках классической теории дисперсии излучения высокой интенсивности продемонстрировано, что динамика нелинейной части поляризованности диэлектрических изотропных материалов колебательной природы может быть описана двумя параметрически связанными нелинейными уравнениями, параметры которых выражаются через известные тепловые, спектральные и оптические характеристиками вещества, что позволяет не только аналитически описывать исследуемые физические процессы, но и характеризовать их численно. Данная модель, в отличие от обычно применяемо, не учитывающей вклад квадратичной нелинейности локальных молекулярных колебаний в кубический нелинейный поляризационный отклик вещества, позволяет анализировать как уже известные физические процессы, возникающие при взаимодействии ТГц импульсов со средами колебательной природы (например, двухфотонный резонанс), так и принципиально новые явления, изучением которых еще предстоит заняться.

С помощью полученной модели показано, что постоянные времени инерционности нелинейных восприимчивостей колебательной природы в рассмотренных твердых и жидких диэлектрических средах в поле ТГц излучения при нерезонансном взаимодействии находятся в диапазоне 3 – 10 фс (и зависят не только от кубического, но и от квадратичного ангармонизма молекулярных колебаний), а при резонансном – возрастают до 100 – 200 фс. Из рисунка 2 видно, что соотношение коэффициента нелинейного показателя преломления к времени установления нелинейного отклика колебательной природы для рассмотренных в работе сред имеет рекордные значения. Фемтосекундный диапазон инерционности сред колебательной природы означает ее фактическое отсутствие для пикосекундных ТГц импульсов, а следовательно, гигантскую нелинейность ряда материалов в дальнем ИК диапазоне спектра можно использовать при разработке сверхбыстрых устройств фотоники для управления параметрами импульсного ТГц излучения.

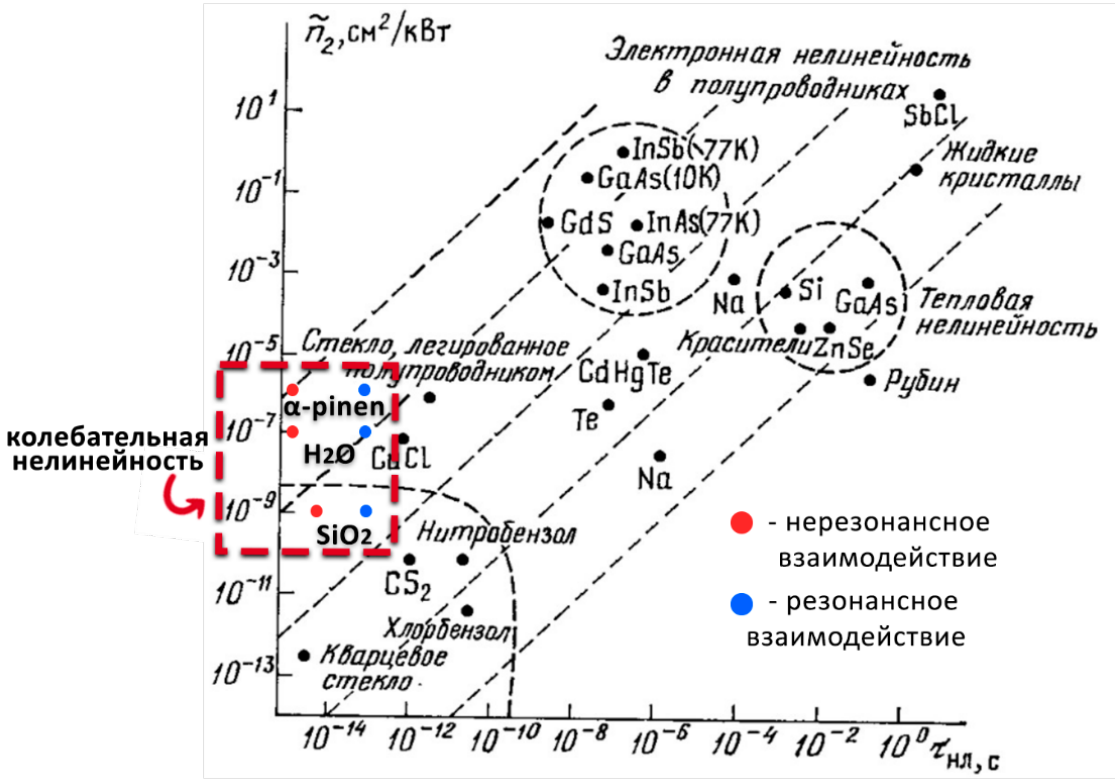


Рис. 2 – Диаграмма, характеризующая величину и инерционность нелинейности различных материалов

Список использованных источников

1. Dolgaleva K., Materikina D.V., Boyd R.W and Kozlov S.A.Prediction of an Extremely Large Nonlinear Refractive Index For Crystals at Terahertz Frequencies // Physical Review A: Atomic, Molecular, and Optical Physics. – 2015. – V.92. – №2. – Pp. 023809-1–023809-8.
2. Tcypkin A.N., Melnik M.V., Zhukova M.O., Vorontsova I.O., Putilin S.E., Kozlov S.A. and Zhang X.-C. High Kerr Nonlinearity of Water in the THz Spectral Range // Optics Express. – 2019. – V.27. – №8. – Pp. 10419–10425.
3. Козлов С.А., Самарцев В.В. Основы фемтосекундной оптики. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2009. – 291 с.
4. Artser I.R., Melnik M.V., Ismagilov A.O., Guselnikov M.S., Tcypkin A.N., Kozlov S.A. Radiation shift from triple to quadruple frequency caused by the interaction of terahertz pulses with a nonlinear Kerr medium // Scientific Reports. – 2022. – V.12. – №1. – Pp. 1–8.
5. Гусельников М.С., Жукова М.О., Козлов С.А. Инерционность колебательного механизма гигантской нелинейности оптических материалов в терагерцовом спектральном диапазоне // Оптический журнал. – 2022. – Т.89. – №7. – С. 3–12.

УДК 330.00

РАЗРАБОТКА СТРАТЕГИИ ПРОДВИЖЕНИЯ ИННОВАЦИОННОГО ПРОДУКТА НА РЫНКЕ FOODTECH РОССИИ

Дорофеева В.В.

Научный руководитель – Белинская И.В., доцент, кандидат экономических наук, доцент факультета технологического менеджмента и инноваций

viktotia38@yandex.ru

Ключевые слова

Разработка стратегии продвижения, FoodTech, тренды в пищевой отрасли, логико-структурный подход, эффективность маркетинговых мероприятий.

На сегодняшний день глобальные проблемы человечества напрямую связаны с обеспечением достаточным количеством продуктов питания надлежащего качества. От пищевых свойств инновационного продукта и разработанной стратегии для его продвижения зависит то, что мы увидим в рационе каждого. Современные маркетинговые стратегии часто безрезультатны, так как они неверно выбирают метод для продвижения продукта. Для эффективного продвижения инновационного продукта на рынке FoodTech необходимо выполнить три этапа [1]. Изучить рынок, в данном случае тренды рынка, актуальная ниша для конкретного продукта, конкурентный анализ, оценка характеристик продукта, его конкурентные преимущества. Выбрать наиболее эффективные механизмы для продвижения, учитывая специфику компании и продукта. Создать стратегию продвижения выполнить оценку её практического применения.

Для этого необходимо рассмотреть теоретические основы разработки стратегии продвижения инновационных продуктов [2–4]. Изучить понятия стратегии продвижения, инновационного продукта, стратегии продвижения инновационного продукта. Полная структура маркетинговой стратегии. Описание комплекса маркетинга 4Р, в качестве выбранного для продвижения метода. Изучить целевую аудиторию. Инструменты и механизмы продвижения стартап-проектов. Стадии жизненного цикла стартап-проектов. Определение эффективной стратегии продвижения для каждой стадии жизненного стартапа. Далее второй этап. Характеристика современного состояния рынка FoodTech. Карта мировых трендов FoodTech 2022. Она имеет структуру дерева, у которого семь основных ветвей, обозначающие основные тенденции: glocal, daily life, quality, enjoyment, sustainability, health, beyond food (глокальные, повседневные, качественные, приносящие удовольствия, стабильные, полезные для здоровья, не связанные с едой). Глобальные тенденции, которые описывает Ханна Рютцлер, автор карты настолько новые, что реальное использование некоторых на сегодняшний день невозможно в России, так как в каждой стране разный уровень развития определенных тенденций, соответственно будут востребованы разные тренды. Актуальные тренды для российского рынка, виртуальная карта рынка FoodTech России, включающая в себя пять приоритетных для развития сфер: доставка; сервис; еда будущего; сокращение отходов; медиа и контент. Учитывая специфику продвигаемого нами продукта, наша сфера – «Еда будущего». Анализ конкурентной среды по интересующим нас альтернативным продуктам: яйцо, сыр, мясо. Выявление основных проблем, препятствующих продвижению. И на завершающем этапе построение логико-структурной схемы, включающей анализ восьми основных проблем для продвижения продукта: вкус, информированность, цена, традиции, сотрудничество, модели пищевого поведения, доступность, недоверие к производителям. Построение дерева проблем, дерево решений, обобщение результатов предложение мероприятий. Разработка комплекса маркетинга продвижения для Альгафуд, маркетинг 4Р, учитывающая полученные результаты. Стоимостная оценка предлагаемых мероприятий: создание сайта; членство в ассоциация производителей растительной

продукции; запуск тестовых полок в ретейл сетях. Экономическая оценка эффективности внедрения разработанной стратегии на основе результатов показателей ROAS и ROMI.

Результатами применения данного исследования является успешное продвижения продукта компании за счет реализации предложенных мероприятий. Продвижение альтернативных продуктов питания в ближайшем будущем актуально на рынке FoodTech России. На сегодняшний день ниша достаточно свободна для продвижения альтернативной продукции, однако рынок развивается очень стремительно, возможна резкая смена трендов и изменение структуры рынка. Используя данный метод для продвижения компании всегда смогут создать оптимальную стратегию для продвижения своего продукта.

Список использованных источников

1. Соколова Е.С. Сущность и типология маркетинговых стратегий продвижения инновационных продуктов на рынок // Beneficium. – 2019. – №4(33). – С. 65–73.
2. Бурдуковский В.Н. Жизненный цикл стартапа // Скиф. Вопросы студенческой науки. – 2019. – №11(39). – С. 90–93.
3. Hanni Rützler. [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://www.nutrition-hub.com/post/hanni-r%C3%BCtzler-food-report-2022-food-trends-2022 – 46-47с (дата обращения: 28.03.2022).
4. Болотова А.А., Карпунина Е.К. Роль и место маркетинговой стратегии продвижения товара в системе развития современного предприятия // Социально-экономические явления и процессы. – 2013. – №4(050). – С. 36–38.

УДК 004.75

РАЗРАБОТКА И АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ДАННЫХ ПРИ ПЕРЕДАЧЕ В ТУМАННЫХ ВЫЧИСЛЕНИЯХ НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИИ БЛОКЧЕЙН

Пименов А.В.

Научный руководитель – Беззатеев С.В., доцент, доктор технических наук, профессор факультета безопасности информационных технологий, директор лаборатории криптографических методов защиты информации

tik11994@mail.ru

Ключевые слова

Туманные вычисления, разработка архитектуры, блокчейн, обеспечение информационной безопасности информационных систем, разработка ПО.

Все больше и больше устройств подключаются к сети интернет. Развиваются и внедряются такие технологии как интернет вещей, промышленный и медицинский IoT, умные машины, службы доставки с использованием дронов и многое другое. Все это требует больших ресурсов, которые обеспечивают в основном облачные вычисления, однако из-за постоянно возрастающей потребности в ресурсах возникла необходимость в расширении ОВ. Были разработаны концепции граничных, туманных, росистных, каплевидных и других вычислений. Наибольший интерес представляют туманные вычисления, однако сами они до сих пор массово не внедряются.

Консорциум OpenFog провел опрос среди компаний по теме готовности использования туманных вычислений. Многие компании ответили, что они знают о такой концепции и даже ведут разработки в этом направлении, однако их осуществление затруднено из-за проблем, связанных с информационной безопасностью и окупаемостью. Из открытых проблем информационной безопасности можно выделить следующие: проблемы, связанные с доверием устройств внутри сети, аутентификация, безопасность беспроводной передачи данных, конфиденциальность конечного пользователя [1].

Целью данной работы является разработка архитектуры туманных вычислений с применением технологии блокчейн, обеспечивающая информационную безопасность данных в туманной сети.

Для достижения цели обозначены следующие задачи:

1. Обзор технологий туманных вычислений и выявление проблем информационной безопасности.
2. Обзор технологий блокчейн, выявление преимуществ и недостатков.
3. Разработка методов обеспечения информационной безопасности в туманных вычислениях.
4. Анализ методов обеспечения информационной безопасности в туманных вычислениях.
5. Сделать вывод по результатам анализа и перспектив развития.

На рисунке 1 продемонстрирован инфографик с различными угрозами информационной безопасности в туманных вычислениях. Основная проблема информационной безопасности в туманных вычислениях заключается в том, что невозможно контролировать развертывание туманных узлов, а также уязвимости среды в целом. Кроме того, в случае классических туманных вычислений, нарушение информационной безопасности может происходить как владельцем узла, так и из-за нарушения работы узла или проблем соединения с интернетом.

Используя модель угроз OpenFog RA, а также проведя собственный анализ была построена модель угроз туманных вычислений отображенная в таблице 1.

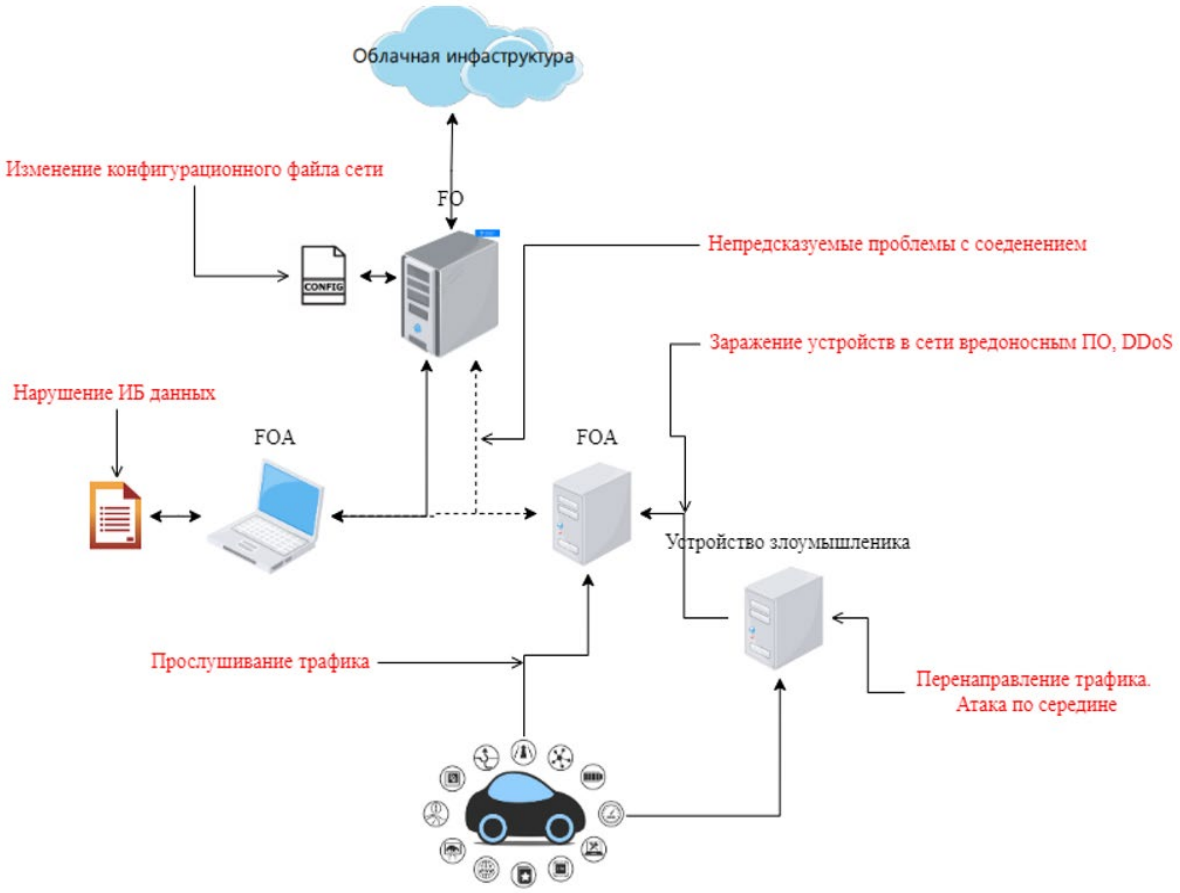


Рис. 1 – Инфографик атак на туманные вычисления

Таблица 1

Модель угроз туманных вычислений

Угроза	Аспект безопасности		
	Конфиденциальность	**Целостность**	**Доступность**
Со стороны инсайдеров	Утечка данных	Изменение данных в файлах	Удаление данных, предоставление недоступных ресурсов
Атаки на узлы на аппаратном уровне	Трояны, чтение буфера и памяти	Изменение данных на жёстком диске и из памяти	Удаление данных на жестком диске и из памяти
Атаки на узлы на программном уровне	Вредоносное ПО	Вредоносное ПО	DDOS, истощение ресурсов
Атаки на туманную сеть	Прослушивание сетевого трафика, атака по середине, spoofing	Атака по середине	Атака по середине, DDoS, Subnet flooding

Для решения открытых проблем информационной безопасности в туманных вычислениях была реализована архитектура с применением технологии блокчейн, использующая следующие технологии и разработки: архитектуру SOAFI [2], алгоритм консенсуса PoAh [3,4], криптографические методы, блокчейн. Кроме того, построенная архитектура соответствует принципам эталонной архитектуре OpenFog RA [5] называемых столбами.

Были выделены следующие преимущества использования данной архитектуры туманных вычислений:

1. Увеличения защищенности сети.
2. Увеличение безопасности туманных узлов. Используя доверенные реестры, можно устанавливать целостность докер образов, исполняемых на узле, хранимых на нем файлов и работоспособность узла в целом.

3. Аутентификация узлов в туманных вычислениях. Блокчейн позволяет обеспечивать доверенную аутентификацию и подключение узлов к туманной сети.
4. Обеспечение информационной безопасности данных в туманной сети. Используя блокчейн, можно обеспечивать полноценную информационную безопасность данных в туманной сети.
5. Улучшения качества взаимодействия элементов туманной сети.
6. Увеличение мотивации инсайдеров для предоставления своих ресурсов.

Был реализован безопасный процесс регистрации и аутентификации, представленный на рисунке 2 и оказание услуги дли клиента, представленный на рисунке 3 с применением собственно построенной архитектуры, позволяющей решить множество открытых проблем информационной безопасности в туманных вычислениях.

Рис. 2 – Обеспечение аутентификации с помощью блокчейна

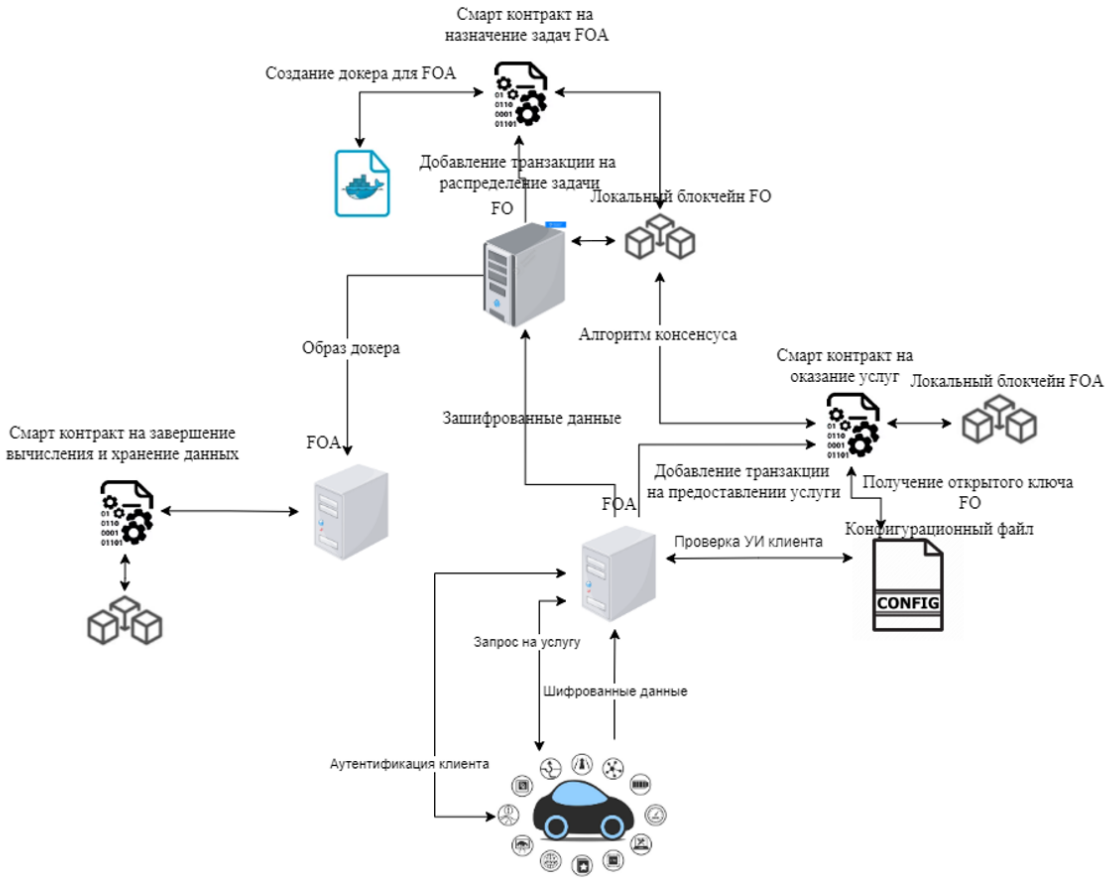


Рис. 3 – Схема оказания вычислительных услуг

Для программной реализации туманных вычислений были выдвинуты следующие требования: обеспечение информационной безопасности данных, расширяемости сети, соответствие архитектуры и реализация модели услуг.

Основные разработанные компоненты архитектуры:

1. Блокчейн и его методы. Создание транзакций, блоков, управление цепью и другое.
2. Смарт контракт и его методы. Создание смарт контракта, проверки валидности и другое.
3. API. Создание клиентской, сервисной и экспериментальной части.
4. Криптографические методы. Шифрование и дешифрование данных, цифровые подписи и др.
5. Реализация и использование конфигурационного файла блокчейна. Регистрация туманных узлов и клиентов, управление открытыми ключами, поиск информации для сетевого управления и др.

В качестве эксперимента была оказана услуга регистрации и агрегации, а также было доказано, что обеспечиваются все аспекты информационной безопасности на всех этапах обработки данных в туманных вычислениях.

В ходе выполнения данной работы были выявлены открытые проблемы информационной безопасности в туманных вычислениях. Была реализована собственная архитектура туманных вычислений с применением технологии блокчейн, обеспечивающая информационную безопасность данных при обработке в туманных вычислениях. Также был реализован программный прототип туманных вычислений, реализовывающий услугу агрегации и регистрации клиента обеспечивающий решения большинства открытых проблем информационной безопасности.

Список использованных источников

1. Khan S., Qin Y., Parkinson S. Fog computing security: a review of current applications and security solutions // Journal of Cloud Computing. – 2017. – V.6. – №19. DOI:10.1186/s13677-017-0090-3.
2. Velasquez K., Abreu D.P., Assis M.R.M., Senna C., Aranha D.F., Bittencourt L.F., Laranjeiro N., Curado M., Vieira M., Monteiro E., Madeira E. Fog Orchestration for the Internet of Everything: State-of-the-Art and Research Challenges // Journal of Internet Services and Applications. – 2018. – V.9. – №14. DOI:10.1186/s13174-018-0086-3.
3. Puthal D., Mohanty S.P., Mohanty S.P., Yanambaka V.P., Kougianos E. PoAh: A Novel Consensus Algorithm for Fast Scalable Private Blockchain for Large-scale IoT Frameworks. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.researchgate.net/publication/338737169_PoAh_A_Novel_Consensus_Algorithm_for_Fast_Scalable_Private_Blockchain_for_Large-scale_IoT_Frameworks (дата обращения: 15.04.2022).
4. Latif S., Idrees Z., Ahmad J., Zheng L., Zou Z. A blockchain-based architecture for secure and trustworthy operations in the industrial Internet of Things // Journal of Industrial Information Integration. – 2021. – V.21. DOI:10.1016/j.jii.2020.100190.
5. OpenFog Reference Architecture for Fog Computing. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://iiconsortium.org/pdf/OpenFog_Reference_Architecture_2_09_17.pdf (дата обращения: 01.04.2022).

УДК 631.861

ИЗУЧЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА И БЕЗОПАСНОСТИ ЗООКОМПОСТА ПОСЛЕ КУЛЬТИВИРОВАНИЯ ЛИЧИНОК МУХИ HERMETIA ILLUCENS

Прокошева А.В.

Научный руководитель – Молодкина Н.Р., кандидат технических наук, заведующий лабораторией и доцент факультета экотехнологий

annaprokosheva@gmail.com

Ключевые слова

Органические удобрения, Черная львинка, зоокомпост, показатели качества, фитотоксичность.

Согласно докладу от Продовольственной и сельскохозяйственной организации Объединенных наций (FAO), одной из основных проблем агроэкосистем является обеднение почв – повышение эрозии и снижение плодородия (потеря углерода и питательных веществ) [1].

Данную проблему возможно решить внедрением в законодательную базу стран устойчивого управления почвами, и также применением в данной области новейших технологий. У аграрных хозяйств возникает спрос на использование безопасных и экологических альтернативных удобрений, например, органических удобрений.

Тенденция увеличения спроса органических удобрений в Европе связана с продвигаемой «зеленой повесткой», т.е. увеличением спроса на экологически чистые продукты. Похожая ситуация происходит и в России. Согласно докладу Росстата «Сельское хозяйство в России 2021», в 2020 году было внесено 70,5 млн тонн органических удобрений, этот показатель увеличился на 33 % по сравнению с 2010 годом, когда он был равен 53,1 млн. тонн (рис.1) [2].

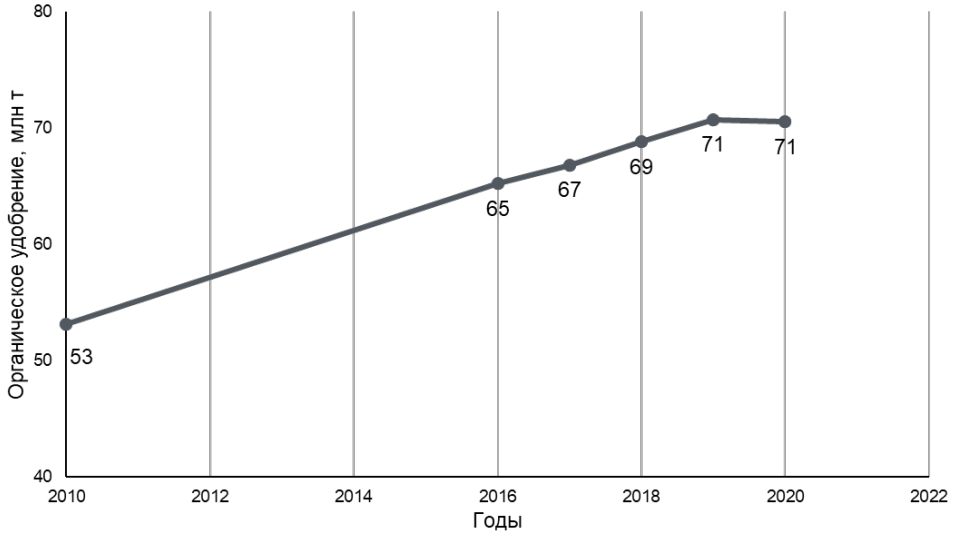


Рис. 1 – Внесение органических удобрений под посевы в сельскохозяйственных организациях

У органических удобрений есть ряд преимуществ. Органические удобрения являются источниками необходимых питательных веществ (азот, калий, фосфор) и считаются экономически выгоднее, по сравнению с минеральными удобрениями.

Производство органических удобрений влечет за собой значительный прогресс в направлении экономики замкнутого цикла, которая повторно включает отходы в производственный цикл. Например, удобрения могут решить проблему утилизации пищевых отходов, так как на данный момент большая часть отходов вывозится на свалки, что приводит к образованию парниковых газов в атмосферу и к образованию фильтрата.

В качестве органического удобрения можно применять продукт обработки пищевых отходов личинками мухи Черная львинка (Hermetia illucens). Данная муха способна круглогодично развиваться в искусственных условиях. Эта особенность позволяет использовать ее в биотехнологических целях.

При культивировании личинок на пищевых отходах образуется два продукта: личиночная биомасса и побочный продукт. Высушенная личинка богата белками и липидами и используется в качестве корма для сельскохозяйственных животных как альтернатива сое и рыбной муке. Второй продукт называют зоокомпостом согласно ГОСТ 34103-2017, так как муха Черная львинка относится к копрофагам.

Проблема заключается в том, что зоокомпост мало изучен и также не представлен в нормативной документации, поэтому использование его в качестве органичного удобрения неоднозначно.

В связи с этим важно провести комплексное изучение состава зоокомпоста перед применением его в качестве удобрения. В этом и состоит цель данной работы. Зоокомпост проверялся на качественные показатели и показатели безопасности.

В ходе работы исследовался зоокомпост, полученный на базе лаборатории Университета ИТМО, на главные показатели качества органических удобрений: азот (ГОСТ 26715-85), калий (ГОСТ 26718-85), фосфор (ГОСТ 26717-85), органическое вещество (ГОСТ 26213-91). Также был проведен опыт на определения pH согласно ГОСТ 27979-88.

Значение главных показателей в зоокомпосте различается в зависимости от кормового субстрата, которым питаются личинки. Значения показателей зоокомпоста в зависимости от кормового субстрата в разных исследовательских работах представлены в таблице 1.

Таблица 1

Показатели компоста в зависимости от кормового субстрата

Кормовой субстрат	Характеристика				Источник
	N, %	P, %	K, %	pH	
Пивоваренная дробина	2,1	1,2	0,2	7,7	[3]
Окара и пшеничные отруби	3,2	0,8	0,5	7,7	[4]
Бытовые отходы	2,2	0,5	0,7	7,4	[5]
Пшеничные отруби	2,8	1,4	2,3	6,8	[6]
Овощи	2,8	1,5	3,3	8,6	[7]
Среднее значение	2,6	1,1	1,4	7,6	

В нашей нормативной документации не регламентируется постоянный состав зоокомпоста. Поэтому для ориентира значений показателей были взяты значения компоста на основе навоза согласно ГОСТ 33830-2016 (табл.2). Также значения сравниваются со значениями компоста от российской компании ООО «ЭкоБелок» и от американской компании EnviroFlight LLC, так как известно, что данные удобрения получены аналогичным образом.

Таблица 2

Показатели качества органического удобрения

Массовая доля, %	ГОСТ 33830-2016, не менее	Результаты, полученные на базе ИТМО	Результаты, полученные в ФГБУ ГЦАС «Московский»	ООО «ЭкоБелок»	EnviroFlight LLC
Органическое вещество	50,00	**81,76**			
Азот общий	0,30	**2,09**	**1,92**	1,16	3,00
Фосфор общий	0,20		**1,98**	1,64	2,65
Калий общий	0,20		**3,30**	1,00	1,00

Ни один из показателей не выходит за границы нормы, более того, показатели зоокомпоста, полученного на базе лаборатории ИТМО, лучше по сравнению с компостом, предоставляемого ООО «ЭкоБелок».

Показатели безопасности исследовались с помощью опыта на фитотоксичность. Была произведена проверка исследуемого компоста на возможность его применения для интенсификации роста растений. Опыт на фитотоксичность проходил в два этапа. За основу эксперимента были взяты методические рекомендации МР 2.1.7.2297-07 «Обоснование класса опасности отходов производства и потребления по фитотоксичности».

Фитотоксичность можно определить как задержку прорастания, ингибирование роста растений или любой другой неблагоприятный эффект, вызванный специфическими веществами (фитотоксинами) или неадекватными условиями роста. Если эту концепцию применить к компосту, то фитотоксичность можно понимать как состояние или качество удобрения, которое отрицательно влияет на рост растений.

Поскольку все области применения компоста предполагают его контакт с растениями, фитотоксичность является одним из наиболее важных критериев для оценки его качества и пригодности для сельскохозяйственных целей, озеленения и восстановления окружающей среды. Для оценки фитотоксичности используется несколько параметров (процент всхожести семян и длина корня), а также исследуется большое разнообразие видов растений.

Индекс всхожести считается наиболее чувствительным параметром для определения фитотоксичности компоста и оценки его пригодности для использования в качестве удобрения для почвы или среды для выращивания. Это интегрированный параметр, который сочетает в себе относительную всхожесть и относительное удлинение корня.

Значения индекса всхожести ниже 50% указывают на высокую фитотоксичность, значения от 50% до 80% указывают на умеренную фитотоксичность, значения выше 80% свидетельствуют об отсутствии фитотоксичности [8]. Когда показатель превышает 100%, то компост можно считать фитостимулятором.

В первом опыте исследовался экстракт зоокомпоста в чистом виде и в разбавленном. Результаты длин корней семян Овса посевного (Avena sativa) на зоокомпосте с разведением в 2, 10, 20 и 50 раз представлены в таблице 3.

Таблица 3

Результаты опыта на фитотоксичность. Опыт 1

Характеристика	Контроль	R = 1	R = 2	R = 10	R = 20	R = 50
Кол-во проросших семян	9,0 ± 2,0	0,0	7,0 ± 3,0	9,0 ± 1,0	9,0	10,0 ± 1,0
Среднее значение длины корня, мм	113,8 ± 14,5	0,0	55,2 ± 12,4	121,8 ± 16,5	119,1 ± 15,1	132,7 ± 10,6
Индекс всхожести, %	–	0,0	39,6	103,1	104,7	125,3
Уровень фитотоксичности	–	высокий	высокий	отсутствие	отсутствие	отсутствие

Видно, как при увеличении разбавления зоокомпоста фитотоксичность уменьшается и, более того, возникают фитостимулирующие свойства, то есть индекс всхожести более 100% (рис. 2). Разбавление зоокомпоста в 50 раз носит более оптимальный, стимулирующий эффект.

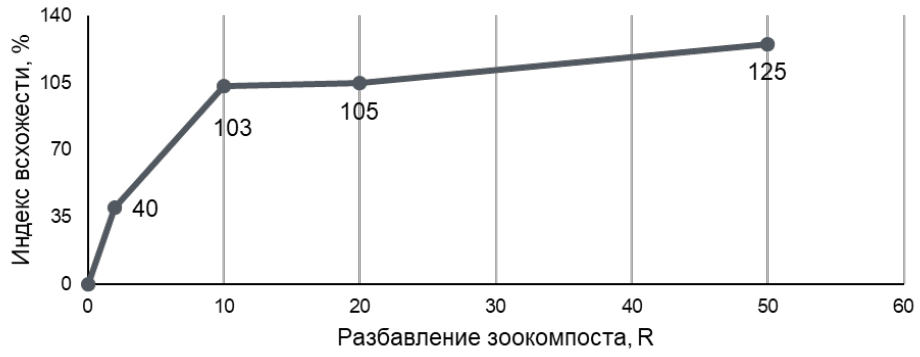


Рис. 2 – Зависимость разбавления зоокомпоста на фитотоксичность

Также был проведен эксперимент на сравнение фитотоксичности экстракта торфа и экстракта торф-зоокомпост в соотношении 1:50. Данное соотношение было взято в связи с рекомендациями по внесению его в землю при выращивании сельскохозяйственных культур от известных производителей зоокомпоста на рынке.

В таблице 4 представлены результаты длин корней семян Овса посевного (Avena sativa), полученного на торфе и на торф-зоокомпост в соотношении 1:50.

Таблица 4

Результаты опыта на фитотоксичность. Опыт 2

Характеристика	Торф	Торф-зоокомпост
Кол-во проросших семян	9,0 ± 1,0	10,0 ± 1,0
Среднее значение длины корня, мм	113,1 ± 7,1	115,3 ± 7,3
Индекс всхожести, %	–	113,8
Уровень фитотоксичности	–	отсутствие

Экстракт торф-зоокомпост дал лучше результаты, чем экстракт торфа. Что говорит о стимулирующих свойствах зоокомпоста в правильном соотношении удобрение-почва.

Как результат, зоокомпост показал высокие количественные результаты показателей (органическое вещество, азот, калий, фосфор). Также был получен результат положительного влияния зоокомпоста на рост и развитие растений при условии, что он был разбавлен в правильном соотношении.

Состав зоокомпоста изменчив и, в частности, концентрации азота, фосфора и калия сильно зависят от кормового субстрата. Для дальнейших исследований стоит обратить внимание на получение более постоянного зоокомпоста, чтобы вносить его в правильном соотношении для корма растений.

Список использованных источников

1. ФАО. Состояние мировых земельных и водных ресурсов для производства продовольствия и ведения сельского хозяйства. Системы на пределе // Сводный доклад – 2021.
2. Сельское хозяйство в России. 2021: Стат.сб. / Росстат – М., 2021. – 100 с.
3. Anyega A.O., Korir N.K., Beesigamukama D., Changeh G.J., Nkoba K., Subramanian S., van Loon J.J., Dicke M., Tanga C.M. Black Soldier Fly-Composted Organic Fertilizer Enhances Growth, Yield, and Nutrient Quality of Three Key Vegetable Crops in Sub-Saharan Africa // Frontiers in Plant Science. – 2021. – №12. DOI:10.3389/fpls.2021.680312.
4. Song S., Ee A.W., Tan J.K., Cheong J.C., Chiam Z., Arora S., Lam W.N., Tan H.T Upcycling food waste using black soldier fly larvae: effects of further composting on frass quality, fertilising effect and its global warming potential // Journal of Cleaner Production. – 2021. – №88(5). DOI:10.1016/j.jclepro.2020.125664.
5. Kawasaki K., Kawasaki T., Hirayasu H., Matsumoto Y., Fujitani Y. Evaluation of fertilizer value of residues obtained after processing household organic waste with black soldier fly larvae (Hermetia illucens) // Sustainability – 2020. – №12(12). DOI:10.3390/su12124920.
6. Watson C., Schlösser C., Vögerl J., Wichern F. Excellent excrement? Frass impacts on a soil's microbial community, processes and metal bioavailability // Applied Soil Ecology. – 2021. – №168. DOI:10.1016/J.APSOIL.2021.104110.
7. Menino R., Felizes F., Castelo-Branco M.A., Fareleira P., Moreira O., Nunes R., Murta D. Agricultural value of black soldier fly larvae frass as organic fertilizer on ryegrass // Heliyon. – 2021. – №7(1). DOI:10.1016/j.heliyon.2020.e05855.
8. Zucconi F. Biological evaluation of compost maturity // BioCycle – 1981. – №22. – Pp. 27–29.

БАКАЛАВРЫ

Лауреаты I степени

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

УДК 681.78

РАЗРАБОТКА ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ГОТОВОЙ ПРОДУКЦИИ НА ПОТОЧНОЙ ЛИНИИ

Алликас Д.Д.

Научный руководитель – Горбачёв А.А., кандидат технических наук, доцент физико-технического факультета

allikas.daniil@gmail.com

Ключевые слова

Машинное зрение, контроль качества, бутилизированная продукция, бутылка, камера.

При конвейерной сборке продукции из-за часто возникающих ошибок в технологических процессах часть продукции оказывается либо бракованной по внешним признакам, либо полностью непригодной для дальнейшей эксплуатации. Например, для бутилированной продукции возможны следующие виды дефектов: неполная закрутка крышки на горлышко бутылки, вздутие крышек из-за различных встрясок продукции при движении по конвейеру, разрывы или полные срезы этикеток, ошибки при нанесении как рисунка на этикетке, так и при нанесении штрих-кодов, QR-кодов, даты и времени разлива.

Так как не всегда есть возможность учесть факторы, из-за которых возникают перечисленные недостатки, для контроля качества продукции необходимы системы, которые позволяют обнаружить дефект продукции [1].

Одной из компаний, занимающихся решением подобных задач, является Omron [2]. Данная компания специализируется в следующих сегментах: промышленная автоматизация, электронные и механические компоненты, социальные системы, решения и услуги для здравоохранения и другие. На рынке машинного зрения компания предлагает продукты через свою дочернюю компанию Omron Industrial Automation: её сильными сторонами является надежный портфель продуктов, значительные инвестиции в новейшие технологии, что помогает компании обслуживать широкий круг клиентов и диверсифицировать бизнес-риски, и более чем 30-летний опыт обработки изображений и визуального контроля [1]. Слабой стороной Omron является её портфолио: основная часть их продукции – закрытые системы, нацеленные на решение узкоспециализированных задач. Их программные пакеты для работы с партитивным компьютером показывают свою не проработанность, так как около половины функций, представленных в описании к соответствующему продукту либо не способны выполнять заявленные задачи, либо их работа проходит по другим сценариям.

Другой компанией, предоставляющей схожие решения на российском рынке, является компания Datalogic [3], чьи устройства используются в большинстве супермаркетов и на кассовых узлах, в крупных аэропортах, в транспортных компаниях и почтовых службах, на крупнейших производственных предприятиях и в медицинских учреждениях по всему миру. В сегменте машинного зрения данная компания позиционируется промышленными процессорами машинного зрения серии MX-E, которые обеспечивают высочайшую производительность обработки изображений с непревзойденной гибкостью благодаря поддержке подключения от 4 до 8 камер GigE [3] одновременно.

Вторым важным достоинством данной компании является их пакет языков программирования Impact. Impact состоит из нескольких программ, которые дают возможность гибко настроить или запрограммировать систему отслеживания или детектирования определенных элементов продукции. При этом программы построены так, чтобы человек, который не знаком ни с одним языком программирования смог быстро и четко задать необходимую систему. Для более глубокой работы с программой в пакете присутствует возможность создавать свои макросы на языках Basic или Java.

Учитывая рассмотренную продукцию различных компаний, занимающихся машинным зрением, можно определить, что цель выпускной квалификационной работы является

разработка оптико-электронной системы, которая предназначена для контроля качества готовой продукции бутылочного типа на поточной линии.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- осуществить выбор элементов и реализовать структурную схему оптико-электронной системы для контроля качества готовой продукции;
- провести габаритно-энергетический расчет основных параметров оптико-электронной системы;
- провести расчет параметров надежности оптико-электронной системы;
- разработать конструкцию видеоблока оптико-электронной системы для контроля качества готовой продукции;
- разработать алгоритм работы программы для оптико-электронной системы по контролю качества готовой продукции.

Оптико-электронная система должна состоять из видеоблоков, обеспечивающих зону наблюдения продукции; системы освещения, создающей необходимую освещенность в зоне наблюдения продукции; блока обработки и управления, осуществляющего контроль качества готовой продукции, и блока питания.

Контроль продукции осуществляется на конвейере:

- ширина ленты конвейера – 90 мм;
- высота бортика конвейера – 100 мм;
- расстояние между бортиками – 95 мм;
- толщина бортиков, не более – 20 мм.

Требования, предъявляемые к контролируемой продукции:

- высота продукции – от 150 до 250 мм;
- ширина продукции, не более – 90 мм.

Контроль качества продукции осуществляется в следующих зонах:

- в зоне I (зона контроля крышки сверху) осуществляется оценка качества продукции по цвету, рисунку, орнаменту, дате (при наличии) и штрих-коду (при наличии);
- в зоне II (зоне контроля фронта крышки) осуществляется проверка крышки на открытость и вздутие, наполненность бутылки, а также контроль даты на горлышке (при наличии);
- в зоне III (зона контроля этикетки) осуществляется проверка целостности этикетки, ее цвета, рисунка, штрих-кода (при наличии) и даты (при наличии).

Питание системы – сеть с переменным напряжением 220 В 50 Гц.

Условия эксплуатации – цеховые.

Разработка системы

Для разработки системы, было решено выбрать процессор машинного зрения MX-E90 как основной центр обработки информации. Компания Datalogic представляет несколько типов камер для работы с данным видеопроцессором, параметры которых можно рассмотреть в таблице [3].

Таблица

Камеры Datalogic

Модель ч/б	Модель цветная	Разрешение матрицы, пиксели	Частота кадров, Гц
E101	E101C	640 x 480	376
E151	E151C	1280 x 1024	88
E181	E181C	1920 x 1200	50
M197	M197C	2592 x 1944	14
E198	E198C	2448 x 2048	23

Учитывая аспекты зон проверки, а также габариты как продукции, так и самой линии, было решено реализовать оптико-электронную систему (рис.1) из шести видеоблоков, компьютера MX-E90 Datalogic, батареи дискретных входов и выходов, двух светоотражательных датчиков, двух осветительных устройств. Программным обеспечением

данной системы является пакет программ Impact Datalogic. Компьютер MX-E90 специализирован на обработку информации с нескольких видеоблоков, а также имеет возможность регулировать данную информацию с помощью аналоговых сигналов с фоточувствительных датчиков.

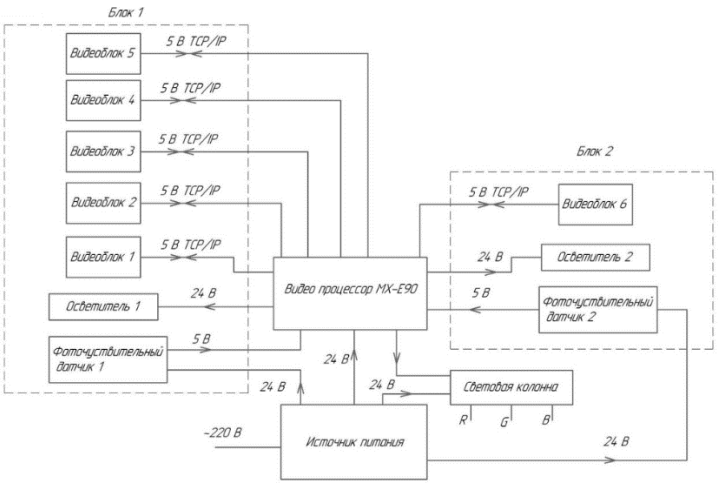


Рис. 1 – Электрическая структурная схема оптико-электронной системы для контроля качества готовой продукции

Оптико-электронная система контролирует 2 рабочие области: в первой области проверяется зона I и зона III; во второй области проверяется зона II. Освещение так же разделено по рабочим областям, так как необходимо различным образом освещать продукцию. Для отслеживания вздутости необходимо снимать контур крышки на контрастном фоне, тем самым обеспечивая отслеживание дефектов. Для отслеживания различных элементов на поверхности крышки и этикетки освещение должно быть равномерное, чтобы не было световых пятен на поверхности анализируемой поверхности. Количество камер в системе определено количеством зон и рабочей областью: одна цветная камера с разрешением матрицы 1920x1200 для фотографирования верхней крышки; четыре цветных камеры с разрешением матрицы 1920x1200 для фотографирования этикетки; одна чёрно-белая камера с разрешением матрицы 1920x1200 для фотографирования профиля крышки.

При сборке системы было обнаружено, что корпуса видеоблоков не обладают необходимыми местами крепления, из-за чего не было возможности реализовать качественно их установку. Поэтому был разработан новый корпус видеоблока, представленный на рисунке 2.

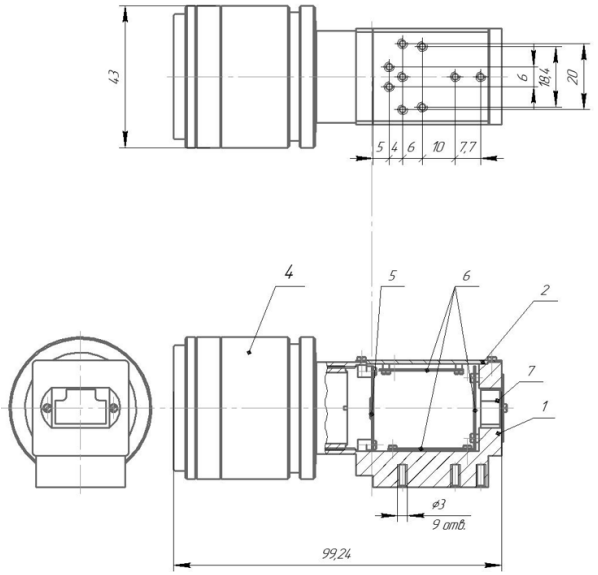


Рис. 2 – Сборочный чертеж видеоблока

Видеоблок состоит из следующих элементов: объектив (1), корпус (2), плата с матричным приемником оптического излучения (3), платы обработки и передачи информации (4), разъем TCP/IP (5), верхняя крышка (6).

Был проведен габаритно-энергетический расчет [4], по результатам которого были выбраны объектив Basler Lens C10-1214-2M-S f12mm [5] с фокусным расстоянием f' = 12 мм и угловым полем 2θ = 67°, камеры Datalogic E181 и E181C с разрешением 1920 x 1200 и диагональю 11 мм [3], светодиодная пластина MEBL-CR145 и светодиодное кольцо FUJIMI FJL-RING12. На основе данных элементов были реализованы оптические схемы (рис.3 и 4) для зон контроля I, III, находящихся в 1 блоке системы, и зоны контроля II, находящейся во 2 блоке системы.

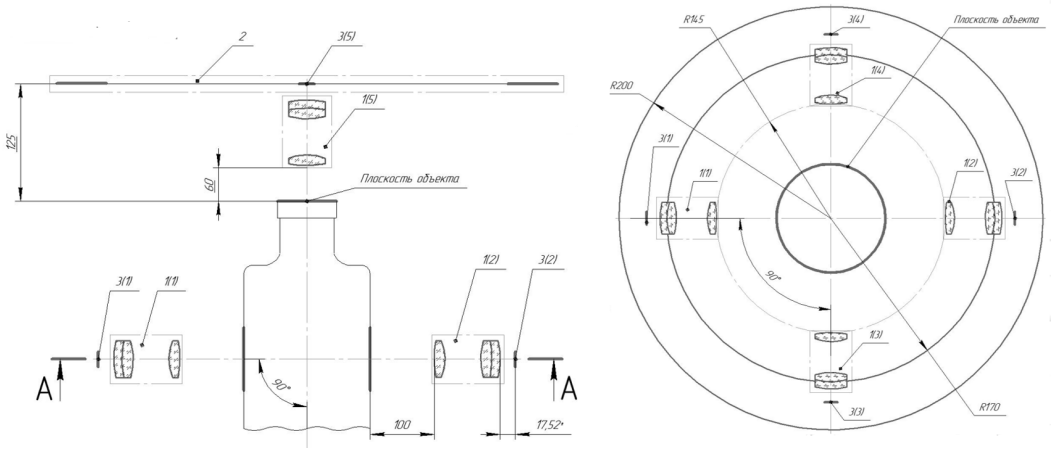


Рис. 3 – Оптическая схема первого блока оптико-электронной системы контроля качества продукции

Первый блок состоит из 5 цветных камер Datalogic E181C (1, 3 на рис.3), четыре из которых отвечают за зону контроля III и расположены по периметру продукции в плоскости, проходящей через центр этикетки, а пятая находится над продукцией и контролирует зону I. В данном блоке все зоны освещаются кольцевым светодиодным источником излучения FUJIMI FJL-RING12 (2 на рис.3), который располагается на высоте около 125 мм над продукцией.

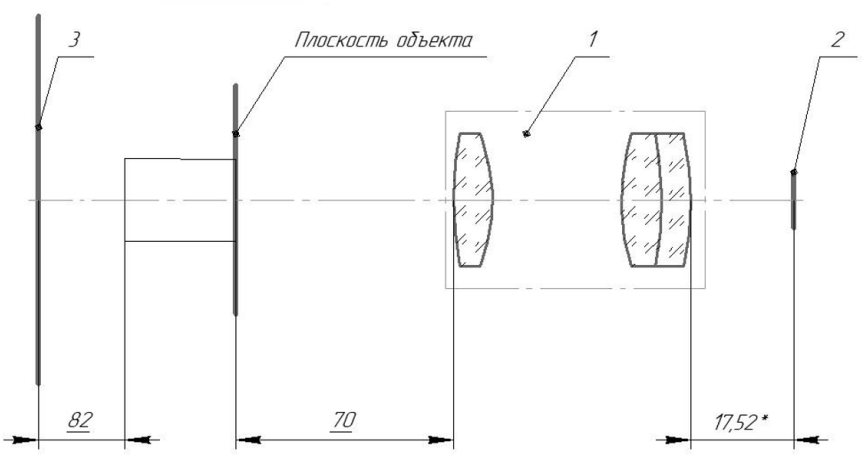
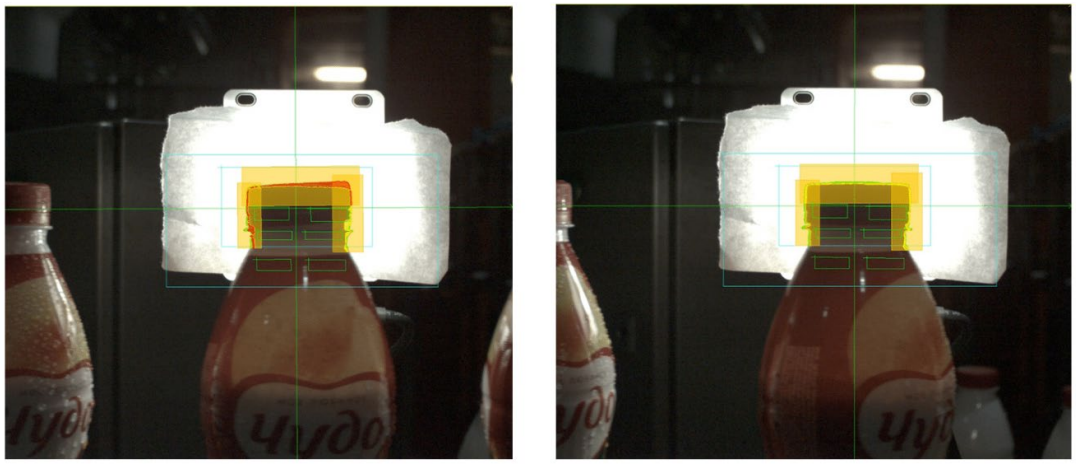


Рис. 4 – Оптическая схема второго блока оптико-электронной системы контроля качества продукции

Второй блок состоит из одной черно-белой камеры Datalogic E181 (2 на рис.4), которая отвечает за контроль зоны II и расположена на расстоянии 70 мм от поверхности контролируемого объекта. В данном блоке используется теневой метод анализа продукции, поэтому источник излучения MEBL-CR145 (3 на рис.4) находится за объектом на расстоянии 122 мм и освещает его.

После сборки системы на встроенном в процессор машинного зрения MX-E90 пакете программ Impact [3] был разработан алгоритм работы оптико-электронной системы для контроля качества готовой продукции и реализована программа, результат работы которой представлен на рисунке 5.



а б

Рис. 5 – Пример контроля зоны II: а) бракованная продукция; б) качественная продукция

По результатам аналитического обзора была разработана структурная схема оптико-электронной системы для контроля качества готовой продукции. Система состоит из двух блоков, первый из которых используется для наблюдения за зонами I и III, второй – за зоной II. Система состоит из шести объективов Basler Lens C10-1214-2M-S f12mm, пяти камер Datalogic E181C и одной Datalogic E181, одной светодиодной пластины MEBL-CR145 и светодиодного кольца FUJIMI FJL-RING12. Расчет параметров надежности системы показал, что среднее время её безотказной работы составляет 686 часов. Дальнейшей работой является поиск комплектующих для данной системы среди российских аналогов, оценка качества работы системы в полевых условиях.

Список использованных источников

1. Mordor Intelligence, Industry report, Global Machine Vision Systems Market (2020 – 2026). [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.mordorintelligence.com (дата обращения: 12.04.2022).
2. Omron. Системы технического зрения. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://industrial.omron.ru/ru/products/inspection-systems (дата обращения: 10.03.2022).
3. Документация по продукции Datalogic, DS-MX-E-SERIES-ENA4 Revision B 20190531. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.datasensing.com/FileDocumenti/Articoli/Cat-Serie/ENG/DS-MX-E%20SERIES-ENA4.pdf (дата обращения: 05.08.2021).
4. Грязин Г.Н. Основы и системы прикладного телевидения: учебное пособие для вузов – СПб.: Политехника, 2011. – 274 с.
5. Basle Lens C10-1214-2M-S f12mm. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://docs.baslerweb.com/c10-1214-2m-s (дата обращения 17.03.2022).

УДК 544.032.65

ЛАЗЕРНОЕ УПРАВЛЕНИЕ СМАЧИВАЕМОСТЬЮ ПОВЕРХНОСТИ СТЕКЛА ДЛЯ ЗАДАЧ МИКРОФЛЮИДИКИ

Бондаренко А.Г.

Научный руководитель – Заколдаев Р.А., кандидат технических наук, научный сотрудник института лазерных технологий, ассистент института лазерных технологий

ag_bondarenko@itmo.ru

Ключевые слова

CO_2-лазер, лазерное микроструктурирование, кварцевое стекло, микроканал, микрофлюидика.

Микрофлюидика играет большую роль в различных направлениях и сферах жизнедеятельности человека от медицины до пищевой промышленности [1,2] и позволяет манипулировать малыми объемами жидкостей и реагентов. Микрофлюидные устройства являются компактными, недорогими, удобными и мобильными, что решает некоторые серьезные проблемы проведения анализов и получения результатов. Востребованным и наукоемким направлением является изготовление микрофлюидных компонентов и систем на поверхности кварцевого стекла. Этот материал обладает важными для микрофлюидики свойствами, такими как однородность, гидрофильность, высокая оптическая прозрачность, гигроскопичность. Многие из областей использования стекла учитывают такое свойство поверхности как смачиваемость. Способность управлять свойством смачиваемости поверхности материалов является ключевой в микрофлюидике для манипулирования потоками жидкостей. Контролировать смачиваемость поверхности можно за счет создания специального микрорельефа на поверхности образца. Необходимую топологию поверхности можно получить различными технологическими методами, в том числе с помощью лазерной обработки. Для этого могут быть использованы лазеры с ультракороткими импульсами [3], ультрафиолетовые лазеры [4], но такие установки являются дорогими и сложными в обслуживании. Успешной альтернативой является структурирование кварцевого стекла с помощью излучения CO_2-лазера, однако существуют трудности в обработке материала из-за интенсивной абляции материала и возникновения дефектов. Разработка рекомендаций по микроструктурированию поверхности кварцевого стекла с помощью CO_2-лазера позволит получить доступную и простую технологию изготовления микрофлюидных элементов и систем.

Лазерное структурирование поверхности силикатных материалов является перспективным методом создания рельефа для задач микрофлюидики, но также содержит некоторые пробелы. Обработка кварцевых стекол происходит за счет резонансного поглощения решеткой SiO_2 лазерного излучения CO_2-лазера. Данное воздействие создает зоны термического расширения в объеме материала и осаждение продуктов абляции на полученных структурах, что негативно влияет на качество будущего устройства. Решением данной проблемы является оптимизация параметров излучения CO_2-лазера для применение данной технологии на коммерческих лазерных установках.

Обработка проводилась на поверхности кварцевого стекла (КУ-1) сфокусированным лазерным пучком. В данной работе была использована коммерческая лазерная установка «C-Marker» (ООО «Лазерный центр»), генерирующая излучение на длине волны 10,6 мкм и с частотой следования импульсов 8 кГц (рис.1,а). Изображения микроструктур были получены с помощью микроскопа Zeiss, геометрия поверхности исследовалась с использованием контактного профилометра Hommelwerke T8000 и оптического профилометра ZeScope. Микроскоп-спектрофотометр ЛОМО МСФУ-К применялся для исследования спектров пропускания изготовленных микроструктур. Смачиваемость микрофлюидных структур измерялась с помощью экспериментальной установки, состоящей из микроскопа ЛОМО, цифровой камеры ToupCam, кольцевой лампы, координатного стола (рис.1,б). Тестируемыми

жидкостями являлись дистиллированная вода и раствор дистиллированной воды с родамином (1%), которые вводились в структуры с помощью дозатора Mechanical pipette Satorius (0,1 – 10 мкл) или инсулинового шприца (0,5 мл).

а б

Рис. 1 – Лазерная установка «C-Marker» (ООО «Лазерный центр»):
а) лазерная установка (схематичное изображение); б) установка для измерения контактных углов смачиваемости поверхности

Микроканалы были изготовлены при изменении скорости сканирования (50 – 75 мм/с) и мощности лазерного излучения (3,25 – 17 Вт). Такие режимы обеспечивают неоднородность каналов, не создавая при этом больших внутренних напряжений и дефектов в кварцевом стекле. Полученные микроканалы представлены на рисунке 2.

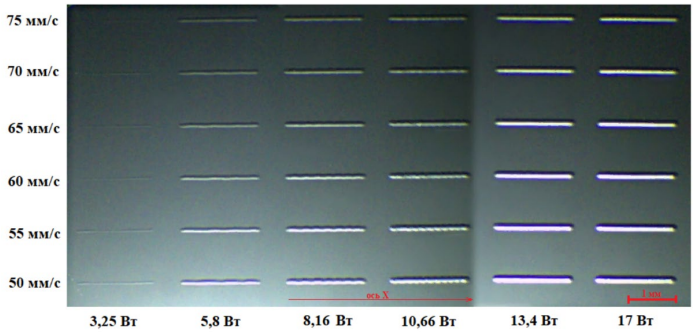
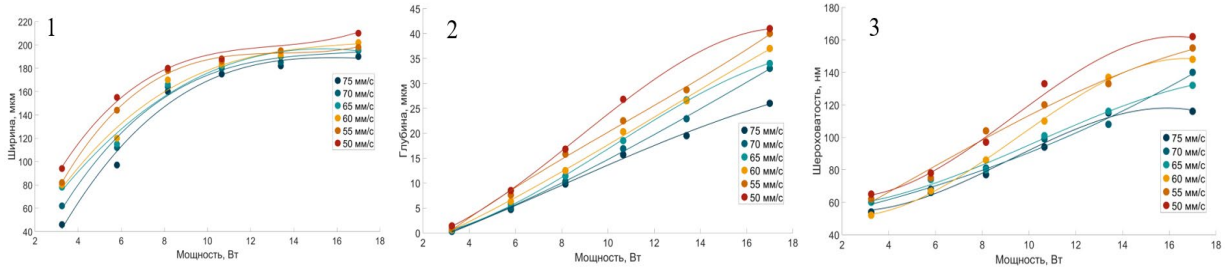


Рис. 2 – Массив микроканалов на поверхности кварцевого стекла. Масштаб 1 мм

Для изготовленных микроканалов были получены зависимости ширины, глубины и шероховатости от параметров лазерной обработки. Зависимость ширины треков имеет степенной характер, и значения ширины не превышают 190 – 210 мкм (рис.3,а). Значения глубины микроканалов линейно возрастают с увеличением мощности и лежат в диапазоне 0,5 ± 0,1 – 45 ± 6 мкм (рис.3,б). Рисунок 3,в представляет собой зависимость шероховатости микроканалов от скорости сканирования и мощности лазерного излучения, которую можно описать линейной функцией. Шероховатость имеет большое значение при управлении жидкостями, так как влияет на скорость потока. Шероховатость полученных каналов была определена в пределах 50 ± 10 – 160 ± 20 нм.



а б в

Рис. 3 – Графики, демонстрирующие влияние скорости сканирования и мощности лазерного излучения микроканалов на: а) ширину; б) глубину; в) шероховатость

При изготовлении микрорезервуаров помимо параметров лазерной обработки учитывалось перекрытие лазерного пятна по оси Y. Данный параметр дополнительно влиял на шероховатость микрорезервуаров. В результате был получен массив микрорезервуаров (рис.4), для которых были проведены измерения глубины и шероховатости с помощью оптической и контактной профилометрии. С увеличением перекрытия лазерного пятна значения глубины (1 ± 0,5 – 35 ± 5 мкм) и параметра шероховатости (150 ± 15 – 4500 ± 100 нм) увеличиваются.

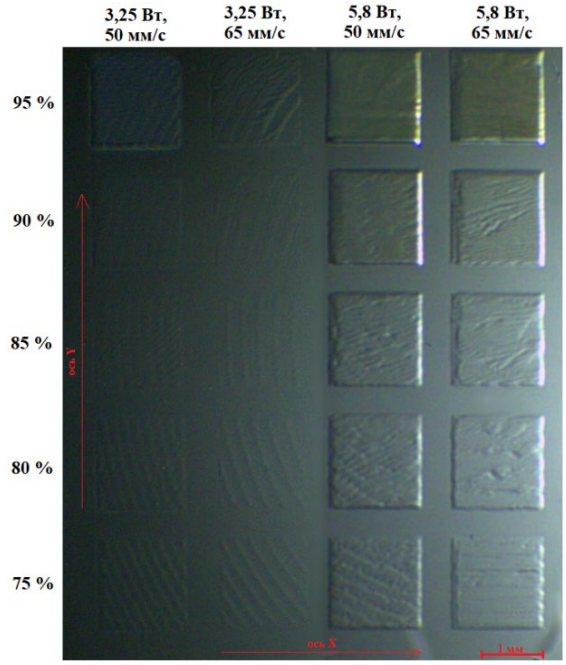
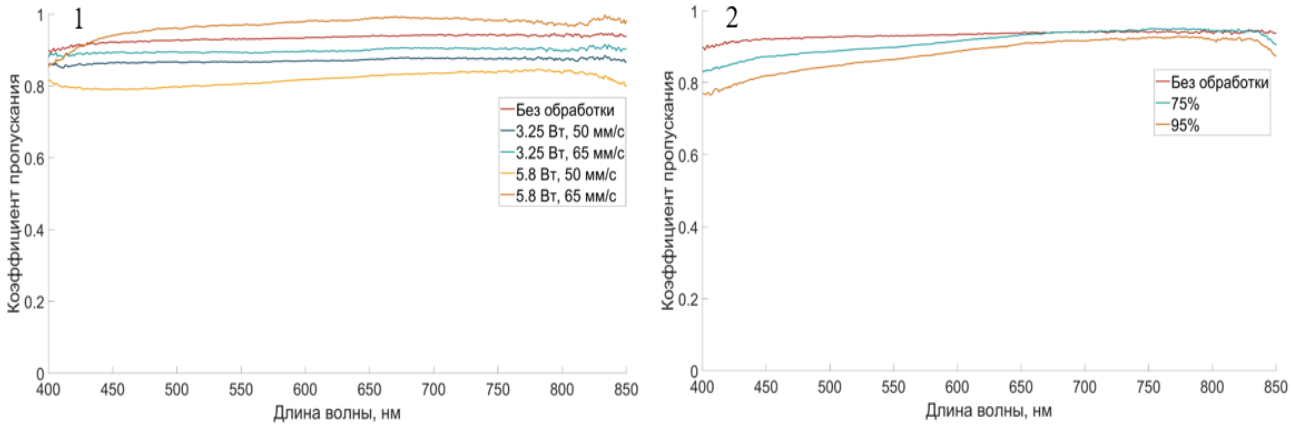


Рис. 4 – Массив микрорезервуаров на поверхности кварцевого стекла. Масштаб 1 мм

Высокая оптическая прозрачность остается важной характеристикой, необходимой в наблюдении и детектировании. Необработанная поверхность кварцевого стекла имеет высокий коэффициент пропускания (~0,93). Шероховатость изготовленных микроструктур незначительно влияет на прозрачность материала, поэтому прозрачность материала падает, но при этом не опускается ниже 75% на всем исследуемом диапазоне (рис.5).



а б

Рис. 5 – Спектры пропускания поверхности необработанного кварцевого стекла в сравнении с: а) исследуемыми микроканалами; б) исследуемыми микрорезервуарами

Тестирование микроканалов проводилось путем ввода капли дистиллированной воды (~0,1 мкл) через инсулиновый шприц. Эксперименты показали быстрое перемещение капли жидкости по микроканалам (рис.6).

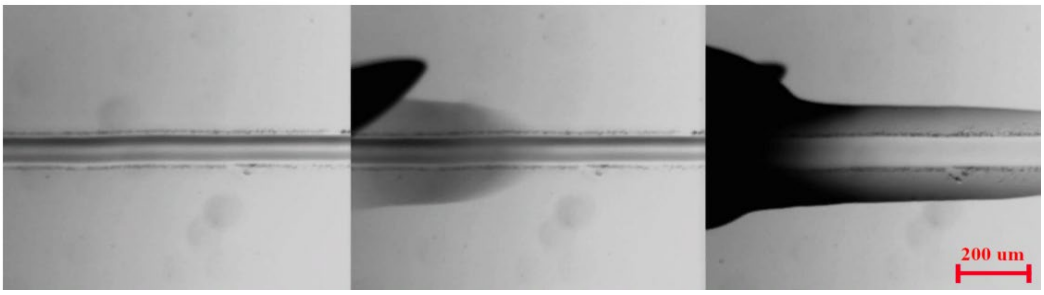


Рис. 6 – Микрофотографии, демонстрирующие течение жидкости по микроканалу, слева направо: без жидкости, момент осаждения капли и течение потока жидкости. Масштаб 200 мкм

Было проверено влияние шероховатости микрорезервуаров на значения контактных углов, которые описывают смачиваемость поверхности. Значения углов, полученные с помощью экспериментальной установки, растут с увеличением параметра шероховатости и могут достигать значений 65 ± 6° (рис.7). Это может быть связано с тем, что полученные микроструктуры с высокими значениями шероховатости повторяют модель Венцеля [5].

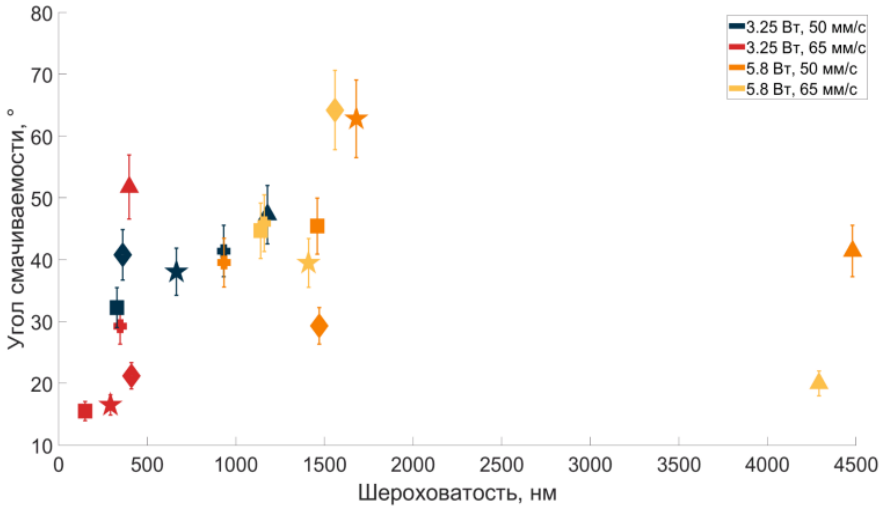


Рис. 7 – График зависимости контактного угла смачиваемости микрорезервуаров от шероховатости при различных параметрах лазерной обработки

Заключительными этапами работы являлись разработка, изготовление и тестирование микрофлюидных систем. Они были сделаны на основе полученных и проверенных микроканалов и микрорезервуаров. Схемы трех предложенных простых систем были записаны на поверхности стекла (рис.8).

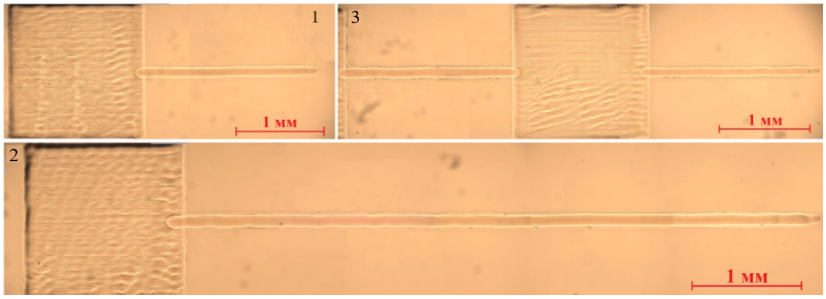


Рис. 8 – Микрофлюидные системы на поверхности стекла. Масштаб 1 мм

Капля раствора родамина с дистиллированной водой объемом 0,1 мкл вводилась в каждую систему в начало канала. Во всех трех системах капля прямолинейно распространялась по микроканалу, полностью заполняя в конце микрорезервуар (рис.9, рис.10). В случае с микрофлюидной системой на рисунке 11 капля продолжила течение по следующему микроканалу, располагающемуся после микрорезервуара.

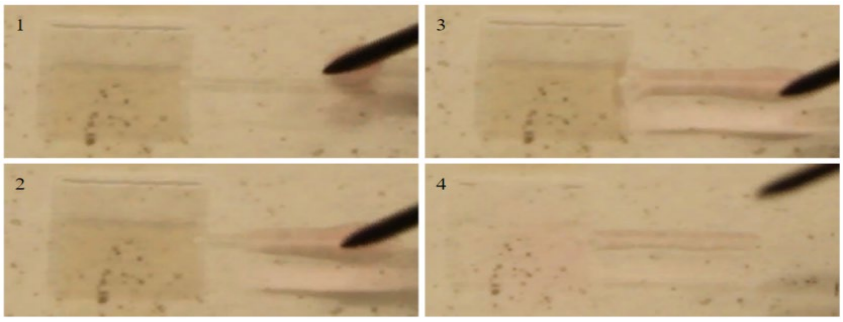


Рис. 9 – Тестирование микрофлюидной системы, изображенной на рисунке 8.1

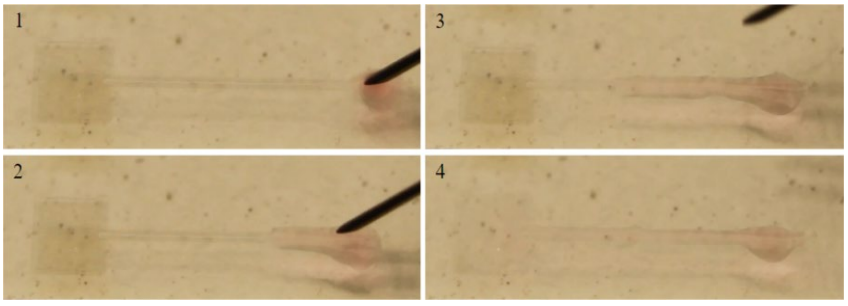


Рис. 10 – Тестирование микрофлюидной системы, изображенной на рисунке 8.2

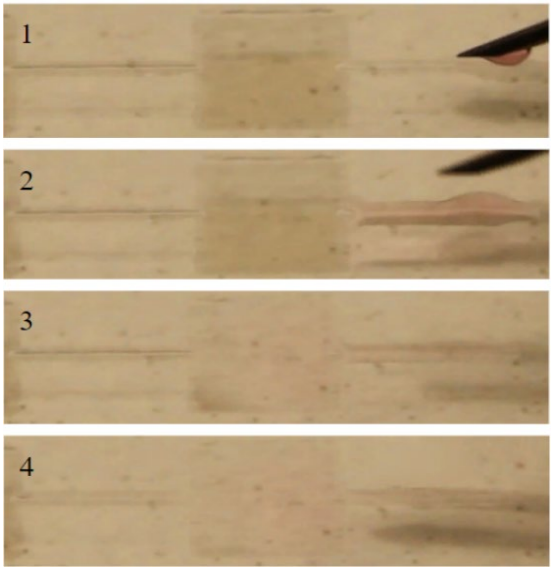


Рис. 11 – Тестирование микрофлюидной системы, изображенной на рисунке 8.3

В ходе работы была продемонстрирована возможность записи поверхностных микрофлюидных элементов и систем с различной смачиваемостью с сохранением высокой прозрачности материала при использовании коммерческой установки CO_2-лазера. Были изготовлены микрофлюидные элементы различной геометрии и проверено влияние параметров лазерного излучения (скорость сканирования и мощность) на изменение ширины, глубины и шероховатости полученных микроструктур. Полученные микрофлюидные элементы и системы способны управлять потоками жидкостей, что было показано в экспериментах на ввод жидкости в структуры. Полученные данные позволяют разработать рекомендации для изготовления простых и доступных микрофлюидных систем для лабораторных применений.

Список используемых источников

1. Perrone E., Cesaria M., Zizzari A., Bianco M., Ferrara F., Raia L. and Arima V. Potential of CO2-laser processing of quartz for fast prototyping of microfluidic reactors and templates for 3D cell assembly over large scale // Materials Today Bio. – 2021. – V.12. – P. 100163.

2. Jiang H., Jiang D., Zhu P., Pi F., Ji J., Sun C. and Sun X. A novel mast cell co-culture microfluidic chip for the electrochemical evaluation of food allergen // Biosensors and Bioelectronics. – 2016. – V.83. – Pp. 126–133.
3. Li G., Feng G., Wang S., Zhang H., Wang Z. and Zhou S. Femtosecond laser assisted fabrication of networked semi-occlusive microfluidic channel on fused silica glass surface // Optik. – 2017. – V.140. – Pp. 953–958.
4. Chang T.L., Chen Z.C., Lee Y.W., Li Y.H. and Wang C.P. Ultrafast laser ablation of soda-lime glass for fabricating microfluidic pillar array channels // Microelectronic Engineering. – 2016. – V.158. – Pp. 95–101.
5. Bormashenko E. Progress in understanding wetting transitions on rough surfaces // Advances in colloid and interface science. – 2015. – V.222. – Pp. 92–103.

УДК 621.039

РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ И ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЯЧЕЙКИ ЯДЕРНОГО МАГНИТНОГО ГИРОСКОПА

Власова М.А.

Научный руководитель – Литвиненко Ю.А., кандидат технических наук, доцент факультета систем управления и робототехники

mary_vlasova446@mail.ru

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

Ключевые слова

Ядерный магнитный гироскоп, газовая ячейка, квантовый датчик, конструкция, технология.

Ядерный магнитный гироскоп – это квантовый датчик, принцип действия которого основан на взаимодействии света и рабочего вещества. Преимуществами такого датчика являются высокая потенциально достижимая точность, виброустойчивость, малое энергопотребление и компактные размеры [1]. Центральным компонентом ЯМГ является ячейка, заполненная смесью газообразных веществ. В состав смеси входят три основных компонента: пары щелочных металлов (цезия), благородный газ (ксенон) и буферный газ (азот). К такой ячейке предъявляются требования по прозрачности, немагнитности, герметичности, термостойкости, а также форме и габаритам.

Целью работы является выбор конструктивных требований и технологических решений для изготовления, заполнения и контроля параметров ячейки ЯМГ.

Влияние параметров ячейки на характеристики всего гироскопа. В процессе разработке требований к конструкции газовой ячейки важно проанализировать влияние её параметров на точностные характеристик гироскопа.

Известно, что одна из основных погрешностей ЯМГ имеет случайный характер и описывается характеристикой случайного блуждания по углу (ARW – angel random walk) [2].

Опишем влияние размера ячейки на ARW гироскопа следующей математической моделью.

$$W_{ARW} = k_{ARW} \cdot \sigma(\omega)|_{1Hz},$$

где $k_{ARW} = \frac{3600 \cdot 360}{2\pi} \cdot \frac{1}{\sqrt{2} \cdot 60}$, $\sigma(\omega)|_{1Hz} = \delta W_{ARW} = \frac{1}{Q} \cdot \sqrt{\Delta f}$ – стандартное отклонение шума, наблюдаемого при оценке угла поворота основания при пропускной способности $\Delta f = 1$ Гц, Q – добротность.

Добротность Q определяется отношением сигнал/шум и скоростью релаксации рабочего вещества [3]:

$$Q \approx \frac{S_{iXe}}{\sigma_{NiXe} \cdot \Gamma_{iXe}},$$

где S_{iXe} – мощность сигнала прецессии ксенона, σ_{NiXe} – спектральная плотность мощности шума детектирования, Γ_{iXe} – скорость спиновой релаксации ксенона.

Таким образом, ARW гироскопа можно оценить, получив отношение амплитуды выходного сигнала к спектральной плотности шума и скорости спиновой релаксации. Проанализируем влияние размера ячейки на эти параметры.

Расчёт скорости релаксации ксенона производится по формуле:

$$\Gamma_{iXe} = \Gamma_{XeConst} + \frac{K_{XeWalliXe}}{{L_{cell}}^2},$$

где $\Gamma_{XeConst}$– скорость релаксации ксенона, не зависящая от факторов, на которые влияет размер ячейки, $K_{XeWalliXe}$– коэффициент для расчёта скорости релаксации ксенона из-за столкновений со стенками, L_{cell} – линейный размер ячейки.

Плотность шума ксенона также зависит от размера ячейки и определяется следующим образом:

$$\sigma_{NiXe} = K_{\sigma NiXe} \cdot \sqrt{\frac{{L_{cell}}^3}{T_{iXe}}},$$

где $K_{\sigma NiXe}$ – коэффициент для расчёта плотности шума ксенона, зависящий от концентрации ксенона, $T_{iXe} = \frac{1}{\Gamma_{iXe}}$ – время релаксации ксенона.

Амплитуда сигнала, как и плотность шума зависит от размера ячейки и вычисляется по формуле:

$$S_{iXe} = K_{SiXe} \cdot P_{Me} \cdot {L_{cell}}^3,$$

где K_{SiXe}– коэффициент для расчёта сигнала ксенона при данной поляризации, зависящий от скорости спин-обменной накачки и концентрации ксенона, P_{Me} – степень поляризации щелочного металла, также зависящая от размера ячейки.

Упрощённый алгоритм расчёта зависимости ARW от линейного размера ячейки представлен графически на рисунке 1. Такие параметры, как оптическая толщина ячейки, градиент магнитного поля, созданного атомами металла, влияют на модель незначительно и поэтому в упрощённом алгоритме не учитывались.

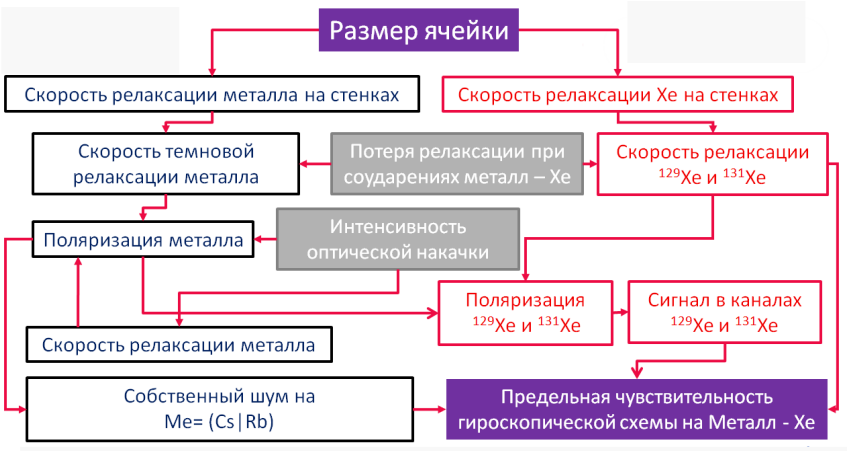


Рис. 1 – Зависимость ARW гироскопа от линейного размера ячейки

В результате расчётов по описанному выше алгоритму получен график зависимости предельной ARW ЯМГ от размера его газовой ячейки. Он изображен на рисунке 2.

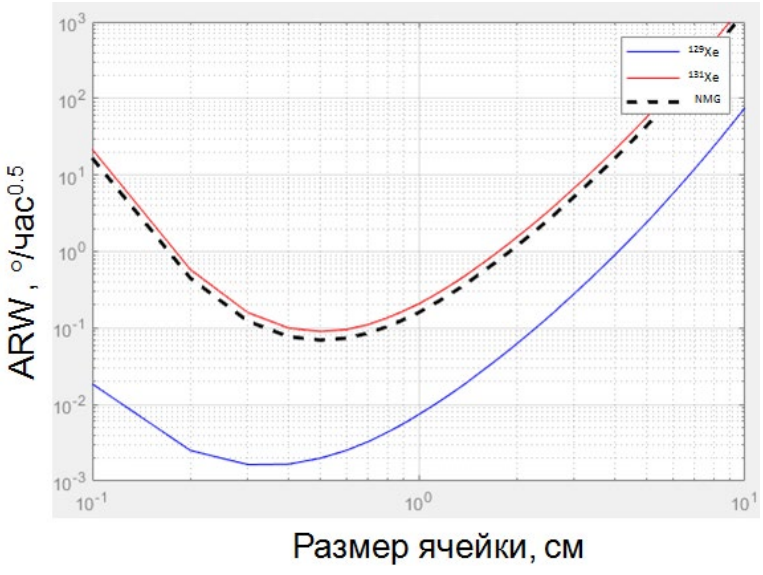


Рис. 2 – График зависимости ARW гироскопа от размера ячейки для двух изотопов и для балансной схемы на двух изотопах

График получен с учетом мощностей, имеющихся в продаже лазеров вертикального излучения (0,3 МВт). Из графика можно сделать вывод, что минимум ARW достигается при размере ячеек от 3 до 8 мм.

Для изготовления опытных образцов был выбран размер ячейки 5 мм.

Выбор технологии для заполнения ячеек. Для выбора технологии заполнения газовых ячеек был проведён обзор и анализ технологий микромеханики и микроэлектроники (MEMS-технологий) [4]. Он показал, что наиболее перспективной для заполнения ячеек является технология распределения на кристалле и высокотемпературного анодного соединения. Она обеспечивает наилучшие показатели по качеству заполнения ячейки рабочим веществом, а также прекрасно воспроизводима в массовом производстве. Однако для ускорения проведения лабораторных исследований была создана гибридная технология, также обеспечивающая превосходное качество заполнения ячеек. Она совмещает в себе технологию испарения чистого цезия и технологию химического обмена с образованием жидкого цезия.

Технология содержит два этапа: на первом производится высвобождение жидкого цезия из солей хлора в специальной капсуле под действием высокой температуры (600 – 700°C). На втором производится перегонка образовавшегося жидкого цезия из капсулы в ячейку через трубку, присоединённую к ней. После заполнения трубка отпаивается от ячейки и герметизируется под действием атмосферного давления. Схематическое изображение созданной для лабораторных исследований технологии изображено на рисунке 3.

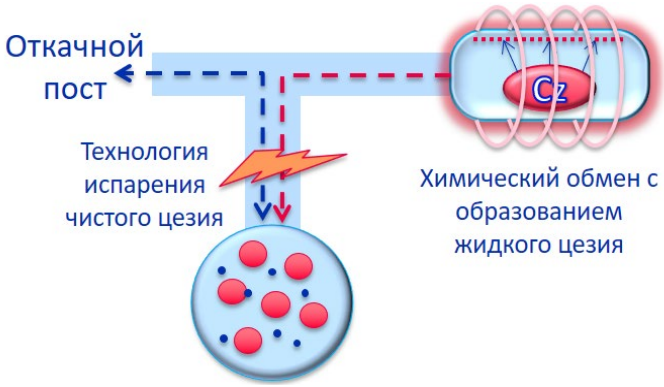


Рис. 3 – Гибридная технология изготовления газовых ячеек

Экспериментальные исследования. С помощью доработанной установки для заполнения ячеек, были успешно изготовлены и заполнены 4 экспериментальные ячейки на одном держателе. Ячейки изготавливались на базе лаборатории по разработке ядерного магнитного гироскопа АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор».

Для оценки качества заполнения ячеек в лабораторных условиях была собрана установка для контроля их параметров, изображённая на рисунке 4.

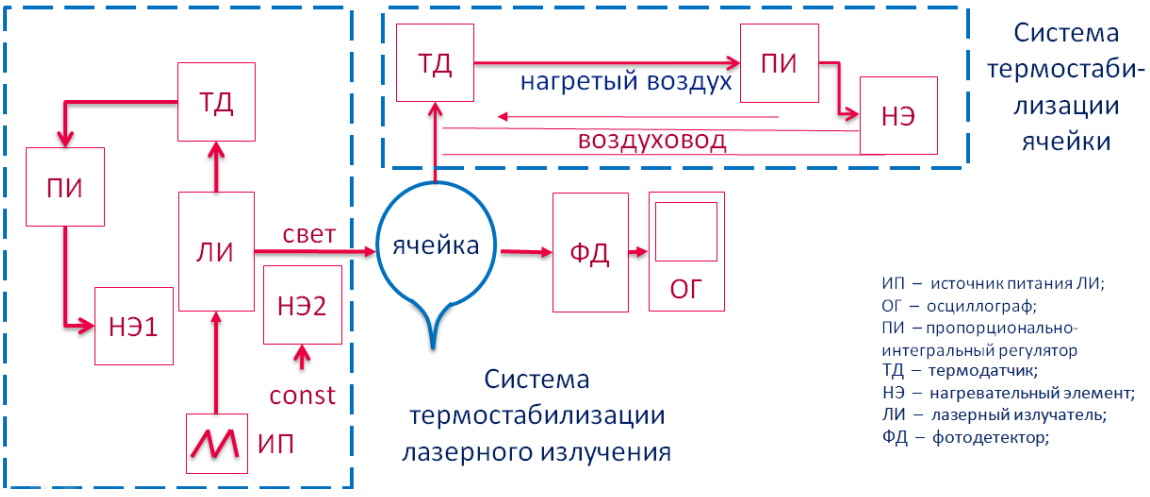


Рис. 4 – Установка для контроля параметров газовых ячеек

Наиболее эффективным способом контроля параметров ячеек является получение и анализ линии поглощения щелочного металла [5]. Этот способ обеспечивается проведением спектроскопического эксперимента, заключающегося в следующем:

- проверяемая ячейка просвечивается лазером на длине волны лазерного излучения в соответствующем диапазоне;
- на фотодетекторе регистрируется интенсивность прошедшего через ячейку света;
- осциллограф выдаёт линию оптического резонанса, ширина и сдвиг которой позволяют оценить уровень чистоты заполнения изготовленной ячейки, а также давление буферного газа внутри неё.

Если давление отличается от номинального, линия резонанса будет либо слишком широкой, либо слишком узкой. Загрязнения только уширяют линию оптического резонанса.

В работе предложена расширенная математическая модель резонансного оптического поглощения. В ней учитывается разделение эффектов, вызванных модуляцией тока накачки лазера и резонансным поглощением света в ячейке:

$$y = B + Kx - \left(\frac{A_1}{(x-x_1)^2+\Delta x^2} + \frac{A_2}{(x-x_2)^2+\Delta x^2}\right),$$

где y – измеренный сигнал с фотоприёмника, B – постоянная составляющая, определяющая освещённость среды, в которой находится ячейка, K – коэффициент зависимости мощности от длины волны излучения, x – частота излучения, xi – центр i-го пика резонанса щелочного металла, An – величина амплитуды n-го пика резонанса, Δx – полуширина резонанса щелочного металла.

Такая модель аппроксимирует экспериментальные данные и позволяет оценить качество изготовленной ячейки, а также давление буферного газа в её объёме по ширине оптического резонанса.

В установке для контроля параметров ячеек реализовано 2 термостабилизированных контура: у газовой ячейки и у лазерного нагревателя.

Для реализации термостабилизированного контура у ячейки была выбрана система стабилизации температуры с использованием ПИ-регулятора. Термодатчик в ней расположен непосредственно около ячейки, его показания позволяют быстро и точно установить необходимую температуру у ячейки. Температура лазерного излучателя в установке поддерживается с помощью внешней системы стабилизации температуры. В этой системе реализовано два нагревательных элемента – постоянный для вывода лазерного излучателя на необходимый тепловой уровень и дополнительный, осуществляющий поддержание температуры в узком диапазоне с помощью ПИ-регулятора, для контроля и стабилизации небольших температурных колебаний около достигнутого теплового уровня.

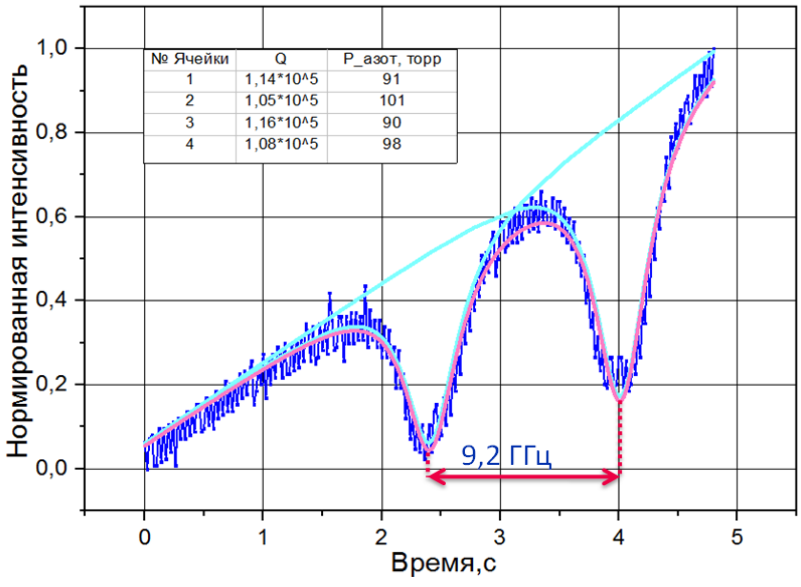


Рис. 5 – Линия поглощения щелочного металла

Предложенные в работе решения проверены на четырёх экспериментальных сферических ячейках диаметром 5 мм, содержащих 6 мг щелочного металла (цезия) и 100 торр буферного газа (азота). На вход лазерного излучателя подавался пилообразный сигнал. В каждой ячейке был получен оптический резонанс на длине волны в соответствующем диапазоне. Линия поглощения щелочного металла, по которой определялись параметры ячеек, представлена на рисунке 5. Синим цветом обозначены исходные данные, пурпурным – линия D1 поглощения цезия, голубым – оптические переходы из состояния F3 и F4.

На основе полученных результатов выявлено, что все четыре экспериментальные ячейки удовлетворяют требованиям отсутствия примесей. Давление буферного газа в ячейках удовлетворяет заявленному в технических требованиях (100 торр) с допустимым отклонением 10%. Небольшие расхождения с этим значением – результат вытекания буферного газа при отпайке ячейки от установки для её заполнения. Ячеек с повышенным значением давления буферного газа, по которому можно идентифицировать наличие примесей и загрязнений, обнаружено не было.

В работе проведено исследование конструкторско-технологических задач обеспечения характеристик ключевого компонента ЯМГ – его газовой ячейки. Проанализировано влияние размера ячейки на точностные характеристики гироскопа. На основе анализа MEMS-технологий создана гибридная технология заполнения ячеек для проведения лабораторных исследований. С помощью эксперимента по оптическому поглощению произведён контроль параметров четырёх газовых ячеек, изготовленных по данной технологии в соответствии с выявленными требованиями к размерам. Анализ результатов эксперимента показал, что все исследуемые ячейки изготовлены качественно.

Литература

1. Peshekhonov V.G. Gyroscopic navigation systems: Current status and prospects. // Gyroscopy and navigation. – 2011. – №2(3). – 111 p.
2. Vershovskii A.K., Litmanovich Yu.A., Pazgalev A.S., Peshekhonov V.G. Nuclear magnetic resonance gyroscope: the ultimate parameters // GyroscopyNavig. – 2011. – №9(3). – 162 p.
3. Vershovskii A.K., Pazgalev A.S. Optimization of the Q factor of the magnetic M x resonance under optical pump conditions // Technical Physics. – 2008. – №53(5). – 646 p.
4. Knapkiewicz P. Technological assessment of MEMS alkali vapor cells for atomic references // Micromachines. – 2018. – T.10. – №1. – 25 c.
5. Liew L.A. et al. Microfabricated alkali atom vapor cells // Applied Physics Letters. – 2004. – T.84. – №14. – C. 2694–2696.

УДК 547.458.1

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК РАСТВОРОВ НА ОСНОВЕ ГИАЛУРОНОВОЙ КИСЛОТЫ С МАНГИФЕРИНОМ

Климшина В.И.

Научный руководитель – Морозкина С.Н., кандидат химических наук, доцент центра химической инженерии, ведущий научный сотрудник научно-исследовательского центра биоинженерии

vadusha375@gmail.com

Ключевые слова

Гиалуроновая кислота, мангиферин, водно-органические растворы, нановолокна, регенеративная медицина.

В настоящее время сформировалась необходимость создания биосовместимых и безопасных волокнистых наноматериалов на основе биополимеров с внедренными биологически активными веществами для применения в регенеративной медицине. Особый интерес среди биополимеров представляет гиалуроновая кислота, так как она обладает уникальными физико-химическими и соответствующими биологическими требованиями, а также присутствует в тканях и клетках живых организмов. В качестве биологически активного вещества в данной работе был выбран мангиферин, обладающий широким спектром фармакологических свойств, но его область применения ограничивается плохой растворимостью и биодоступностью. Для улучшения эффективности биоактивного соединения используются различные методы, в том числе интеграция мангиферина в системы доставки на основе полимерных матриц. Анализ научно-технической литературы выявил существенный дефицит исследований, связанных с интеграцией мангиферина в гиалуроновую кислоту, что делает данную тему исследования актуальной для изучения.

Гиалуроновая кислота (ГК) – это природный гетерополисахарид, встречающийся в естественном виде во многих живых организмах и состоящий из многократно повторяющихся дисахаридных звеньев D-глюкуроновой кислоты и N-ацетил-D-глюкозамина [1]. Вследствие наличия уникальных физико-химических свойств, а также биосовместимости и биодеградируемости, ГК широко используется в адресной доставке лекарственных веществ, а также во многих медицинских областях, например в тканевой инженерии и регенеративной медицине [2].

Мангиферин является биологически активным соединением, структура которого включает два ароматических кольца, а также следующие функциональные группы: карбонильную и гидроксильные [3]. Первоначально мангиферин был выделен из мангового дерева (*Mangifera indica*), но он также присутствует и в других семействах растений. Данное соединение обладает целым спектром терапевтических свойств, таких как противовоспалительные, противовирусные, антиоксидантные, противораковые и антидиабетические [4]. В рассматриваемой работе для улучшения эффективности биологически активного вещества использовался метод интеграции мангиферина в полимерную матрицу на основе ГК.

Целью работы является исследование реологических характеристик и электрической проводимости водно-органических растворов на основе ГК с внедренным в полимерную матрицу мангиферином для получения нановолокон методом электроформования.

Для проведения исследований были приготовлены 1,9 % водно-органические растворы ГК с объемным соотношением диметилсульфоксида к дистиллированной воде 1:1 и с добавлением мангиферина при различных массовых соотношениях, а именно 19:1, 13:1, 9,5:1 и 8:1 соответственно.

Исследование реологических характеристик проводилось на ротационном реометре Anton Paar Physica MCR 502 с цилиндрической измерительной системой в температурном

диапазоне от 25°C до 40°C при скорости сдвига от 0,1 $с^{-1}$ до 100 $с^{-1}$. Оценка динамической вязкости проводилась при различных температурах в связи с тем, что технологическая схема производства волокнистых наноматериалов предусматривает несколько стадий с разным температурным режимом. В результате были получены графики зависимости динамической вязкости с различными соотношениями ГК и мангиферина от скорости сдвига при различной температуре, представленные на рисунке 1.

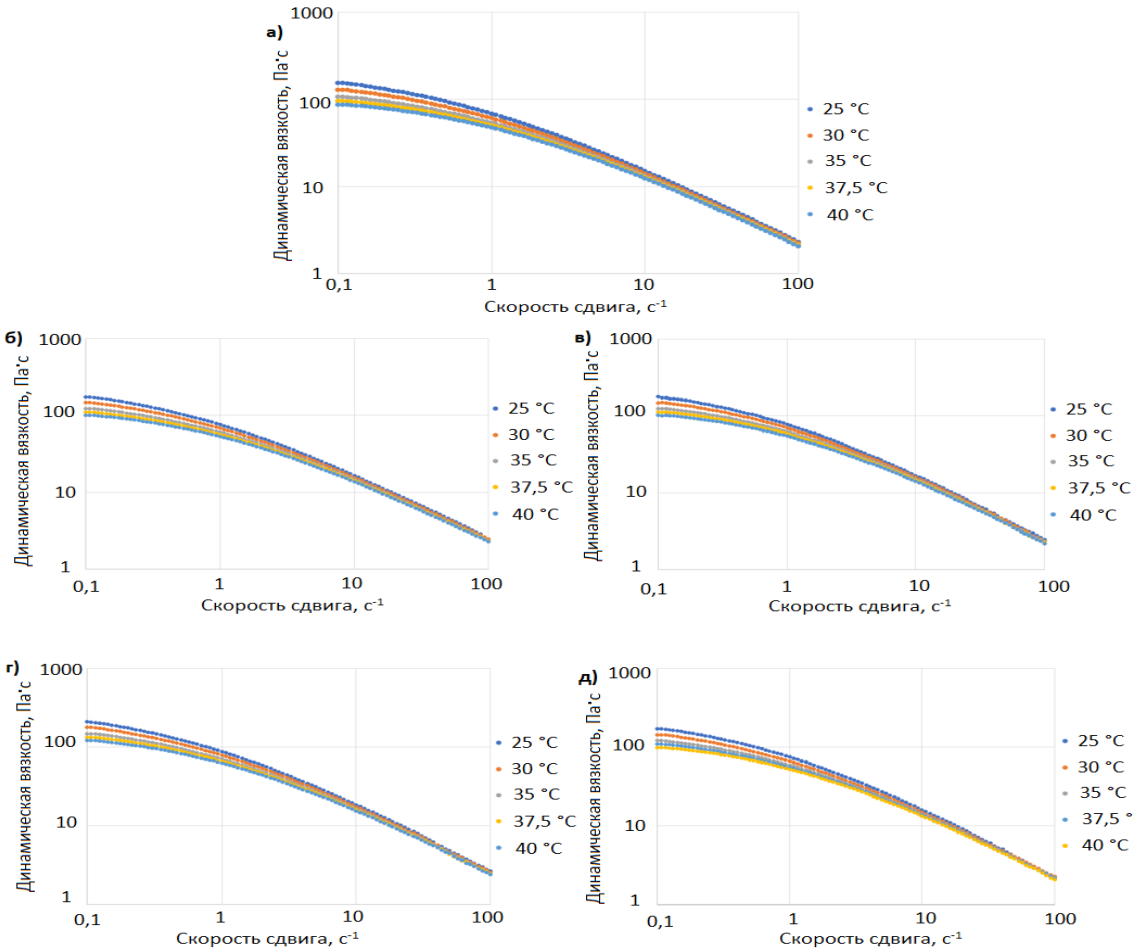


Рис. 1 – Графики зависимости динамической вязкости от скорости сдвига растворов ГК:мангиферин 1:0 (а), 19:1 (б), 13:1 (в), 9,5:1 (г) и 8:1 (д) при различной температуре

Из представленных графиков видно, что с увеличением скорости сдвига динамическая вязкость растворов уменьшается в несколько десятков раз. Это может быть связано с разрушением водородных связей внутри молекулы ГК. Также наблюдается уменьшение динамической вязкости при увеличении температуры. Это может происходить вследствие снижения энергии межмолекулярных взаимодействий, которые препятствуют перемещению молекул. Кроме этого, зависимость вязкости от скорости сдвига носит нелинейный характер, что свойственно для неньютоновских жидкостей. Также можно заметить, что при добавлении мангиферина динамическая вязкость растворов увеличивается, при этом чем больше содержание биологически активного вещества, тем выше исследуемый параметр. Данное наблюдение может быть связано с тем, что происходит образование комплекса ГК с мангиферином в водно-органическом растворителе. Пониженная динамическая вязкость у раствора 8:1 может быть связана с недостаточной инкапсуляцией мангиферина при данном массовом соотношении.

Динамическая вязкость определяет возможность транспорта прядильных растворов через иглы и тонкие питающие системы, то есть данная характеристика представляет собой ключевой технологический параметр электроформования нановолокон. Высокая вязкость является определяющим фактором при процессе электроспиннинга. Во-первых, увеличенная вязкость, вызванная высокой концентрацией полимера в растворе, соответствует высокой

производительности процесса (весовым «выходом» нановолокон). Во-вторых, данный параметр способен гасить капиллярные волны, которые разрушают струю, тем самым повышая стабильность процесса. С другой стороны высокая вязкость может существенно затруднять процесс электроформования, так как возможно закупоривание системы оборудования. Таким образом, нельзя однозначно предсказать стабильность получения волокон при увеличении динамической вязкости водно-органических растворов ГК в связи с добавлением мангиферина.

Измерение удельной электрической проводимости проводилось на приборе Mettler Toledo SevenCompac pH/Cond S213 при комнатной температуре 24 ± 2°C. В ходе исследования были получены средние значения электропроводности при выборке из трех приготовленных водно-органических растворов каждого соотношения ГК к мангиферину, а также стандартные отклонения. Данные значения представлены в таблице 1.

Таблица 1

Значения электропроводности исследуемых растворов

Массовое соотношение ГК:мангиферин	Удельная электропроводность, См/м
1:0	0,08275±0,00005
19:1	0,08164±0,00072
13:1	0,08345±0,00003
9,5:1	0,09996±0,00017
8:1	0,09951±0,00022

Из представленной таблицы видно, что при добавлении мангиферина наблюдается увеличение электрической проводимости, но у раствора с массовым соотношением ГК к биологически активному веществу 19:1 среднее значение данного параметра уменьшается на 0,00111 см/м по сравнению с чистым раствором биополимера. При соотношении ГК к мангиферину 13:1 электропроводность несильно повысилась, а при 9,5:1 исследуемый параметр увеличился в 1,21 раза.

Электрическая проводимость, также, как и вязкость, является важным свойством прядильного раствора, влияющим на процесс электроформования. Высокое значение электропроводности способствует лучшему переносу зарядов от электрода к раствору, а значит приводит к более стабильному процессу получения нановолокон. Так как с добавлением мангиферина электрическая проводимость водно-органических растворов на основе ГК повышается, то можно предположить, что процесс электроспиннинга будет стабильным.

Как обсуждалось ранее, по исследованным характеристикам водно-органических растворов нельзя однозначно предсказать будет ли стабильным процесс электроформования. В связи с этим было решено получать нановолокна из всех рассматриваемых растворов.

Получение нановолокон из приготовленных водно-органических растворов проводилось при температуре 26 ± 2°C и относительной влажности воздуха 26 ± 2°C с помощью системы электроспиннинга NANON-01A. Для исследования морфологии и определения диаметра полученных волокон использовался измерительный оптический микроскоп Olympus STM6.

В ходе получения нановолокон наблюдался устойчивый и стабильный процесс электроспиннинга у всех исследуемых растворов, кроме растворов с массовым соотношением ГК к мангиферину 19:1. В данном случае наблюдалось образование дефектных волокон и капель раствора, а сам процесс периодически прерывался.

В ходе исследования морфологических характеристик и определения диаметра полученных волокон были сделаны оптические микрофотографии, представленные на рисунке 2.

Можно заметить, что при добавлении мангиферина плотность упаковки нановолокон уменьшается. При этом чем больше содержание биоактивного вещества, тем меньше плотность упаковки. При этом у всех образцов наблюдаются незначительные дефекты, такие как разветвления и узелки.

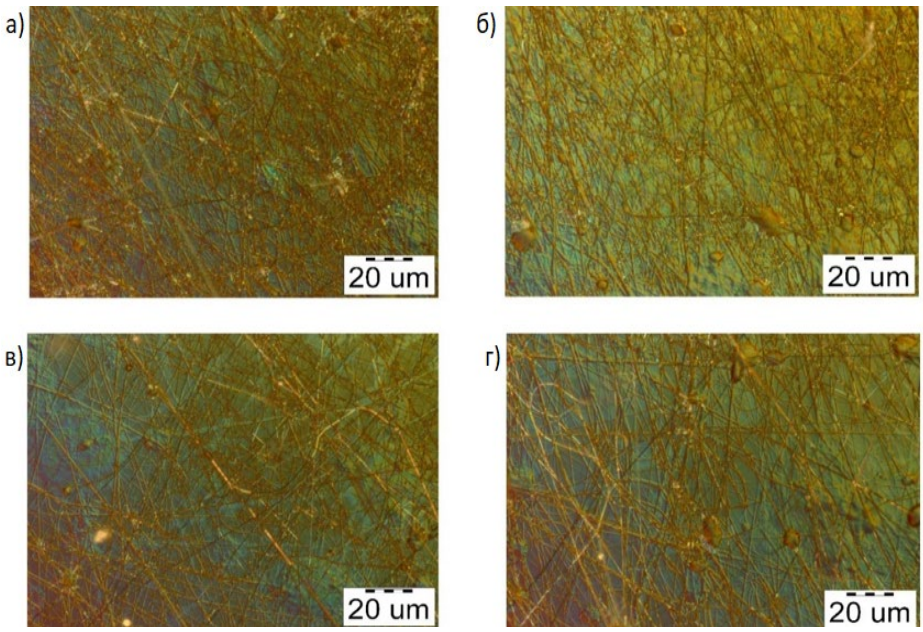


Рис. 2 – Микрофотографии нановолокон, полученных из водно-органических растворов с массовым соотношением ГК:мангиферин а) 1:0; б) 8:1; в) 9,5:1; г) 13:1

На рисунке 3 представлены оптические микрофотографии нановолокон, полученных из водно-органического раствора с массовым соотношением ГК к мангиферину 19:1. Как было отмечено выше, процесс электроспининга в этом случае был нестабилен. Происходило возникновение отдельных капель и рваных волокон. Можно также заметить, что происходило неплотное образование нановолокон, по сравнению с другими исследуемыми образцами.

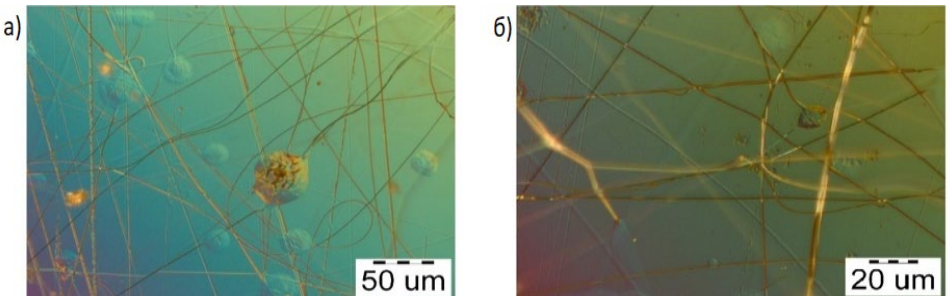


Рис. 3 – Микрофотографии нановолокон, полученных из водно-органических растворов с массовым соотношением ГК:мангиферин 19:1, при различном увеличении

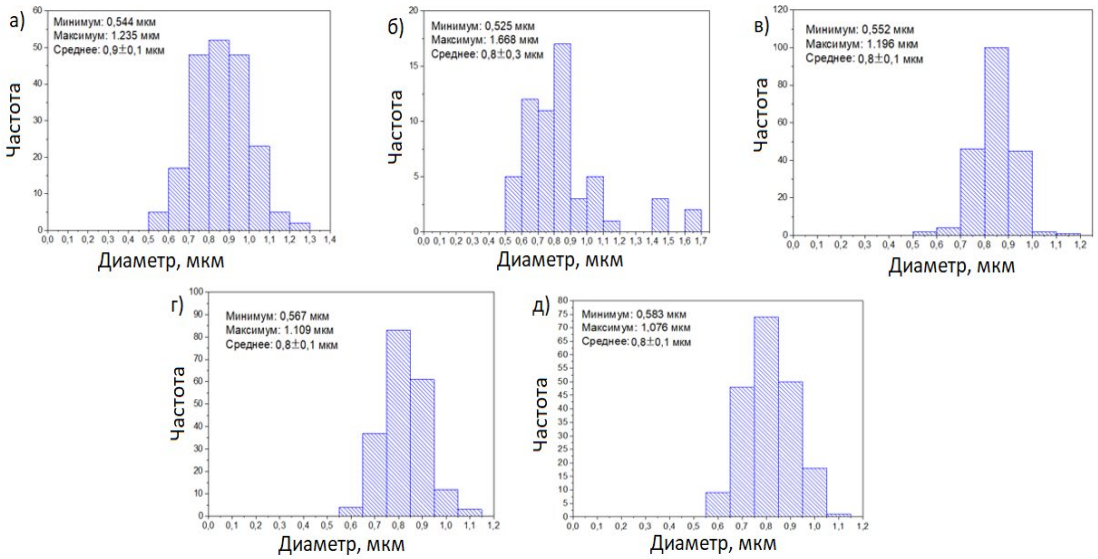


Рис. 4 – Гистограммы распределения диаметров волокон, полученных из растворов с массовым соотношением ГК:мангиферин а) 1:0; б) 19:1; в) 13:1; г) 9,5:1; д) 8:1

Информация о распределении по диаметру полученных нановолокон представлена в виде гистограмм на рисунке 4. Все данные были получены при измерении выборки, состоящей из 200 нановолокон, но при массовом соотношении ГК:мангиферин 19:1 удалось измерить только 59 нановолокон.

При сравнительном анализе гистограмм распределения диаметров нановолокон можно заметить, что добавление мангиферина приводит к уменьшению ширины распределения. Наименьшей шириной распределения диаметров обладают нановолокна, полученные из водно-органических растворов с массовым соотношением ГК:мангиферин 9,5:1 и 8:1. У образцов, полученных из раствора с массовым соотношением биополимер: биоактивное вещество 13:1, наблюдается наибольшее количество нановолокон с диаметром в диапазоне от 0,8 мкм до 0,9 мкм. Кроме этого, при добавлении мангиферина наблюдается незначительное уменьшение среднего и максимального значений диаметра, а также небольшое увеличение минимального значения диаметра нановолокон. Отклонение от этих наблюдений у образцов, полученных из водно-органического раствора с массовым соотношением ГК:мангиферин 19:1, как рассматривалось выше, связано с нестабильным процессом электроформования.

В результате было исследовано, что добавление мангиферина в 1,9% водно-органические растворы (вода: диметилсульфоксид 1:1) ГК приводит к повышению динамической вязкости и электрической проводимости. Также были успешно получены малодефектные нановолокна из исследованных растворов при массовом соотношении ГК к мангиферину 13:1, 9,5:1 и 8:1. Таким образом, мангиферин, повышая динамическую вязкость и электрическую проводимость водно-органических растворов, выступает в качестве стабилизирующего агента процесса электроспиннинга при получении малодефектных нановолокон на основе ГК. Перспективы дальнейшей разработки данной темы связаны с различными исследованиями полученных нановолокон, которые обладают потенциальной возможностью применения в качестве ожоговых и раневых регенеративных покрытий и трансдермальных систем доставки мангиферина.

Список использованных источников

1. Necas J., Bartosikova L., Brauner P., Kolar J. Hyaluronic acid (hyaluronan): a review // Veterinarni Medicina. – 2008. – V.53. – №8. – Pp. 397–411.
2. Burdick J.A., Prestwich G.D. Hyaluronic acid hydrogels for biomedical applications // Advanced Materials. – 2011. – V.23. – №12. – Pp. 41–56.
3. Jyotshna, Khare P., Shanker K. Mangiferin: A review of sources and interventions for biological activities // BioFactors. – 2016. – V.42. – №5. – Pp. 504–514.
4. Baán A., Adriaensens P. et al. Dry amorphisation of mangiferin, a poorly water-soluble compound, using mesoporous silica // European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics. – 2019. – V.141. – Pp. 172–179.

УДК 004

РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО РАБОЧЕГО МЕСТА НАЧАЛЬНИКА СМЕНЫ ЦЕНТРА ДИСТАНЦИОННОГО КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ ДВИЖЕНИЯ ЭЛЕКТРОПОЕЗДОВ

Маньшина Е.В.

Научный руководитель – Харитонова А.Е., преподаватель факультета программной инженерии и компьютерной техники

265101@niuitmo.ru

Ключевые слова

Информатизация, московское центральное кольцо, центр дистанционного контроля и управления, автоматизированное рабочее место, машинист-оператор.

На сегодняшний момент деятельность специалистов сферы железнодорожных перевозок подразумевает обязательное применение развитых информационных технологий, а с растущими темпами информатизации общества повышается значимость вычислительной техники в процессах управления грузовыми и пассажирскими перевозками. Ориентация современных информационных технологий на конечного пользователя-специалиста положительно сказывается на производительности труда, способствует увеличению скорости обмена управленческой информацией, а также повышению эффективности работы с документами.

Так, в Научно-исследовательском и проектно-конструкторском институте информатизации, автоматизации и связи на железнодорожном транспорте холдинга «Российские железные дороги» с 2017 занимаются внедрением системы автоматического управления электропоездами «Ласточка» на Московском Центральном Кольце (МЦК). Главная задача – создание беспилотной транспортной системы, где электропоезд и инфраструктура будут взаимодействовать в полностью автоматическом режиме с гарантией безопасности и надежности [1].

Для осуществления контроля за использованием электропоездов на полигоне МЦК в автоматическом режиме, наблюдением за их техническим состоянием, организации действий в случае нештатных ситуаций, а также взаимодействия с пассажирами, находящимися на остановочных пунктах или в салоне электропоезда, организуется Центр дистанционного контроля и управления (ЦДКУ) движением электропоездов на Московском Центральном Кольце.

Для ввода ЦДКУ в эксплуатацию потребовались специалисты нового профиля. Машинист-оператор обеспечивает мониторинг работы группы из четырех электропоездов в автоматическом режиме. Старший машинист-оператор следит за работой группы машинистов-операторов, при необходимости подменяет одного из них. Оператор по работе с обращениями пассажиров взаимодействует по голосовой связи «пассажир-оператор call-центра ЦДКУ» с пассажирами, находящимися в электропоездах или на остановочных пунктах. Роль начальника смены состоит в обеспечении оперативного управления ЦДКУ, а также во взаимодействии с диспетчерами смежных служб. Для повышения эффективности трудовой деятельности начальника смены в ОАО «Российские железные дороги» было принято решение о создании автоматизированного рабочего места (АРМ).

Автоматизированное рабочее место – это совокупность средств вычислительной техники и программного обеспечения, предназначенных для автоматизации работы сотрудника по выполнению должностных обязанностей, регламентированных положениями и инструкциями в рамках конкретной предметной области [2].

Каждое автоматизированное рабочее место необходимо создавать в соответствии с его предполагаемым функциональным назначением, соблюдая общие принципы: эффективность, устойчивость, гибкость и системность [3].

В рамках данной работы был использован фреймворк Angular, т.к. он предоставляет сразу готовый набор инструментов, в отличие от React, который требует дополнительных библиотек (React Redux, React Router). Для разработки в Angular используется TypeScript, повышающий надежность приложения за счет продвинутого контроля типов и предотвращающий ошибки. Кроме того, Angular развивается всего одним мейнтейнером, компанией Google, что очень важно, учитывая критичность данного АРМ.

Автоматизированное рабочее место Начальника смены ЦДКУ предназначено для исполнения функций управления и оперативного принятия решений. При разработке необходимо было учесть следующие нефункциональные требования:

- интерфейс системы должен быть понятным и удобным, обеспечивать быстрое отображение экранных форм;
- интерфейс не должен быть перегружен графическими элементами;
- навигационные элементы должны быть выполнены в удобной для пользователя форме;
- все надписи экранных форм, а также сообщения, выдаваемые пользователю, должны быть на русском языке.

Также были выделены функциональные требования, представленные в таблице 1.

Таблица 1

Функциональные требования к автоматизированному рабочему месту

№	Требование
1	АРМ должно предоставлять возможность авторизации
2	АРМ должно отображать состояние МЦК и объектов его инфраструктуры в реальном времени: • Предоставлять информацию о перемещении электропоездов по кольцу: ○ номер маршрута; ○ номер тягового подвижного состава (ТПС); ○ данные о машинисте-операторе, управляющего электропоездом; ○ скорость движения; ○ время отставания от графика; ○ сообщения о возникновении нештатных ситуаций на борту электропоезда; • Предоставлять информацию по платформам: ○ видео с камер, расположенных на платформе; ○ сообщения о возникновении нештатных ситуаций на платформе; • Предоставлять информацию о стационарных комплексах обнаружения препятствий (СКОП), находящихся на перегонах между станциями: ○ статус (активный, неактивный, наличие ошибки); ○ видео с камер, расположенных на СКОП; ○ сообщения об обнаруженных объектах; • Предоставлять информацию о парках электропоездов: ○ наличие оперативной бригады; ○ общее количество электропоездов; ○ распределение электропоездов по дополнительным путям
3	АРМ должно предоставлять информацию о погодных условиях в г. Москва: • температура; • видимость в километрах; • скорость ветра в м/с
4	АРМ должно предоставлять доступ к ежедневному графику оборота электропоездов
5	АРМ должно отображать электропоезда, находящиеся в: • резерве; • депо/парке; • в работе

Продолжение таблицы 1

№	Требование
6	АРМ должно позволять производить добавление электропоездов в резерв и удаление из него
7	АРМ должно отображать действующих машинистов-операторов и электропоезда, находящиеся под их управлением
8	АРМ должно позволять производить замену машиниста-оператора для группы электропоездов
9	АРМ должно позволять перемещать маршруты электропоездов между машинистами-операторами
10	АРМ должно позволять производить замену ТПС для выбранного маршрута электропоезда
11	АРМ должно позволять указывать расположение оперативных бригад, а также их состав (машиниста и его помощника)
12	АРМ должно позволять назначать неисправный ТПС оперативной бригаде
13	АРМ должно позволять удалять неисправный ТПС у оперативной бригады
14	АРМ должно предоставлять доступ к видео, получаемых с камер видеонаблюдения, как в режиме онлайн, так и из архива для систем: • Стационарный комплекс обнаружения препятствий (СКОП); • Система контроля посадки и высадки пассажиров (СКПВП); • Система видеонаблюдения и оповещения пассажиров (СВОП)
15	АРМ должно предоставлять доступ к журналу операторов call-центра
16	АРМ должно предоставлять доступ к журналу машинистов-операторов
17	АРМ должно предоставлять доступ к журналу машинистов и поездов в работе
18	АРМ должно информировать пользователя о невозможности совершения операций или о неудачном результате их выполнения на сервере

На рисунке 1 представлен экран Главной страницы, на котором расположены выполненные с помощью svg-графики объекты инфраструктуры МЦК, позволяющие осуществлять начальнику смены контроль за ними в режиме реального времени.

Рис. 1 – Главный экран

Диалоговые окна с подробным описанием сообщений от объектов инфраструктуры МЦК представлены на рисунке 2. На первом диалоговом окне представлен пример сообщения с остановочного пункта, на втором - информация об электропоезде, на третьем - информация о ситуации на перегоне, полученная от СКОПа.

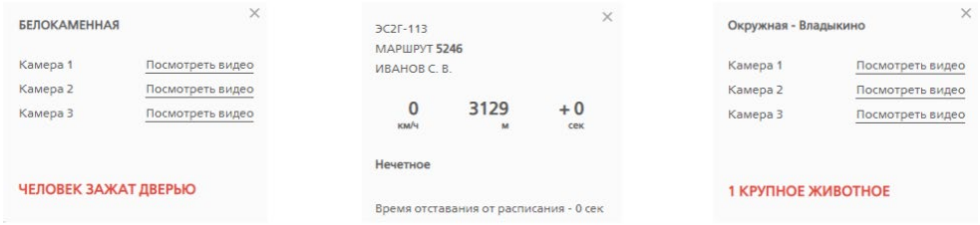


Рис. 2 – Диалоговые окна

На рисунке 3 представлена страница График оборота, на ней в реальном времени отображаются карточки с номерами составов и маршрутами электропоездов. Для этого каждую минуту происходит перепроверка текущих номеров маршрутов для поддержания их актуальности.

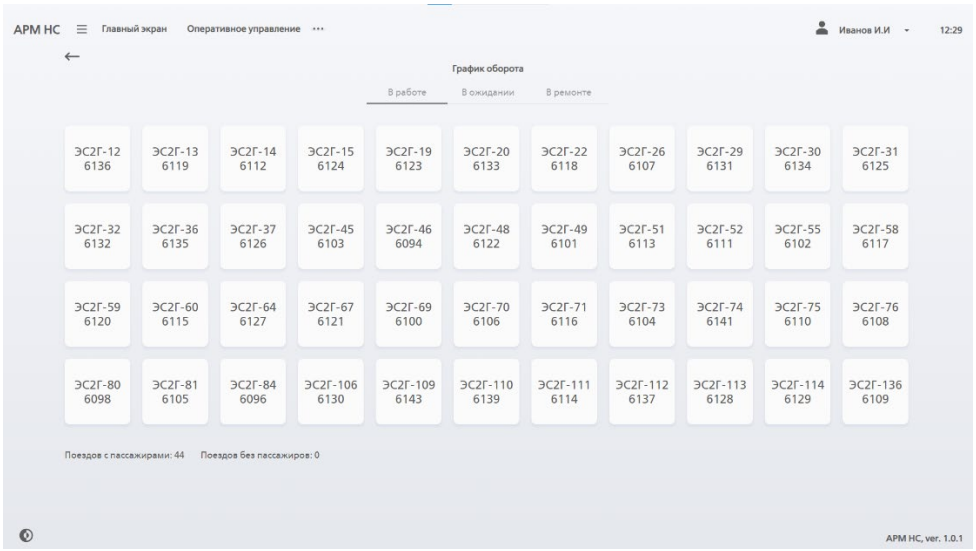


Рис. 3 – График оборота

При нажатии на карточку открывается дополнительная информация по составу, ее можно увидеть на рисунке 4, а текущий маршрут на МЦК выделяется синим цветом для большей наглядности.

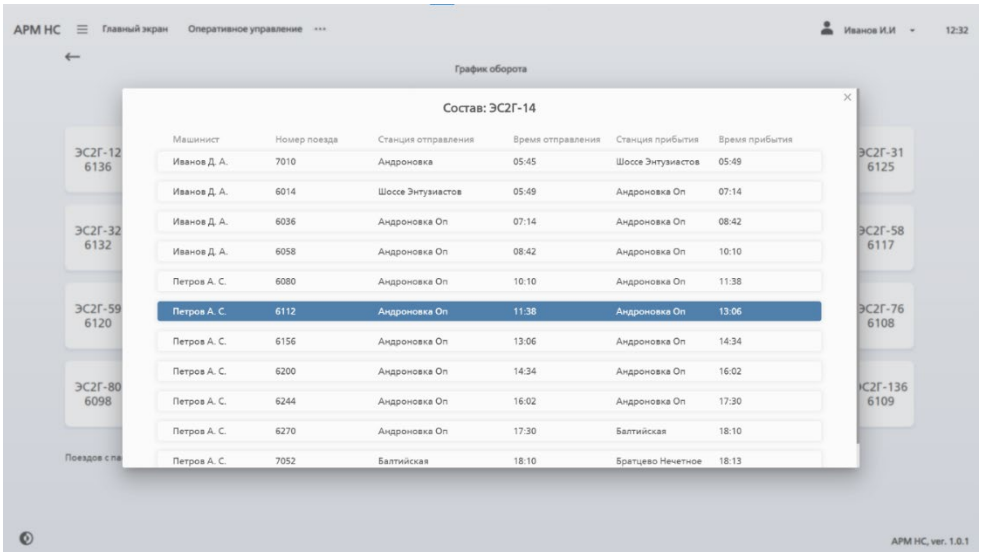


Рис. 4 – Информация по составу

На рисунке 5 представлена страница Оперативное управление, на ней располагается зал машинистов, информация об электропоездах в резерве, в депо, а также об дислокации оперативных бригад.

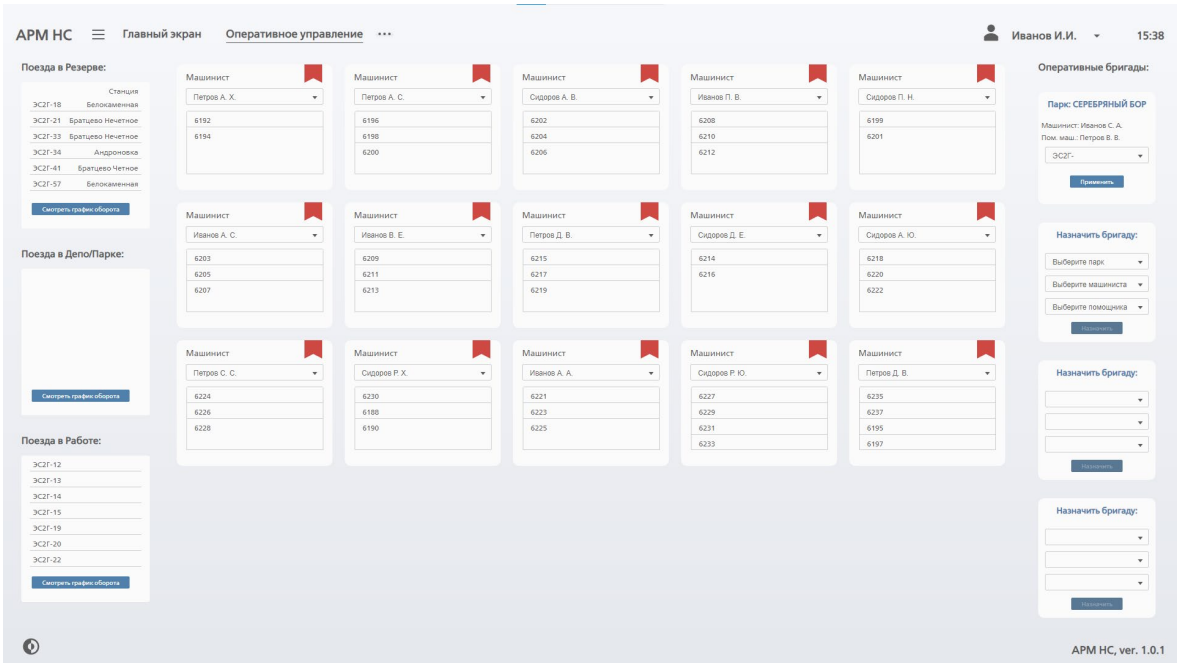


Рис. 5 – Управление персоналом

Практическая значимость данной работы состоит в том, что разработанное автоматизированное рабочее место поможет начальнику смены ЦДКУ оперативно получать информацию о событиях, происходящих на МЦК, осуществлять мониторинг электропоездов «Ласточка», а также просматривать данные, связанные с машинистами электропоездов. Все это помогает обеспечить безопасность движения за счет своевременной реакции на возникающие проблемы и повышения скорости их разрешения.

Список использованных источников

1. Заседание Научно-технического совета ОАО «РЖД» по вопросу «О реализации проекта «Внедрение системы управления движением электропоездов «Ласточка» на Московском центральном кольце в автоматическом режиме» в 2020–2022 годах. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://rlw.gov.ru/news/document/9220 (дата обращения: 16.03.2022).
2. Автоматизированное рабочее место. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://studme.org/1097010721191/informatika/avtomatizirovannoe_rabochee_mesto (дата обращения: 20.03.2022).
3. Информационные технологии конечного пользователя. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://intuit.ru/studies/courses/20698/851/lecture/31652 (дата обращения: 20.03.2022).

УДК 004.021

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ АНАЛИЗА ТЕКСТОВЫХ КОММЕНТАРИЕВ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ЭКСПЕРТИЗЫ РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ ДИСЦИПЛИНЫ

Садовщиков И.И.

Научный руководитель – Хлопотов М.В., кандидат технических наук, доцент факультета инфокоммуникационных технологий, заместитель декана факультета информационных технологий и программирования

3608690@mail.ru

Ключевые слова

Учебная аналитика, алгоритм анализа, текстовые комментарии, экспертиза, рабочие программы, валидация, разработка интерфейсов.

Целью проекта «Учебная аналитика» является цифровизация образовательных документов для упрощения составления рабочих программ дисциплин, учебных планов, а также формирование фундамента для интеллектуальных проектов индивидуализации учебного процесса. Разработанные в рамках проекта алгоритмы валидации и утверждения образовательных программ имеют проблемы, отмеченные как преподавателями, так и экспертами, дающими комментарии к оформляемым дисциплинам [1]. Их существование замедляет внесение документов в систему и снижает качество их оформления.

После заполнения карточки дисциплины преподавателем она отправляется на экспертизу. Эксперт составляет комментарий с указанием допущенных ошибок и отправляет запрос на доработку. Целью работы является выявление и типовых ошибок пользователей при помощи анализа данных комментариев с целью их дальнейшего недопущения. Задачи:

- собрать данные о комментариях экспертов. Получить обратную связь от преподавателей и экспертах о наиболее актуальных проблемах их взаимодействия;
- разработать алгоритм анализа текстовых комментариев и выявить типовые ошибки при заполнении карточки дисциплины [2,3];
- сформировать требования по доработке алгоритмов валидации и утверждения рабочих программ дисциплин и элементов интерфейса с целью упрощения взаимодействия с системой, уменьшения времени прохождения экспертизы.

В ходе анализа собранных данных были выявлены следующие ошибки преподавателей:

- трудности с заполнением оценочных средств, неполнота их описания;
- не заполняется описание и пререквизиты курсов;
- в источниках отсутствуют ссылки на ЭБС.

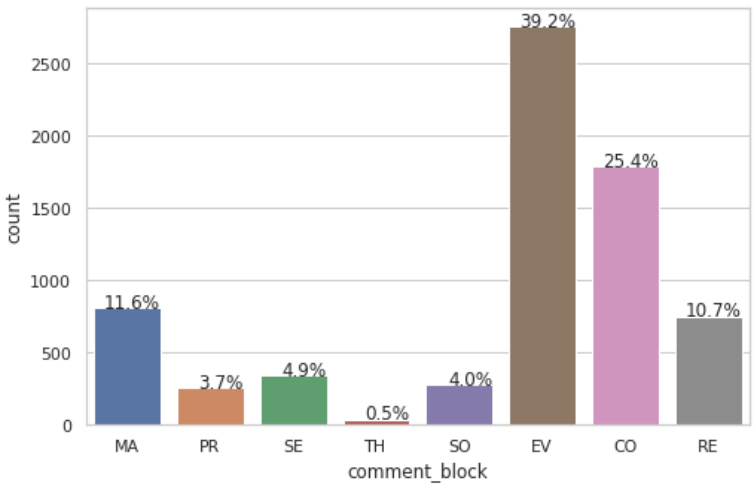


Рис. 1 – Наиболее распространенные ошибки

Проектирование алгоритмов и визуализаций проводилось в среде Google Colab. Наиболее проблемные разделы были визуализированы с помощью библиотеки Seaborn и представлены на рисунке 1 [4].

В ходе первичного анализа выявлены разделы с наибольшим количеством комментариев. При подробном анализе изучены наиболее типовые ошибки преподавателей в каждом из разделов. На основании результатов исследования были сформированы требования по улучшению алгоритмов валидации. Также было разработано модальное окно подсказок преподавателям, представленное на рисунке 2.

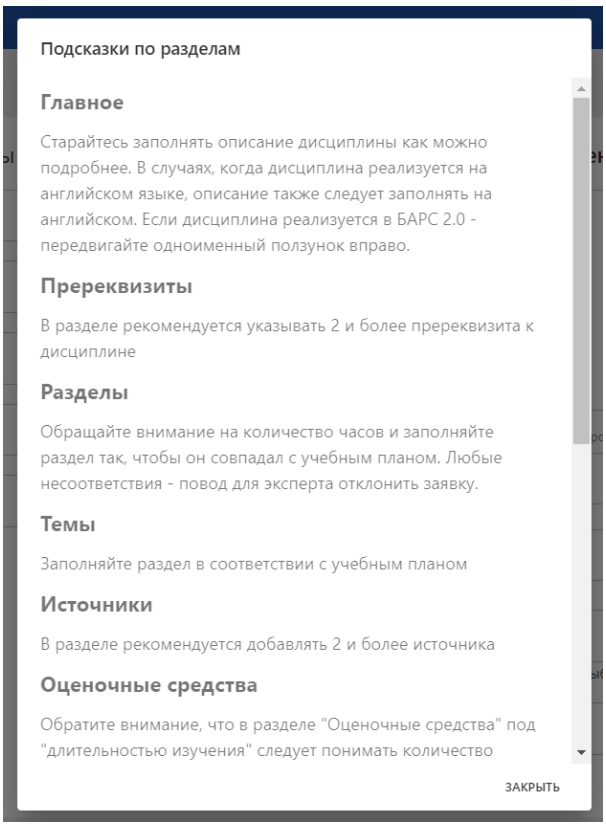


Рис. 2 – Разработанное модальное окно

Разработан алгоритм анализа текстовых комментариев экспертов. В ходе анализа выявлены ошибки преподавателей и слабые места системы. Это позволило сформировать требования для исправления и улучшения алгоритмов валидации. Завершающим этапом стала разработка окна рекомендаций и советов для пользователей системы. Предполагается, что алгоритмы анализа можно будет использовать в дальнейшем для отслеживания последствий внесенных изменений, а также параметров самообучения пользователей.

Список использованных источников

1. Говоров А.И., Бабаянц К.П., Говорова М.М., Хлопотов М.В., Деркунская С., Чернышева А.В., Коряков С.А., Артамонова В. Алгоритмы экспертизы и верификации рабочих программ дисциплин для использования в информационных системах // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. – 2021. – №1. – С. 143–156.
2. Ильичев В.Ю., Юрик Е.А. Анализ массивов данных с использованием библиотеки Pandas для Python // Научное обозрение. Технические науки. – 2020. – №4 – С. 41–45.
3. Pandas documentation. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://pandas.pydata.org/pandas-docs/stable/index.html (дата обращения: 05.04.2022).
4. Seaborn documentation. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://seaborn.pydata.org/ (дата обращения: 05.04.2022).

УДК 538.913, 538.915

МЕЖСЛОЕВОЙ ЭКСИТОННЫЙ ПОЛЯРОН В АТОМАРНО-ТОНКИХ ПОЛУПРОВОДНИКАХ

Яковлев З.А.[1]

Научный руководитель – Глазов М.М.[2], доктор физико-математических наук, профессор

1 – Университет ИТМО

2 – ФТИ им. А.Ф. Иоффе

iakovlev.zakhar@gmail.com

Ключевые слова

Электрон-фононное взаимодействие, экситон, полярон, двумерные системы, слоистый кристалл, дихалькогениды переходных металлов, теория возмущений, вариационный метод.

В настоящее время активно изучаются двумерные материалы. В частности, исследуются двухслойные материалы, характеризующиеся отсутствием симметрии относительно плоскости слоев – для каждого слоя появляется выделенное направление, связанное с наличием второго слоя. Это приводит к возможности образования новой квазичастицы – межслоевого экситонного полярона, теоретически предсказанного в недавней работе [1]. В рассматриваемой двухслойной структуре электрон и дырка расположены в разных слоях. Изгибные фононы возбуждаются намного эффективнее, чем в системах с одним слоем вследствие кулоновского притяжения заряженных частиц, стремящегося сблизить слои. Благодаря сближению слоев изменяется энергия электрон-дырочного взаимодействия и образуется межслоевой экситонный полярон. Основными особенностями межслоевого экситонного полярона являются возможность управлять свойствами экситон-фононного взаимодействия и, соответственно, рассматриваемой квазичастицы с помощью приложения внешнего натяжения, а также нелинейность, обусловленная ангармонизмом изгибных колебаний. При достаточно сильной деформации слои могут слипаться. В работе [1] межслоевой экситонный полярон изучался в упрощенной линейной модели без учета натяжения слоев и нелинейных эффектов. Цель данной работы состоит в разработке последовательной теории межслоевого экситонного полярона в линейном и нелинейном режимах. Показано, что натяжение слоев в линейном режиме ослабляет поляронный эффект, что приводит к уменьшению энергии и эффективной массы квазичастицы. Проанализирована роль ангармонических эффектов и определены параметры межслоевого экситонного полярона в нелинейном режиме: энергия и форма слоев. Получен аналитический критерий слипания слоев.

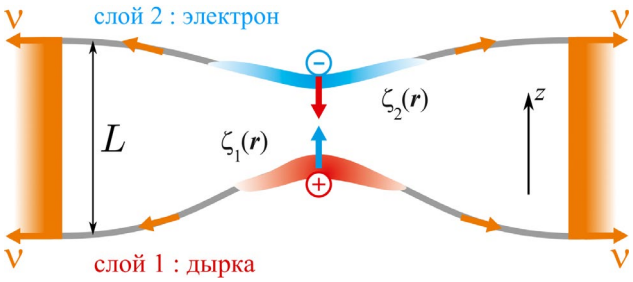


Рис. 1 – Схематическое изображение экситонного полярона. Слои взаимодействуют за счет кулоновского притяжения электрона и дырки, расположенных в разных слоях

Рассматривается двухслойная система, в которой электрон и дырка находятся в разных слоях. Слои состоят из атомарно-тонких полупроводников, например, на основе монослоев дихалькогенидов переходных металлов. Исследуемая система представлена на рисунке 1. Благодаря кулоновскому притяжения носителей заряда, слои деформируются и расстояние между заряженными частицами уменьшается, приводя к образованию связанного экситон-фононного состояния – межслоевого экситонного полярона.

В отсутствии заряженных частиц слои расположены в равновесии на расстоянии от $\lesssim 1$ нм для слоев, находящихся в контакте до $10-100$ нм для резонаторов, в которых слои находятся отдельно друг от друга. Для простоты слои считаются одинаковыми, а система симметричной и изотропной относительно поворотов в плоскости.

В линейном режиме слои характеризуются смещением $\zeta_1(r)$ и $\zeta_2(r)$ относительно формы незаряженных слоев, зависящим от двумерной координаты в плоскости слоев r (рис.1). При исследовании системы особый интерес представляет симметричная мода по отношению к отражению $z \to -z$, в которой расстояние между слоями меняется. Движение под действием кулоновского притяжения описывается уравнениями линейной теории упругости:

$$\frac{\rho}{2}\frac{\partial^2\zeta(\boldsymbol{r})}{\partial t^2} + \frac{B}{2}\Delta^2\zeta(r) - \frac{T}{2}\Delta\zeta(r) + \frac{\rho\omega_0^2}{2}\zeta(\boldsymbol{r}) = f(r), \qquad (1)$$

где $\zeta(r) = \zeta_1(r) - \zeta_2(r)$ – относительное смещение слоев, ρ – двумерная плотность слоев, B – изгибная жесткость слоев, Δ – оператор Лапласа, T – внешнее натяжение слоев, $f(r)$ – давление, вызванное кулоновским притяжением электрона и дырки, а ω_0 – частота отсечки. Частота отсечки ω_0 может быть связана с конечным размером системы и соответствовать минимальной колебательной частоте или с вандерваальсовым взаимодействием слоев.

В соответствие со статьей [1], гамильтониан экситон-фононного взаимодействия в представлении вторичного квантования может быть представлен в виде:

$$U = \sum_q U_q e^{iqR} b_q c_{K+q}^{\dagger} c_q + h.c., U_q = DF(q)\sqrt{\frac{\hbar}{\rho\omega_q \mathcal{S}}}, D \approx \begin{cases} \frac{4e^2}{a_B^2}, L \ll a_B \\ \frac{e^2}{L^2}, L \gg a_B \end{cases},$$

где q – волновой вектор, b_q, $b_q^{\dagger}$, c_q, $c_q^{\dagger}$ – операторы уничтожения и рождения фононов и экситонов, соответственно, U_q – Фурье компонента потенциала взаимодействия, $F(q)$ – форм-фактор, близкий к единице в длинноволновом пределе ($q \to 0$), $\mathcal{S}$ – нормировочная площадь, D – деформационный потенциал, стремящийся к силе Кулона при больших расстояниях между зарядами (больших a_B – двумерного боровского радиуса).

Натяжение слоев учтено в частоте фононов ω_q, которая может быть найдена с помощью преобразования Фурье уравнения (1) в отсутствие взаимодействия ($f(r) = 0$),

$$\omega_q = \sqrt{\omega_0^2 + \frac{T}{\rho}q^2 + \frac{B}{\rho}q^4} \approx \begin{cases} \omega_0, \text{малые } q, \\ \sqrt{\frac{T}{\rho}}q, \text{промежуточные } q, \\ \sqrt{\frac{B}{\rho}}q^2, \text{большие } q. \end{cases}$$

Линейный по волновому вектору q промежуточный режим описывается натяжением слоев, в то время как квадратичная по q зависимость при больших волновых векторах соответствует мягким изгибным фононам.

Эффективность взаимодействия определяется константой связи:

$$\beta = \frac{2mD^2}{\rho\hbar^2\omega_0^2}.$$

В режиме слабой связи ($\beta \ll 1$) деформации малы и возбуждено малое число фононных мод. При этом экситон-фононное взаимодействие рассматривается во втором порядке теории возмущений. Поляронный сдвиг энергии квазичастицы с волновым вектором k может быть определен с учетом виртуальных процессов испускания и поглощения фонона. В пределе низких температур концентрацией невозбужденных фононов можно пренебречь.

$$\delta E_w = -\sum_q \frac{|U_q|^2}{\hbar\omega_{\boldsymbol{q}} + \frac{\hbar^2(\boldsymbol{k}-\boldsymbol{q})^2}{2m} - \frac{\hbar^2 k^2}{2m}}.$$

Основное состояние экситона – неподвижный экситон ($k = 0$). После суммирования по q определяется энергия межслоевого экситонного полярона в режиме слабой связи. С помощью разложения энергии полярона по волновому вектору экситона k в окрестности нуля, получим выражение для перенормировки эффективной массы экситона. Зависимости энергии и эффективной массы межслоевого экситонного полярона от натяжения слоев в режиме слабой связи представлены на рисунке 2.

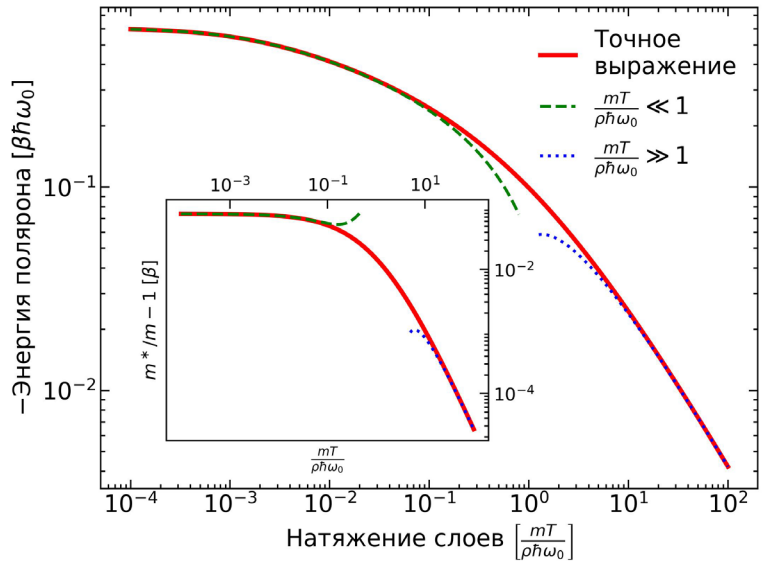


Рис. 2 – Абсолютная величина энергии полярона в режиме слабой связи в единицах $\beta\hbar\omega_0$ в зависимости от натяжения слоев. Сплошная красная линия соответствует точному выражению, штриховая зеленая и пунктирная красная показывают предельные случаи малого и большого натяжения, соответственно. На вставке представлена перенормировка эффективной массы полярона $m^*/m - 1$ в режиме слабой связи в единицах β в зависимости от натяжения слоев

С ростом частоты отсечки ω_0, например, из-за увеличения расстояния между слоями, константа связи может превысить единицу, и теория возмущений перестает работать. В режиме сильной связи ($\beta \gg 1$) экситон производит значительные деформации слоев, образуя эффективную потенциальную яму, которая, в свою очередь, вызывает локализацию экситона. В соответствие с [1], энергия межслоевого экситонного полярона может быть записана в виде:

$$\delta E_s = \left\langle \psi(\boldsymbol{r}) \left| -\frac{\hbar^2\Delta}{2m} \right| \psi(\boldsymbol{r}) \right\rangle - \sum_{\boldsymbol{q}} \frac{|U_q|^2}{\hbar\omega_q} |\rho_{\boldsymbol{q}}|^2, \quad (2)$$

где $\psi(r)$ – волновая функция центра масс экситона, а $\rho_{\boldsymbol{q}} = \left\langle \psi(\boldsymbol{r}) \left| e^{-i\boldsymbol{q}\boldsymbol{r}} \right| \psi(\boldsymbol{r}) \right\rangle$ – Фурье компонента соответствующей плотности вероятности.

Непосредственно энергия квазичастицы определяется минимизацией выражения (2) по всем возможным волновым функциям $\psi(r)$. Был использован вариационный метод с гауссовой пробной волновой функцией.

Эффективная масса полярона в режиме сильной связи определяется после преобразования выражения для кинетической энергии движения слоев. Следуя статье [1], можно получить выражение для перенормировки массы межслоевого экситонного полярона:

$$\frac{m^*}{m} - 1 = \sum_{\boldsymbol{q}} \frac{f_{\boldsymbol{q}}^2}{\rho\omega_{\boldsymbol{q}}^4} \frac{q^2}{m},$$

где f_q – фурье компонента давления. Зависимости энергии и эффективной массы межслоевого экситонного полярона от натяжения слоев в режиме сильной связи представлены на рисунке 3.

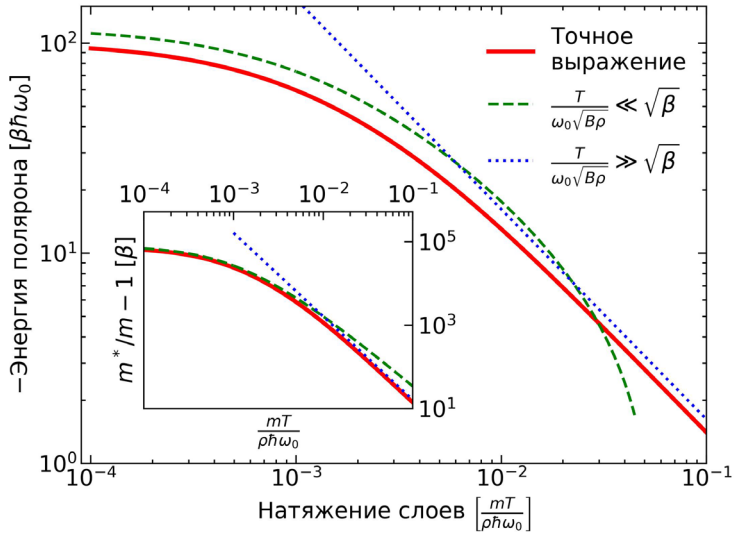


Рис. 3 – Абсолютная величина энергии полярона в режиме сильной связи в единицах $\beta\hbar\omega_0$ в зависимости от натяжения слоев. Сплошная красная линия соответствует точному выражению, штриховая зеленая и пунктирная красная показывают предельные случаи малого и большого натяжения, соответственно. На вставке представлена перенормировка эффективной массы полярона $m^*/m-1$ в режиме слабой связи в единицах β в зависимости от натяжения слоев

При достаточно большом расстоянии между слоями и достаточно больших размерах системы константа связи β может становиться настолько большой, что поперечные деформации слоев могут становиться сопоставимыми с размером деформируемой области. В этом случае линейная модель перестает корректно описывать систему, и необходимо учитывать нелинейные – ангармонические эффекты. При этом система, деформирующаяся достаточно сильно, может быть рассмотрена классически, при этом деформируется весь материал. Для описания нелинейных эффектов учитывается продольное растяжение слоев вследствие поперечной деформации.

Условие равновесия слоев записывается в виде уравнений Феппля-фон Кармана для цилиндрической симметрии с точечной силой в центре в соответствие с [2]:

$$B\Delta^2\zeta_1 - \left(\frac{\partial^2\varphi}{\partial x^2}\frac{\partial^2\zeta_1}{\partial y^2} + \frac{\partial^2\varphi}{\partial y^2}\frac{\partial^2\zeta_1}{\partial x^2} - 2\frac{\partial^2\varphi}{\partial x\partial y}\frac{\partial^2\zeta_1}{\partial x\partial y}\right) = \frac{e^2\delta(\boldsymbol{r})}{|L-2\zeta_1(0)|^2},$$

$$\Delta^2\varphi + Y\left(\frac{\partial^2\zeta_1}{\partial x^2}\frac{\partial^2\zeta_1}{\partial y^2} - \left(\frac{\partial^2\zeta_1}{\partial x\partial y}\right)^2\right) = 0,$$

где Y – двумерный модуль Юнга, φ – функция напряжений Эри, задающая двумерный тензор напряжения $\sigma_{\alpha\beta}$

$$\sigma_{xx} = \frac{\partial^2\varphi}{\partial y^2}, \sigma_{yy} = \frac{\partial^2\varphi}{\partial x^2}, \sigma_{xy} = \sigma_{yx} = -\frac{\partial^2\varphi}{\partial x\partial y}.$$

Была рассмотрена система с закрепленными краями для круглого слоя радиуса a. Следуя статье [3], были численно решены уравнения Феппля-фон Кармана и определены форма и энергия натяжения слоев. Получено приближенное аналитическое выражение для формы слоев:

$$\zeta_1(0) - \zeta_1(x) = \left(\frac{3a^2P}{\pi Y}\right)^{1/3}\frac{\tanh^{-1}[c(\sigma)x^{2/3}]}{c(\sigma)}, c^2(\sigma) = \frac{1/3-\sigma}{5/3-\sigma},$$

где $P = e^2/[L-2\zeta_1(0)]^2$ – сила притяжения зарядов, $x = r/a$ – обезразмеренный радиус, σ – коэффициент Пуассона. Смещение центра при этом принимает вид:

$$\zeta_1(0) = \mathcal{F}(\sigma)\left(\frac{a^2P}{Y}\right)^{1/3},$$

где зависимость от коэффициента Пуассона слаба $\mathcal{F}(\sigma) \approx 1$.

Упругая энергия слоя под действие внешней силы P может быть получена, как работа этой силы в процессе квазистатического растяжения мембраны.

$$U[\zeta_1(0)] = \int_0^{\zeta_1(0)} P(\zeta_1)d\zeta_1 = \frac{Y\zeta_1^4(0)}{4\mathcal{F}^3(\sigma)a^2},$$

где $P(\zeta_1)$ – равновесная сила для смещения центра ζ_1.

Энергия системы складывается из отрицательной кулоновской и положительной упругой. При этом минимум энергии, соответствующий стабильному состоянию межслоевого экситонного полярона существует только при достаточно малом параметре взаимодействия $\gamma = \frac{\mathcal{F}^3(\sigma)a^2e^2}{YL^5} < \gamma_c = 0.00432$. Зависимость энергии системы от смещения центра слоев для различных параметров взаимодействия представлена на рисунке 4.

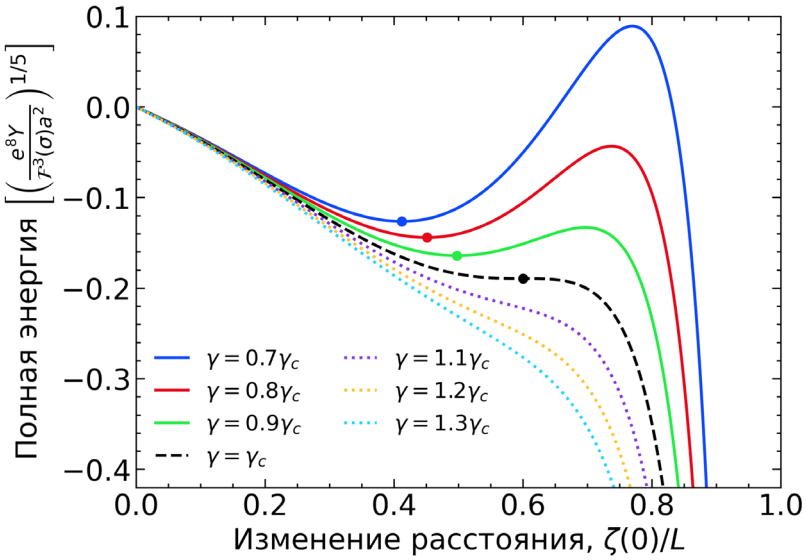


Рис. 4 – Полная энергия системы в зависимости от смещения слоев при различном параметре взаимодействия γ. Сплошные линии показывают случай, в котором полярон существует. Энергия полярона показана точками, полученными из минимизации энергии. Пунктирная черная линия соответствует критическому случаю с максимальным параметром взаимодействия, при котором полярон существует. Штриховые линии показывают случай сильного взаимодействия с монотонной зависимостью энергии от смещения, при котором слои слипаются, а полярон коллапсирует

В случае достаточно слабого взаимодействия зависимостью кулоновской силы от смещения $\zeta_1(0)$ можно пренебречь. Полагая $P = e^2/L^2$, получим приближенное выражение для энергии

$$E = -\frac{3}{2}\mathcal{F}(\sigma)\left(\frac{a^2e^8}{YL^8}\right)^{1/3}.$$

Энергия связи межслоевого экситонного полярона в нелинейном режиме в зависимости от расстояния между слоями вместе с асимптотическим поведением, показана на рисунке 5. Расстояние между слоями взято в единицах критического расстояния L_c, соответствующего случаю $\gamma = \gamma_c$,

$$L_c = \left(\frac{\mathcal{F}^3(\sigma)a^2e^2}{Y\gamma_c}\right)^{1/5}.$$

При меньших расстояниях между слоями система коллапсирует.

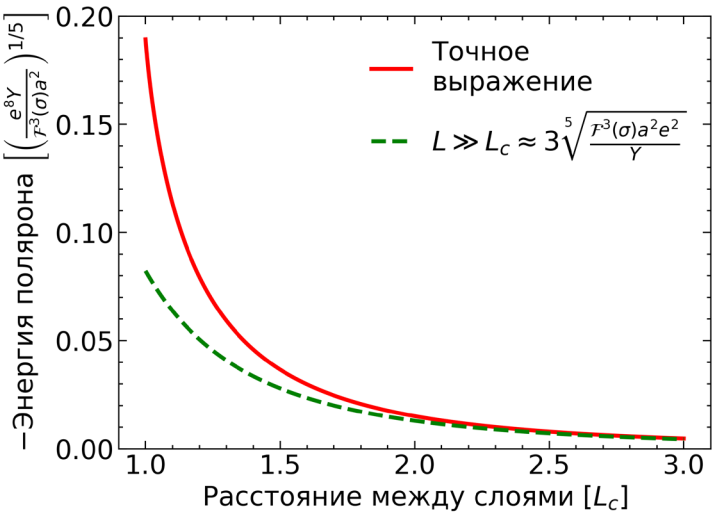


Рис. 5 – Абсолютная величина энергии связи межслоевого экситонного полярона в нелинейном режиме в зависимости от расстояния между слоями в единицах критического расстояния L_c. Сплошная красная линия посчитана после минимизации выражения для энергии, пунктирная красная линия соответствует асимптотическому поведению при больших расстояниях между слоями

В данной работе построена последовательная теория межслоевого экситонного полярона. В двухслойных системах экситон эффективно взаимодействует с изгибными колебаниями, за счет чего энергия связи экситона увеличивается, а эффективная масса возрастает, при этом натяжение слоев ослабляет поляронный эффект. С увеличением расстояния между слоями эффективность взаимодействия электрона и дырки может увеличиваться. В нелинейном режиме экситон создает натяжения в плоскости структуры, при этом смещения слоев сопоставимы по размеру с расстоянием между слоями. При расстоянии меньше критического слои слипаются из-за кулоновского притяжения электрона и дырки. В дальнейшем с помощью метода Фейнмана может быть исследован переходный режим между режимами слабой и сильной связи. Также может быть исследовано поведение системы в нелинейном режиме с учетом натяжения слоев.

Список использованных источников

1. Semina M.A., Glazov M.M., Sherman E. Interlayer Exciton–Polaron in Atomically Thin Semiconductors // Ann. Phys. – 2020. – №12. – С. 2000339.
2. Landau L.D., Pitaevskii L.P., Kosevich A.M., Lifshitz E.M. Theory of Elasticity. – Oxford, England, UK: Butterworth-Heinemann, 1984.
3. Komaragiri U., Begley M.R., Simmonds J.G. The Mechanical Response of Freestanding Circular Elastic Films Under Point and Pressure Loads // J. Appl. Mech. – 2005. – №2. – С. 203–212.

БАКАЛАВРЫ

Лауреаты II степени

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

УДК 681.786, 535.312.3, 044.94

РАЗРАБОТКА И СОЗДАНИЕ МАКЕТА АБСОЛЮТНОГО УГЛОВОГО ОПТИЧЕСКОГО ЭНКОДЕРА

Виссарионова Е.С.

Научный руководитель – Мухтубаев А.Б., кандидат технических наук, заведующий лабораторией научно-исследовательского центра световодной фотоники, инженер научно-исследовательского центра оборонных и двойных технологий, ассистент института "Высшая инженерно-техническая школа", начальник лаборатории сборки и юстировки устройств световодной фотоники

esvissarionova@itmo.ru

Ключевые слова

Абсолютный оптический энкодер, датчик угла поворота, одноразрядная матрица, компьютерное моделирование, псевдокодирующая последовательность.

Энкодеры – это устройства, позволяющие отслеживать положение объекта измерения. По используемому физическому принципу энкодеры разделяют на магнитные, емкостные, резистивные, оптические. Среди перечисленных типов наибольшими параметрами точности и разрешения обладают оптические энкодеры [1]. На сегодняшний день параметры оптических датчиков угла поворота зарубежной компании Renishaw типа RESOLUTE^{TM} превосходят остальные мировые аналоги в части точности системы и максимальной скорости вращения (сравнение приведено в таблице 1) [2]. Отечественные фирмы не производят абсолютные оптические энкодеры открытого типа, несмотря на наличие рынка и высокий спрос на высокоточные оптические энкодеры.

Целью данной работы является создание и исследование компьютерной модели макета абсолютного углового оптического энкодера открытого типа, расчет габаритных, точностных параметров, параметров надежности.

Таблица 1

Сравнение мировых аналогов

Брэнд	Абсолютные энкодеры		Исполнение
	Точность	Об/мин, макс.	
Dynapar	30"	10000	с валом, полый, закрытые
Renishaw	0,5 - 5"	3400-36000	кольцевой, открытый
Heidenhain	5"	10000	кольцевой, открытый
Exxelia	1"	300	с валом, полый, закрытые
Posital	1"	12000	с валом, полый, закрытые
Micronor	1"	2500	с валом, полый, закрытые
СКБ ИС	7"	300	с валом, полый, закрытый

Структурно проектируемый оптический энкодер состоит из источника оптического излучения, оптической схемы, измерительного лимба с кодирующей структурой и светочувствительной матрицы. Свет, проходя через оптическую схему, отражается или поглощается кодирующей структурой, расположенной на поверхности лимба, и попадает на линейную матрицу, состоящую из набора фотодиодов [3]. Для создания опытного образца описанной системы необходимо осуществить подбор оптимальных параметров, входящих в ее состав оптических и оптоэлектронных узлов. Для этого были разработаны компьютерные модели считывающей головки энкодера и оптической схемы.

Экспериментальные данные для верификации работы моделей были получены на испытательном стенде (рис.1) путем поворота лимба с освещённой кодирующей структурой со штрихами шириной 10 – 20 мкм относительно неподвижно расположенной матрицы с объективом 10 крат с измерением угла поворота на гониометре Г5.

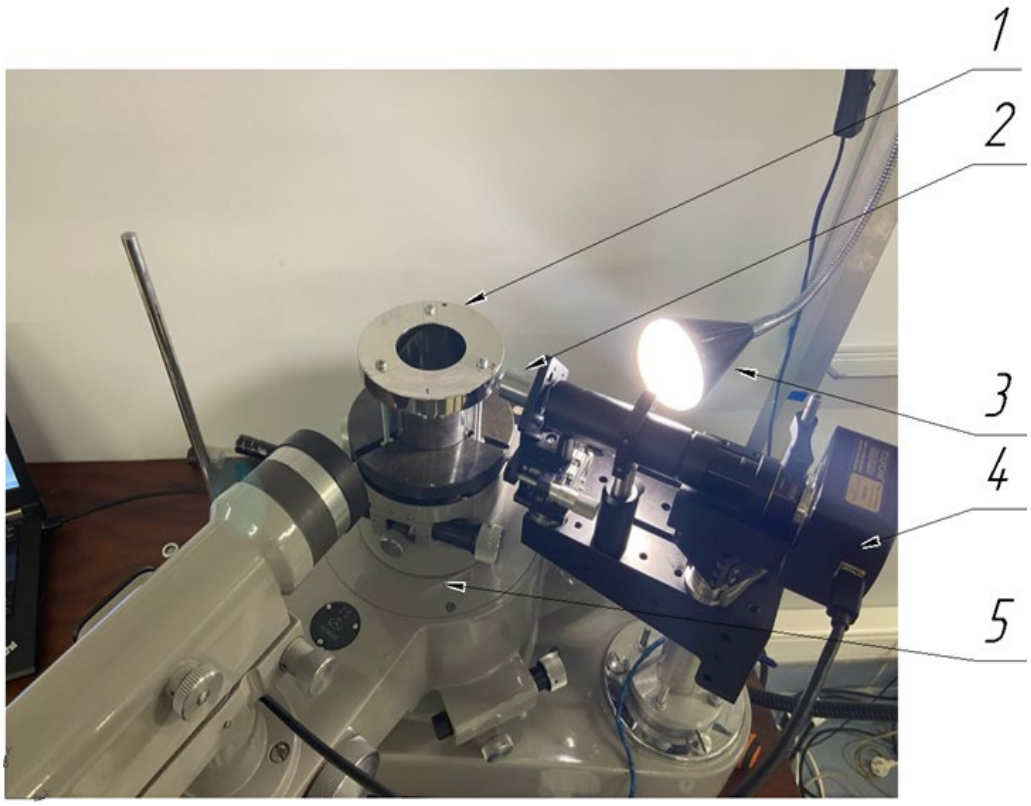


Рис. 1 – Испытательный стенд: 1 – лимб; 2 – 10-х объектив; 3 – светодиодная подсветка; 4 – CMOS камера; 5 – гониометр Г–5

Изображение с помощью видеоредактора преобразовывалось в видеоряд, имитирующий движение кодирующей структуры. Экспериментальные данные обрабатывались в симуляционной модели, построенной в Matlab Simulink, общая структурная схема модели представлена на рисунке 2. Для эмуляции работы энкодера разработаны соответствующие блоки, преобразующие исходный видеоряд в фиксируемую пикселями матрицы интенсивность света, в соответствии с их геометрическими размерами. Результаты преобразования далее используются для разработки алгоритмов обработки изображения и вычисления текущего угла поворота измерительного лимба. В модели предусмотрена возможность регулировать геометрические размеры эмулируемой матрицы, тем самым позволяя проводить оценку применимости существующих светочувствительных матриц в составе оптического энкодера.

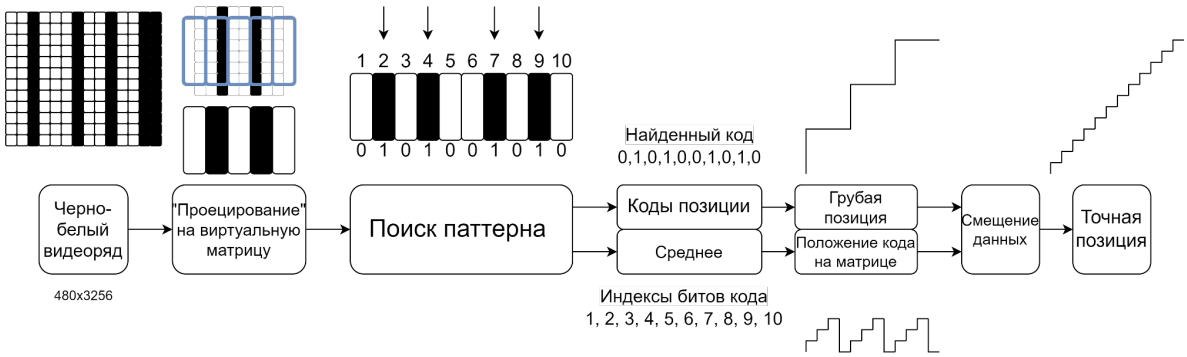


Рис. 2 – Общая структурная схема модели, созданной в пакете Matlab Simulink

В рамках работы были проведены несколько экспериментов, по которым определялось соответствие модели результатам натурных экспериментов, на рисунке 3 показан самый лучший на данный момент результат, на рисунке 4 разброс результатов, максимальное отклонение составляет 15 угловых секунд. Предполагаемые причины погрешностей – это искажения изображений, неточность алгоритма, ограничения, связанные с размером пиксела.

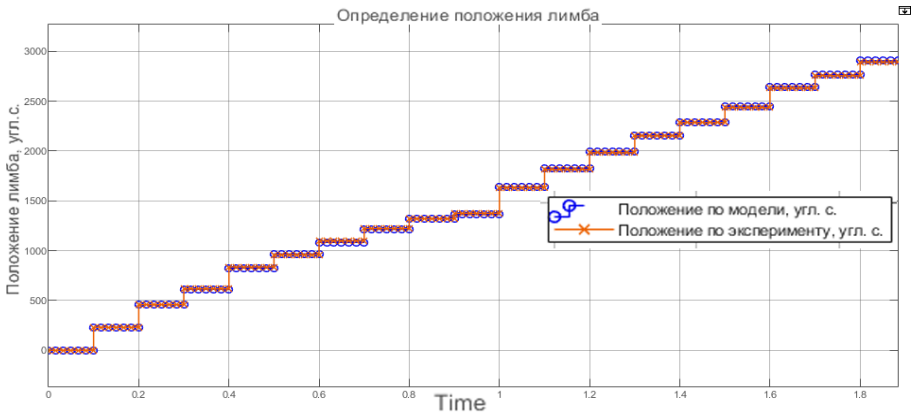


Рис. 3 – График сравнения результата работы алгоритма и результата натурных экспериментов. Эксперимент с наилучшим результатом

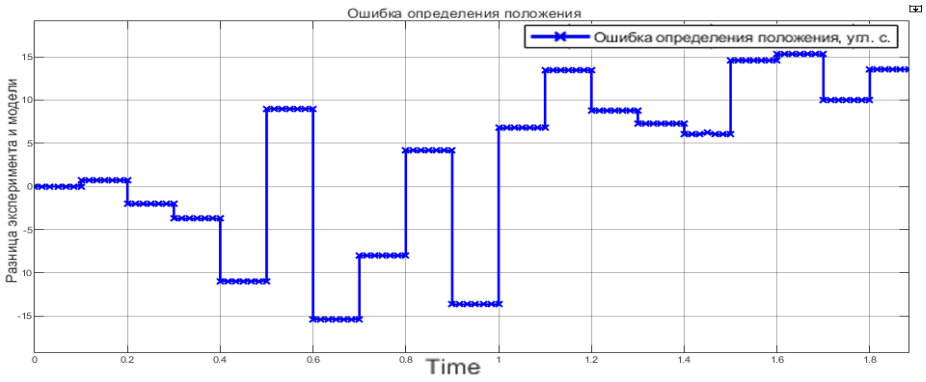


Рис. 4 – График отклонения угла поворота, полученного с помощью модели в результате эксперимента

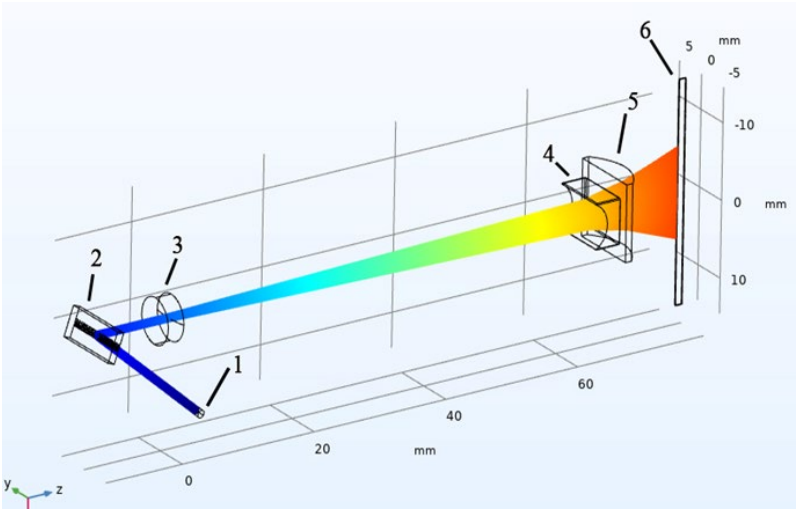


Рис. 5 – Оптическая модель энкодера в трехмерном эскизе COMSOL. 1 – источник излучения Thorlabs (λ= 690 нм); 2 –кодирующая структура; 3 – отрицательная линза Thorlabs; 4 – отрицательная ацилиндрическая линза Thorlabs; 5 – положительная ацилиндрическая линза Thorlabs; 6 – одноразрядная матрица

Компьютерный расчет выполнен с использованием моделей оптических элементов Thorlabs с помощью программного пакета Comsol Multiphysics с использованием модуля Ray Optics. В оптической схеме использованы наиболее компактные линзы, позволяющие преобразовать изображение в двух плоскостях таким образом, чтобы изображение поместилось на линейную матрицу. По оси X растяжение не менее 10 крат для получения штрихов шириной 100 – 200 мкм, по оси У сжатие до 250 мкм и менее обосновано размером пикселя линейной матрицы 250 мкм. В результате расчетов и поиска наиболее подходящих среди серийных компонентов, оптическая схема энкодера (рис.5) спроектирована на основе

оптических компонентов Thorlabs: отрицательной линзы LC1975-A, отрицательной ацилиндрической линзы LK1087L1, положительной ацилиндрической линзы AYL108-A, позволяющих расположить отраженное от кодирующей структуры излучение в рамках однорядной матрицы. В качестве источника коллимированного излучения предполагается лазерный диод с рабочей длиной волны 690 нм с диаметром пучка 1 мм. В результате при излучении лазерного диода диаметром 1 мм изображение растягивается до 15 мм по оси X и сжимается до 0,13 мм по оси У, на краях присутствует отрицательная дисторсия (рис.6).

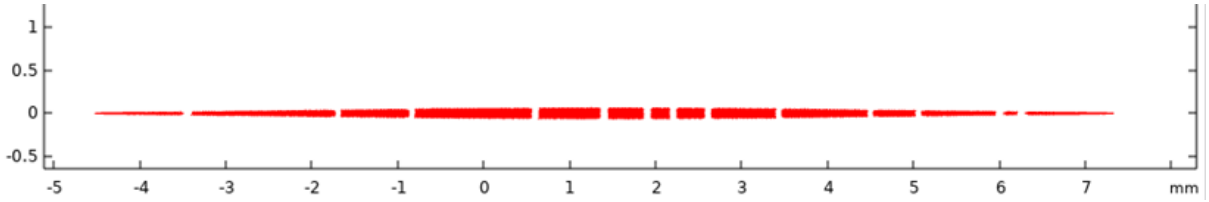


Рис. 6 – Результирующее изображение в COMSOL излучения лазерного диода после прохождения оптической схемы. Кодирующая структура отображается белыми штрихами на схеме

На основе оптической модели создан предварительный концепт конструкции. Габаритные размеры конструкции составляют 90 x 64 x 24 мм с учетом использования зеркала для изгиба оптического пути для оптимизации размера корпуса.

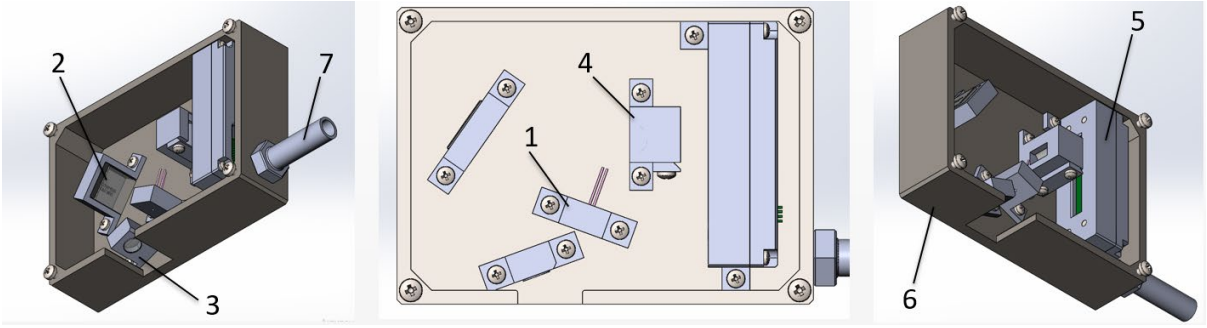


Рис. 7 – Предварительный концепт конструкции считывающей головки кольцевого оптического энкодера открытого типа: 1 – источник излучения Thorlabs (λ = 690 нм) в оправе; 2 – зеркало Thorlabs в оправе; 3 – отрицательная линза Thorlabs в оправе; 4 – цилиндрические линзы Thorlabs в оправе; 5 – линейная матрица в корпусе; 6 – корпус считывающей головки энкодера; 7 – металлорукав

В работе произведен расчет погрешности. В результате погрешность отклонения излучения равно 3,27 мм и соответствует экономическому уровню. Результаты расчета погрешностей на основе оптической системы и конструкции представлены в таблице 2 в соответствии с рисунком 8.

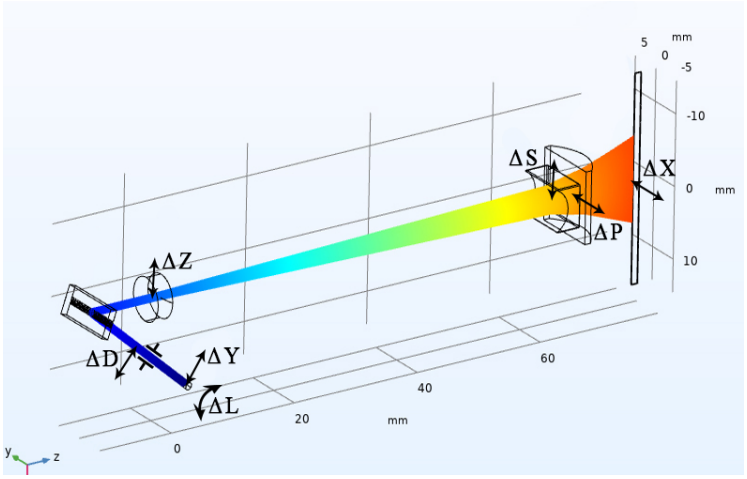


Рис. 8 – Обозначение погрешностей в соответствии с таблицей 2

Таблица 2

Результаты расчета погрешностей для разных уровней

Погрешноть	**Экономич. ур.**		**Производств. ур.**		**Технический ур.**	
ΔY	**0,3 мм**	**0,12 мм**	0,3 мм	0,03 мм	0,3 мм	0,008 мм
Коэф.вл ΔYкв	**2,5**		10		37,5	
ΔD	**0,025 мм**	**0,1 мм**	0,025 мм	0,014 мм	0,025 мм	0,006 мм
Коэф.вл ΔDкв	**0,25**		1,78		4,16	
ΔL	**0,0017**	**0,0087**	0,0017	0,0017	0,0017	0,00017
Коэф.вл ΔLкв	**0,2**		1		10	
ΔZ	**0,05 мм**	**0,12 мм**	0,05 мм	0,03 мм	0,05 мм	0,008 мм
Коэф.вл ΔZкв	**0,41**		1,66		6,25	
ΔS	**0,05 мм**	**0,12 мм**	0,05 мм	0,03 мм	0,05 мм	0,008 мм
Коэф.вл ΔSкв	**0,41**		1,66		6,25	
ΔP	**0,05 мм**	**0,15 мм**	0,05 мм	0,036 мм	0,05 мм	0,009 мм
Коэф.вл ΔPкв	**0,33**		1,38		5,55	
ΔX	**0,2 пикс.**	**1 пикс.**	0,2 пикс.	0,05 пикс.	0,2 пикс.	0,005 пикс.
Коэф.вл ΔXкв	**0,2**		4		40	

По результатам компьютерного исследования для будущего прототипа энкодера рассчитаны геометрические параметры оптической системы, длина оптического пути (от кодирующей структуры до матрицы) составляет 81 мм. Определены наиболее подходящие оптические компоненты, получено ожидаемое изображение кодирующей структуры на матрице. В дальнейшем, для программной обработки планируется использовать наименее искаженную аберрациями часть изображения кодирующей структуры размерами 10,0x0,2 мм. Для отработки алгоритмов вычисления угла поворота по зафиксированному изображению кодирующей структуры, а также подбора геометрических параметров пиксела светочувствительной матрицы создана модель в пакете Matlab Simulink, с наилучшим результатом отклонения 15 угловых секунд.

Разработанные компьютерные модели создают задел для проектирования абсолютного оптического энкодера открытого типа, а также в краткие сроки позволяют провести оценку применимости оптоэлектронных узлов и конструктивных решений при заданных технических требованиях.

Список использованных источников

1. Fleming A.J. A review of nanometer resolution position sensors: Operation and performance // Sensors Actuators, A Phys. Elsevier B.V. – 2013. – V.190. – Pp. 106–126.
2. Renishaw. RESOLUTE absolute optical encoder with BiSS serial communications. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.renishaw.com/en/resolute–encoder–series—37823 (дата обращения: 20.06.2022).
3. Коротаев В.В., Прокофьев А.В., Тимофеев А.Н. Оптико-электронные преобразователи линейных и угловых перемещений. Часть 1. Оптикоэлектронные преобразователи линейных перемещений / Учебное пособие. – СПб: НИУ ИТМО, 2012. – 114 с.

УДК 53.06

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА РЕФРАКТОМЕТРА НА ОСНОВЕ НАКЛОННЫХ ВОЛОКОННЫХ БРЭГГОВСКИХ РЕШЕТОК

Гармаев А.Т.

Научный руководитель – Коннов К.А., кандидат физико-математических наук, научный сотрудник научно-исследовательского центра световодной фотоники

a_garmayev@list.ru

Ключевые слова

Волоконно-оптический рефрактометр, показатель преломления, наклонные волоконные решетки Брэгга, система опроса, диапазон измерения, концентрация.

Проведение измерений показателя преломления (ПП) необходимо в различных отраслях промышленности для определения концентрации веществ в жидких и газообразных средах. В химической промышленности рефрактометры используют для измерения концентрации кислот, солей металлов, спиртов, гликолей, аминов, фунгицидов. С их помощью контролируют степень полимеризации синтетических смол и пластмасс. В пищевой промышленности ими измеряют концентрацию сахарозы в безалкогольных напитках, анализируют состав соусов, сиропов, джемов, молочных продуктов. В газовой и нефтяной промышленности рефрактометры используют для определения концентрации водной смеси моноэтиленгликоля в природном газе, анализа состава смазок и охлаждающих жидкостей.

На рынке представлены высокоточные стационарные рефрактометры, а также ручные, оптимизированные под быстрое определение концентраций конкретных веществ. Для рефрактометров, измеряющих концентрацию сахарозы, существуют варианты со встроенной шкалой доли содержания сахара (шкала Brix). Также множество устройств снабжено температурной компенсацией, поддерживающей температуру 20°C. В таблице 1 приведены некоторые типовые модели рефрактометров, представленные на современном рынке.

Таблица 1

Модели рефрактометров

Название	Производитель	Точность	Диапазон измерений	Температурная компенсация (ATC)	Brix
RD.5645	Euromex	±0.0001	1.33 – 1.40	Да	Да
Master-53T	Atago	±0.2%(Brix)	0 – 53%	Да	Да
PR101α	Atago	±0.1%	0 – 45%	Да	Да
Abbe refractometer	A.KRUSS	±0.0002	1.3 – 1.7	Нет	Нет
ORA 32BA	KERN OPTICS	±0.2%(Brix)	0 – 32%	Да	Да
SCM-1000BT	HM Digital	±0.2%(Brix)	0 – 55%	Да	Да

Значительное количество производителей разрабатывают широкую линейку рефрактометров для типовых жидкостей. В нее входят модели для соков и фруктов, меда, соли, вина, этиленгликоля. Такой подход позволяет уменьшить диапазон измерения показателя преломления, ограничившись нужным, однако это негативно сказывается на универсальности прибора. Применение волоконных брэгговских решеток (ВБР) и создание волоконно-оптических рефрактометров на их основе имеет большой потенциал для развития, поскольку волоконный аналог имеет меньшие габариты и вес, невосприимчив к электромагнитным

помехам, имеет относительно низкую стоимость и легко интегрируется с другими датчиками. Кроме того, возможна реализация температурной компенсации добавлением еще одной брэгговской решетки в конструкцию. Все это дает возможность разработать универсальный волоконно-оптический рефрактометр и повысить диапазон измерений показателя преломления.

В данной работе представлено исследование и разработка рефрактометра на основе наклонных волоконных брэгговских решеток (НВБР) в качестве чувствительного элемента.

Целью выпускной квалификационной работы является исследование и разработка рефрактометра на основе НВБР. Для выполнения поставленной цели сформулированы следующие задачи:

- проведение литературного обзора и ознакомление с существующими рефрактометрами на основе ВБР;
- разработка конструкции и алгоритма опроса волоконно-оптического рефрактометра на основе НВБР;
- исследование зависимости спектра НВБР от показателя преломления;
- анализ полученных результатов.

Среди волоконных рефрактометров одной из перспективных технологий оказались рефрактометры на основе наклонных решеток Брэгга. По сравнению длиннопериодными решетками, чувствительность к изменению показателя преломления у таких структур ниже, порядка нескольких сотен пм на единицу ПП. Однако они имеют большую механическую прочность, обеспечивают хорошую повторяемость результатов измерений и не требуют бережных условий хранения, в отличие от длиннопериодных решеток.

В 2001 году была опубликована работа [1], описывающая исследование рефрактометра на наклонных решетках Брэгга с углами наклона от 1° до 6°. Такой метод работал на измерении проходящей мощности при погружении чувствительной части в среду с изменяющимся показателем преломления. Строились верхняя и нижняя огибающая к спектрам пропускания и вычислялась ее площадь. Данный способ измерения позволил получать ПП с точностью порядка 10^{-4} в диапазоне с 1,3 – 1,4. Иллюстрация метода показана на рисунке 1.

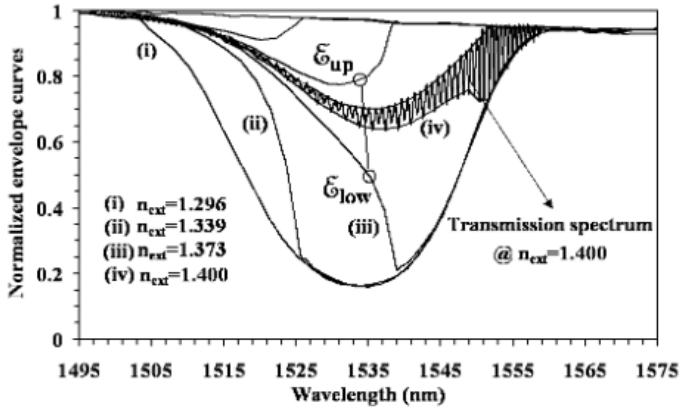


Рис. 1 – Изменение площади огибающих при различных показателях преломления в спектре пропускания [1]

В ходе проделанной работы в качестве чувствительного элемента разрабатываемого волоконно-оптического рефрактометра применялись наклонные волоконные брэгговские решетки, записанные в стандартное одномодовое оптическое волокно марки SMF-28.

Для получения наклонных брэгговских решеток в работе был использован метод записи с помощью интерферометра Тальбота. Вся система установлена на специальном виброизолирующем столе, закрыта защитным коробом из оргстекла для ограждения установки от потоков воздуха, которые негативно влияют на распределение энергии внутри пучка лазера. Запись производилась KrF эксимерным лазером на длине волны 248 нм с частотой следования импульсов 10 Гц, временем экспонирования 2 минуты [2]. Схема

установки приведена на рисунке 2. Перед записью для повышения фоторефрактивности все волокна были помещены в водородную камеру на несколько дней.

Таким образом, были записаны несколько наборов наклонных волоконных брэгговских решеток в одномодовое оптическое волокно SMF 28 с различными углами наклона (1,5°, 5° и 10°). Наклон штрихов обеспечивается соответствующим поворотом волокна в плоскости перпендикулярной рисунку. С помощью поворота зеркал 10 (рис.2), можно осуществлять выбор периода штрихов решетки (формулы 1, 2):

$$\theta = arcsin\left(\frac{\lambda}{2\Lambda}\right), \quad (1)$$

$$\varphi = \frac{\theta - \alpha}{2}, \quad (2)$$

где φ – поворот зеркал, θ – угол падения пучка на световод, α - угол падения пучка на зеркало.

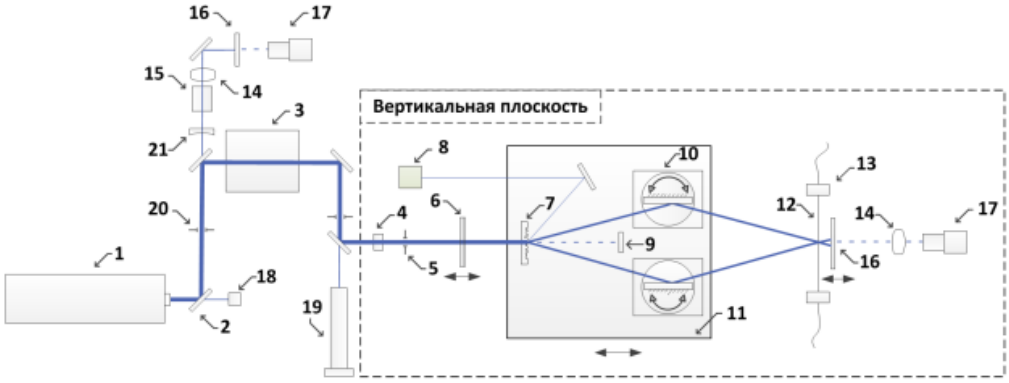


Рис. 2 – Схема установки для записи волоконных брэгговских решеток [2].

Записанную брэгговскую решетку помещают в специальную емкость с жидкой средой, в которой будет изменяться показатель преломления. Решетка с помощью оптических коннекторов подключается к широкополосному источнику излучения Thorlabs S5FC1550P-A2 и оптическому спектроанализатору Anritsu MS9740B. Чтобы не допустить обратных отражений в источник, между ним и НВБР установлен оптический изолятор. Схема опроса продемонстрирована на рисунке 3.

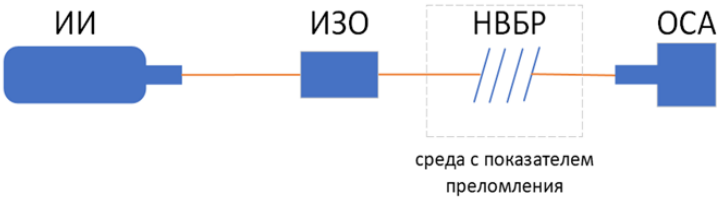


Рис. 3 – Схема опроса НВБР на пропускание

Помимо первой схемы, в которой брэгговская решетка работает на пропускание, в работе была предложена методика, при которой анализировался отраженный сигнал. Для этого в схеме опроса дополнительно применялись Y-разветвитель 2x1 (50/50) и диэлектрическое зеркало, полученное напылением на торец оптического волокна, как показано на рисунке 4.

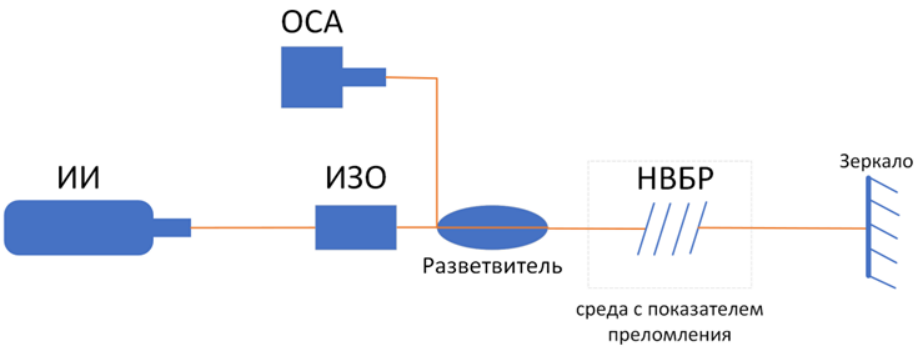


Рис. 4 – Схема опроса НВБР на отражение

В качестве жидкой среды для экспериментов был выбран водный раствор глицерина, поскольку он полностью растворим в воде и его диапазон изменения показателя преломления составляет 1,3164 – 1,4569 [3]. Для поддержания постоянной температуры раствора (25°C) применялась лабораторная плитка, а для качественного приготовления раствора использовалась магнитная мешалка.

В ходе проведенной экспериментальной работы были получены: спектры на пропускание (рис.5) и на отражение (рис.6) НВБР с углом 1,5° с концентрациями глицерина от 60 до 100%. Обработка спектров производилась в программном обеспечении Matlab. Процесс обработки состоял из следующих этапов: к полученному спектру строились верхняя и нижняя огибающие, между построенными кривыми вычислялась площадь, нормированная на площадь брэгговской решетки в воздушной среде.

НВБР с углом 1,5° показали малый возможный диапазон измерения показателя преломления. Проведенное сравнение результатов, полученных с помощью схемы на пропускание и отражение, показали, что предложенная схема на отражение показывает аналогичный результат. Это говорит о возможности применения предложенного метода опроса при реализации волоконно-оптического рефрактометра.

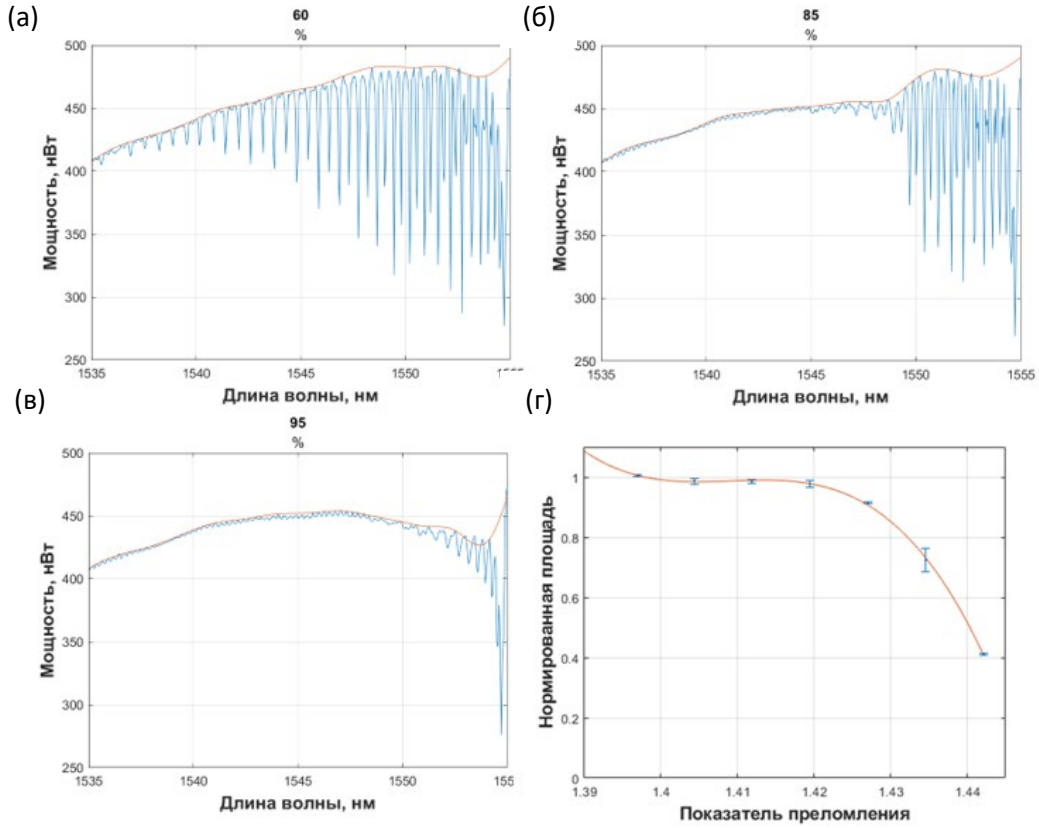


Рис. 5 – Спектры от 60 до 100%: а) 60%; б) 85%; в) 95%; г) зависимость показателя преломления от площади

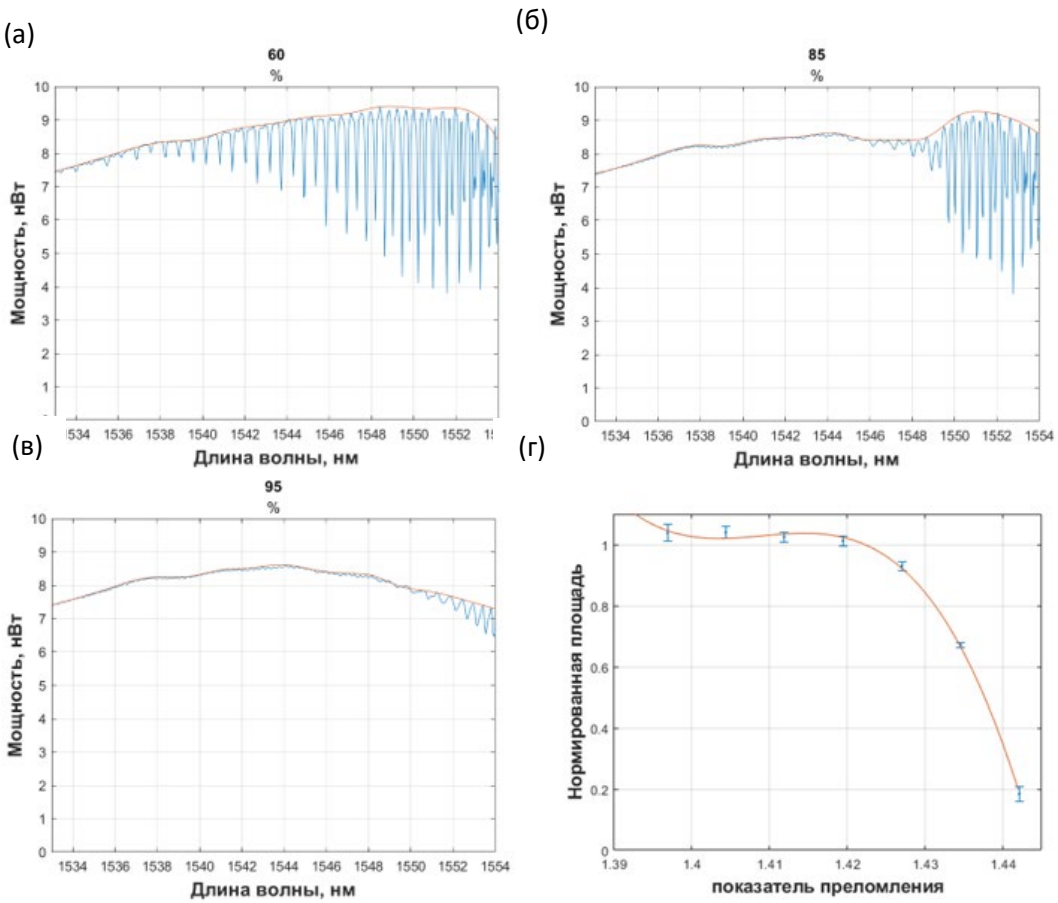


Рис. 6 – Спектры от 60 до 100%: а) 60%; б) 85%; в) 95%; г) зависимость показателя преломления от нормированной площади

Наиболее широкий диапазон измерения ПП был получен для решетки с углом наклона штрихов 5° (рис.7). Зависимость нормированной площади спектра от показателя преломления измерялась в диапазоне ПП от 1,31 – 1,45, что значительно превышает предыдущие результаты. Дальнейшее увеличение угла штрихов ВБР приводит к сдвигу границы диапазона измерения влево. Проведенная работа с 10° решеткой показывает ухудшение чувствительности прибора на концентрациях глицерина выше 40%. Так как с увеличением угла наклона штрихов уменьшается относительная интенсивность пиков, метод определения показателя преломления через вычисление площади огибающих становится менее точным.

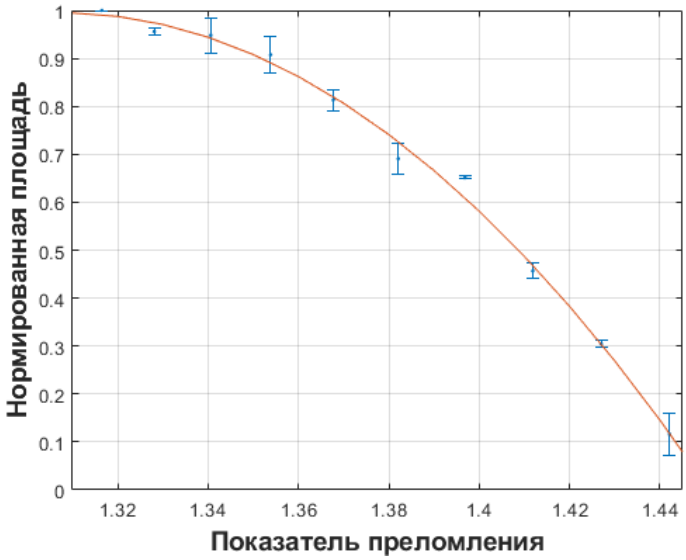


Рис. 7 – Зависимость нормированной площади от показателя преломления для 5° НВБР

В ходе работы были достигнуты следующие результаты:

- проведен анализ литературных источников;
- определены методики проведения экспериментальных работ;
- предложена методика опроса чувствительного элемента волоконно-оптического рефрактометра на основе НВБР, реализованная путем анализа спектров отражения решеток;
- разработан математический алгоритм и программный код для анализа спектральных характеристик НВБР для определения показателя преломления окружающей среды;

Проведено исследование изменения спектральных характеристик НВБР с углами наклона штрихов 1,5° 5°, 10° при изменении показателя преломления окружающей среды. Для решетки с углом наклона штрихов 5° получен наиболее широкий возможный диапазон определения показателя преломления от 1,31 до 1,45.

Список использованных источников

1. Guillaume L., Pierre F. Tilt short-period fiber-Bragg-grating-induced coupling to cladding modes for accurate refractometry // Measurement Science and Technology. – 2001. – №12. DOI:10.1088/0957-0233/12/7/302.
2. Грибаев А.И., Варжель С.В., Куликов А.В. Интерферометрические методы записи волоконных решеток Брэгга. – СПб: Университет ИТМО, 2018. – 43 с.
3. Saunders J.E. et al. Refractive indices of common solvents and solutions at 1550 nm // Applied optics. – 2016. – Т.55. – №4. – С. 947–953.

УДК 004.89

ПРОГРАММНЫЙ МОДУЛЬ ДЛЯ СИСТЕМ ИДЕНТИФИКАЦИИ ЛИЧНОСТИ ПО РИСУНКУ ВЕН ПАЛЬЦЕВ

Диденко Е.С.

Научный руководитель – Штенников Д.Г., доцент, кандидат технических наук, старший преподаватель факультета программной инженерии и компьютерной техники

ekaterinadidenko20@gmail.com

Ключевые слова

Биометрия, идентификация личности, алгоритм распознавания личности, идентификация по рисунку вен пальцев, Python, OpenCV, VGG-16, нейронная сеть.

Биометрические методы идентификации пользователя набирают большую популярность и становятся все более важной и неотъемлемой частью современного мира. Ежедневно каждый может столкнуться с примерами использования биометрического распознавания, например, при входе в помещение с системой контроля доступа или же при использовании интернет-банка. Огромное преимущество идентификации людей по биометрическим данным в том, что нет необходимости носить с собой что-либо (например, пропуск или удостоверение) или же запоминать что-то (например, пароль или какой-либо код доступа), для распознавания необходимо использовать лишь свою личную биометрическую характеристику.

К сожалению, наиболее распространенные биометрические характеристики, такие как отпечаток пальца, лицо или радужная оболочка глаза имеют некоторые недостатки. В связи с этим был выбран более надежный биометрический параметр, который стал использоваться относительно недавно – рисунок вен пальцев. В таблице 1 приведено сравнение основных современных методов биометрической идентификации. Сравнительная таблица была составлена из нескольких таблиц, размещенных в открытом доступе и дополнена собственной информацией. Сравнение представлено по следующим параметрам: 1 – универсальность параметра – много ли людей имеют возможность предоставить эту биометрическую характеристику; 2 – уникальность параметра – насколько этот параметр неповторим; 3 – стабильность параметра; 4возможность подделки параметра; 4 – стоимость реализации технологии; 5 – легкость использования; 6 – точность.

Таблица 1

Сравнение методов биометрической идентификации на основе популярных биометрических характеристик

1	2	3	4	5	6	7	8
Лицо	Высокая	Средняя	Средняя	Высокая	Средняя	Высокая	Средняя
Отпечаток пальца	Средняя	Высокая	Средняя	Средняя	Низкая	Высокая	Низкая
Радужная оболочка	Высокая	Высокая	Высокая	Низкая	Высокая	Низкая	Высокая
Вены	Высокая	Высокая	Высокая	Низкая	Средняя	Средняя	Высокая
Голос	Средняя	Средняя	Низкая	Высокая	Низкая	Высокая	Низкая
ДНК	Высокая	Высокая	Высокая	Низкая	Высокая	Низкая	Высокая
Сердечный ритм	Высокая	Высокая	Высокая	Низкая	Высокая	Низкая	Высокая

Относительно новый, но набирающий популярность благодаря своим достоинствам, биометрический метод – идентификация по рисунку вен пальцев. Преимущества данного метода: защищенность, бесконтактное сканирование, высокая надежность, доступная цена и удобство интеграции. На данный момент наиболее развито внедрение решений с использованием рисунка вен в Японии, где данный метод уже широко распространен в банковской сфере и в медицинских учреждениях. В России же сейчас идентификация и аутентификация по рисунку вен является одним из наиболее перспективных направлений на рынке СКУД.

Анализ существующих решений

Идентификация по рисунку вен пальцев – молодая технология, в связи с чем аналогов алгоритмов распознавания в открытом доступе не так много. В данной работе было рассмотрено два алгоритма биометрической идентификации на основе вен пальцев, а также две работы, которые имеют интересные подходы для будущего разрабатываемого модуля идентификации, но не решают задачу идентификации. Было проведено тестирование работ на основе набора данных RYeltsin Finger Vein [2], сравнительный анализ, выделение преимуществ и недостатков методов (табл. 2).

Таблица 2

Сравнение работ аналогов на основе вен пальцев

Алгоритм	Инструменты реализации	Скорость работы	Accuracy	FAR, FRR
Finger vein recognition	Python, модули numpy, math, os	0,16 с	79,5%	FAR = 23%, FRR = 18%
Identifying individuals from the vein patterns in their fingers	MATLAB, Image Processing и Statistics Toolbox, библиотека LIBSVM	0,2 с	73%	FAR = 4%, FRR = 50%
Impostor Detection Based Finger Veins Applying Machine Learning Methods	Python, модули numpy, math, os, библиотека OpenCV	0,22 с	84,48%	FAR = 35%, FRR = 1%
Convolutional Neural Network-Based Finger-Vein Recognition Using NIR Image Sensors	Python, библиотека TensorFlow, CNN	90 с		

В качестве сравнительных параметров использовались несколько важных для биометрических систем характеристик:

- FAR (False Acceptance Rate – вероятность ложного допуска) – ошибка первого рода;
- FRR (False Rejection Rate – вероятность ложного недопуска) – ошибка второго рода;
- Accuracy (точность) – доля правильных срабатываний;
- используемые инструменты реализации – это то, с помощью чего был разработан метод (язык, нейронная сеть, методы и алгоритмы реализации и тому подобное);
- скорость работы метода – время полной обработки одного изображения и сравнения его с эталонным используемым методом в секундах (с).

Аналог 1 – Finger vein recognition [3] является итоговым проектом одного из выпускников Южно-китайского технологического университета по курсу Machine Vision Application. В этой работе используются традиционные способы обработки изображения, основанные на математических и аналитических функциях.

Аналог 2 – Identifying individuals from the vein patterns in their fingers [4] представляет собой огромный исследовательский и практико-ориентированный проект, являющийся магистерской выпускной квалификационной работой одного из выпускников Кейптаунского университета по специальности Electrical and Computer Engineering (Электротехника и вычислительная техника). В работе было разработано и протестировано целых пять алгоритмов идентификации.

Аналог 3 – Impostor Detection Based Finger Veins Applying Machine Learning [5] представляет собой опубликованную статью в журнале «International Journal of Computers,

Communications & Control». Подход заключается в предварительной обработке изображений с помощью традиционных способов обработки изображения, основанных на математических и аналитических функциях, и затем, в задаче классификации с помощью методов машинного обучения для аутентификации субъектов. Работа позиционируется, как возможная для применения в алгоритмах идентификации.

Аналог 4 – Convolutional Neural Network-Based Finger-Vein Recognition Using NIR Image Sensors [6] является статьей из National Library of Medicine. Подход этой работы заключается в использовании предобученной нейронной сети для нахождения рисунка вен на фотографиях.

Разработка модуля идентификации на основе рисунка вен пальцев

Для идентификации по рисунку вен пальцев было разработано три алгоритма. Глобально все алгоритмы делятся на два больших этапа: предобработка изображения для улучшения его качества и непосредственно идентификация.

Предварительная обработка изображения

Предобработка изображения заключается в улучшении качества исходного изображения путем применения функций и наложения различных фильтров. Высокая скорость обработки изображения достигнута использованием различных встроенных функций открытой библиотеки OpenCV. Высокое качество распознавания достигается благодаря тому, что полученное фото обрабатывается до обрезки изображения для более точного нахождения границ изображения, а также после обрезки для улучшения качества дальнейшей аутентификации. Алгоритм предварительной обработки изображения, следующий:

- к изображению применяется фильтр размытия функцией cv2.blur();
- определяются границы изображения с помощью оператора Собеля функцией cv2.Sobel();
- производится коррекция наклона изображения с помощью двух встроенных OpenCV функций: cv2.getRotationMatrix2D () и cv2.warpAffine();
- находятся области ROI (region of interest) изображения – необходимая область изображения для работы с рисунком вен;
- осуществляется обрезка изображения с учетом ROI функцией cv2.resize;
- проводится улучшение обрезанного изображения с помощью двух встроенных функций OpenCV: cv2.normalize и cv2.createCLAHE.

На рисунке 1 показан итоговый вариант обработанного изображения, которое подается на идентификацию.

Рис. 1 – Фотография после предобработки

Идентификация личности с использованием бинарного алгоритма

Бинарный алгоритм представляет собой сравнение фотографий попиксельно. Перед идентификацией фотографии поляризуются, то есть приводятся к бинарному виду, а затем алгоритм проходит по пикселям и сравнивает каждый. В итоге, чем больше совпадений цветов пикселей обнаруживается в процессе сравнения, тем выше вероятность, что две сравниваемые фотографии принадлежат одному и тому же человеку. Пример работы бинарного алгоритма представлен на рисунке 2.

Рис. 2 – Работа алгоритма идентификации личности с использованием бинарного сравнения

Идентификация с использованием технологий компьютерного зрения

Компьютерное зрение – это область искусственного интеллекта, которая занимается анализом изображений и видео. Для разработки алгоритма идентификации были опробованы три наиболее популярных алгоритма извлечения: SIFT (Scale-invariant feature transform), FAST (Features for Accelerated Segmentation Test), MSER (Maximally stable extremal regions). FAST-алгоритм основан на нахождения характерных точек изображения путем анализа пикселей, которые окружают точку. MSER-алгоритм основан на нахождении характерных точек изображения путем его бинаризации.

Наилучшим образом себя повел SIFT-алгоритм, поэтому для идентификации использовался в дальнейшем он. Данный метод основывается на нахождение ключевых точек и дальнейшей проверки их на устойчивость. Для сравнения двух фотографий на каждой из них ищутся ключевые точки, извлекается их положение, масштаб, поворот (рис.3), а затем найденные точки сопоставляются, выявляя, насколько фотографии идентичны.

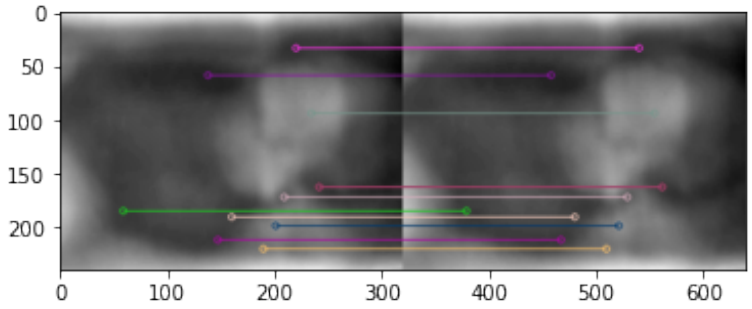


Рис. 3 – Работа алгоритма идентификации личности с использованием SIFT-алгоритма

Идентификация с использованием предобученной нейронной сети

В этом подходе используется предобученная сверточная нейронная сеть VGG-16 (состоящая из 16 слоев размера 3x3 и большого количества фильтров), которая выделяет ключевые признаки на изображениях. Полное описание модели VGG-16 представлено в источнике [7]. Данная модель была дообучена на наборе данных RYeltsin Finger Vein Dataset для того, чтобы она умела выделять рисунок вен пальцев.

Для непосредственной идентификации, то есть сравнения фотографии с базой эталонных фотографий используется так называемое косинусовое сходство – мера сходства, которая измеряет насколько два объекта похожи. Математически это измерение косинуса угла между двумя векторами. В процессе идентификации строится таблица с коэффициентами, которые выражают похожесть полученной на вход фотографии с базой эталонов. При нахождении максимального коэффициента сравнения (но обязательно больше 0,75) эталонная фотография считается найденной, а идентификация пройденной. На рисунке 4 представлен пример построения таблицы схожести.

	images/1-left-index_1.bmp	images/1-left-index_2.bmp	images/1-left-index_3.bmp	images/1-left-index_4.bmp	images/1-left-index_5.bmp	images/1-left-index_6.bmp	images/1-left-middle_1.bmp	images/1-left-middle_2.bmp
images/1-left-index_1.bmp	1.000000	0.793070	0.910576	0.902802	0.921582	0.909172	0.793904	0.849087

Рис. 4 – Построение таблицы схожести с использованием косинусного сходства

Результаты

Для оценки разработанных методов было проведено тестирование и сравнение разработанных алгоритмов с аналоговыми на наборе данных VERA FingerVein Dataset [1]. Полученные результаты тестирования представлены в таблице 3.

Таблица 3

Сравнение разработанных алгоритмов с аналогами

Алгоритм	Скорость работы	Accuracy	FAR, FRR
Бинарный алгоритм	5,6 с	88,5%	FAR = 12%, FRR = 19%
SIFT-алгоритм	17,8 с	84,9%	FAR = 0,2% FRR = 30%
Алгоритм с VGG-16	0,3 с	97,5%	FAR = 0,2% FRR = 11%
Finger vein recognition	10 с	79,5%	FAR = 23% FRR = 18%
Identifying individuals from the vein patterns in their fingers	10,9 с	73%	FAR = 4% FRR = 50%

В данной работе спроектирован и разработан программный модуль для идентификации личности по рисунке вен пальцев на основе трех алгоритмов идентификации, имеющих одинаковую предобработку изображения, но разные подходы к непосредственному сравнению изображений. Лучше всего в практическом применение себя показывает алгоритм с использованием предобученной нейронной сети VGG-16. По итогам тестирования было выявлено, что алгоритмы с использованием бинарного и SIFT сравнения больше подойдут для аутентификации.

Список использованных источников

1. VERA FINGERVEIN. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.idiap.ch/en/dataset/vera-fingervein (дата обращения: 20.04.2022).
2. Finger Vein Kaggle. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.kaggle.com/datasets/ryeltsin/finger-vein (дата обращения: 20.04.2022).
3. Репозиторий проекта, автор: Qing Chen. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://github.com/Qingcsai/Finger-Vein-Recognition (дата обращения: 23.03.2022).
4. Репозиторий проекта, автор: Anurag Arnab. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://github.com/anuragarnab/vein-recognition (дата обращения: 25.03.2022).
5. Ali A. T., Abdullah H., Fadhil M. N. Impostor Detection Based Finger Veins Applying Machine Learning Methods // Iraqi journal of computers, communications, control and systems engineering. – 1970. – Т.21. – №3. – С. 98–111.
6. Hong H.G., Lee M.B., Park K.R. Convolutional neural network-based finger-vein recognition using NIR image sensors // Sensors. – 2017. – Т.17. – №6. – С. 1297.
7. VGG16 and VGG19. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://keras.io/api/applications/vgg/ (дата обращения: 20.04.2022).

УДК 535.211

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ СОЕДИНЕНИЯ ВОЛОС ДЛЯ НАРАЩИВАНИЯ ЛАЗЕРНЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ С ДЛИНОЙ ВОЛНЫ 980 НМ

Ермолаев В.М.

Научный руководитель – Федорова Ю.В., ассистент и инженер-исследователь института лазерных технологий

v_m_ermolaev@mail.ru, yvsemyashkina@mail.ru

Ключевые слова

Лазерное наращивание волос, оптимизация параметров, взаимодействие лазерного излучения с биотканью, компьютерное оптическое моделирование, компьютерное теплофизическое моделирование.

В настоящее время лазерные технологии находят широкое применение в индустрии красоты. В области ухода за волосами получает распространение такая перспективная технология, как лазерное наращивание волос. Наращивание волос – это пользующаяся большим спросом косметологическая процедура [1], суть которой заключается в присоединении донорских волос (натуральных или искусственных) к волосам человека тем или иным способом. Методы наращивания волос отличаются большим разнообразием. Эти методы можно разделить на две большие группы: горячие и холодные, т.е. с нагревом и без такового соответственно. Каждый из существующих способов наращивания имеет свои достоинства и недостатки. Так, холодное наращивание позволяет соединить волосы без ущерба для них, однако холодные методы отличаются большой длительностью процедуры и ограничивают выбор создаваемых с помощью наращивания причесок. Что касается горячих методов, то до недавнего времени повсеместно применялся только один – капсульное (итальянское) наращивание. Капсульное наращивание представляет из себя присоединение донорских прядей волос с кератиновыми капсулами к волосам человека путем плавления этих капсул с помощью специальных термических щипцов. Такой способ наращивания благодаря своей быстроте, эффективности и гибкости является самым популярным на данный момент. Однако и капсульное наращивание не лишено изъянов. В основном все недостатки этого метода связаны с кератиновыми капсулами: они могут вызывать дискомфорт в течение первых дней после процедуры, также их наличие предъявляет особые требования к уходу за волосами, что связано с риском сползания капсул.

Лазерное наращивание волос является фактически вариантом технологии капсульного наращивания, только в данном случае плавление капсул осуществляется не щипцами, а с помощью лазерного излучения. Этот метод показал повышенную эффективность и надежность, и потому его исследование и развитие актуально, что также подтверждается разработкой различными фирмами аппаратов для лазерного наращивания. Несмотря на хорошие результаты применения данной технологии, существует возможность ее улучшения. Лазерному наращиванию присущи вышеперечисленные негативные аспекты, связанные с применением кератиновых капсул. Поэтому представляет интерес изучение технологии лазерного наращивания волос без применения каких-либо скрепляющих веществ.

Задача исследования состоит в изучении возможности наращивания волос лазерным излучением без припоя и подборе оптимальных параметров проведения данной процедуры. При решении задачи рассматриваются различные режимы лазерного воздействия, критериями подбора режимов являются температура и термические повреждения волос в ходе лазерной обработки в области их соединения.

В данной работе рассмотрено наращивание волос лазерным излучением на длине волн 980 нм. Выбор такой длины волны обусловлен спектрами поглощения компонентов человеческого волоса: на этой длине волн коэффициенты поглощения основных составляющих волоса, таких

как кератин и вода, невелики (менее 2 $см^{-1}$), при этом хорошо поглощает обладающий небольшой концентрацией (1 – 5 %) меланин (коэффициент поглощения в пределах от 18 до 100 $см^{-1}$). Таким образом, обработка волос лазерным излучением на длине волны 980 нм позволяет нагревать волосы достаточно, чтобы произвести их соединение, но не настолько сильно, чтобы всегда имели место чрезмерные повреждения волос.

Для первоначальной оценки результатов наращивания волос лазерным излучением было проведено двухэтапное компьютерное моделирование. Сначала в программе TracePro Expert («Lambda Research Corporation», США; номер версии 7.0.1) была создана компьютерная оптическая модель волос и взаимодействия лазерного излучения с ними. Расчет в оптической модели проводился методом Монте-Карло. Образец волос в модели представлял из себя два расположенных внахлест волоса цилиндрической формы с диаметром 60 мкм и длиной 2 мм (рис.1,a). Использованные оптические свойства волоса [2,3] представлены в таблице 1. Оптическая схема состояла из источника излучения, собирающей линзы и оптоволокна (рис.1,b). Подобное построение оптической схемы было осуществлено с учетом особенностей проведения экспериментов по лазерному наращиванию, чтобы было возможно непосредственно сравнивать результаты моделирования и экспериментов. Оптические свойства и конструктивные параметры оптических элементов представлены в таблице 2.

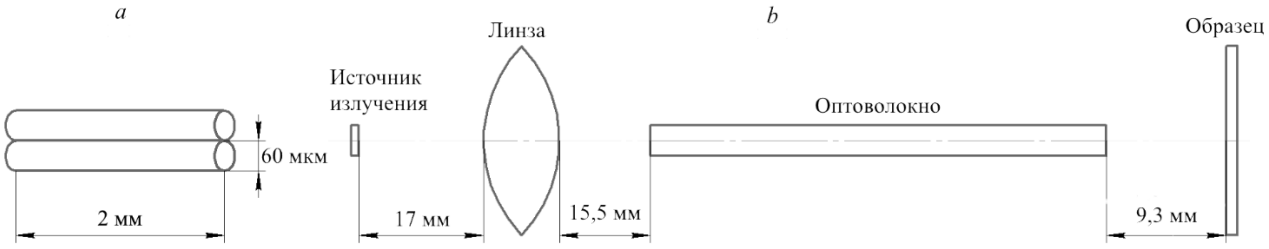


Рис. 1 – Схема образца волос (a), принципиальная схема оптической модели (b)

Таблица 1

Оптические свойства волоса человека

Длина волны, нм	Показатель преломления	Коэффициент поглощения, $мм^{-1}$	Коэффициент рассеяния, $мм^{-1}$	Фактор анизотропии
980	1,55	3,66	1,345	0,79

В оптической модели источник излучения был задан с круглым выходным окном диаметра 300 мкм и полной расходимостью пучка равной 6°. Лазерный пучок был принят гауссовым. Выходная мощность излучения была установлена равной 1 Вт. Компоненты схемы были расположены таким образом, чтобы лазерное пятно располагалось точно посередине линии соприкосновения волос, а его диаметр в плоскости обработки составлял 1 мм. Контроль диаметра пятна осуществлялся посредством расположенного в плоскости обработки квадратного детектора излучения со стороной 2 мм, измерение диаметра проводилось по уровню e^{-2}.

Результатом оптического моделирования являлось пространственное распределение мощности поглощенного в волосах излучения. Для получения данного распределения образец волос был разделен на элементы в форме куба со стороной 4 мкм. Искомое распределение было представлено в виде таблицы, где координатам x, y, z центра каждого элемента ставилось в соответствие значение мощности излучения в этой точке.

Таблица 2

Конструктивные параметры и оптические свойства элементов оптической схемы

Элемент	Конструктивные параметры	Показатель преломления	Коэффициент поглощения, $мм^{-1}$
Линза	R_1 = 9 мм; R_2 = –9 мм; d = 5 мм	1,5111	$1 \cdot 10^{-5}$
Оптоволокно	D_c = 400 мкм; D_o = 440 мкм; l = 1 м	n_c = 1,457; n_o = 1,439	$1 \cdot 10^{-5}$

В программе COMSOL Multiphysics («COMSOL Inc.», США; номер версии 6.0) была создана компьютерная теплофизическая модель волос и взаимодействия лазерного излучения с ними. Геометрия образца волос в данной модели аналогична использованной ранее при оптическом моделировании. Заданные теплофизические и кинетические свойства волоса [4,5] представлены в таблице 3. Моделирование теплового действия лазерного излучения было проведено на основе полученного в оптической модели распределения мощности. Таким образом, был произведен переход от оптической модели к теплофизической модели. Данные по распределению мощности, представленные в табличном виде, были линейно интерполированы встроенными программными средствами. На основе полученной интерполирующей функции, согласно опыту других исследователей в подобном моделировании, была составлена и применена формула расчета объемного распределения мощности (источника нагрева) в теплофизической модели:

$$Q = int(x, y, z) \times \frac{P}{V},$$

где Q – объемная плотность мощности, $int(x,y,z)$ – интерполирующая функция распределения мощности, P – выходная мощность лазерного излучения, V – объем ячейки сетки оптического расчета. Здесь следует обратить внимание на то, что так как в оптическом расчете выходная мощность излучения была установлена равной 1 Вт, то умножение интерполирующей функции на меняющееся значение мощности излучения при задании источника нагрева позволило масштабировать расчет для различных значений мощности.

В теплофизической модели расчет проводился методом конечных элементов. Для его реализации образец волос был разбит на элементы, разбиение было осуществлено автоматически с размером элементов «Finer». При таком разбиении сторона элемента составляла не более 16 мкм. Пробные расчеты показали, что уменьшение размеров элементов не приводило к существенному изменению результатов. В программе COMSOL Multiphysics методом конечных элементов решалось стандартное уравнение теплопроводности физического интерфейса «Heat transfer in solids»:

$$\rho c\left(\frac{\partial T}{\partial t} + \mathbf{u} \times \nabla T\right) + \nabla\left(q + q_r\right) = -\alpha T : \frac{d\mathbf{S}}{dt} + Q,$$

где ρ – плотность, c – удельная теплоемкость, T – температура, t – время, $\mathbf{u}$ – вектор скорости поступательного движения, q – плотность теплового потока теплопередачи, q_r – плотность теплового потока излучения, α – коэффициент термического расширения, $\mathbf{S}$ – второй тензор напряжений Пиолы-Кирхгофа, Q – объемная плотность мощности источников нагрева. Важно отметить, что вектор скорости поступательного движения отвечал за скорость перемещения образца волос, движением которого моделировалось перемещение источника излучения вдоль линии соприкосновения волос, тем самым был реализован расчет для различных значений скорости сканирования. Для правильной работы теплофизической модели системы координат в оптической и теплофизической моделях были согласованы. Также стоит упомянуть, что первый член правой части уравнения теплопроводности отвечает за термоэластические эффекты. Помимо прочего, для расчета были установлены начальные условия: начальная температура 298,15 К, давление 101 кПа и наличие естественной конвекции окружающего волосы воздуха.

Таблица 3

Теплофизические и кинетические свойства волоса человека

Плотность, кг/м^3	**Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К)**	**Удельная теплоемкость, Дж/(кг·К)**	**Фактор частоты, с$^{-1}$**	**Энергия активации, Дж/моль**
$1{,}31\times10^3$	0,37	$1\cdot10^4$	$2{,}49\times10^{13}$	$1{,}47\times10^5$

В теплофизической модели рассчитывались максимальные значения температуры и функции Аррениуса на линии соприкосновения волос. Функция Аррениуса используется для оценки термических повреждений биоткани и рассчитывается как:

$$\Omega = \int_0^t A e^{-\frac{E_a}{RT}} dt ,$$

где Ω – значение функции Аррениуса, t – время, A – фактор частоты, E_a – энергия активации, R = 8,31 Дж/(моль·К) – универсальная газовая постоянная; T – температура. Функция Аррениуса принимает значения от 0 до 1, при этом единица соответствует наличию необратимых термических повреждений ткани, например коагуляции.

В теплофизических расчетах рассмотрены два случая взаимодействия лазерного излучения с волосом: стационарный (лазерное пятно неподвижно) и нестационарный (лазерное пятно двигается с постоянной скоростью). В стационарном случае параметрами лазерного воздействия являлись мощность излучения и длительность воздействия, мощность менялась от 0,5 до 2 Вт с шагом 0,1 Вт, а длительность воздействия от 0 до 5 секунд с шагом 0,05 секунд. В нестационарном случае параметрами лазерного воздействия являлись мощность излучения и скорость сканирования, мощность менялась от 1 до 10 Вт с шагом 0,5 Вт, а скорость от 10 до 400 мм/мин с шагом 10 мм/мин. В обоих случаях были получены зависимости температуры и значения функции Аррениуса от параметров воздействия. В свою очередь из этих зависимостей были выведены зависимости времени или скорости достижения температуры денатурации волоса и значения функции Аррениуса равного единице от мощности излучения.

К оптимальным параметрам воздействия предъявлялись два условия: температура в области соединения должна превышать температуру денатурации волоса, а значение функции Аррениуса не превышать единицы. Таким образом, границами областей оптимальных параметров стали упомянутые ранее выведенные зависимости. В результате для стационарного и нестационарного случаев были получены диаграммы параметров (рис.2) с областями оптимальных параметров, областями недостаточного нагрева (температура ниже температуры денатурации волоса) и областями перегрева (значение функции Аррениуса равно единице).

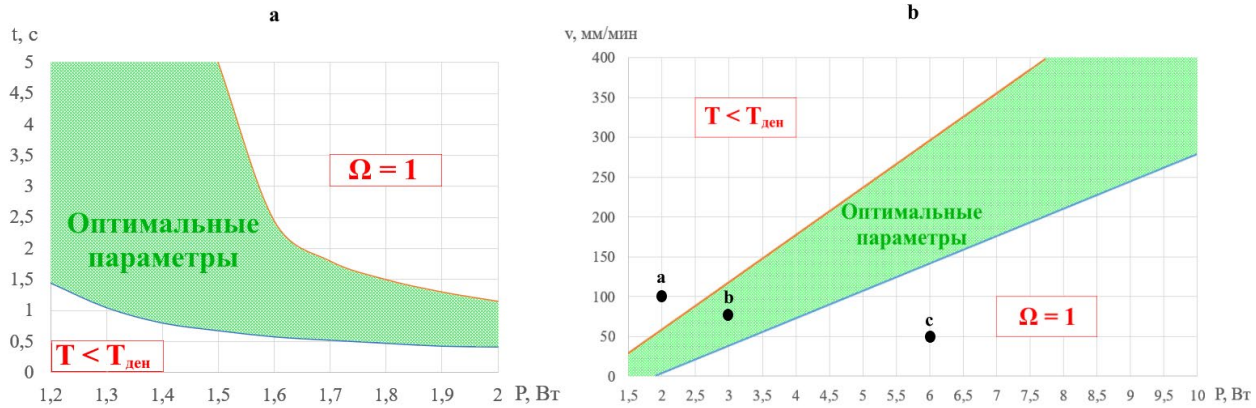


Рис. 2 – Диаграмма параметров с областью оптимальных параметров для стационарного случая (a) и для нестационарного случая (b)

Для практической оценки возможности лазерного наращивания волос при различных режимах воздействия были проведены эксперименты по соединению двух волос лазерным излучением. В испытаниях были использованы человеческие темные сухие волосы. В качестве источника излучения применялся лазер Alta-ST (Dental Photonics Inc., США) с длиной волны 980 нм, лазер работал в непрерывном режиме. Излучение доставлялось по оптоволокну, передвигавшемуся вдоль закрепленного в держателе образца. Движение волокна обеспечивалось специальной системой, контролируемой с помощью компьютера.

Использованные рабочие режимы аналогичны рассмотренным в нестационарном случае теплофизического моделирования. Обработанные образцы волос анализировались и фотографировались с помощью оптического микроскопа AxioScope A1 (Carl Zeiss, Германия), оснащенного фотокамерой AxioCam (Carl Zeiss, Германия).

Образцы волос после лазерного воздействия оценивались по наличию или отсутствию соединения, а также по характеру термических повреждений (при наличии). Такой подход позволил определить, соответствуют ли полученные экспериментально результаты результатам, предсказанным моделированием. Оказалось, что большинство результатов сходится. Для примера на рисунке 3 представлены результаты обработки волос излучением с длиной волны 980 нм при трех различных режимах, буквы фотографий образцов соответствуют буквам точек на диаграмме параметров (рис.2,b). На первой фотографии имеем не претерпевшие изменений волосы при параметрах, лежащих в зоне недостаточного нагрева. На второй фотографии видим успешно соединенные волосы при оптимальных параметрах. Наконец на третьей фотографии представлены волосы с обширными термическими повреждениями (коагуляцией и карбонизацией) при параметрах, находящихся в зоне перегрева. Таким образом, можно утверждать, что соединение волос лазерным излучением с длиной волны 980 нм для наращивания возможно, а созданные компьютерные модели можно считать адекватными.

В ходе исследования созданы компьютерные оптическая и теплофизическая модели волос и взаимодействия лазерного излучения с ними. При теплофизическом моделировании получены зависимости температуры и функции Аррениуса от параметров воздействия. Из данных зависимостей выведены зависимости времени и скорости достижения температуры денатурации волоса и значения функции Аррениуса равного единице от мощности излучения. Моделирование позволило определить области оптимальных параметров для проведения процедуры наращивания волос лазерным излучением с длиной волны 980 нм для стационарного и нестационарного случаев. Были проведены эксперименты по соединению волос лазерным излучением для наращивания. Результаты этих экспериментов подтвердили возможность наращивания волос предложенным способом и показали удовлетворительное соответствие результатам моделирования. В дальнейшем планируется провести исследования с излучением на других длинах волн и с волосами различных цветов.

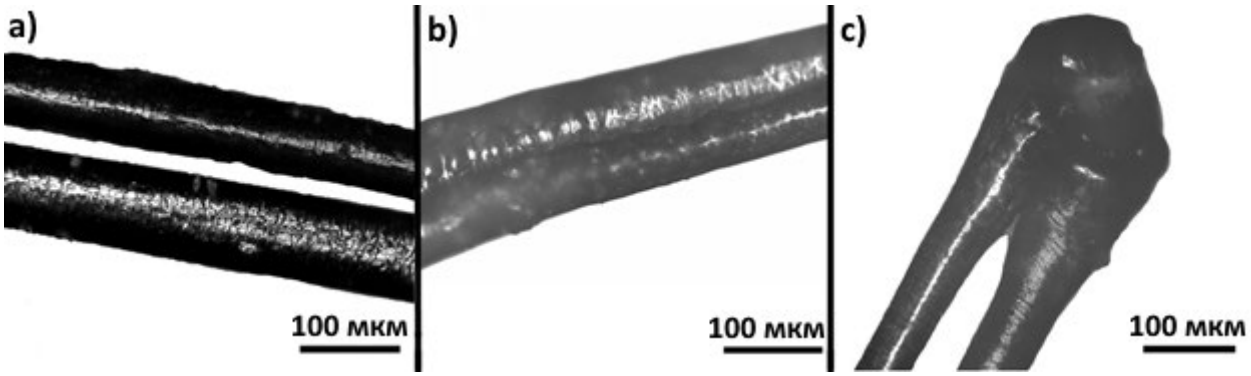


Рис. 3 – Фото образцов волос обработанных: a) при 2 Вт и 100 мм/мин;
b) при 3 Вт и 70 мм/мин; c) при 6 Вт и 50 мм/мин

Список использованных источников

1. Porterfield C. The forensic value of processed human hair extensions. – University of Central Oklahoma, 2014. – 216 p.
2. Robbins C.R. Chemical and physical behavior of human hair. – Berlin: Springer, 2012. – 746 p.
3. Huang X. Review of human hair optical properties in possible relation to melanoma development // Journal of Biomedical Optics. – 2018. – V.23. – №5. DOI:10.1117/1.JBO.23.5.050901.
4. Petrovicova E., Kamath Y.K. Heat transfer in human hair // International Journal of Cosmetic Science. – 2019. – V.41. – Pp. 387–390.
5. Lima C.R.R.C. et al. Thermoanalytical characterization study of hair from different ethnicities // Journal of Thermal Analysis and Calorimetry. – 2016. – V.23. – Pp. 2321–2328.

УДК 004.93’11

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ДЕТЕКТИРОВАНИЯ ОПАСНЫХ ОТКАЗОВ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ В ПРОЦЕССЕ САМОДИАГНОСТИКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

Казакова С.А.

Научный руководитель – Коржук В.М., кандидат технических наук, доцент факультета безопасности информационных технологий

sophia.kazakova-00@yandex.ru

Ключевые слова

Звуковые аномалии, акустические аномалии, вневыборочные данные, автоматизированный мониторинг оборудования, автокодировщик, предобученные модели машинного обучения.

Актуальным подходом к решению задачи детектирования опасных отказов является автоматизация мониторинга оборудования. Её прикладное решение подразумевает создание системы постоянного отслеживания состояния оборудования с целью детектирования отклонений в работе оборудования (аномалий). В случае обнаружения аномалии для дальнейшей диагностики и разрешения возникшей ситуации (остановка производства, ремонт, возобновление работы и др.) привлекается оператор.

Рынок мониторинга оборудования не ограничивается системами аналитики, но отражает глобальность запроса на подобные технологии. За последние три года было проведено несколько международных исследований, последнее – в 2021 году. Эксперты оценили рынок в 3 миллиарда долларов. Предполагается, что к 2026 году он будет составлять уже 5,2 миллиарда [1].

Быстрое развитие и повышение спроса на технологии мониторинга со стороны бизнеса создало спрос в научной среде – в «State of the Art Review» 2021 года эксперты назвали крупнейшие лаборатории по этому направлению – они открылись уже в сорока университетах США, Канады, Китая, Индии и по всей Европе [2].

Аналогичная задача сформулирована на международном конкурсе DCASE (Detection and Classification of Acoustic Scenes and Events) – «детектирование аномальных звуков для мониторинга состояния оборудования без обучения на аномалиях» [3]. Среди организаторов направления выступают крупные коммерческие предприятия (Hitachi, Google, NTT) и представители университетов. Данное направление в конкурсе существует с 2020 года, и развивается с последовательным усложнением датасета. В данной работе решение разрабатывается и тестируется на основе предложенных в задании 2022 года датасетов DCASE.

Модели детектирования аномалий

Модель построена на архитектуре YAMNET, так как переобучение последнего слоя не требует такого количества данных, как при обучении сети с нуля. Данные целевого домена были дополнительно аугментированы. Таким образом, были получены относительно сбалансированные выборки, содержащие в себе образцы всех подклассов всех секций данных. Общая архитектура новой сети представлена на рисунке 1. Подробно внутренние блоки описаны далее.

Алгоритмы работы блоков, обозначенных как «обработка обучающей выборки» и «обработка тестовой выборки» представлены на рисунке 2. Обработка тестовых данных содержит представление данных в виде, удобном для обработки нейросетью и аугментацию данных целевого домена.

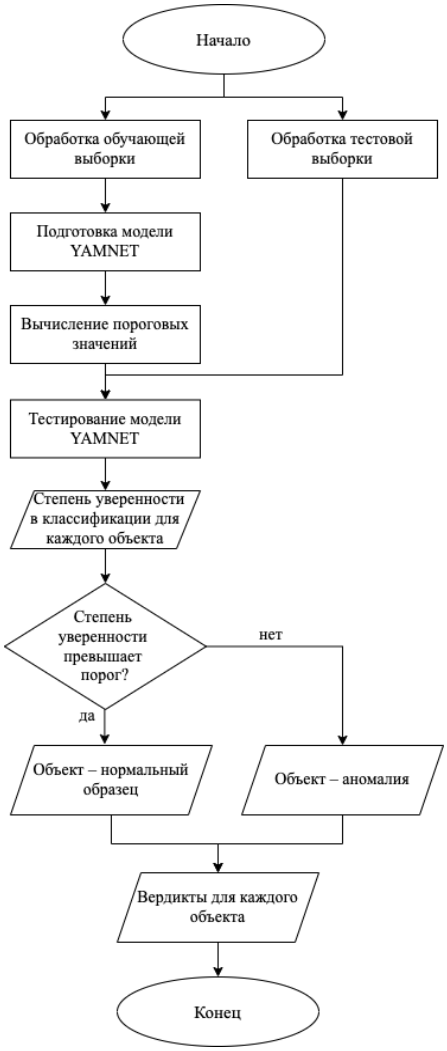


Рис. 1 – Схема модели на YAMNET

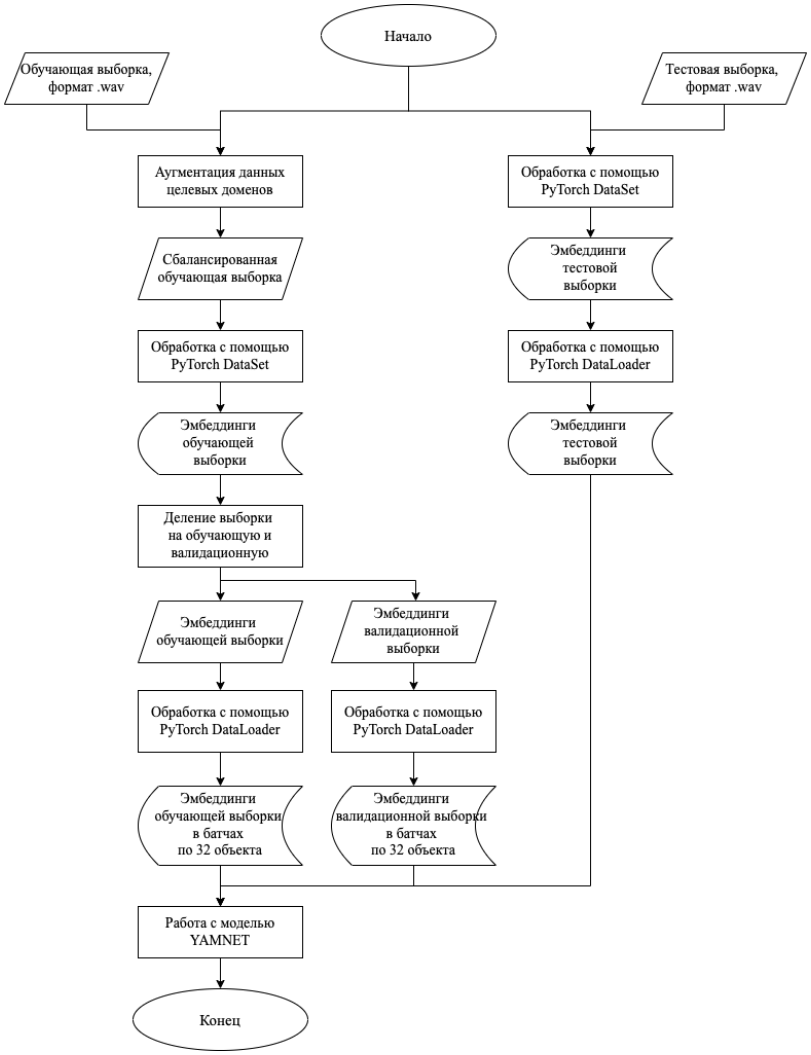


Рис. 2 – Алгоритм обработки обучающей и тестовой выборок

Алгоритм подготовки модели YAMNET к использованию на обработанных данных начинается с загрузки модели из сети Интернет с соответствующего репозитория системы контроля версий Git. Далее необходимо разблокировать веса сети, то есть отменить их фиксацию, чтобы в процессе переобучения последнего слоя произошла коррекция весов предыдущих слоев. Этот процесс называется «тонкой настройкой». Далее последний слой сети переобучается. На выходе для каждого элемента подсчитывается принадлежность его к целевому классу оборудования и степень уверенности модели в результате классификации в процентах. Степень уверенности вычисляется по-разному в зависимости от используемой функции активации, и в данном случае является вероятностью принадлежности образца к выбранному классу.

Далее на основании полученных данных вычисляется порог для определения нормальности/аномальности записи. Алгоритм подсчета приведен на рисунке 3.

По результатам экспериментов было выявлено, что модель определяет данные из разных доменов с разной степенью уверенности. В связи с этим пороги считаются отдельно для каждой секции. Сначала вычисляется среднее арифметическое, затем – допустимый разброс. В экспериментах за допустимый разброс считается половина максимального отклонения степень уверенности от среднего арифметического. За порог для обучающей выборки принимается разность среднего арифметического и допустимого разброса. Порог тестирования вычисляется как разность порога обучения и константы a, так как эксперименты показали, что уверенность модели на тестовой выборке в среднем ниже, чем на обучающей. Подбором константа была определена как $a = 5$.

Рис. 3 – Алгоритм подсчета пороговых значений

После того, как порог тестирования определен, модель обрабатывает тестовую выборку и также выводит степень уверенности в классификации для каждого объекта. Далее она сравнивается с вычисленным ранее порогом и на основании сравнения присваивается метка «аномалия» или «норма».

Модель детектирования опасных отказов

С точки зрения типовой структуры в АСУ ТП можно выделить три уровня [5]. Нижний уровень представляет собой различные датчики и сенсоры. Для работы модели, предложенной в предыдущем разделе, необходимы одноканальные микрофоны с частотой 16кГц. Средний уровень состоит из программируемых логических контроллеров, которые обрабатывают данные нижнего уровня и передают результаты обработки выше. На этом уровне располагается разработанная модель детектирования аномалий. Верхний уровень – уровень пользовательского интерфейса, к которому относится оператор и взаимодействие с ним.

С учетом этой структуры была разработана модель детектирования опасных отказов. В фоновом режиме производится сбор данных с датчиков на производстве, в нашем случае, микрофонов. Тем не менее, в дальнейшем данная система может быть расширена и другими датчиками, если добавить в систему модель первой из представленных архитектур и обучить её на другом типе данных – температуре, давлении, любых показателях, которые можно представить численно.

Полученные данные передаются в модель детектирования аномалий. Если данные нормальны, модель продолжает работу. Если обнаруженная аномалия, данные передаются на верхний уровень АСУ ТП с оповещением о возможности опасного отказа и информацией о том, с какого датчика получены исходные данные. При этом модель продолжает обрабатывать новые звуки. Решение о том, является ли данный отказ опасным, а срабатывание – истинно-положительным, принимает оператор.

Эксперименты проводились на языке Python 3.9. Проект реализован на TensorFlow, тестировался в Google Colaboratory. Результаты экспериментов приведены в таблице.

Для новой сети была выбрана другая структура экспериментов, основанная на выводах из работы с моделью на автокодировщике. Большой разницы в использовании разных классов в качестве выбросов не было обнаружено, так что система тестировалась на сочетании обдув + рельс (это сочетание показало наибольший pAUC в предыдущем эксперименте), на обдуве в качестве единственного класса, а также с вариативностью архитектуры по аугментации.

Таблица

Результаты эксперимента

	Обдув	**Обдув + рельс**	**Растяжение, фоновый шум, питч-шифт**	**Растяжение, питч-шифт**
AUC, среднее	70.79	74.49	74.91	80.05
pAUC, среднее	65.07	70.84	72.19	74.54

Помимо этого, оценка проводилась не только по секциям, но и по внутренним доменам (целевой/исходный), так как это разделение показывает ощутимое влияние на общий результат работы системы. В данной работе приведены сокращённые результаты экспериментов.

Лучший результат показала система с использованием метода воздействия выбросами. Далее она была выбрана для добавления аугментации. Тестировалось три типа аугментации – по фоновому шуму (смешивание с данными из датасета IDMT-ISA-ELECTRIC-ENGINE), растяжение (для изменения рабочих частот и уменьшения «пустых» фрагментов на концах аудиозаписи) и питч-шифт. Питч-шифт – добавление к сигналу его копии, смещенной по тону.

Добавление аугментации не показало ожидаемого прироста. По результатам экспериментов оказалось, что добавление аугментации фонового шума звуками из набора данных IDMT-ISA-ELECTRIC-ENGINE наоборот, понижает качество распознавания. Далее были проведены дополнительные эксперименты, в результате которых был достигнут ожидаемый порог в $AUC = 80\%$.

Данная модель является базовым компонентом системы автоматизированного мониторинга оборудования. Для использования на производстве лучшим подходом будет переобучить последний слой на данных, связанных к конкретным образцам оборудования для повышения точности работы системы в условиях данного предприятия.

В общем случае результат можно улучшить, создав ансамбль подобных моделей с принятием решений по большинству голосов. Такая система будет затратнее по ресурсам, особенно памяти, но в случае многоядерной системы и имплементации параллельных вычислений, время работы практически не изменится.

Используя систему в известных условиях, можно повысить точность работы системы использованием шумоподавления. Для этого необходимо провести частотный анализ фонового шума производства, частот правильной работы целевого оборудования и настроить фильтр соответствующим способом. В случае ансамбля систем настраивать шумоподавление стоит не у всех систем, на случай если неисправность будет связана с изменением частотных характеристик. В этом случае необходимо будет также настроить веса «голосов» отдельных систем, чтобы сигнал о неправильных частотных характеристиках попал в итоговый отчет всей системы.

Список использованных источников

1. Mordor Intelligence. Machine Condition Monitoring Market – Growth, Trends, COVID-19 Impact, And Forecasts (2022 – 2027). [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/machine-condition-monitoring-market (дата обращения: 02.04.2022).
2. Ali A., Abdelhadi A. Condition-Based Monitoring and Maintenance: State of the Art Review. // Applied Sciences. – 2022. – №12. – 688 p.
3. Unsupervised Anomalous Sound Detection for Machine Condition Monitoring Applying Domain Generalization Techniques. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://dcase.community/challenge2022/task-unsupervised-anomalous-sound-detection-for-machine-condition-monitoring#autoencoder-based-baseline (дата обращения: 14.04.2022).
4. Hendrycks D., Mazeika M., Dietterich T. Deep anomaly detection with Outlier Exposure // arXiv.org. – 2019. ArXiv abs/1812.04606.
5. АСУ ТП – типовая структура. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:АСУ_ТП_-_типовая_структура (дата обращения: 17.04.2022).

УДК 533.31 681.7 53.082.5

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЛЬТРАЦИИ СПЕКТРА СИСТЕМОЙ ТРЁХ ИНТЕРФЕРОМЕТРОВ ФАБРИ-ПЕРО

Корнеев С.Г.

Научный руководитель – Бахолдин А.В., доцент, кандидат технических наук, профессор центра прикладной оптики, старший научный сотрудник института перспективных систем передачи данных, директор центра прикладной оптики

sh_ark007@mail.ru

Работа проведена в рамках НИР «Фокальные инструменты Крупного Солнечного Телескопа-коронографа» по заказу Института солнечно-земной физики Сибирского отделения РАН [1].

Ключевые слова

Система трёх интерферометров. Фабри-Перо, фильтрограф, алгоритм автоматического подбора, высокая спектральная разрешающая способность, диапазон гашения.

Техническое задание на работу состоит из следующих задач:

1. Узкополосный фильтр должен состоять из системы трёх настраиваемых интерферометров Фабри-Перо (ИФП).
2. В рамках исследования должны быть определены зависимости расстояний между зеркалами ИФП от целевой длины волны.
3. Разработать и исследовать модели узкополосных фильтров для трёх целевых длин волн 393,4 нм, 656,3 нм, 1082,7 нм.
4. Спектральная разрешающая способность системы не менее 180000.
6. В рамках исследования должны быть найдены такие промежутки между зеркалами ИФП, при которых будет достигнут максимальный диапазон гашения побочных пиков вокруг целевой длины волны. Допустимая остаточная величина пропускания побочных пиков в диапазоне гашения не должна превышать 2% от пропускания на целевой длине волны.

Модель работы интерферометра Фабри-Перо

Модель работы одиночного интерферометра описывается тремя уравнениями:

$$\Delta = 2Lcos\theta = m\lambda, \tag{1}$$

$$I(\lambda) = \frac{t^2}{1+r^2-2rcos\left(\frac{2\pi}{\lambda}\cdot 2Lcos\theta\right)}, \tag{2}$$

$$R = \frac{\lambda}{\delta\lambda} \approx \frac{2\pi L\sqrt{r}}{\lambda(1-r)}, \tag{3}$$

где Δ – разность хода, L – расстояние между зеркалами, θ – угол падения излучения на интерферометр m – порядок интерференции, λ – длина волны, $I(\lambda)$ – спектральное распределение интенсивности на выходе интерферометра Фабри-Перо, t – коэффициент пропускания зеркальных покрытий, r – коэффициент отражения зеркальных покрытий, R – спектральная разрешающая способность интерферометра, $\delta\lambda$ – полуширина на длине волны λ [2]. Так как угол падения θ равен нулю, то его можно не учитывать. Из выражения (1) определяется набор расстояний между зеркалами при выделении длины волны λ:

$$L = \frac{m}{2}\lambda. \tag{4}$$

Для получения спектрального распределения интенсивности на выходе системы трёх интерферометров достаточно перемножить уравнения спектрального распределения интенсивности каждого интерферометра, которые определяются выражением (2).

В качестве зеркальных покрытий выбрано серебро. Коэффициенты отражения и пропускания приведены в таблице 1.

Таблица 1

Коэффициенты отражения и пропускания на трёх целевых длинах волн

Длина волны, нм	Коэффициент отражения	Коэффициент пропускания
393,4	0,860350	0,078912
656,3	0,880092	0,099305
1082,7	0,862568	0,113510

Алгоритм автоматического подбора

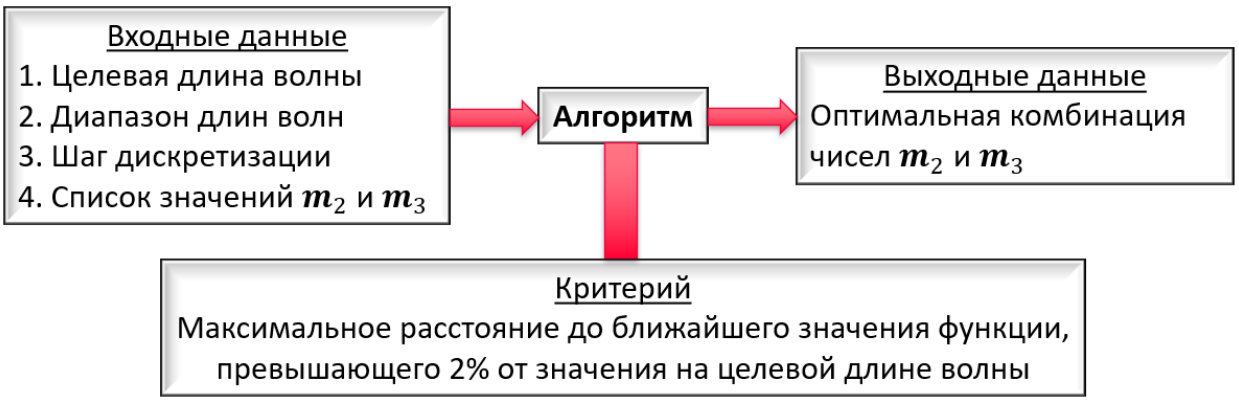


Рис. 1 – Схема работы алгоритма

На рисунке 1 изображена схема, описывающая работу алгоритма. То есть алгоритм из всех заданных комбинаций чисел m_2 и m_3 находит лучшую комбинацию, при которой достигается максимально возможный диапазон гашения ближайших побочных максимумов, величина которых превышает 2% от величины максимума на целевой длине волны. Число m_1 вычисляется с помощью уравнения спектральной разрешающей способности (3):

$$m_1 = round\left(R\frac{1-r}{\pi\sqrt{r}}\right),$$

где round() – округление до целого, R – спектральная разрешающая способность, взятая равной 180000.

С помощью выражения (4) происходит переход от чисел m к расстояниям между зеркалами интерферометров. Таким образом, с помощью данного алгоритма определяются расстояния между зеркалами для трёх интерферометров. Фабри-Перо, при которых выделяется на целевой длине волны максимум со спектральной разрешающей способностью 180000 и достигается максимально возможный диапазон гашения ближайших побочных максимумов, превышающих 2%.

В таблице 2 представлены расстояния между зеркалами, при которых на соответствующей целевой длине волны удаётся расчистить максимально возможный диапазон от побочных максимумов. Стоит отметить, что чем выше коэффициент отражения зеркальных покрытий – тем относительно большего диапазона гашения возможно добиться. Также диапазон гашения увеличивается с увеличением значения целевой длины волны.

Таблица 2

Результаты работы алгоритма

Целевая длина волны, нм	L_1, нм	L_2, нм	L_3, нм	Расстояние до ближайшего пика слева, нм
393,4	1696734,2	1286024,6	1472692,9	4,1
656,3	2403042,45	1662407,9	1876361,7	12,8
1082,7	4589565,3	3131168,4	3216701,7	13,5

Исследование зависимости расстояний между зеркалами от выделяемой длины волны

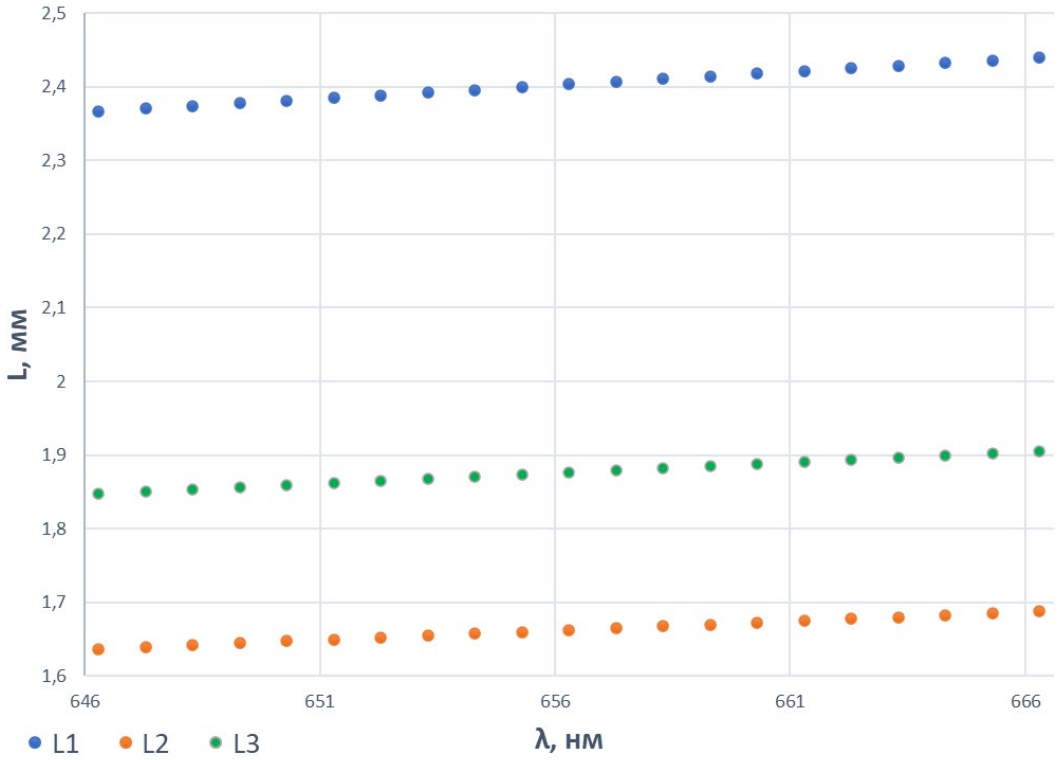


Рис. 2 – Графики зависимости расстояний между зеркалами каждого из трёх ИФП L1, L2, L3, рассчитанные с помощью алгоритма, от выделяемой длины волны

При расчётах для всех длин волн был взят коэффициент отражения и пропускания из таблицы 1 соответствующий длине волны 656,3 нм. В результате работы алгоритма для всех выделяемых длин волн были получены одна и та же тройка чисел m. Таким образом, из рисунке 2 и из выражения (4) видно, что зависимость расстояний между зеркалами интерферометров от выделяемой длины волны имеет линейных характер при условии, что коэффициенты отражения и пропускания не изменяются.

В результате работы была создана модель работы системы трёх интерферометров Фабри-Перо и разработан алгоритм автоматического подбора расстояний между зеркалами каждого интерферометра. Найдены расстояния между зеркалами интерферометров для выделения максимума на целевых длинах волн 393,4 нм, 656,3 нм и 1082,7 нм со спектральной разрешающей способностью 180000 и диапазоном гашения ближайших побочных максимумов, равным 4,1 нм, 12,8 нм и 13,5 нм соответственно. Определена линейная зависимость расстояний между зеркалами интерферометров от выделяемой длины волны при условии, что коэффициенты отражения и пропускания не изменяются.

Список использованных источников

1. Григорьев В.М., Демидов М.Л., Колобов Д.Ю., Пуляев В.А., Скоморовский В.И., Чупраков С.А., команда AMOS. Проект Крупного солнечного телескопа с диаметром зеркала 3 м // Солнечно-земная физика. – 2020. – Т.6. – №2. – С. 19–36. DOI: 10.12737/szf-62202002.
2. Born M., Wolf E. Principles of Optics (6th ed.). Oxford: Pergamon. – 1980.

УДК 004.422.81

ПРОТОТИП КОММУНИКАЦИОННОГО МОБИЛЬНОГО ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ СОЗДАНИЯ И ПРОСЛУШИВАНИЯ КОРОТКИХ АУДИО

Микаилов Т.И.

Научный руководитель – Иванов С.Е., доцент, кандидат физико-математических наук, доцент факультета инфокоммуникационных технологий

taagimikailov@gmail.com

Ключевые слова

Мобильное приложение, Android, Firebase, MediaRecorder, ExoPlayer, Yandex Speech Kit.

В современном мире важность создания и потребления медиа контента трудно переоценить, ведь с помощью различного рода информации человек получает знания и навыки, которые могут пригодиться ему в будущем для успешной коммуникации в обществе. Наличие коммуникационных приложений и сервисов, способных облегчить взаимодействие между незнакомыми людьми на основе общих интересов, позволяет расширить круг общения и улучшить социальные навыки.

В условиях доминирования развлекательно-коммуникационных приложений, основанных на видеоконтенте на рынке мобильных приложений, ниша с использованием аудио контента остаётся относительно не занятой и потенциально интересной для внедрения различных решений. Итак, в качестве объекта передачи информации был выбран аудио файл из-за того, что он занимает в разы меньше серверного пространства, которое ограничено финансовыми возможностями, чем, например видеофайл. Использование аудиозаписей оправдано также и тем, что пользователю для полного использования функционала приложения необходимо лишь предоставить доступ к микрофону мобильного устройства и иметь доступ в сеть интернет.

Основные технологии, используемые для реализации прототипа

Во время всего процесса разработки мобильного приложения в качестве дипломной работы, основным языком программирования был Kotlin, так как это язык высокого уровня, позволяющий создавать короткие синтаксические конструкции необходимые для взаимодействия с компонентами и виджетами.

Язык программирования Kotlin был выбран предпочтительным для разработки мобильных приложений под операционную систему Android компанией Google в 2019 году. При этом новые библиотеки Jetpack теперь публикуются в первую очередь под Kotlin. Kotlin как и Java является статически типизированным языком программирования и базируется на использовании JVM, то есть код написанный на Kotlin компилируется в байт код JVM. Таким образом, на языке Kotlin нельзя написать такой код, который нельзя было бы воспроизвести по функционалу в Java. Однако в отличие от Java в языке программирования Kotlin имеется ряд нововведений, которые упрощают взаимодействие с данными и процесс написания кода: классы данных, сопрограммы, null-безопасность, функции расширения и многое другое [1].

В качестве архитектуры приложения выбор был сделан в сторону использования клиент-серверного подхода ввиду специфики выпускной квалификационной работы.

Для хранения значительного количества данных и облегчения нагрузки на мобильное приложение было принято решение использовать сервис Firebase от компании Google. Firebase – это платформа, состоящая из множества полезных для разработки мобильного приложения сервисов, таких как облачное хранилище данных (Firebase Storage), облачная база данных (Firebase Realtime Database), сервис для авторизации и аутентификации (Firebase Authentication), сервис для аналитики (Firebase analytics) и т.д. [2]. Таким образом, Firebase отлично подходит в качестве реализации серверной части.

В качестве архитектуры для клиентской части выбрано одномодульное приложение с применением архитектурного шаблона MVVM.

MVVM состоит из:

- Model – модели хранят логику взаимодействия с данными. Как правило, это простые классы, работающие в API, базами данных и т.д.;
- View – содержит код, связанный непосредственно с интерфейсом, отображают визуальные элементы и элементы управления (текстовые поля, поля для ввода, кнопки);
- ViewModel – это слой, находящийся между слоями View и Model. Он отвечает за изменение данных в model, а также предоставляет данные для View [3].

Также необходимо отметить основные библиотеки, используемые в мобильном приложении:

- MediaRecorder – это класс позволяющий записывать медиа файлы (аудио и видео файлы) в различных выходных форматах, которые поддерживает операционная система Android, например 3GP или MP4 [4];
- ExoPlayer – это медиа плеер, работающий на уровне приложения Android. Он позволяет проигрывать медиа файлы, а именно аудио и видео достаточно просто как локально, так и из интернета [5].

Сценарий использования мобильного приложения

Пользователь скачивает приложение и открывает его. Во время запуска приложения появляется Splash Screen на котором показывается логотип приложения.

После этого незарегистрированный пользователь попадает на главную страницу, на которой он может прослушивать существующие аудиозаписи других пользователей. Незарегистрированный пользователь может перейти на экран аутентификации с помощью нижнего меню навигации, пункт Me. Таким образом, произойдет перенаправление в пункт назначения ProfileWithoutAccountFragment.

На экране ProfileWithoutAccountFragment (рис.1) можно увидеть кнопку авторизации, после нажатия на которую откроется экран регистрации нового пользователя SignUpFragment.

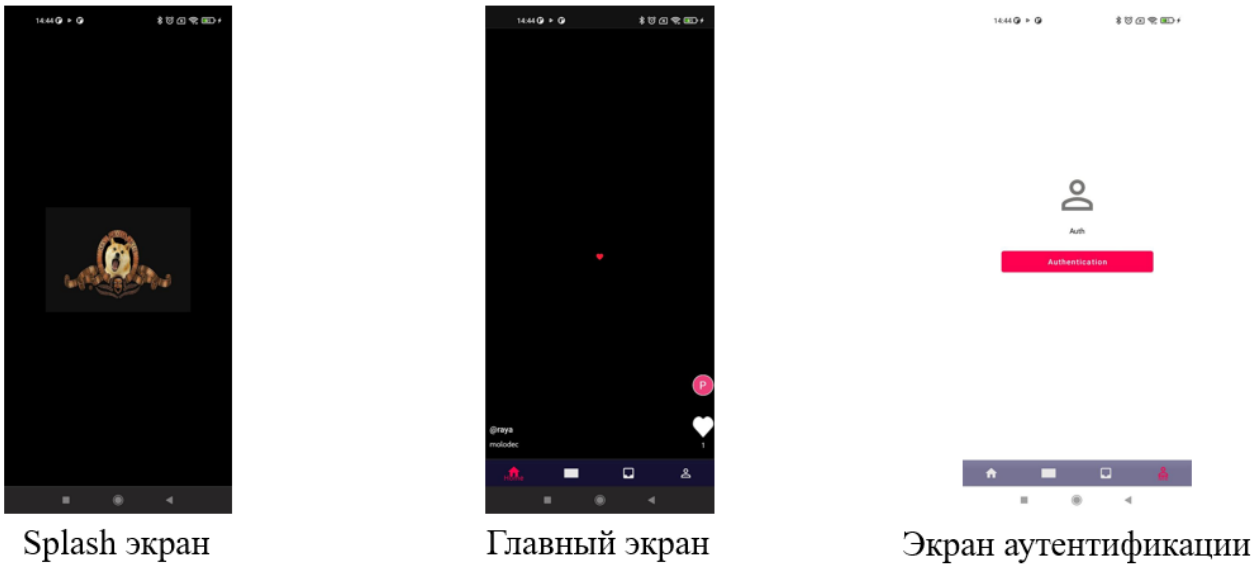
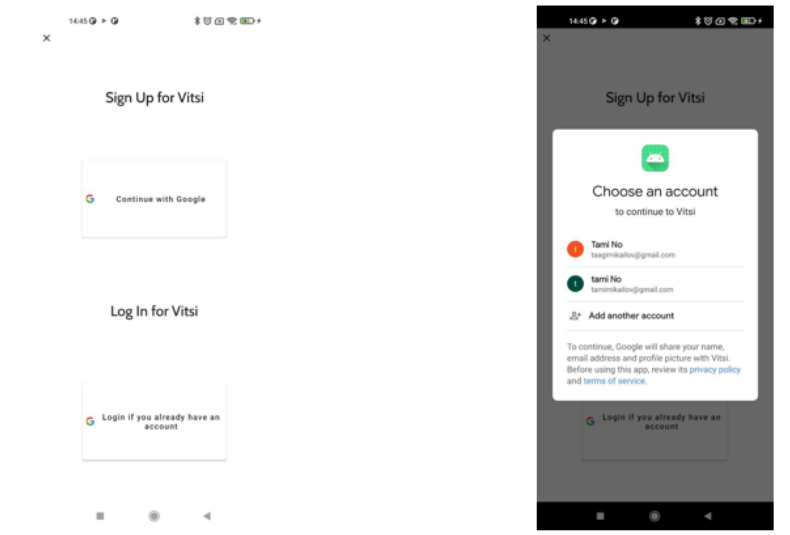


Рис. 1 – Splash Screen, главный экран и экран аутентификации

Ниже можно увидеть экран регистрации (рис.2) SignUpFragment, где располагаются кнопки Sign Up и Log in. Нажатие на кнопку Log in перенаправит на фрагмент авторизации и позволит авторизоваться, если у него имеется профиль.

Однако в случае нажатия кнопки Sign Up незарегистрированный пользователь увидит диалоговое окно, в котором можно зарегистрировать новый профиль в приложении, используя Google аккаунт.



Экран регистрации | Диалоговое окно регистрации

Рис. 2 – Экран регистрации и диалоговое окно регистрации

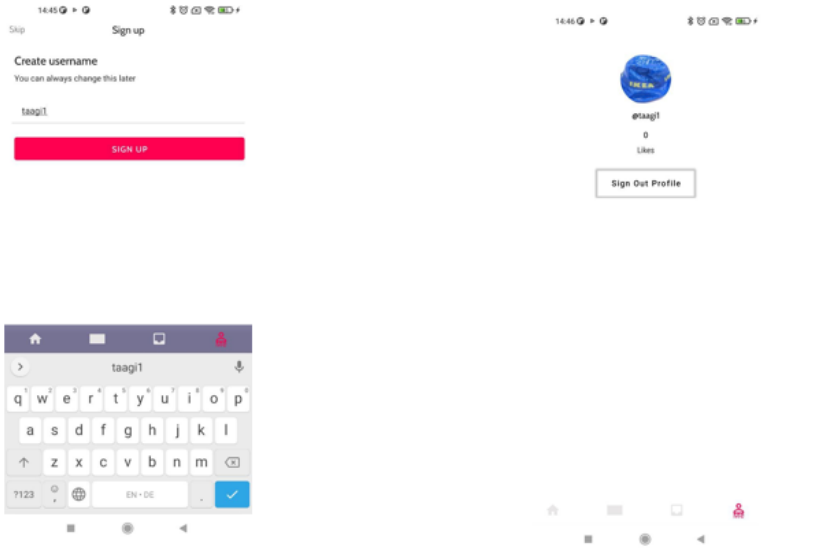
Сразу после регистрации полностью доступны вкладки нижнего меню (рис.3).

Рис. 3 – Меню навигации: Home, Create Audio, Chat, Me

Также после выбора Google аккаунта происходит перенаправление на экран создания никнейма нового пользователя.

После введения никнейма и нажатия на кнопку Sign Up происходит сохранение никнейма в облачной базе данных Firebase Realtime Database и перенаправление на ProfileWithAccountFragment.

Теперь пользователь может видеть свой профиль с изображением Google аккаунта, выбранным никнеймом и общим количеством лайков. На изображении (рис.4) можно увидеть экран фрагмента ProfileWithAccountFragment.



Экран создания никнейма пользователя | Профиль созданного пользователя

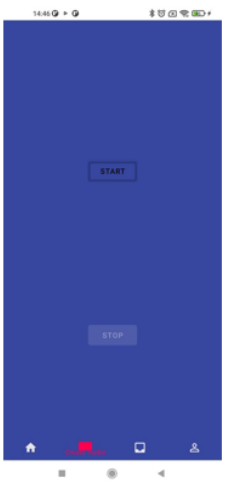
Рис. 4 – Экран создания никнейма пользователя и профиль созданного пользователя

Рассмотрим теперь нажатие на вкладку Create Audio только что зарегистрированного пользователя. Ниже можно увидеть экран создания аудиозаписи AudioFragment (рис.5), где располагаются две кнопки START и STOP.

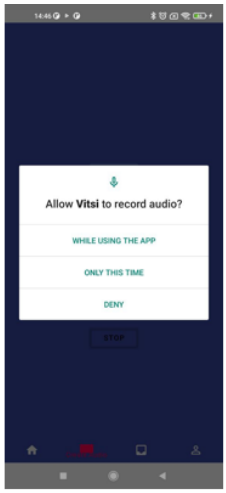
При нажатии на активную кнопку START появляется диалоговое окно, запрашивающее разрешение на использование микрофона мобильного устройства, которое можно увидеть на изображении ниже.

Далее при согласии с запросом на использование разрешения RECORD_AUDIO начинается запись аудиофайла с помощью MediaRecorder. Сразу же после остановки записи происходит перенаправление на фрагмент публикации аудиозаписи PostAudioFragment.

На экране публикации пользователь может добавить произвольное описание, а также хештеги.



Экран создания аудиофайла



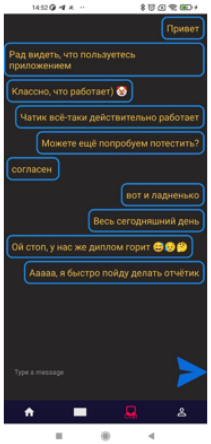
Диалоговое окно с запросом использования микрофона

Экран добавления описания и сохранения

Рис. 5 – Экран создания аудиофайла, диалоговое окно с получением разрешения и экран добавления описания и опубликования аудиозаписи

И в конце рассмотрим нажатие на вкладку Chat зарегистрированного пользователя. Ниже можно увидеть фрагмент ChatFragment, отображающий всех зарегистрированных пользователей мобильного приложения (рис.6). При выборе определенного пользователя из списка доступных, текущий пользователь перенаправляется на фрагмент с чатом OneToOneChatFragment, в котором он может отправлять и получать текстовые сообщения.

Список пользователей имеющих доступ к чату



Экран с чатом и историей сообщений конкретного пользователя

Рис. 6 – Экран со списком пользователей и экран с чатом и историей сообщений конкретного пользователя

Перечислим перспективные технологии для расширения функционала:

- Yandex Speech Kit – это сервис, позволяющий распознавать аудиофайлы, и получать расшифрованные текстовые данные отправленного аудиофайла. Взаимодействие с Yandex Speech Kit происходит с помощью API запросов, в тело которых помещается ссылка на записанный пользователем аудиофайл. Расшифрованный текст можно сохранять, например, в поле description соответствующей аудиозаписи в облачной базе данных.
- MaxDiameterClustering – это алгоритм кластеризации коротких текстов, разработанный командой разработчиков из компании X5 Retail Group, помогающий понять к какой тематике относятся рассматриваемые тексты. Алгоритм состоит в том, что необходимо добавлять фразы по одной, затем каждой новой фразе находится максимальное расстояние до каждого из существующих кластеров. Если есть кластер, максимальное расстояние до которого меньше порога, добавляем новую фразу к нему, если нет, то создаём новый кластер.

Также стоит отметить, что распознанный текст – это, по сути, готовый Body для отправки запроса к Image Search API Google или Yandex, например с помощью сервиса SerpApi. Таким образом, мы получаем ссылки на ассоциированные с шуткой картинки и можем отображать их пользователю во время прослушивания аудиозаписи.

В ходе выполнения работы был реализован прототип коммуникационного мобильного приложения для создания и прослушивания коротких аудио. Спроектированное мобильное приложение позволяет создавать аудиозаписи и делиться своими шутками и идеями с остальными пользователями, а также общаться с пользователями мобильного приложения посредством внутреннего чата приложения. Также описаны перспективные технологии для дальнейшего расширения функционала приложения.

Список использованных источников

1. Солонько М.К. Язык программирования KOTLIN // Вестник науки и образования. – 2020. – №7-1(85). – С. 25–27.
2. Павлов М.В. Актуальность использования firebase (NoSQL-СУБД) для развертывания мобильных приложений // Россия молодая. – 2021. – С. 031449.2.
3. Nayab A., Ghafoor S. Analysis of Architectural Patterns for Android Development. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.researchgate.net/publication/352021976_Analysis_of_Architectural_Patterns_for_Android_Development (дата обращения: 14.04.2022).
4. Официальный сайт Android документации, раздел об MediaRecoder. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://developer.android.com/guide/topics/media/mediarecorder (дата обращения: 14.04.2022).
5. Официальный репозиторий ExoPlayer, документация. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://developer.android.com/reference/android/widget/EditText (дата обращения: 14.04.2022).

УДК 628.349, 620.193

ПОДБОР ХИМИЧЕСКИХ РЕАГЕНТОВ ДЛЯ НОРМАЛИЗАЦИИ РАБОТЫ СИСТЕМЫ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД BIOCON

Митенева С.Е.

Научный руководитель – Успенская М.В., профессор, доктор технических наук, директор и профессор центра химической инженерии, директор и ведущий научный сотрудник научно-исследовательского центра биоинженерии

miteneva.sofya.99@mail.ru

Ключевые слова

Микробиологическая коррозия, сульфатвосстанавливающие бактерии, биозараженность, сточные воды, система BIOCON, метод предельных разведений, бактерициды.

Микроорганизмы – самая многочисленная форма жизни на земле, которая тесно связана со всеми сферами нашего общества, в том числе и нефтегазовой. Анализ пластовых вод, добываемых с месторождений, показал наличие в них огромного количества различных популяций - сульфатредуцирующих, восстанавливающих тиосульфат и элементарную серу, бродильных, углеводород- и нефтеокисляющих бактерий и др.

Основной же проблемой нефтедобывающих компаний, связанной с жизнедеятельностью микробных клеток, является микробиологическая коррозия, представляющая собой различные деструктивные процессы на поверхности оборудования. Из огромного разнообразия всей микрофлоры вод, необходимых для поддержания пластового давления при добыче нефти, основную коррозийную опасность представляют именно сульфатвосстанавливающие бактерии, поскольку в результате их жизнедеятельности активно вырабатывается сероводород – основной агент биокоррозии [1].

Сульфатвосстанавливающие бактерии могут быть представлены в двух формах – планктонной и адгезированной. С точки зрения микробиологической коррозии – наиболее опасна именно вторая, поскольку бактерии оседают непосредственно на поверхности металла [2].

При этом основным очагом заражения являются сточные воды (бытовые, производственные, атмосферные), для очистки которых на месторождениях используются физико-химические системы BIOCON. Однако, как показывает практика, данные системы очистки не справляются с очень высокими показателями биозараженности, поэтому своевременные работы по определению показателя заражения и борьбе с микрофлорой имеют очень высокую значимость в процессах добычи нефти.

Для оценки биозараженности существует множество различных методов, однако ведущим является метод предельных разведений с использованием питательных сред. Это обусловлено тем, что данный метод не требует большого количества материалов и оборудования, в отличие от того же метода с использованием люменометра, и показывает более точные результаты, чем визуальные методы (с использованием слайд тестов, «метод висячей капли», «метод раздавленной капли») [3].

Для подавления жизнедеятельности микроорганизмов также существует целый ряд методов, которые можно разделить на физические и химические. На практике преимущественно используется именно химический метод – применение бактерицидов, поскольку физические методы (термообработка горячим паром, применение ионизирующего излучения, обработка ультразвуком) не нашли широкого применения из-за сложности оборудования и трудоемкости [4].

Задачами же данного исследования являются своевременное выявление бактериальной зараженности сточных вод системы BIOCON и безопасных стоков, представленные на рисунке, и подбор наиболее эффективного бактерицида для борьбы с микрофлорой.

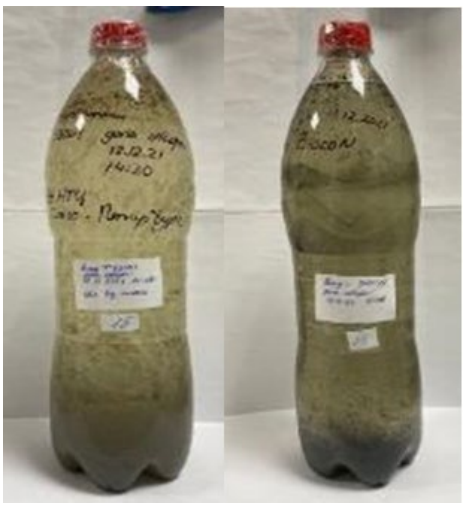


Рисунок – Сточные воды №15 (системы BIOCON) и №18 (безопасных стоков)

В ходе данной работы было выявлено методом предельных разведений, что сточные воды системы BIOCON и безопасных стоков имеют очень высокую биозараженность планктонной в таблице 1 и адгезированной в таблице 2 формами сульфатвосстанавливающих бактерий.

Таблица 1

Оценка биозараженности планктонной формой сульфатвосстанавливающих бактерий

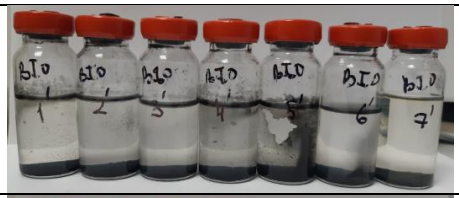
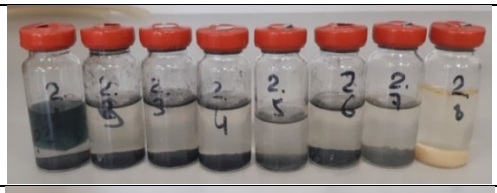
Шифр пробы	**Место отбора**	**Количество зараженных флаконов**	**Количество бактерий в 1 мл посевного материала (М), кл**	**Внешний вид сред Постгейта**
№15	Выход BIOCON	7	10^6	
№18	Безопас-ные стоки	7	10^6	

Таблица 2

Оценка биозараженности адгезированной формой сульфатвосстанавливающих бактерий

Шифр пробы	**Место отбора**	**Количество зараженных флаконов**	**Количество бактерий в 1 мл посевного материала (М), кл**	**Внешний вид сред Постгейта**
№15	Выход BIOCON	7	10^6	
№18	Безопас-ные стоки	8	10^7	

Также, для дополнительного исследования, нами был проведен опыт по количественному определению содержания сероводорода и его ассоциатов методом йодметрического титрования. При условии того, что в водах, нагнетаемых в пласты для поддержания пластового давления, сероводород (и его ассоциаты) должен отсутствовать, полученные значения еще раз говорят об очень высоком показателе биозараженности. Результаты эксперимента представлены в таблице 3.

Таблица 3

Результаты йодметрического титрования по определению содержания сероводорода и его ассоциатов в сточной воде

Наименование пробы	Контрольная проба со средой Постгейта			Зараженная СВБ проба		
Объем среды, мл	3			3		
Объем йода, мл	5			5		
Номер испытания	1	2	3	1	2	3
Объем титранта, мл	5,40	5,65	5,60	4,40	4,50	4,55
Средний объем титранта, мл	5,55			4,70		
Поправочный коэффициент, К	0,90					
Количество сероводорода, мг/л	433,50					

При этом количество сероводорода и его ассоциатов вычислялось по формуле:

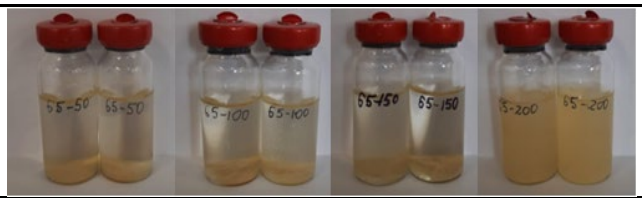
$$X = (a - b) * 17 * N * K / V , \quad (1)$$

где a – средний объем титранта для титрования раствора йода, мл; b – средний объем титранта для зараженной СВБ жидкости из посевных флаконов, мл; N – нормальность раствора натрия серноватистокислого; V – объем анализируемой жидкости, мл; 17 – эквивалентный вес сероводорода; X – количество сероводорода и его ассоциатов в литре анализируемой жидкости, мг/л; К – поправочный коэффициент раствора $Na_2S_2O_3$.

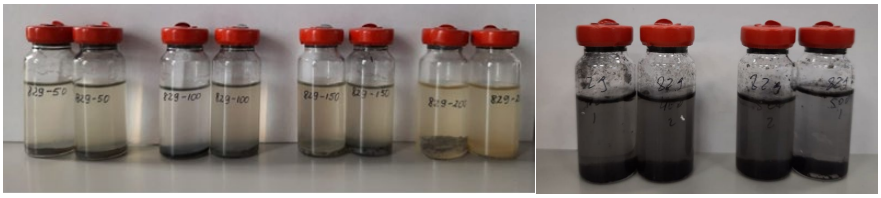
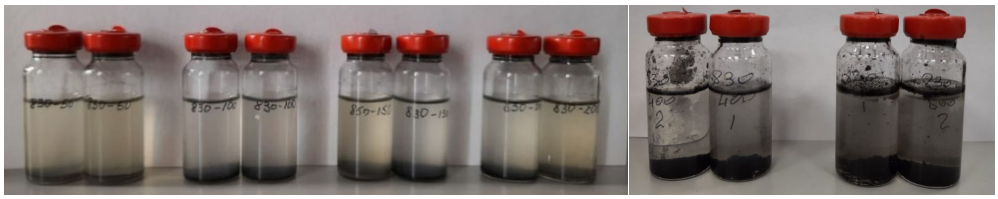
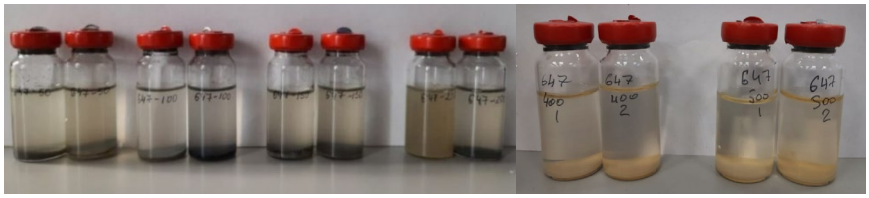
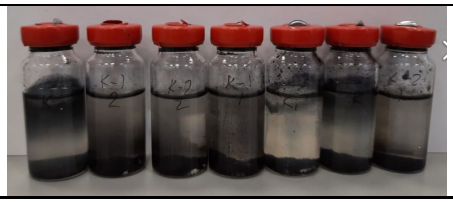
Из результатов по определению эффективности бактерицидов лишь два из семи безликих реагентов различных производителей дали положительные результаты – 65 и 647, причем первый оказался примерно в 3 – 3,5 раза более эффективным и менее затратным. Результаты действия бактерицидов различной концентрации относительно планктонной формы представлены в таблице 4.

Таблица 4

Оценка эффективности бактерицидов относительно планктонной формы сульфатвосстанавливающих бактерий

ХР	**Дозировка мг/дм^3**	**Результаты экспериментов**
65	50, 100, 150, 200	
72	50, 100, 150, 200, 400, 500	

Продолжение таблицы 4

ХР	**Дозировка мг/дм^3**	**Результаты экспериментов**
63	50, 100, 150, 200, 400, 500	
829	50, 100, 150, 200, 400, 500	
830	50, 100, 150, 200, 400, 500	
647	50, 100, 150, 200, 400, 500	
651	50, 100, 150, 200, 400, 500	
Контр.	–	

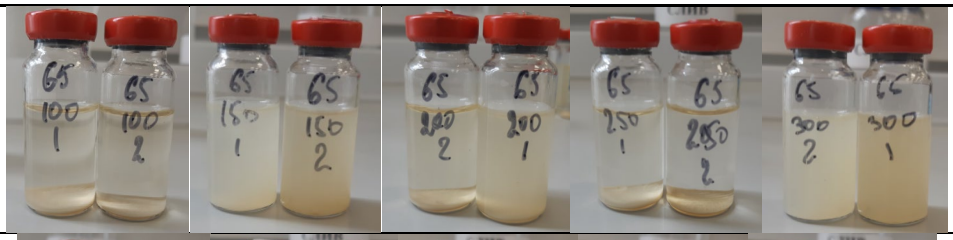
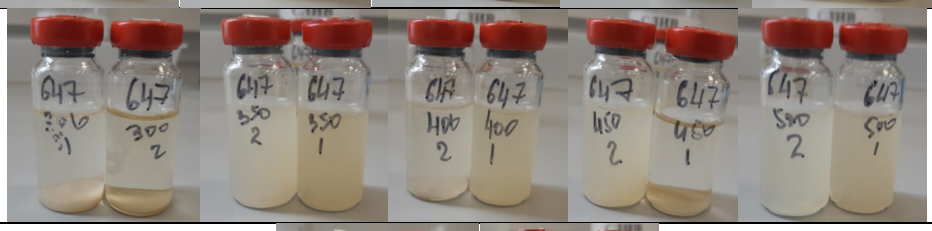
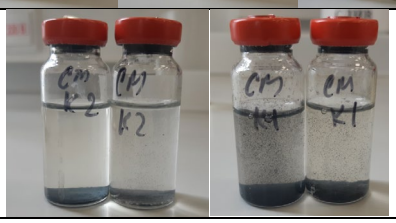
Для адгезированной формы мы исследовали те бактерициды, которые хорошо проявили себя в испытаниях над планктонной формой. Результаты представлены в таблице 5.

В ходе данной работы мной была изучена биозараженность сточных вод системы BIOCON и безопасных стоков, которые являются основной точкой развития и заражения сульфатвосстанавливающими бактериями в водах, необходимых для закачки в пласт для поддержания пластового давления. В результате исследований было выявлено, что зараженность вод является очень высокой (более 106), что доказывает необходимость проведения работ по подавлению их жизнедеятельности для защиты и повышению времени работы нефтепромыслового оборудования.

Также мной были исследованы семь бактерицидов различных производителей на способность подавления как планктонной формой сульфатвосстанавливающих бактерий, так и адгезированной. Но далеко не все химические реагенты показали хорошие результаты. Самым эффективным оказался бактерицид под шифром 65, эффективная дозировка которого составила 50 мг/дм^3. Образец бактерицида под шифром 647 также подавлял жизнедеятельность сульфатвосстанавливающих бактерий, однако его расход оказался в 3 – 3,5 раза больше, чем у реагента под шифром 65.

Таблица 5

Оценка эффективности бактерицидов относительно адгезированной формы сульфатвосстанавливающих бактерий

ХР	**Дози-ровка мг/дм^3**	**Результаты экспериментов**
65	100 150 200 250 300	
647	300 350 400 450 500	
Контр.	–	

Таким образом, для подавления сульфатвосстанавливающих бактерий в сточных водах можно использовать бактерициды под шифрами 65 и 647, проводя смену химического реагента, так как со временем бактерии привыкают к действию бактерицидов. Данный факт подтверждает необходимость и актуальность проведения подобных исследований.

Данная тема очень обширна, так при дальнейшем ее развитии можно исследовать биозараженность пластовых, балластовых вод, которые также необходимы для поддержания давления при добыче нефти, углеводородокисляющими, тионовыми, метанобразующими бактериями и др. Данные виды бактерий также участвуют в процессе микробиологической коррозии и приводят к деструкциям оборудования, что говорит об актуальности данных путей развития темы исследования.

Список использованных источников

1. Андреева Д.Д., Фахрутдинов Р.З. Коррозионно-опасная микрофлора нефтяных месторождений // Вестник технологического университета. – 2013. – Т.16. – №10. – С. 237–242.
2. Wahab Al- Mithin A., Safri A., Pfanger A. Ultrasonic research and analysis of exploitation availability of pipelines with intensive inner corrosion // Oil and gas technology magazine. – 2013. – №7. – Pp. 80–86.
3. Латыпов О.Р. Лабораторный практикум по дисциплине «Микробиологическая коррозия», 2014.
4. Биоповреждения, методы защиты, Сб. докл., Полтава: Научный Совет по биоповреждениям АН СССР-1985. – 182 с.

УДК 621.3.07

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ РОБОТА НА СФЕРИЧЕСКОМ ОСНОВАНИИ

Моисеенкова Е.Д.

Научный руководитель – Поляков Н.А., кандидат технических наук, доцент факультета систем управления и робототехники, ведущий научный сотрудник научно-производственного центра "Прецизионная электромеханика"

y_moiseenkova@inbox.ru

Ключевые слова

Электропривод, система управления, робот, сферическое основание, контур момента, вентильный двигатель, силовой полупроводниковый преобразователь, широтно-импульсная модуляция.

В рамках работы разработана модель энергетической подсистемы электропривода, включающая инвертор, электромеханическую подсистему исполнительного двигателя, цепь питания и схемы подключения датчиков тока для реализации контура тока (момента). В качестве датчиков тока выступают шунтирующие резисторы [1] номиналом *Rshunt* = 1мОм.

Макетирование контура тока (момента), реализовано на базе усилителя напряжения токового шунта LMP8601, и масштабирующего усилительного каскада [2] на базе операционного усилителя TL074 для согласования сигнала на выходе контура тока с входным значением АЦП контроллера (рис.1 и 2).

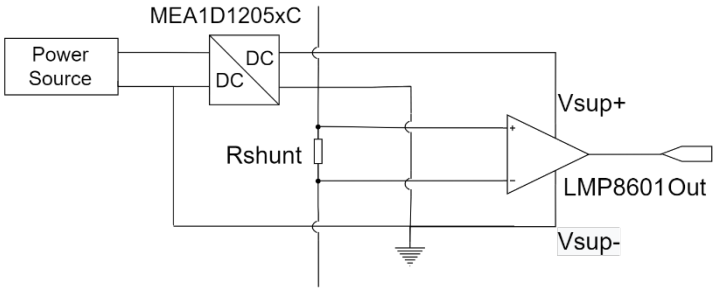


Рис. 1 – Схема подключения преобразователя напряжения к усилителю токового шунта

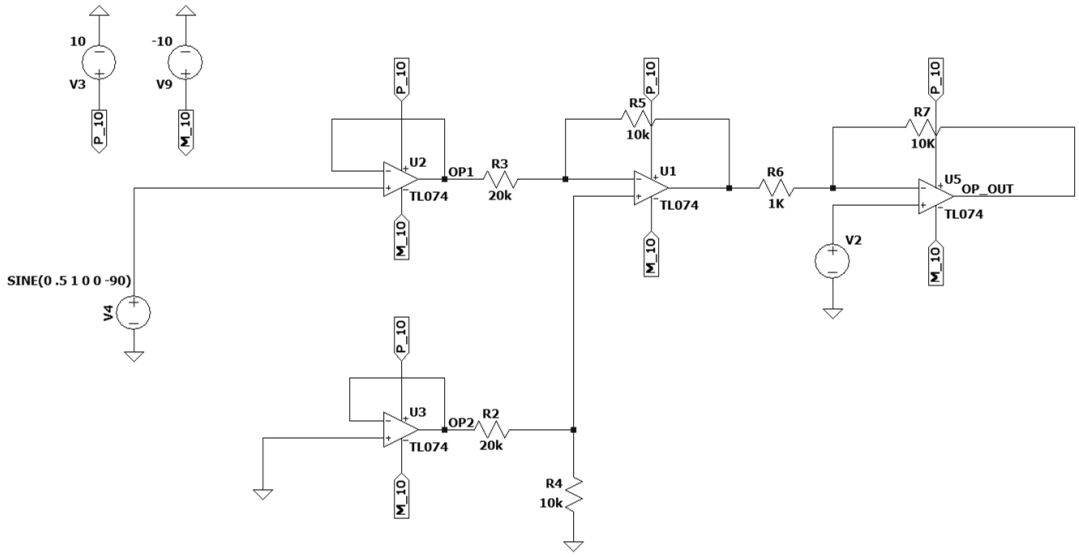
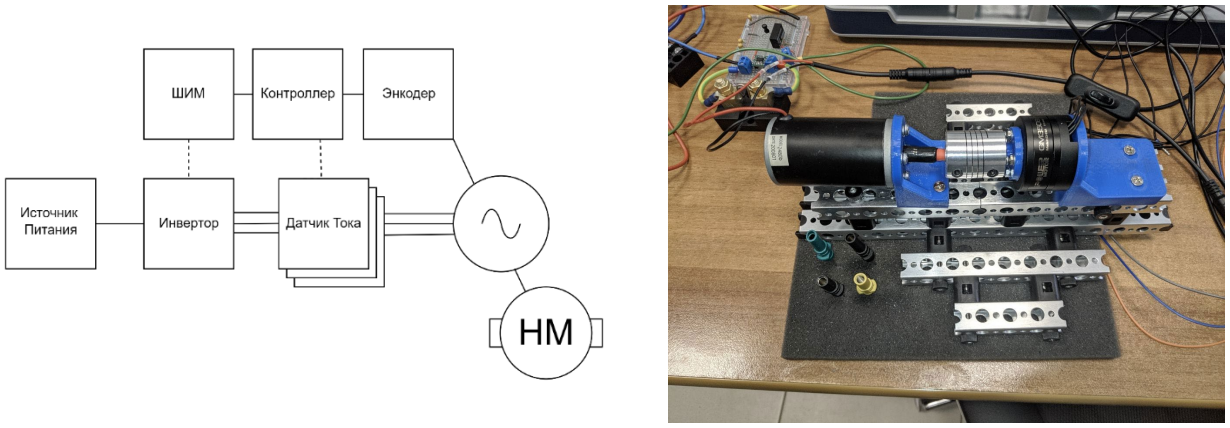


Рис. 2 – Схема масштабирующего каскада

Для экспериментального определения параметров исполнительного двигателя был собран тестовый стенд на базе вентильного двигателя GM3506 и двигателя постоянного тока 31ZY-2480b, выступающего в роли нагрузочной машины (рис.3). Экспериментальные значения, полученные с тестового стенда сведены в таблице 1



а б

Рис. 3 – Структурная схема тестового стенда (а), электромеханический блок тестового стенда (б)

Таблица 1

Полученные экспериментальные данные

Введенное обозначение	**Описание**	**Значение**
$C_{e_{bl}}$	Постоянная противо-ЭДС ИД	0,0527 В с/рад
$C_{e_{dc}}$	Постоянная противо-ЭДС НМ	0,0266 В с/рад
R_a	Сопротивление обмотки статора ИД	5,5 ± 0,1 Ом
L_a	Индуктивность обмотки статора ИД	0,5 ± 0,1 мГн
T_e	Электромагнитная постоянная времени	1,36 мс
J_s	Суммарный момент инерции	1,037*10^{-5}(Н*м*с^2)/рад

Полученные в ходе экспериментов данные были использованы для верификации имитационной модели системы электропривода в среде Matlab/Simulink (рис.4)

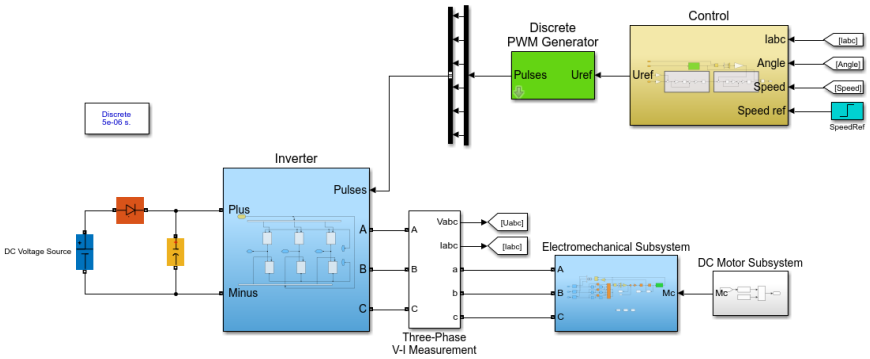


Рис. 4 – Имитационная модель системы электропривода на базе испытуемой машины в Matlab/Simulink

Модель содержит следующие основные блоки:

– Inverter – блок трехфазного инвертора;
– Electromechanical subsystem – электромеханическая подсистема модели привода;
– Discrete PWM Generator – блок формирования управляющих импульсов;
– Control – блок системы управления по току и скорости.

В настоящем исследовании рассматривается двухконтурная система управления [3], в которой внутренней регулируемой координатой является ток, а внешней – угловая скорость вращения (рис.5).

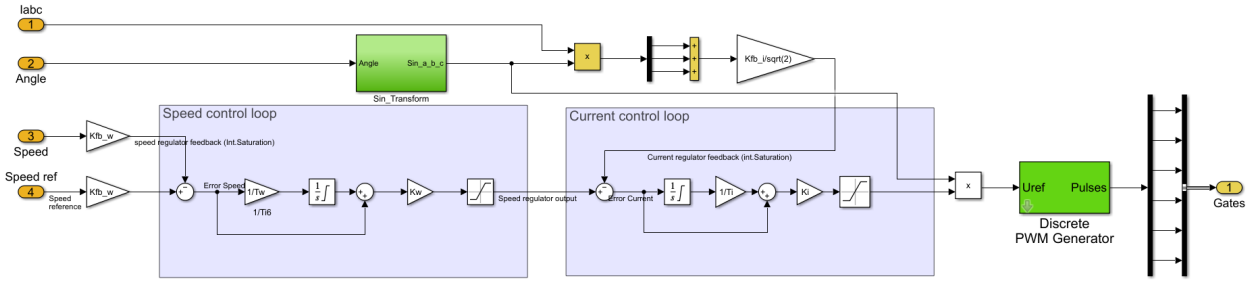


Рис. 5 – Структурная схема замкнутой системы управления по току и скорости с регуляторами.

Внутренний контур регулирования тока (момента) содержит ПИ-регулятор момента, параметры которого выбираются из условия настройки на «технический оптимум».

Внешний контур регулирования по скорости также имеет ПИ-регулятор, характеристики которого выбираются из условия настройки на «симметричный оптимум» [4].

В систему были введены коэффициенты лимитирования и масштабирования выходных значений регуляторов для исключения превышения в системе возможных нагрузок по току и угловой скорости вращения. Параметры регуляторов и коэффициентов обратной связи системы управления по току (моменту) и скорости представлены в таблице 2.

Таблица 2

Параметры системы управления

Введенное обозначение	**Описание**	**Значение**
T_I	Время изодрома ПИ-регулятора тока (момента)	$1{,}36*10^{-4}$ с
K_I	Пропорциональный коэффициент ПИ-регулятора тока (момента)	0,0018
K_{fb_I}	Масштабирующий коэффициент по току	4,16 А
T_w	Время изодрома ПИ-регулятора угловой скорости	0,008 с
K_w	Пропорциональный коэффициент ПИ-регулятора угловой скорости	1,13
K_{fb_w}	Масштабирующий коэффициент по угловой скорости	0,004 с/рад
K_{conv}	Коэффициент передачи ШИП	16,97 В
T_{conv}	Период коммутации ШИП	$1{,}66*10^{-4}$ с

Таким образом, в работе был разработан прототип тестовой системы электропривода робота на сферическом основании на базе вентильного двигателя GM3506, создана эквивалентная модель замкнутой системы управления по моменту(току), разработан алгоритм синусоидальной ШИМ для инвертора и осуществлен синтез системы при настройке работы на «оптимум по модулю», с учетом ограничений, налагаемых характеристиками исполнительного двигателя и преобразователя, определен тип регулятора и соотношения для расчета его параметров. Реализован контур регулирования скорости исполнительного двигателя, проведена его настройка на «симметричный оптимум». Произведена верификация модели двигателя на основе сравнения данных моделирования и эксперимента.

Список использованных источников

1. Cheng Y., Huang S., Yin J., Duan Q. A high-sensitivity current-shunt monitor with extended input common-mode voltage range // 2nd IEEE International Conference on Integrated Circuits and Microsystems (ICICM). 2017. DOI:10.1109/icam.2017.8242129.

2. Konar M., Sahu R., Kundu S. Improvement of the Gain Accuracy of the Instrumentation Amplifier Using a Very High Gain Operational Amplifier // Devices for Integrated Circuit (DevIC). 2019. DOI:10.1109/devic.2019.8783414.
3. Громышева А.Д., Овчинников И.Е., Егоров А.В. Управление скоростью и моментом вентильного двигателя в приводе транспортного средства // Научно-технический вестник Санкт-Петербургского государственного университета информационных технологий, механики и оптики. – 2011. – №3(73). – С. 47–52.
4. Мирошник И.В. Теория автоматического управления. Линейные системы: учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по группе направления подгот. бакалавров и магистров 550000 - "Техн. науки" и дипломир. специалистов 650000 - "Техника и технологии" дисциплине "Теория автомат. упр." / И.В. Мирошник. – М. [и др.]: Питер, 2005 (ОАО Техническая книга). – 333 с.
5. Kartashova M.V., Poliakov N.A., Moiseenkova E.D. Dynamic Stability Analysis of Robots on Spherical Base with Variable Load Mass // 2022 29th International Workshop on Electric Drives: Advances in Power Electronics for Electric Drives (IWED). – 2022. – Pp. 1–6. Doi: 10.1109/IWED54598.2022.9722600.

УДК 53.043

ПОЛУЧЕНИЕ АНОДНОГО ОКСИДА АЛЮМИНИЯ НА ПОВЕРХНОСТИ МАССИВА СЕРЕБРЯНЫХ НАНОЧАСТИЦ ДЛЯ УСТРОЙСТВ ПЛАЗМОНИКИ

Никитин И.Ю.

Научный руководитель – Гладских И.А., кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник центра "Информационные оптические технологии"

nikitin0igor512@gmail.com

Ключевые слова

Усиление флуоресценции, анодный оксид алюминия, серебряные наночастицы, Эффект Пёрселла, J-агрегаты, псевдоизоцианиновый краситель, пористые матрицы, плазмоника.

Гибридные структуры на основе нанопористого оксида алюминия и плазмонных металлов активно исследуются в наше время. На их основе возможно создание различных устройств плазмоники, таких как: гибкие солнечные батареи, сенсоры, экраны сверхвысокого разрешения и другие [1,2]. Многие из этих устройств основаны на эффекте увеличения интенсивности люминесценции светящихся объектов [3]. Этот эффект основан на Фёрстеровском резонансном переносе энергии, который происходит между объектом и F-центрами оксида алюминия и эффекте Пёрселла, при котором увеличивается квантовый выход люминесценции объектов в ближних полях плазмонных наночастиц. Каждый механизм работает по-своему, давая увеличение интенсивности в 2 – 20 раз.

В данной работе представлена гибридная наноструктура на основе нанопористого оксида алюминия, созданного поверх серебряной островковой пленки, где при определенных параметрах анодирования удалось добиться усиления интенсивности люминесценции псевдоизоцианинового красителя (ПИК) до 30 раз, а также возбудить люминесценцию J-агрегатов вдали от максимума их поглощения. Предположительно этого удалось добиться совмещением двух механизмов, описанных выше. К тому же плазмонные наночастицы находятся в основании пористых матриц и отделены от пор слоем оксида алюминия, что также могло поспособствовать увеличению вклада эффекта Пёрселла в усиление интенсивности.

Эксперимент

Изготовление гибридной структуры происходило в несколько этапов. Сначала происходила подготовка и очистка подложек при помощи изопропанола и деионизованной воды. После этого подложки были продуты воздухом и направлены в вакуумную установку для физического осаждения паров из газовой фазы (PVD-75 Kurt J. Lesker). На подложку термическим методом была нанесена тонкая пленка серебра, эквивалентной толщиной 15 нм. После этого подложка была прогрета на воздухе при температуре 150℃. Затем подложка была снова помещена в вакуумную камеру, где на неё при помощи электронного пучка была нанесена пленка алюминия, эквивалентная толщина которой равнялась 160 нм. Вакуум во время всех процессов напыления равнялся порядка 10-6 Торр

После напыления структура подверглась анодированию в 0,3М щавелевой кислоте при постоянном напряжении 40 В. Менялось время процесса и максимальный тока анодирования. Токи и времена анодирования, а также соответствующие им эквивалентные толщины образцов пленок представлены в таблице.

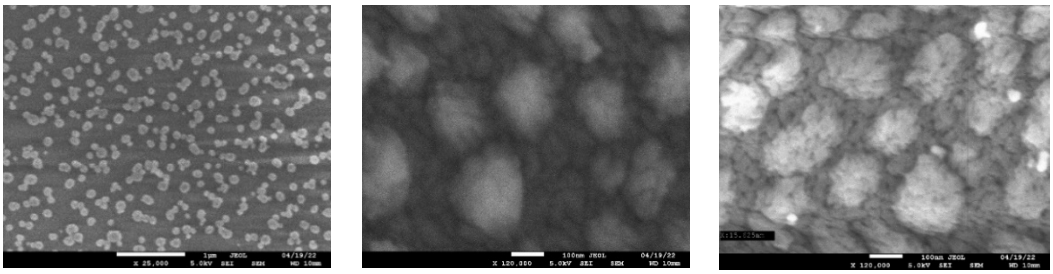
Таблица

Данные анодирования и напыления образцов

№	Экв. толщина Ag, нм	Экв. толщина Al, нм	Время анодирования, с	Максимальный ток анодирования, А
1	15±0,2	–	–	–
2	–	160±12,9	50, 60	0,15
3	15±0,2	160±12,9	50, 60	0,15

На каждом этапе создания структуры регистрировались спектры оптической плотности и отражения на спектрофотометре СФ-56 ЛОМО. Спектры люминесценции регистрировались на лазерном сканирующем конфокальном микроскопе (Zeiss 710) при одних и тех же параметрах и одном и том же шаге, что делает сравнение этих спектров друг с другом корректным. В разделе «результаты» будут представлены спектры и карты люминесценции образцов

Изменения структуры на каждом этапе создания, проиллюстрированные при помощи, СЭМ изображений, представлены на рисунке 1.



а б в

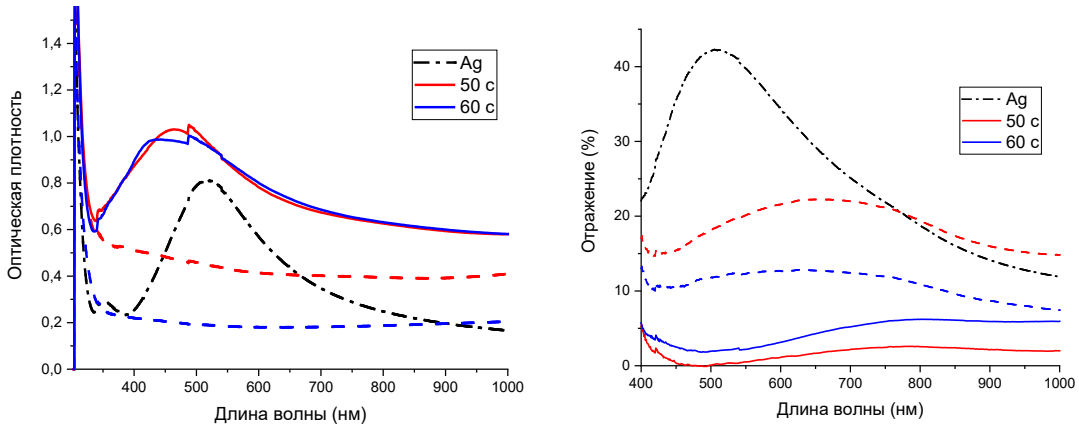
Рис. 1 – Этапы создания структуры: а) – серебряные наночастицы; б) – алюминий на поверхности серебряных наночастиц; в) – нанопористый оксид алюминия на поверхности серебряных наночастиц

После напыления серебра и его отжига на воздухе были получены серебряные наночастицы (рис.1,а), затем сверху был напылен слой алюминия (рис.1,б), и после этого структура была анодирована, и в результате в слое алюминия образовались поры, которые заметны на рисунке 1,в. Помимо самой структуры были изготовлены тонкие пленки нанопористого оксида алюминия той же толщины, с использованием тех же процессов.

Позднее, в поры оксида алюминия был внедрен псевдоизоцианиновый краситель, который был изготовлен по оригинальной методике, описанный в работе Набиуллиной и Старовойтова [4].

Поглощение и отражение гибридной структуры

Поглощение гибридной структуры характеризуется такой величиной, как оптическая плотность. Максимуму оптической плотности структуры так же, как и максимуму плазмонных серебряных наночастиц, соответствует локализованный поверхностный плазмонный резонанс, явление коллективных колебаний электронных облаков на поверхности наночастиц. Спектры оптической плотности для гибридных структур с временами анодирования 50 с, 60 с представлены на рисунке 2.



а б

Рис. 2 – Спектры оптической плотности и отражения структур для различных времен анодирования. Сравниваются: серебряные наночастицы (точка-тире), анодный оксид алюминия (пунктир) и гибридная структура Al2O3/Ag

Гибридная структура имеет большее поглощение, нежели оксид алюминия или серебряные наночастицы и определяется предположительно поглощением последних, так как изменение поглощения гибридной структуры не такое сильное, как для тонкой пленки оксида алюминия. Максимум поглощения сдвинут в длинноволновую область, предположительно из-за наличия остаточной алюминиевой пленки поверх серебряных наночастиц, или из-за образования биметаллического алюминиево-серебряного композита. С увеличением времени анодирования поглощение гибридной структуры уменьшается из-за истончения структуры, вследствии пребывания в агрессивной среде.

Зависимость отражения гибридной структуры от длины волны носит несколько иной характер, чем поглощение. Виден минимум отражения на длине волны 500 нм. Качественно отражение гибридной структуры больше похоже на отражение анодного оксида алюминия с той разницей, что минимум отражения виден там, где пролегает максимум отражения анодного серебряных наночастиц. Такой характер отражения можно объяснить тем, что серебряные наночастицы поглощают свет, который падает на структуру. Также можно показать, что на гибридной структуре достаточно велико неупругое рассеяние света, из-за чего зеркальная компонента отражения, регистрировавшаяся на приборе ослабевает. При максимуме поглощения света на той же длине волны, где и минимум отражения, люминесценция возбуждается эффективнее из-за поглощения серебряных наночастиц и малости отражения.

Люминесценция гибридной структуры и её усиление

Люминесценция гибридной структуры обусловлена наличием так называемых, «F - центров», на которых рекомбинируют заряды, с выделением фотонов. Природа этих дефектов не до конца ясна. Предполагают, что это – кислородные или оксалатные вакансии, образовавшиеся в алюминии в процессе анодирования. Может наблюдаться перенос энергии от F-центров к люминофорам по механизму Фёрстера [5]. Установлено, что серебряные наночастицы напрямую влияют на интенсивность переноса. Предположительно, усиление люминесценции в структуре с серебряными наночастицами происходит за счёт эффекта Пёрселла, при котором увеличивается вероятность излучательных переходов в F-центрах. При увеличении вероятности перехода люминесценция начинает затухать быстрее, и поэтому присутствие эффекта Пёрселла в гибридной структуре подтверждается спектрами затухания люминесценции, представленными на рисунке 3.

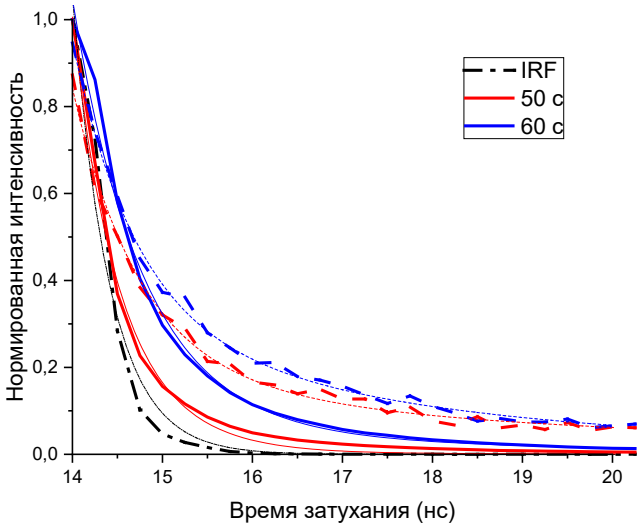


Рис. 3 – Спектры затухания люминесценции оксида алюминия с серебром и без него (пунктир). Для гибридных структур с наночастицами время затухания люминесценции меньше, что говорит о повышении вероятности излучательных переходов

С увеличением времени анодирования время затухания люминесценции увеличивается и для гибридной структуры, и для анодного оксида алюминия. Предположительно это происходит из-за образования дополнительных F-центров. Уменьшенное время затухания люминесценции гибридной структуры по сравнению с оксидом алюминия как раз является следствием эффекта Пёрселла.

Вследствие процессов переноса и усиления, люминесцентные процессы в гибридной структуре происходят с куда большей вероятностью, чем в оксиде алюминия. Графики этих процессов вместе с люминесцентными картами представлены на рисунке 4.

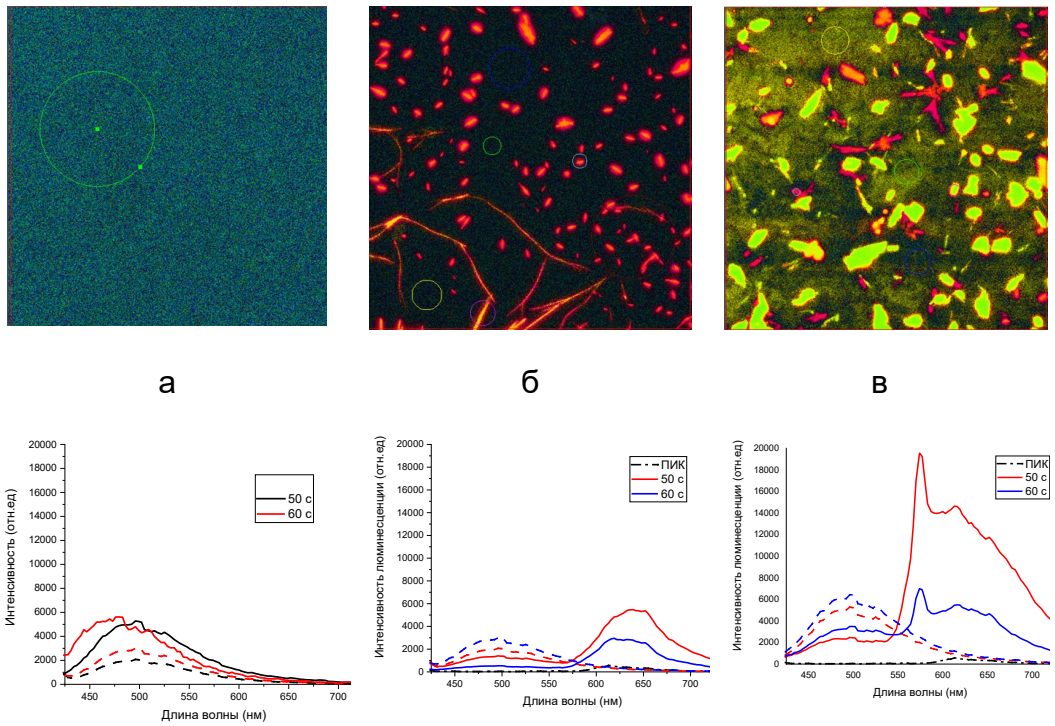


Рис. 4 – а) Сравнение люминесценции гибридной структуры (сплошная линия) и оксида алюминия (пунктир) без красителя; б) Люминесценция красителя (точка-тире), анодного оксида алюминия без красителя (пунктир) и оксида с красителем (сплошная линия) при различных временах анодирования; в) Люминесценция красителя (точка-тире), гибридной структуры без красителя (пунктир) и гибридной структуры с красителем (сплошная линия) при различных временах анодирования

На части рисунка 4,а видно, что серебряные наночастицы усиливают люминесценцию анодного оксида алюминия в 2 – 2,5 раза. При рассмотрении частей (б) и (в), можно заметить, что люминесценция красителя значительно усиливается при контакте с оксидом алюминия. В то же время собственная люминесценция оксида на 500 нм ослабевает в результате переноса энергии. При воздействии ближних полей плазмонных наночастиц, интенсивность увеличивается в 11 – 30 раз по отношению к люминесценции красителя вне какой-либо из структур. Виден пик люминесценции у гибридной структуры, который можно отнести к люминесценции J-агрегатов. Поскольку краситель лучше всего поглощает в диапазоне от 500 нм до 600 нм, а люминесценция возбуждалась лазером 405 нм, можно говорить о повышении эффективности возбуждения люминесценции [4].

Была синтезирована структура нанопористого оксида алюминия с серебряными наночастицами в основании. Были исследованы её поглощение, отражение и люминесценция. Гибридная структура поглощает больше, чем серебряные наночастицы и отражает меньше, чем оксид алюминия из-за поглощения света серебряными наночастицами в структуре, а также рассеяния света наночастицами и порами матрицы. Наблюдалось усиление люминесценции гибридной структуры, а также увеличение интенсивности люминесценции псевдоизоцианинового красителя при помещении его в структуру. Возбуждались J-агрегаты в красителях, которые не возбуждались в других исследуемых структурах. Данные результаты могут быть использованы при создании источников фотонов и сенсоров для устройств плазмоники.

Список использованных источников

1. Ho W.J., Cheng P.Y., Hsiao K.Y. Plasmonic silicon solar cell based on silver nanoparticles using ultra-thin anodic aluminum oxide template // Appl. Surf. Sci. – 2015. – V.354. – Pp. 25–30.

2. Liu S., Tian J., Zhang W. Fabrication and application of nanoporous anodic aluminum oxide: A review // Nanotechnology. – 2021. – V.32. – №22. DOI:10.1088/1361-6528/abe25f.
3. Xu S. et al. Plasmonic enhancement of fluorescence on silver nanoparticle films // Nanotechnology. – 2011. – V.22. – №27. DOI:10.1088/0957-4484/22/27/275715.
4. Nabiullina R.D., Starovoytov A.A., Gladskikh I.A. Optical properties of J-aggregates of pseudoisocyanine dye on inhomogeneous island films // J. Opt. Technol. – 2020. – V.87. – №3. – 137 p.
5. Mohammadpour A. et al. Photophysics and energy transfer studies of Alq3 confined in the voids of nanoporous anodic alumina // J. Nanosci. Nanotechnol. – 2013. – V.13. – №4. – Pp. 2647–2655.

УДК 579.67, 642.58

ПРОЕКТ «СОВРЕМЕННОЕ ШКОЛЬНОЕ КАФЕ»

Пунченко Е.В.
Научный руководитель – Еремеева Н.Б., кандидат технических наук, доцент факультета биотехнологий

Punchenkoitmo@gmail.com

Ключевые слова
Питание школьников, организация пространства столовой, пробиотик, *Enterococcus faecium L3,* функциональный продукт.

Здоровое питание детей и подростков – одно из главных условий обеспечения их здоровья сейчас и во взрослом состоянии. Нарушения питания в детском возрасте служат одной из важных причин возникновения алиментарно-зависимых заболеваний, распространенность которых значительно увеличилась за последние годы, согласно данным федеральной службы государственной статистики [1]. Организация рационального питания учащихся во время пребывания в школе является одним из ключевых факторов поддержания их здоровья и эффективности обучения. Особое значение приобретает правильное школьное питание с учетом того, что в последние годы дети проводят все больше времени в школе при весьма интенсивном характере процесса обучения, а низкий социально-экономический уровень многих семей не позволяет обеспечить детей адекватным питанием. Изменение концепции дополнительного питания, обустройство зоны кафе, введение в меню полезных продуктов, например, с пробиотиками, поможет реализации Стратегии национальной безопасности.

Поэтому целью работы стало создание проекта современного школьного кафе с новым меню, направленным на улучшение питания школьников. Всемирная Организация Здравоохранения разработала рекомендации по здоровому питанию [2]. Согласно этим рекомендациям, питание должно быть разнообразным по продуктовому набору, с ограниченным потреблением насыщенных жиров, соли и сахара, с низким содержанием жира в молочных продуктах. Политика нашего государства направлена на сохранение и укрепление здоровья населения, увеличение продолжительности активной жизни, создание условий и формирование мотивации для ведения здорового образа жизни, существенное снижение уровня заболеваемости социально значимыми и представляющими опасность для окружающих заболеваниями, улучшение качества жизни больных, страдающих хроническими заболеваниями, и инвалидов [3].

Исследование питания школьников и изучение планировки столовой зоны были проведены на базе Государственного бюджетного общеобразовательного учреждения средней общеобразовательной школы №98 с углубленным изучением английского языка Калининского района Санкт-Петербурга [4]. Вся информация находится в открытом доступе на сайте школы (http://school98.spb.ru/pitenie_2014.htm) и в информационном уголке в столовой, где с ней может ознакомиться любой желающий. Также на сайте есть рекомендации Городского центра медицинской профилактики по питанию при хронических заболеваниях и курс лекций для родителей (законных представителей) воспитанников по вопросам сохранения и укрепления здоровья воспитанников, формирования культуры здорового питания.

Для анализа удовлетворенности ассортимента и дизайна столовой был составлен и размещен на странице официальной группы школы ВК опросник (https://vk.com/sova98school). За две недели пост увидели более 1,5 тысяч человек. Опрос прошли 34 человека, среди них как учащиеся и их родители, так и работники школы. Больше всего ответов получено от подростков 14 – 16 лет (52,9% ответов), на втором месте семнадцати-девятнадцатилетние учащиеся (20,6%), далее возраст 10 – 13 лет (17,6%), работники школы (5,9%) и родители (2,9%). Среди школьников регулярно питаются всего 23,1%, при этом 35,5% из них не завтракают (преимущественно подростки 14 – 16 лет), а 41,9% покупают перекус в школьном буфете. Лишь

19,4% завтракают в школьной столовой. 45,2% школьников не обедают, 35,5% обедают в школьной столовой, 19,4% покупают перекус в буфете. 25,6% не завтракают и не обедают в школьной столовой вообще. Из них 19,2% покупают перекусы, а 6,4% приносят еду с собой. 85% опрошенных следят за своим весом, а 35% имеют проблемы со здоровьем, которые необходимо учитывать при составлении рациона питания (непереносимость глютена, непереносимость лактозы, сахарный диабет, аллергия). Ученики и работники школы ответили, что им не хватает разнообразия в ассортименте буфета, а 82,4% опрошенных поделились, что им не нравится дизайн школьной столовой.

В результате обработки анкет нами были разработаны следующие рекомендации: увеличить время для приема пищи, внедрить систему “шведский стол”, разнообразить меню буфета за счет фруктов и молочных продуктов, в том числе с содержанием пробиотиков, обучить поваров по единым стандартам или заменить поставщика питания, создать комиссию для контроля качества питания, заменить устаревшее оборудование и мебель, установить вендинговые автоматы.

Также был разработан дизайн-проект нового школьного пространства с добавлением зоны отдыха. Сейчас в столовой преобладает бежевый (стены) и слоновой кости (плитка на полу) цвет. Нет ярких акцентов. Столовая выглядит «обычно, скучно», дизайн устарел (по словам опрошенных). Большинство предпочитают современные стили – хай-тек и минимализм, как во многих модных кафе.

Для столовой был выбран скандинавский стиль – один из самых популярных современных стилей, распространенных по всему миру, но, конечно же, больше всего востребованных на своей Родине, в странах Северной Европы – Дании, Финляндии, Швеции, Исландии и Норвегии.

Эстетика стиля вытекает из особенностей климатической зоны с достаточно суровым климатом и географического положения этих стран. Концепция скандинавского дизайна наполнена светом и воздухом, ее отличает естественность и легкость. Скандинавский стиль олицетворяет гармонию человека с природой и базируется на эко-материалах, светлой цветовой палитре и большом количестве света.

Основными составляющими скандинавского стиля являются, прежде всего, использование природного материала, функциональность, лаконичность и красота форм. В нем одновременно присутствуют легкость и изящество, основательность и даже некоторая суровость. Интерьеры, выполненные в светлых естественных тонах из простых и натуральных материалов, излучают спокойствие, доброту и порядок. Теплая светлая цветовая палитра дарит ощущение свежести и чистоты.

Именно такой и хочется сделать школьную столовую – чтобы школьники здесь могли насладиться не только вкусной едой, но и отдохнуть от интенсивной нагрузки.

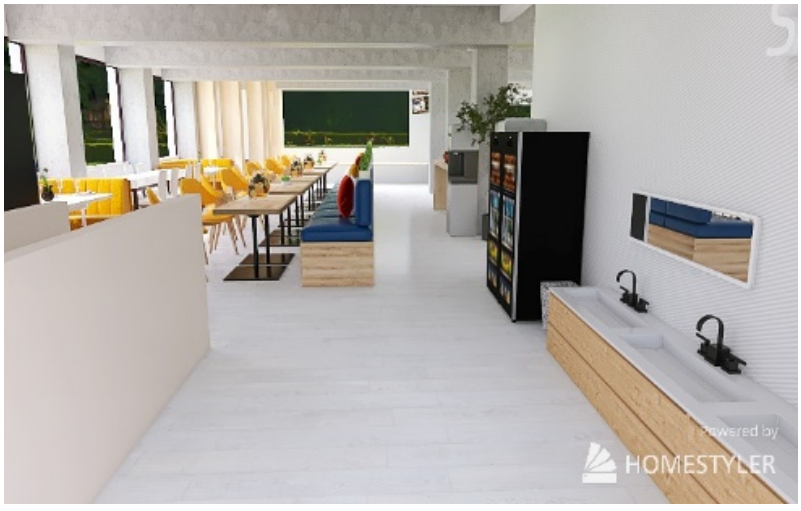


Рис. 1 – Вид у входа в столовую

Следует разделить пространство на несколько зон и визуально подчеркнуть различия (рис.1). Входная группа будет включать буфет по левую сторону от двери со шкафчиками для хранения заказанных блюд, справа: рукомойники на тумбах (для скрытия труб) с сенсорным датчиком для подачи воды и мыла, держатели для бумажных полотенец, зеркало, мусорное ведро с разделителем отходов, вендинговый автомат с полезными продуктами для перекуса и бутилированной водой и соками.

После входной группы будет располагаться основная зона – зона приема пищи, которая разделена колонами на 2 пространства. Для зонирования используются столы прямоугольные на 4 – 6 посадочных места, а также группа П образных диванов со столом по середине и группа диванов с высокой спинкой, расположенных параллельно окнам и основному проходу. Высокие спинки служат для экранизации столов от основной толпы, которая будет направляться к раздаточному столу. Справа между колонн будет расположена зона шведского стола со свежими фруктами и овощами, питьевой водой и столовыми приборами. В конце зала за подвижной деревянной перегородкой располагается стол для преподавателей. Подвижная перегородка позволит при необходимости создать более камерную обстановку.

Справа от ряда колон располагается вторая зона приема пищи. Около колон (за шведским столом) следует сделать высокие столы для тех, кто устал сидеть и хочет покушать «стоя на ногах». Столы со стульями также следует располагать группами по 2 – 3 посадочных места вокруг квадратных столов и 6 – 8 мест вокруг прямоугольных.

Третья зона столовой – это зона выдачи блюд у раздаточного стола. Ее следует частично отгородить прозрачной перегородкой, чтобы блюда как можно меньше контактировали с основным залом.

Последняя зона – это зона для отдыха (рис.2). Она будет расположена за стенкой от рукомойников. Широкие ступени с возможностью сидения, кресла, мешки – лежанки и низкие кофейные столики создадут идеальные условия для отдыха.

Рис. 2 – Зона отдыха

Для комфортного размещения во время питания следует около каждого стола предусмотреть возможность повесить крючки и/ или размещения стульев с выемкой, и/или свободного пространства под диванами для безопасного размещения портфелей и сумок. Так как сейчас портфели ставятся, в основном, на пол, что не является гигиеничным.

Практика прогрессивных стран показывает положительный эффект от добавления в рацион питания молочных продуктов – успеваемость учеников увеличивается, физиологические показатели улучшаются. Еще больший положительный эффект на организм будут оказывать пробиотические продукты питания. Пробиотики уменьшают выраженность симптомов непереносимости лактозы из-за активности бактериальной ß-галактозидазы; регулируют состав микрофлоры, снижают продукцию токсических метаболитов, способствуют профилактике инфекций желудочно-кишечного тракта за счет увеличения уровня защитных антител, снижение уровня холестерина, антиоксидантное действие; регуляция моторики кишечника [5].

В качестве пробиотика нами был использован штамм *Enterococcus faecium L3* (ООО «Авена»), который был изучен в Институте экспериментальной медицины (г. Санкт-Петербург) в опытах *in vitro* и *in vivo*. *Enterococcus faecium* — вид энтерококков, входящий в состав нормальной микрофлоры пищеварительного тракта человека, а также некоторых млекопитающих. Энтерококки — молочнокислые грамположительные бактерии, не образующие спор и капсул, факультативные анаэробы (способные использовать энергию брожения и поэтому, жить и в присутствии кислорода, так и без его отсутствия). Оптимальная температура культивирования энтерококков от 35 до 37°С. Энтерококки осуществляют метаболизм бродильного типа, ферментируют разнообразные углеводы с образованием в основном молочной кислоты, но не газа, снижая кислотность среды до 4,2 – 4,6 pH. Энтерококки высокорезистентны к различным факторам внешней среды и дезинфицирующим средствам, могут длительное время сохранять жизнеспособность на предметах домашнего обихода, выдерживают нагревание до 60°С в течение 30 минут. *Enterococcus E. faecium* колонизируют преимущественно тонкую кишку. Они обладают высокой ферментативной активностью, выраженным антагонизмом по отношению к условно-патогенным микробам (вырабатывают энтероцины), выживают в желчи.

Enterococcus faecium L3 не имеет генов вирулентности, поэтому является безопасным, а также обладает доказанной антагонистической активностью в отношении условно-патогенных микроорганизмов. Штамм оказался эффективным в лечении таких заболеваний как антибиотико-ассоциированный дисбиоз кишечника, синдрома раздраженного кишечника, псевдомембранозного колита, а также в коррекции дисбиоза кишечника. Безопасность, высокая антагонистическая активность в отношении патогенной флоры, хорошая адгезивность, способность к витаминообразованию и удивительная жизнестойкость делает данный штамм кандидатом для создания целой линейки пробиотических продуктов.

Для создания йогурта нами была выбрана закваска «Йогурт» от производителя «*Vivo*» (Россия), так как продукт завоевал доверие потребителей, имеет хорошие отзывы и его легко приобрести в различных аптеках и магазинах города. Закваска содержит комплекс из нескольких видов бактерий: *Streptococcus thermophilus, Lactobacillus delbrueckii ssp. bulgaricus, Lactobacillus acidophilus, Bifidobacterium lactis*. Также в состав входят пребиотики - лактоза и лактулоза.

В качестве основы для йогурта использовалось молоко ультрапастеризованное 2,5% жирности. Закваска вносилась в количестве 0,5 г на литр молока, *E.faecium L3* – 1 г (10^9КОЕ). Энтерококки, в отличие от лактобактерий и бифидобактерий, устойчивы к внешним воздействиям, выживают в присутствии соли и желчи, выдерживают кислую среду (в том числе желудка), не прихотливы в культивировании в лабораторных условиях.

На первом этапе были изготовлены несколько вариантов йогурта – с применением только заквасочных микроорганизмов (контрольный образец), с закваской и пробиотиком (внесение сразу и после сквашивания) и только с пробиотическим штаммом. Подобран оптимальный температурный режим, а также время сквашивания.

Опытные образцы были разделены на 2 группы в зависимости от температуры сквашивания: при комнатной температуре (20 – 24°С) и при 38 – 40°С. В результате эксперимента у образцов, поставленных в термостат при температуре 38 – 40°С, сквашивание произошло за 4 часа для контрольного образца; за 3,5 часа для образца с закваской и пробиотиком; и за 12 часов для образца только с пробиотиком. При комнатной температуре время сквашивания увеличилось практически вдвое: 10 часов, 9 часов и 24 часа соответственно. Все образцы подверглись органолептической оценке и получили превосходные результаты. Внешний вид – плотный равномерный сгусток белого цвета, консистенция гладкая, равномерная. Вкус и запах – чистый, кисломолочный, без посторонних привкусов и запахов, характерный для сквашенных продуктов на молочной основе. У образцов с добавлением только *E.faecium L3* вкус кислее, немного островатый.

На втором этапе изучили антагонистическую активность этих продуктов в отношении золотистого стафилококка и кишечной палочки. Эти бактерии входят в состав микрофлоры человека и животных и, попадая в пищевой продукт, могут вызвать отравление.

Энтерококки из полученных продуктов засевали на кровяной агар с эритроцитами барана количественным способом и после получения роста колоний проверяли типичные свойства. Наибольшее количество энтерококков было получено в продуктах без закваски: увеличение колониеобразующих единиц (КОЕ) на два порядка. В продуктах с предварительно внесенной закваской и с одновременным внесением закваски и пробиотического штамма отмечено увеличение КОЕ энтерококка на один порядок. *E.faecium L3* сохранил свои биологические свойства, гемолитическую активность не приобрел, а также продолжал оказывать антагонистическое влияние на *E. coli* и *S. aureus*.

E.faecium L3 выводится из организма через две недели после приема, поэтому для получения эффекта необходим регулярный прием предложенных продуктов.

Таким образом, проведенное исследование на базе школы Санкт-Петербурга позволило наметить направления по реорганизации пространства столовой и меню буфета. Разработанный нами продукт на основе закваски «Йогурт» от производителя «*Vivo*» и пробиотического штамма *E. faecium L3* может считаться функциональным, так как обладает целым рядом полезных свойств – энтерококки сохраняют жизнеспособность и не изменяют свои биологические характеристики. Для сквашивания оптимальна температура 38 –40°С и время 3,5 – 4 часа. Закваску и пробиотический штамм рекомендуется вносить одновременно, так как это уменьшает время сквашивания, увеличивает количество пробиотических микроорганизмов, улучшает вкусовые качества продукта. Использование только *E.faecium L3* возможно, но приведет к увеличению времени сквашивания до 12 – 24 часов в зависимости от температуры сквашивания. Но в готовом продукте КОЕ энтерококков будет больше. Вкус также будет более выраженный кислый, чем с добавлением закваски. При использовании вместо молока растительного напитка (кокосовый, рисовый, миндальный) оптимальным будет внесение только штамма *E.faecium L3*. Продукт будет готов через 36 ч, однако он не будет уступать продуктам на молочной основе.

Реорганизация школьного пространства, чтобы оно было безопасным, красивым и соответствовало всем санитарно-гигиеническим нормам, может быть очень дорого, но это необходимо делать для улучшения качества питания школьников и сотрудников школы. Внедрение новой программы питания и добавление пробиотических продуктов снизит заболеваемость детей школьного возраста.

Список использованных источников

1. Санкт-Петербург в 2019 году / Петростат. – СПб., 2020. – 202 с.
2. ВОЗ Здоровое питание. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/healthy-diet (дата обращения: 10.03.2022).
3. Указ Президента Российской Федерации от 9 октября 2007 г. № 1351 «Об утверждении Концепции демографической политики Российской Федерации на период до 2025 года». 2007.
4. ГБОУ школа №98. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://school98.spb.ru/index.shtml (дата обращения: 01.05.2022).
5. Francisco Guarner (председатель, Испания) [и др.]. Пробиотики и пребиотики / Всемирная Гастроэнтерологическая Организация (WGO). Практические рекомендации. 2008.

УДК 621.565.2

РАСЧЕТ ХАРАКТЕРИСТИК ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ КАПСУЛ С ТЕПЛОАККУМУЛИРУЮЩИМ ВЕЩЕСТВОМ

Соболева В.А.

Научный руководитель – Захарова В.Ю., кандидат технических наук, доцент образовательного центра энергоэффективные инженерные системы

soboleva.vr@gmail.com

Ключевые слова

Аккумуляторы холода, расчет, тепловой аккумулятор с фазовым переходом, теплоаккумулирующий материал, типоразмеры, фазовый переход, математическая модель.

Мировой спрос на энергии продолжает расти, а, следовательно, вопрос энергосбережения становится всё более актуальными. Одна из активно излучающихся и развивающихся областей – это аккумуляторы холода.

Аккумуляторы тепловой энергии используют для накопления и хранения энергии. Использование накопленной тепловым аккумулятором энергии в период высокой нагрузки системы позволяет сглаживать перепады нагрузки и экономить. Такие аккумуляторы могут использоваться для систем горячего водоснабжения, отопления или систем кондиционирования и вентиляции. Использование технологий аккумулирования тепловой энергии имеет большой потенциал, так как потребности в отоплении и охлаждении составляют порядка 45% от общего потребления энергии в зданиях [1]. Аккумуляторы холода с фазовым переходом отличаются аккумуляцией холода не только за счет теплоемкости, но и за счет теплоты фазового перехода, то есть работой на скрытой теплоте. Системы накопления скрытой теплоты являются эффективными за счет высокой плотности накопления и хранения тепловой энергии [2].

Конструкция аккумулятора тепловой энергии с фазовым переходом, как правило, представляет собой бак с емкостями, в которых находится вещество с фазовым переходом, а хладагент циркулирует между ними. Основное отличие конструктивного исполнения заключается в размещении теплоаккумулирующего вещества в емкости аккумулятора. Далее будут рассматриваться длинные цилиндрические капсулы (трубы), расположенные в шахматном порядке.

Зарядка аккумулятора холода – это период фазового перехода теплоаккумулирующего вещества из жидкости в твердое тело в процессе теплообмена с хладагентом. Разрядка аккумулятора – период фазового перехода теплоаккумулирующего вещества из твердого тела в жидкость. В основе математического моделирования процесса фазового перехода лежит классическая задача Стефана – нелинейная задача о фазовом плавлении или затвердевании вещества с подвижной границей твердое тело-жидкость.

Цель данной выпускной квалификационной работы – разработка математической модели для расчета типоразмеров бака теплового аккумулятора. Для выполнения данной цели были поставлены несколько задач: проведение анализа методик расчета типоразмеров аккумулятора холода с различными геометриями капсул, адаптация методики расчета типоразмеров бака аккумулятора с шаровыми капсулами, и последующий расчет типоразмеров бака аккумулятора под заданные параметры.

Тепловая модель аккумулятора с фазовым переходом

В данной работе рассматривается тепловой аккумулятор с длинными цилиндрическими капсулами, расположенными в шахматном порядке (рис.1). Поток теплоносителя проходит перпендикулярно трубам с теплоаккумулирующим веществом.

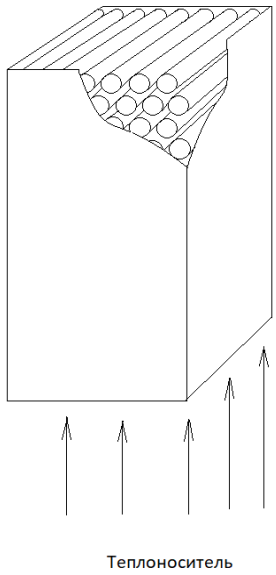


Рис.1 – Схема аккумулятора с цилиндрическими капсулами

Как уже упоминалось ранее, внутри цилиндрических капсул находится вещество с фазовым переходом. Температурное поле оболочки цилиндрической капсулы предполагается равномерным и имеет значение T_c, это обеспечивается небольшой толщиной капсулы, а также относительно высоким коэффициентом теплопроводности ее материала k_c. Капсулы помещаются в бак с циркулирующим теплоносителем, температура T_a. которого выше температуры плавления теплоаккумулирующего материала внутри труб T_m. Конвективный коэффициент теплоотдачи от оболочки капсулы к теплоносителю a_a или его зависимость от температуры капсулы $a_a = a_a(T_c)$ известны. Делается допущение о равномерном распределении коэффициента теплоотдачи по поверхности оболочки (для этого используем усредненное значение коэффициента теплоотдачи). Температура плавления ВФП полагается постоянной, то есть температуры солидуса (полного плавления вещества) и ликвидуса (полного затвердевания вещества) совпадают. В этом случае существует четкая граница раздела твердой и жидкой фазы.

Математическая модель

В ходе работы рассмотрено несколько методик расчета для типоразмеров бака аккумулятора различной конструкции. Наиболее близкую по физическому смыслу методику расчета для тепловых аккумуляторов с засыпкой капсул шарообразной формы решено взять за основу создания данной математической модели.

В случае зарядки аккумулятора для одномерных случаев в качестве подхода к описанию математической модели логично выбирать классическое решение задачи Стефана – нелинейной задачи о фазовом плавлении или затвердевании вещества с подвижной границей раздела фаз (границей перехода «твердое тело-жидкость»). Однако, при разрядке аккумулятора классическое решение задачи Стефана не подходит, так как решение в данном случае должно учитывать тепловые потоки в жидкой фазе теплоаккумулирующего вещества, а также процесс естественной конвекции. В ходе дипломной работы была составлена методика расчета тепловых потоков на основе нульмерного решения задачи Стефана. Неизвестными являются радиус положения границы фазового перехода r_m и температура оболочки капсулы T_c. Делается допущение о том, что фазовый переход происходит при постоянной температуре T_m.

Уравнение положения границы раздела фаз:

$$\frac{dr_m(t)}{dt} = -\frac{T_c(t)-T_m}{R(t)}\frac{1}{\rho_f A_{\mathrm{m}}(t)[\lambda_m+c_f(T_c(t)-T_m)]}, \quad (1)$$

где c_f – удельная теплоемкость жидкой фазы, p_f – плотность жидкой фазы, A_m – площадь границы раздела фаз (рассчитывается через средний радиус положения границы фазового перехода).

Тепловое сопротивление R прослойки жидкой фазы рассчитывается по формуле:

$$R(t) = \frac{1}{2\pi k_{e_f}} ln \frac{r_c}{r_m(t)}, \quad (2)$$

где r_c – внутренний радиус оболочки капсулы.

Эффективный коэффициент теплопроводности k_{ef} в этой работе рассчитывается по следующей формуле:

$$k_{ef} = \begin{cases} Gr \cdot Pr < 1000 \\ 0{,}18 \cdot k_f \cdot (Gr \cdot Pr)^{0{,}25}, \end{cases} \quad (3)$$

$$Gr = b_m \cdot g\left(r_c - r_m(t)\right)^3 \frac{T_c - T_m}{\nu^2}, \quad (4)$$

где b_m – коэффициент объемного расширения ν – кинематическая вязкость жидкой среды, g – ускорение свободного падения.

Сделано допущение о равномерности температурного поля оболочки капсулы и, на его основе, записано следующее уравнение:

$$C \frac{\mathrm{d}T_c(t)}{\mathrm{d}t} + \frac{T_C(t) - T_m}{R(t)} + a_a(T_C) \cdot F_c \cdot \left(T_a - T_c(t)\right) = 0. \quad (5)$$

Очевидно, что для решения дифференциальных уравнений (1) и (5) необходимо задать начальные условия:

Вещество с фазовым переходом в начальный момент времени находится полностью в твердой фазе:

$$r_m(\tau = 0) = r_C. \quad (6)$$

Температура оболочки капсулы в начальный момент времени:

$$T_c(\tau = 0) = T_{c0}. \quad (7)$$

Тогда система дифференциальных уравнений (1) и (2) вместе с начальными условиями (6) и (7) образует математическую модель разморозки капсулы с теплоаккумулирующим веществом, по которой можно рассчитать типоразмеры бака аккумулятора.

Для расчета типоразмеров бака теплового аккумулятора, а также диаметров и длин труб с теплоаккумулирующим материалом составлена программа в программном обеспечении Scilab, позволяющая итерационным методом прийти к оптимальному решению.

Подготовка исходных данных

Для проверки созданной методики расчета необходимо рассчитать типоразмеры бака аккумулятора для заданных условий. Для расчета выбраны следующие материалы:

- вещество с фазовым переходом – н-тетрадекан [3];
- теплоноситель – водный раствор пропиленгликоля (40%);
- материал оболочки капсулы – стекло.

Н-тетрадекан эффективен в применении для тепловых аккумуляторов с фазовым переходом за счет своей высокой удельной теплоты плавления (215 $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$) и оптимальной температуры плавления вещества (6,1°C).

Исходная задача сделать бак кубической формы, а диаметры труб оптимального сечения для наибольшей эффективности при заданной мощности. Для последующих расчетов взяты несколько мощностей и несколько вариантов времени работы, а, соответственно, проведено несколько расчетов типоразмеров бака аккумулятора и диаметров цилиндрических капсул.

Результаты расчетов

Результаты расчетов по представленной математической модели для мощностей 5 – 100 кВт и времени работы 1 – 2 часа представлены в таблице 1.

Таблица 1

Результаты расчетов типоразмеров бака теплового аккумулятора

Мощность, кВт	5		10		20		50		100	
Время работы, ч	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Ширина бака, м	0,99	1	0,99	1	1,5	1,5	2	2	3	3
Высота бака, м	1	1	1	1	1,5	1,5	2	2	3	3
Длина бака, м	0,8	1,3	0,9	1,4	1,4	2,1	1,8	2,4	2,5	3,4
Внутренний диаметр трубы, мм	23	35	25	40	25	40	25	40	30	45
Внешний диаметр трубы, мм	21	33	23	38	23	38	23	38	28	43

В результате численного расчета на основе составленной математической модели получены результаты типоразмеров бака аккумулятора для разных мощностей системы охлаждения. Для возможности последующего конструирования теплового аккумулятора с фазовым переходом по составленной методике расчета в среде Scilab необходимо также указание других характеристик аккумулятора, вычисленных для этого случая и представленных в таблице 2.

Таблица 2

Дополнительные характеристики теплового аккумулятора

Мощность, кВт	5		10		20		50		100	
Время работы, ч	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Расход теплоносителя, $м^3$/ч	0,77	0,77	1,53	1,53	3,06	3,06	7,66	7,66	15,3	15,3
Количество слоев	16	19	24	29	27	34	37	42	40	51
Количество капсул на слое	21	14	16	12	30	18	40	25	60	50

Оценка размеров бака аккумулятора, а также размеров его внутренних капсул является одной из крайне необходимых задач при проектировании системы с использованием аккумулятора холода.

В итоге проделанной работы установлено, что математическая модель, описываемая уравнениями (1) и (2), может быть использована для оценки типоразмеров аккумуляторов холода. Данный вывод подтверждается результатами численного расчета для заданных параметров теплового аккумулятора путем использования программного обеспечения Scilab.

Список использованных источников

1. Lott M., Kim S.-I., Tam C., Heinen S., Munuera L., Remme U., Elzinga D. Energy Storage Technology Roadmap // Technical Annex (International Energy Agency). – 2014. – 31 p.
2. Nazir H., Batool M., Bolivar Osorio F.J., Isaza-Ruiz M., Xu X., Vignarooban K., Kannan A.M. Recent developments in phase change materials for energy storage applications: A review // International Journal of Heat and Mass Transfer. – 2019. – V.129. – Pp. 491–523.
3. Zakharova V., Kuznetsov P., Kalimzhanov D., Baranenko A.V. Experimental and numerical study of non-stationary solid-liquid phase transitions of n-tetradecane // E3S Web of Conferences – 2020. – V.178. – Pp. 01048

УДК 004.422.833

РАЗРАБОТКА МОДУЛЯ УВЕДОМЛЕНИЙ МИКРОСЕРВИСНОГО ПРИЛОЖЕНИЯ

Стукалов Д.О.
Научный руководитель – Собенников В.Л.

dmitrii.stukalov@list.ru

Ключевые слова
Уведомления, микросервис, Java, SpringBoot, Angular.

В современную эпоху больших данных компаниям требуются серверные мощности, но не каждая компания может позволить себе обслуживание центра обработки данных. Поэтому существуют фирмы, которые занимаются обслуживанием дата центров и предоставляют услуги другим. Одной из таких компаний является заказчик веб-приложения. Веб-приложение позволяет клиентам оперативно получать необходимую информацию. Ранее, чтобы получить необходимые отчеты пользователю нужно было совершить достаточно много действий, поэтому цель данной работы заключается в разработке модуля уведомлений, который позволит получать различные отчеты посредством электронной почты.

Функциональные требования предоставлены заказчиком и заключаются в том, что пользователь может создать уведомление, отредактировать его, просмотреть список уведомлений, просмотреть конкретное уведомление.

Нефункциональные требования также предоставлены заказчиком и заключаются в использовании таких же средств разработки, как и во всем приложении, возможность масштабироваться на новые виды уведомлений, и возможность производить проверку прав пользователя для предоставления доступа.

Рассмотрим системную архитектуру веб-приложения. Приложение разработано с использованием микросервисного подхода [1]. Фронтенд [2] части модулей запускаются в томкат контейнере. Бэкенд [2] части модулей запускаются каждый в отдельном докер контейнере, которые развертывается в докер сварме. Также существует отдельный томкат контейнер для сервиса опенам, с помощью которого происходит проверка прав пользователя. Фронтенд и бэкенд, а также бэкенд модули между собой взаимодействуют по ресту.

Уведомления бывают следующих типов. Периодические уведомления – уведомления, которые отправляются с определённой периодичностью (раз в день, неделю, месяц). Полл-уведомления – инициируются модулем уведомлений, путем опроса других модулей о происшествии событий. Пуш-уведомления – инициируются модулем приложения, который сообщает модулю уведомлений, что произошло некоторое событие. Рассмотрим отправку уведомлений каждого типа подробнее.

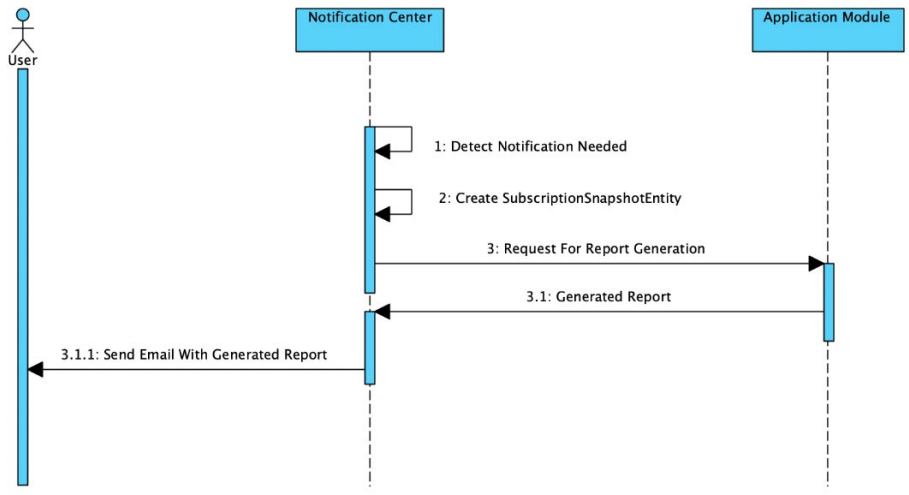


Рис. 1 – Диаграмма взаимодействия при отправке периодического уведомления

Периодические уведомления отправляются следующим образом. Модуль уведомлений проверяет каждую минуту пора ли отправлять письма. Затем модуль уведомлений создает снимок параметров уведомления, чтобы у пользователя была возможность редактирования уведомления, находящегося в процессе отправки. После этого модуль уведомлений отправляет запрос в другой модуль приложения для генерации необходимых отчетов. Далее модуль приложения генерирует отчеты. После получения сгенерированных отчетов модуль уведомлений отправляет письмо со сгенерированными отчетами. Процесс отправки периодического уведомления представлен на рисунке 1.

Полл-уведомления отправляются следующим образом. Модуль уведомлений каждые пять минут опрашивает другие модули приложения о произошедших событиях. Модуль приложения отправляет информацию о произошедших событиях и точку во времени, относительно которой будет происходить следующий опрос о событиях. После получения информации модуль уведомлений отправляет письмо с информацией о произошедших событиях и записывает в базу данных полученное значение времени. Процесс отправки полл-уведомления представлен на рисунке 2.

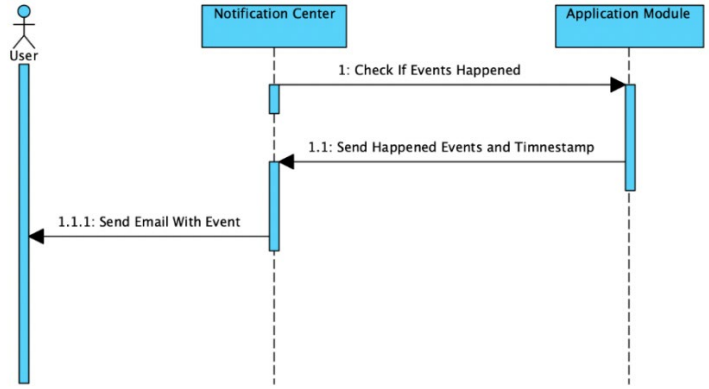


Рис. 2 – Диаграмма взаимодействия при отправке полл-уведомления

Пуш-уведомления отправляются следующим образом. Модуль приложения сообщает модулю уведомлений о произошедшем событии, и модуль уведомлений регистрирует новое уведомление и запрашивает дополнительную информацию. После получения дополнительной информации модуль уведомлений отправляет письмо пользователю. Процесс отправки пуш-уведомления представлен на рисунке 3.

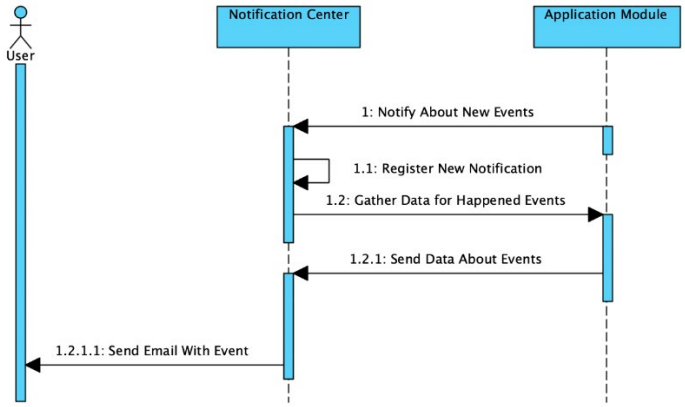


Рис. 3 – Диаграмма взаимодействия при отправке пуш-уведомления

Рассмотрим программную архитектуру бэкенда. Были разработаны следующие классы для реализации требуемого функционала:

- NotificationController – контроллер, отвечающий за обработку запросов на создание, изменение и просмотр конкретного уведомления, а также за получение списка уведомлений. Проверка привилегий происходит на уровне контроллера;
- SubcriptionService – сервис, ответственный за создание и редактирование уведомлений, а также за получение списка всех уведомлений по заданному фильтру;

- SubscriptionNotificationService – сервис, отвечающий за работу с периодическими уведомлениями;
- SubscriptionSnapshotService – сервис, позволяющий получать и создавать снимки уведомлений;
- SubscriptionRepository – репозиторий, который позволяет записывать и читать из таблицы subscriptions. ;
- SubscriptionEventPollService – сервис, отвечающий за работу с уведомлениями в реальном времени;
- ReportDownloadService – сервис, позволяющий загружать файлы отчетов, сгенерированные другими сервисами для отправки их по электронной почте.

Рассмотрим программную архитектуру фронтенда. Фронтенд-часть модуля состоит из четырех компонентов. Компонент поиска уведомлений позволяет отобразить список уведомлений согласно заданному фильтру. Компонент просмотра уведомления позволяет просмотреть информацию о конкретном уведомлении. Компонент редактирования уведомления используется также для создания уведомления. Компонент редактирования настраиваемого уведомления наследуется от компонента редактирования уведомления с добавлением фильтра.

Переходы между компонентами представлены на рисунке 4. Пользователь может попасть в модуль уведомлений на компонент поиска уведомлений или на компонент редактирования настраиваемого уведомления. В первом случае пользователь может перейти к созданию нового уведомления, просмотру существующего, а из просмотра перейти к его редактированию.

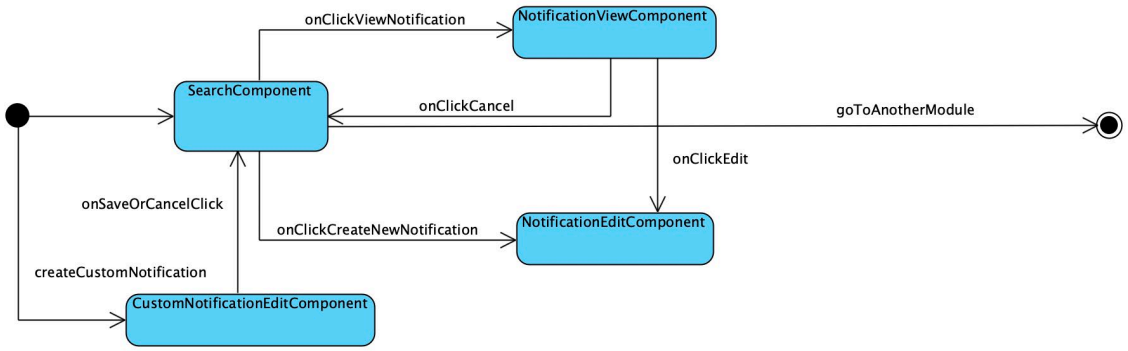


Рис. 4 – Переходы между компонентами фронтенд-модуля

Рассмотрим процесс создания настраиваемых уведомлений. Пользователь авторизуется в приложении, переходит в интересующий его модуль и применяет фильтры. Модуль приложения возвращает данные согласно заданному фильтру. Пользователь решает создать уведомление, чтобы получать электронные письма с такой информацией. После нажатия на кнопку создания настраиваемого уведомления пользователь переходит в модуль уведомлений, где заполняет поля, необходимые для создания уведомления.

В заключении хочу сказать, что модуль соответствует всем требования заказчика, был вручную протестирован командой тестировщиков, а также успешно внедрен в веб-приложение.

Список использованных источников

1. Микросервисная архитектура. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Микросервисная_архитектура (дата обращения: 20.06.2022).
2. Фронтенд и бэкенд. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Фронтенд (дата обращения: 20.06.2022).

БАКАЛАВРЫ

Лауреаты III степени

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

УДК 535.318, 748

РАЗРАБОТКА СОЛНЕЧНОЙ СКУЛЬПТУРНОЙ ИНСТАЛЛЯЦИИ ДЛЯ УСТАНОВКИ НА УЛИЦАХ ГОРОДА

Берников М.Д.

Научный руководитель – Толстоба Н.Д., доцент, кандидат технических наук, доцент физико-технического мегафакультета, инженер открытой лаборатории идей, методик и практик

bernikov.misha2000@gmail.com

Ключевые слова

Инсталляция, Солнце, гравировка, линза, моллирование, зеркало, древесина.

Солнечная скульптура – это инсталляция, в которой необходимым участником процесса создания визуального или практического результата является Солнце. Примерами солнечной скульптуры могут являться архитектурные постройки, точные приборы или художественные проекты. В метеорологии используется гелиограф – устройство для измерения длительности солнечного дня. Храм Кукулькана в древнем городе Чичен-Ица и древнеегипетский храм Абу-Симбел являются примерами архитектурных комплексов, которые создают иллюзии с помощью света от Солнца.

Основная идея скульптурной композиции заключается в том, что каждый солнечный день в определенный промежуток времени, свет попадая на линзу производит выжигание полосы на деревянном приёмнике. Используется древесина, как достаточно прочный, антивандальный, и в то же время подвластный трансформации под влиянием солнечной энергии материал. В течение одного дня выжигается одна полоса. За полугодие образуется приблизительно 182 линии. Если оставить деревянную площадку для выжигания на весь год, то после июньского или декабрьского солнцестояний новые полосы начнут накладываться на старые. По этой причине было решено менять приемник раз в полгода. Непостоянная погода, облачность и рассеянное освещение, будут влиять на итоговое изображение на приёмнике, и полоса каждый день будет уникальной.

Целью работы является разработка оптической системы солнечной скульптуры, позволяющей запечатлеть траекторию движения Солнца по небу в течение полугода на приёмнике.

Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

- анализ существующих решений;
- энергетический и габаритный расчет;
- расчёт оптической схемы;
- компьютерное моделирование и анализ результатов;
- рассмотрение особенностей конструкции. Формулировка рекомендаций к реализации инсталляции.

Первой задачей проекта являлся поиск уже существующих аналогов разрабатываемой инсталляции. В результате анализа было обнаружено устройство, близкое по принципу действия, к разрабатываемой оптической системе. Гелиограф по схеме Кемпбелла-Стокса является устройством, состоящим из сферической линзы и вогнутого сферического приёмника, вдоль которого выкладывается светочувствительная бумага. По итогам ясного дня на приёмнике образуется полоса, по длине которой и определяют длительность ясного дня.

Среди художественных проектов, связанных с темами оптиками, наибольшую популярность имеют инсталляции из светодиодных лент, неплоских зеркал или структур из акрила. Встречаются произведения, для создания которых используются оптические элементы, например, очковые линзы или голограммы. Куда реже встречаются выставочные инсталляции с полноценной оптической системой внутри. Одними из примеров таких проектов являются зеркальная комната и мираскоп, представленные в музее Оптики

Университета ИТМО. Также можно часто натолкнуться на цифровые работы художников, посвящённые моделированию поведения света в стекле и не только.

Проведённый анализ существующих художественных инсталляций охватывает небольшое количество работ. Мы не можем утверждать о том, что не существует аналогов описываемой идеи, но это не является препятствием к её реализации, так как любой новый проект несёт в себе ценность.

Второй задачей являлось определение оптической схемы и её параметров (рис.1). Для выжигания отметин на приёмнике будет использована оптическая система из зеркала и линзы. Отражающий элемент в оптической системе необходим для перенаправления оптической оси для удаления рабочей поверхности приёмника от земли и публики, и защиты солнечного календаря от непогоды. Также зеркало играет роль апертурной диафрагмы системы, с помощью которой регулируется количество энергии, попадающей в систему.

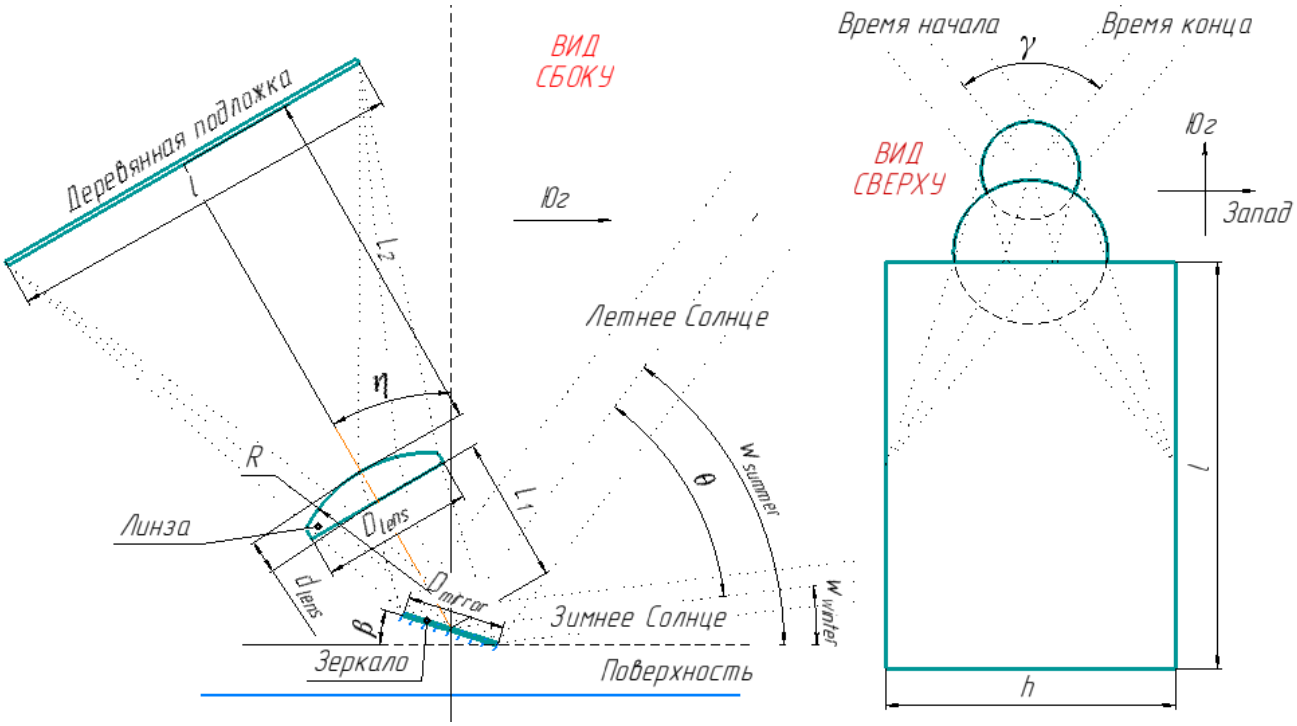


Рис. 1 – Эскиз расположения элементов инсталляции [1]

Автором идеи было задано техническое задание на некоторые элементы конструкции:

- размеры приёмника: $l = 900$ мм, $h = 400$ мм;
- диаметр линзы: $D_{lens} \leq 380$ мм (обеспечивается за счёт расстояния между линзой и зеркалом: $l_1 \leq 200$ мм);
- изготовление линзы методом моллирования художественных изделий [2] (из технологического процесса методы определены особенности элемента):
  - первая поверхность линзы плоская;
  - вторая поверхность линзы сферическая.
- показатель преломления материала линзы: 1,587 или 1,591 (измерены с помощью рефрактометра Аббе марки Kruss AR4 для доступных в лаборатории академии материалов: стекло РосВузДизайн и расплав стеклянных изделий соответственно);
- материал приёмника: древесина дуба;
- габаритный размер (высота) оптической системы: 1 – 1,5 метра;
- наклон оптической оси: $\eta = 30 – 50°$ (обеспечивается за счёт наклона зеркала: $\beta = 15°$).

Энергетический расчёт производился с помощью нескольких важных источников. Первым является солнечный календарь национального управления океанических и атмосферных исследований министерства США [3], формулы расчёта которого находятся в открытом доступе. Вторым источником является лекция в пакете программ MATLAB [4],

посвящённая расчёту мощности излучения на солнечных панелях, из которой использовали эмпирические формулы для расчёта воздушной массы:

$$AM = \frac{1}{\cos(90-\omega)+0{,}5057\cdot(6{,}0799+\omega)^{-1{,}6364}},$$

где ω – высота Солнца над горизонтом, и освещённости поверхности Земли в кВт/м^2.

$$Q = 1{,}353 \cdot 0{,}7^{AM^{0{,}678}}.$$

В среде MATLAB разработана программа, которая рассчитывает высоту Солнца над горизонтом и освещённость приёмника оптической системы в каждый момент времени. Полученное значение облучённости затем использовалось для определения мощности излучения в Вт, воздействующего на материал приёмника

$$W = T_{lens} \cdot R_{mirror} \cdot (1-\alpha) \cdot Q \cdot (\sin\omega \cdot \cos\beta - \cos\omega \cdot \sin\beta \cdot \cos\gamma) \cdot \pi \cdot \left(\frac{D_{mirror}}{2}\right)^2,$$

где T_{lens} – коэффициент пропускания линзы; R_{mirror} – коэффициент отражения зеркала; Q – солнечное излучение в кВт/м^2; ω – высота Солнца над горизонтом; β – угол наклона зеркала над горизонтом; γ – азимут положения Солнца; D_{mirror} – диаметр зеркала; α – коэффициент отражения поверхности приёмника.

Для проведения энергетического расчёта был выбран диаметр для зеркала схемы в 100 мм, который при учёте дальнейшего расчёта размера пятна рассеяния даёт оптимальное отношение размера линзы и экспозиции полос солнечного календаря.

Таблица 1

Высота Солнца над горизонтом для некоторых дат

День	22 июня 2022			22 декабря 2022		
Время	12:20	13:05	13:40	12:20	13:01	13:40
Высота	52,66°	53,49°	52,73°	6,33°	6,74°	6,20°

Таблица 2

Мощность излучения на приёмнике

День	22 июня 2021			22 декабря 2021		
Время	12:20	13:05	13:40	12:20	13:01	13:40
W, Вт	4,34	4,42	4,35	0,77	0,83	0,75

Для определения порогового значения поверхностной плотности теплового потока, при которой начнёт визуализироваться полоса, воспользуемся рекомендуемой экспозицией лазерного гравировщика при работе по дереву. На основании нескольких источников было рассчитано усреднённое значение экспозиции по следующей формуле

$$H = E * t = \frac{W * t}{S * d_{line}} = \frac{W}{V * d_{line}},$$

где E – освещённость [Вт/м^2]; t – выдержка в секундах; S – путь, пройденный точкой фокуса (длина части полосы, образованной за 1 секунду воздействия излучения); d_{line} – ширина полосы (диаметр пятна рассеяния оптической системы); V – скорость движения лазера (скорость перемещения точки фокуса в процессе выжигания полосы).

Рекомендуемая экспозиция при лазерной гравировке древесины равна

$$H = 5{,}88\ \frac{\text{Вт} \cdot \text{с}}{\text{мм}^2}.$$

Исходя из заданного технического задания определяем основные параметры оптической системы.

Угол в пространстве предметов в сагиттальной плоскости равен

$$2\omega_s = \theta = \omega_{summer} - \omega_{winter} = 46{,}75°,$$

где ω_{summer} – максимальная высота Солнца над горизонтом (в зенит летнего солнцестояния); ω_{winter} – минимальная высота Солнца над горизонтом (начало или конец процесса выжигания в день зимнего солнцестояния).

Фокусное расстояние линзы, исходя из заданного технического задания равняется

$$f' = \frac{y}{\tan\omega_s} = \frac{\frac{l}{2}}{\tan\omega_s} = \frac{450}{\tan 23{,}375} = 1041 \text{ мм},$$

где l – длина приёмника из технического задания.

При расчёте оптической системы используется фокусное расстояние f' = 1000 мм, позволяющее создать промежуток между границами изображения и приёмника.

Угол в пространстве предметов в меридиональной плоскости равен

$$2\omega_m = 2\,\text{atan}\frac{h}{f'} = 2\,\text{atan}\frac{200}{1041} = 2\,\text{atan}\,0{,}192 = 21{,}75°,$$

где h – ширина приёмника из технического задания.

Для моделирования оптической системы используется программа Zemax OpticStudio. Полученные при габаритном и энергетическом расчётах параметры элементов и высоты Солнца над горизонтом позволяют задать систему, которая с помощью изменения нескольких параметров оптимизируется для достижения наименьшего размера пятна рассеяния. В качестве границ поля в пространстве предметов использовали углы высот Солнца над горизонтом в дни летнего и зимнего солнцестояния, задав систему таким образом, чтобы они располагались на двух противоположных краях поля, -1 и 1 соответственно. В качестве переменных параметров используются: расстояние между линзой и приёмником; радиус кривизны поверхности линзы и приёмника. Фиксируется фокусное расстояние системы, равное 1000 мм. Наилучший результат по размеру пятна рассеяния достигается при использовании вогнутого сферического приёмника, позволяющего нивелировать кривизну изображения. Конструктивные параметры оптической системы приведены в таблице 3.

Таблица 3

Конструктивные параметры оптической системы

п/п	Тип поверхности	Радиус, мм	Толщина, мм	Материал	Поворот отн. оси X
1	Standard (IMAGE)	Infinity	Infinity		-
2	Standard	Infinity	1000,000		-
3	Coordinate Break	-	0,000	-	46°
4	Standard (STOP)	Infinity	0,000	MIRROR	-
5	Coordinate Break	-	-200	-	46°
6	Standard	Infinity	-50	1,587	-
7	Standard	587	-994		-
8	Standard (IMAGE)	1164	-		-

После оптимизации удалось сократить размер пятна рассеяния в 2 – 3 раза на краю поля и в 14 раз в центре. Превалирующей аберрацией стал астигматизм. Кривизна изображения была исправлена.

С помощью раздела Tolerance Zemax OpticStudio, предназначенного для выявления изменения качества изображения при отклонении параметров системы от заданных, проведён анализ системы на допуски. На вход задаются отклонения на расстояния, размеры и наклоны оптической оси и отдельных элементов системы. По итогам работы программы анализируется размер пятна рассеяния до и после, для предсказания поведения инсталляция, если при монтаже скульптуры будут допущены неточности в расположении линзы, зеркала и приёмника.

Исследование проводится с помощью вероятностного анализа методом Монте-Карло [5], встроенного в раздел допусков Zemax OpticStudio, по итогам которого мы сравниваем размеры пятен рассеяния исходной и симулированной системы (табл.4).

Таблица 4

Сравнение размеров пятен рассеяния

Поле	-1	-0,707	0	0,707	1
Радиус пятна рассеяния исходной системы, мм	0,695	0,482	0,079	0,292	0,408
Радиус пятна рассеяния симуляции, мм	2,302	1,902	1,151	1,982	2,378
Увеличение радиуса пятна рассеяния, мм	1,607	1,420	1,072	1,690	1,970

Используя известные размеры полосы, заново рассчитывается экспозиция выжигаемых полос и сравнивается с рекомендуемой. Для используемых в Zemax OpticStudio полей в пространстве предметов подбирается дата и время в соответствии с расчётами в программе MATLAB. Результат представлен в таблице 5.

Таблица 5

Экспозиция выжигаемых полос

День	**22 июня**	**19 июля**	**21 сентября**	**25 ноября**	**22 декабря**
Время	12:20	12:32	13:00	13:28	13:40
W, Вт	4,34	4,32	3,20	1,13	0,75
Экспозиция, Вт·с/мм^2	11,36	13,70	13,76	3,40	1,88
Облучённость, Вт/мм^2	0,261	0,381	0,770	0,090	0,041

Сравнивая с рекомендуемой экспозицией в 5,88 Вт*с/мм^2 сделаем вывод, что угольно-чёрные полосы будут образовываться в летнее время года и первые два месяца осени. В ноябре линии будут тусклыми, а в декабре, система будет лишь слегка затемнять древесину или не оставлять следов вовсе.

Для визуализации солнечного календаря, получаемого на приёмнике в течение полугода, используется программа, разработанная в среде MATLAB, и макрос, написанный в Zemax OpticStudio. Траекторию движения изображения Солнца на приёмника можно увидеть на рисунке 2.

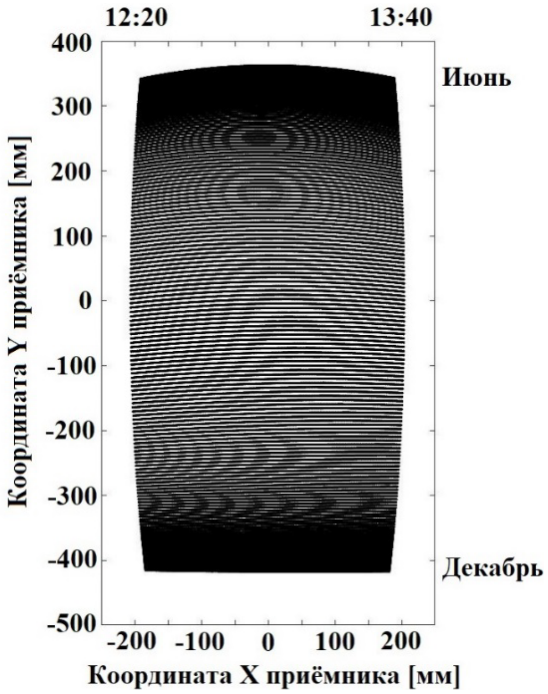


Рис. 2 – Расположение полос в солнечном календаре по второму методу

Способ визуализации является одним из двух, использованных в работе, и выполнен с помощью макроса, разработанного в Zemax OpticStudio. Данный метод учитывает все аберрации оптической системы. Для каждой высоты Солнца программа моделирует в

оптической системе луч, координаты на приёмнике которого мы определяем и получаем картину солнечного календаря. На рисунке можно увидеть, как дисторсия искажает форму солнечного календаря.

По итогам работы были проведены габаритный и энергетический расчёт оптической системы, разработана программа для визуализации и упрощённого расчёта освещённости и экспозиции полос солнечного календаря. Сформулированы рекомендации к реализации скульптурной инсталляции и рассмотрены особенности конструкции (не приведённые в аннотации). Полученный комплекс исследований, расчётов и программ позволяет быстро проанализировать работоспособность оптической системы конструкции при любых вводных параметрах схемы и географических координатах.

Список использованных источников

1. Tolstoba N.D., Bezhoo Y.N., Bernikov M.D. Development of the optical scheme and design of a solar sculptural composition for installation on a city street // Proceedings of SPIE – 2021. – V.11815. – Pp. 1181510.
2. Энтелис Ф.С. Формование и горячее декорирование стекла // Учебное пособие для специальности 2222. – Л., 1982. – 139 с.
3. NOAA Solar Calculator. Find Sunrise, Sunset, Solar Noon and Solar Position for Any Place on Earth. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://gml.noaa.gov/grad/solcalc/ (дата обращения: 28.06.2022).
4. Create an Interactive Narrative with the Live Editor. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.mathworks.com/help/matlab/matlab_prog/live-editor-intteractive-narrative.html (дата обращения: 28.06.2022).
5. Метод Монте-Карло. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Метод_Монте-Карло (дата обращения: 28.06.2022).

УДК 681.7.068

ИЗГОТОВЛЕНИЕ СУПЕРПОЗИЦИЙ ЧИРПИРОВАННЫХ ВОЛОКОННЫХ РЕШЕТОК БРЭГГА И ИССЛЕДОВАНИЕ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ

Волошина А.Л.

Научный руководитель – Варжель С.В., доцент, кандидат физико-математических наук, заведующий лабораторией научно-исследовательского центра световодной фотоники, доцент института "Высшая инженерно-техническая школа", начальник лаборатории записи волоконных брэгговских решеток

avoloshina@itmo.ru

Ключевые слова

Чирпированная волоконная брэгговская решетка, суперпозиция ЧВБР, перекрытие спектров, волоконно-оптический датчик температуры, амплитудная методика опроса.

Волоконные брэгговские решетки являются одним из наиболее часто используемых оптических элементов при построении современных волоконно-оптических сенсорных систем. Датчики на их основе могут находить применение в тех случаях, где использование классических пьезоэлектрических решений не представляется возможным, благодаря ряду преимуществ оптического волокна: малые габариты и вес, невосприимчивость к электромагнитным помехам, надежность конструкции, малые оптические потери при передаче сигнала и большая пропускная способность, возможность мультиплексирования, отсутствие необходимости подведения электропитания в точку установки чувствительного элемента датчика. Такие дифракционные структуры находят широкое применение в качестве волоконных фильтров, чувствительных элементов волоконно-оптических систем мониторинга физических параметров, резонаторов волоконных лазеров, оптических элементов для компенсации дисперсии в волоконных системах связи или для мультиплексирования сигнала.

В качестве системы опроса датчика может применяться спектральная, интерферометрическая или амплитудная методика, каждая из которых имеет свои преимущества и недостатки. Спектральная методика опроса позволяет производить точные измерения вне зависимости от помех в схеме, но обладает низкой скоростью детектирования сигнала и требует технически сложного оборудования. Достоинствами интерферометрической методики являются высокие точность и скорость, но схема с таким опросом слишком чувствительна к помехам и обладает сложными алгоритмами обработки данных. Амплитудная методика опроса чувствительна к изменению величины сигнала, но позволяет детектировать сигнал с высокой скоростью, не требует сложных алгоритмов для обработки сигнала, обладает доступными компонентами и облегченными требованиями к эксплуатации. На нынешнем рынке появляется тенденция ухода от сложных интерферометрических и дорогих спектральных датчиков в пользу упрощенного и доступного амплитудного опроса. Также одной из задач остается повышение чувствительности и точности сенсора. Для решения этой проблемы изготавливают различные дифракционные структуры, выступающие в качестве чувствительного элемента сенсора: чирпированные ВБР, ВБР с фазовым сдвигом, суперпозиции ВБР, наклонные ВБР и другие.

В данной работе проводится исследование специфики записи суперпозиций чирпированных волоконных брэгговских решеток и рассматривается применение изготовленных дифракционных структур в качестве чувствительного элемента волоконно-оптического датчика температуры. В результате работы разрабатывается прототип амплитудного волоконно-оптического датчика температуры на основе суперпозиций чирпированных решеток Брэгга и проверяется оригинальная методика создания чувствительного элемента волоконно-оптического датчика на основе n-пар чирпированных решеток Брэгга, позволяющая повысить величину сигнала.

Изготовление суперпозиций чирпированных волоконных брэгговских решеток (ЧВБР) производилось интерферометрическим методом с использованием KrF эксимерной лазерной системы с центральной длиной волны излучения 248,3 нм (рис.1). Принцип записи описывается в работе [1].

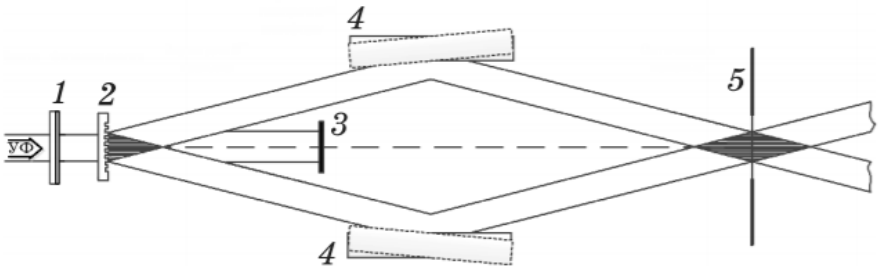


Рис. 1 – Схема записи решеток Брэгга с использованием интерферометра Тальбота:
1 – линза, 2 – фазовая маска, 3 – экран для «нулевого» порядка дифракции, 4 – поворотные зеркала, 5 – оптическое волокно [1]

В итоге, с помощью KrF эксимерной лазерной системы изготавливаются две суперпозиции. Первая суперпозиция является опорной и включает в свой состав ЧВБР с центральными длинами волн брэгговского резонанса 1550 нм и 1560 нм, в то время как ЧВБР второй структуры смещены в длинноволновую область спектра на 0,5 нм на полувысоте и используются как чувствительный элемент датчика температуры (рис.2).

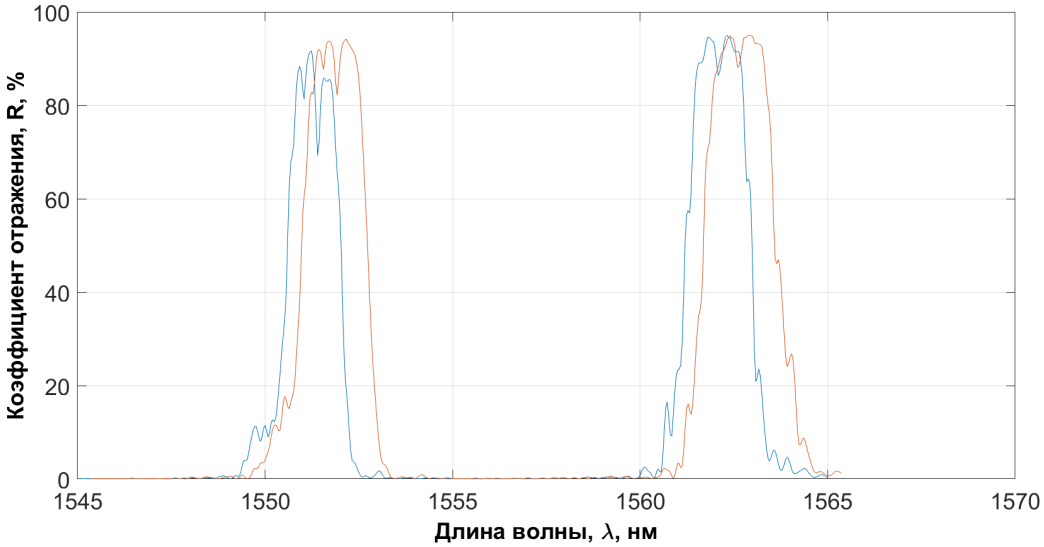


Рис. 2 – Спектр отражения суперпозиций ЧВБР

Температурная чувствительность волоконной брэгговской решетки, индуцированной в стандартном телекоммуникационном одномодовом оптическом волокне SMF-28, равна 13,7 пм/°С на длине волны 1550 нм [2]. Изготовление суперпозиций ЧВБР при комнатной температуре со сдвигом относительно друг друга на 0,5 нм позволяет измерять температуру в диапазоне от -11°С до 134°С.

В ходе записи производится оценка изменения центральной длины волны отражения каждой ЧВБР в составе суперпозиции и динамики роста дифракционной эффективности от суммарной дозы облучения (рис.3–6). Энергия импульса перед цилиндрической линзой равна 32 мДж, а размер прямоугольного пучка составляет 4,5 х 5,5 мм. Размер пучка на оптическом волокне равен 1 х 5,5 мм. Частота следования импульсов равна 10 Гц. Плотность энергии на оптическом волокне составила 0,35 Дж/см2.

В процессе изготовления ЧВБР происходит сдвиг центральной длины волны брэгговского резонанса (рис.5). Первая ЧВБР достигает коэффициента отражения 95% вдвое быстрее, чем вторая ЧВБР в составе суперпозиции (рис.4). Во время индуцирования второй

чирпированной решетки Брэгга коэффициент отражения первой остается стабильным, что означает отсутствие её «затирания» (рис.5). Сдвиг центральной длины волны первой ЧВБР наблюдается на протяжении записи суперпозиции: и первой, и второй ЧВБР (рис.6).

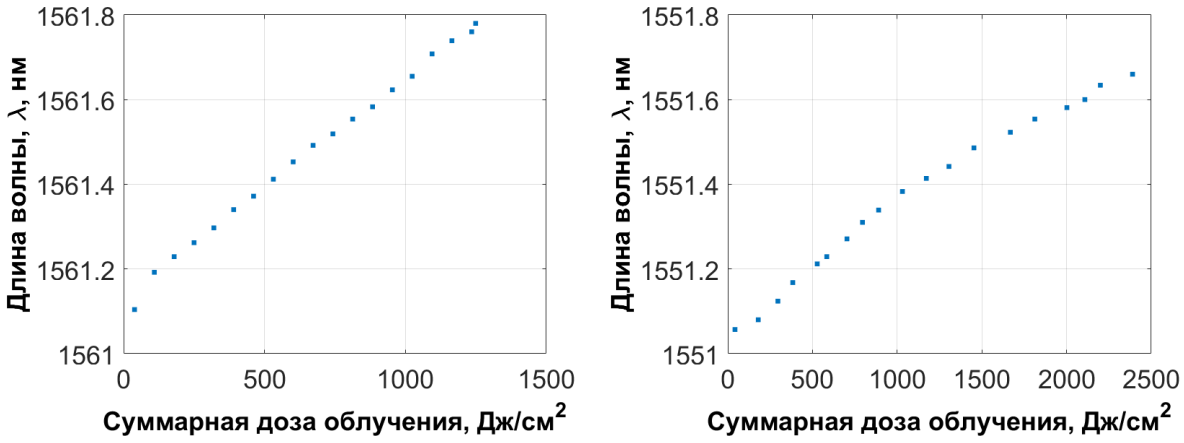


Рис. 3 – Сдвиг длины волны первой (а) и второй (б) ЧВБР в составе суперпозиции в зависимости от суммарной дозы облучения

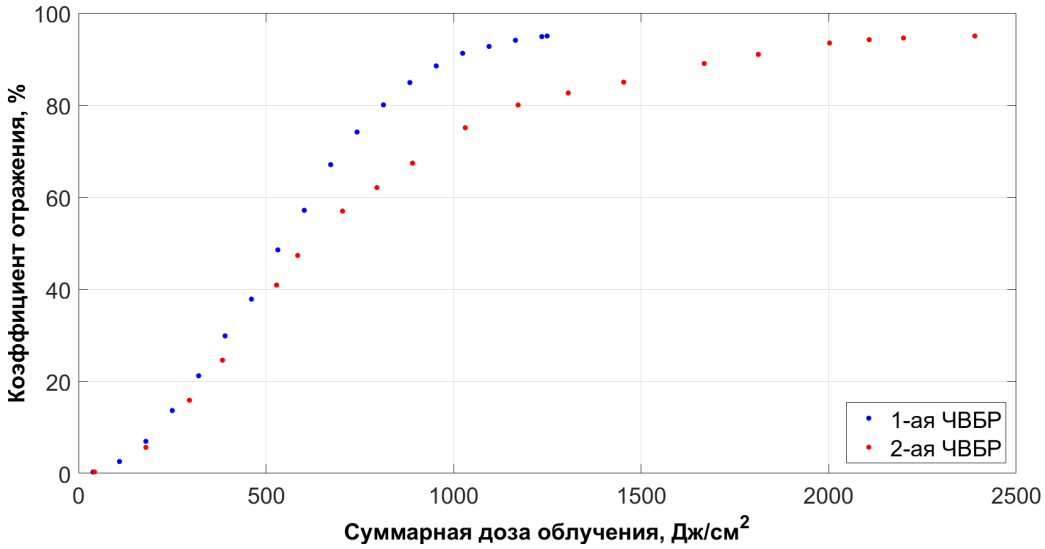


Рис. 4 – Динамика изменения коэффициента отражения для двух ЧВБР во время их записи

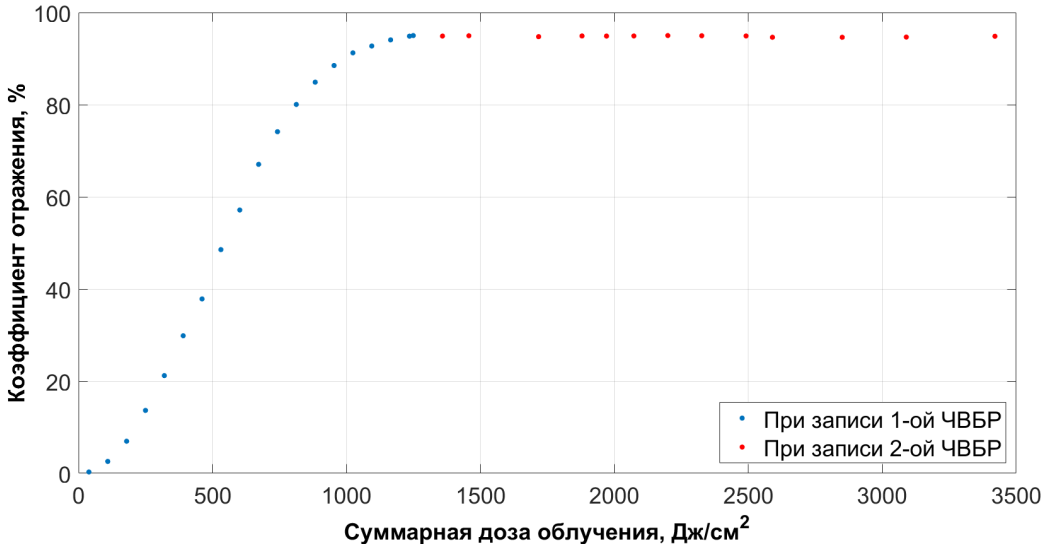


Рис. 5 – Динамика коэффициента отражения первой ЧВБР во время записи суперпозиции

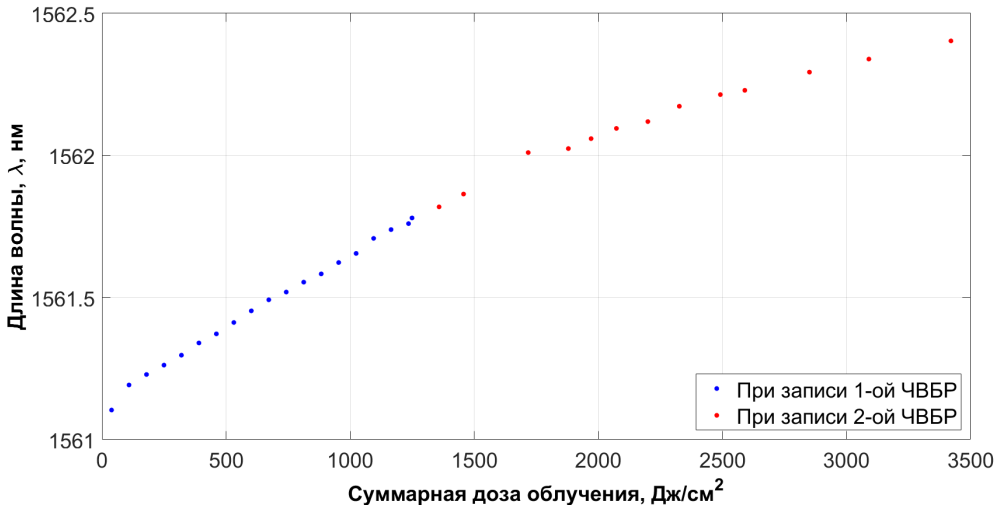


Рис. 6 – Сдвиг центральной длины волны первой ЧВБР во время записи суперпозиции

В результате оценки изготовления суперпозиций ЧВБР с коэффициентом отражения 95% выясняется следующее. Во время записи первой ЧВБР в составе суперпозиции ее центральная длина волны брэгговского резонанса сдвигается на 0,7 нм в длинноволновую область, при этом суммарная доза облучения составляет 1250 Дж/см^2. У второй ЧВБР в составе суперпозиции сдвиг центральной длины волны равен 0,6 нм, а суммарная доза облучения составляет 2500 Дж/см^2. Во время изготовления второй ЧВБР в составе суперпозиции оценивается сдвиг центральной длины волны Брэгга первой ЧВБР – 0,6 нм.

Суперпозиции ЧВБР используются в качестве чувствительного элемента амплитудного температурного датчика. Структура с ЧВБР меньших центральных длин волн термостатична и является опорной. Вторая суперпозиция помещается в металлическую трубку, где закрепляется, с одной стороны, с помощью клеевого соединения, и является чувствительной к температуре [3].

Амплитудная схема опроса датчика реализуется следующим образом. Излучение широкополосного источника через Y-ответвитель попадает на опрашиваемые структуры и, отражаясь, проходит обратно через разветвитель, где детектируется с помощью измерителя оптической мощности (рис.7). Спектральная методика в схеме опроса используется в качестве дополнительного контроля.

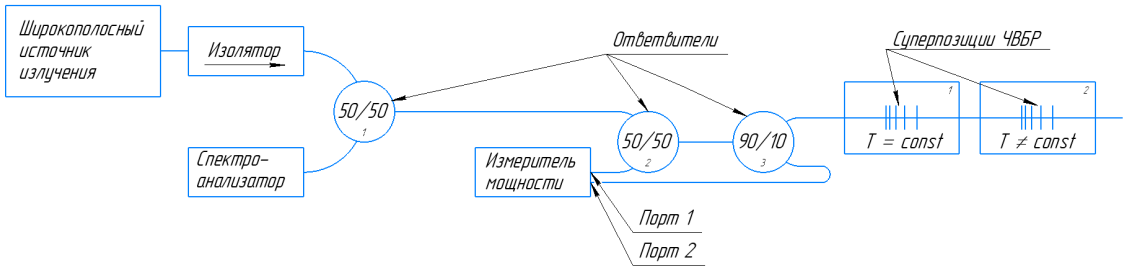


Рис. 7 – Схема опроса датчика

При увеличении температуры спектры ЧВБР суперпозиции, являющейся чувствительным элементом датчика, сдвигаются в длинноволновую область. Тогда степень перекрытия ЧВБР уменьшается и увеличивается суммарная отраженная мощность. Таким образом, модуляция отраженной мощности связана со степенью перекрытия спектров суперпозиций ЧВБР [3].

Проводятся температурные испытания амплитудного датчиков температуры на основе суперпозиций ЧВБР и на основе одиночных ЧВБР. Представляются полученные зависимости изменения отраженной оптической мощности структур от температуры (рис.8 и 9).

Сравнение амплитудного датчика температуры на основе суперпозиций ЧВБР с датчиком на основе одиночных ЧВБР, показывает большее абсолютное изменение сигнала, чувствительность и точность у первого сенсора.

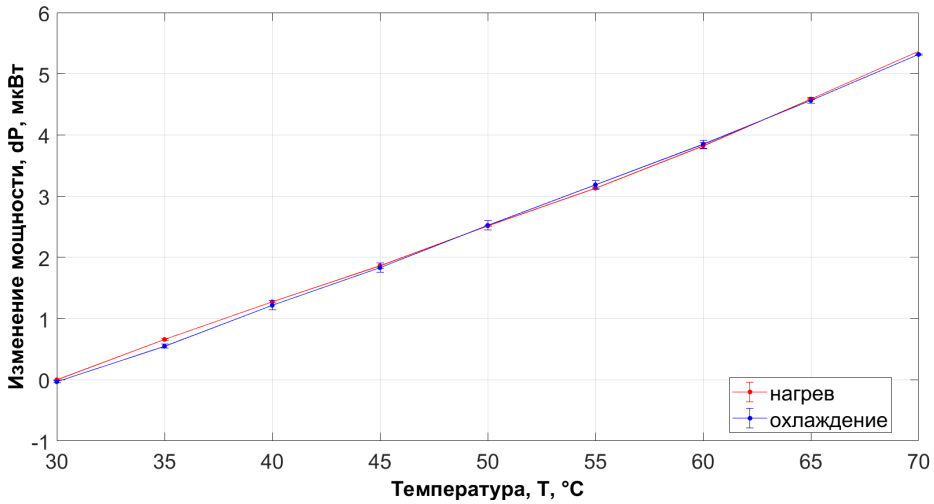


Рис. 8 – Температурный отклик датчика на основе пары одиночных ЧВБР

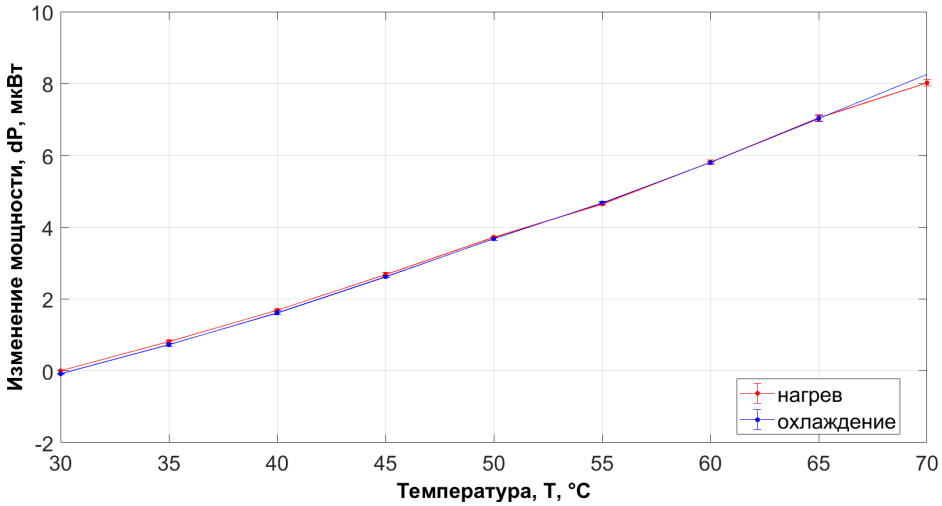


Рис. 9 – Температурный отклик датчика на основе пары суперпозиций ЧВБР

В результате работы проводится анализ научно-технической литературы по теме исследования, изготавливаются суперпозиции ЧВБР, разрабатывается чувствительный элемент амплитудного волоконно-оптического датчика температуры с двумя парами ЧВБР и проводятся температурные испытания прототипа датчика. Успешно испытывается оригинальная методика реализации чувствительного элемента амплитудного волоконно-оптического датчика температуры с n-пар ЧВБР, позволяющая масштабировать величину сигнала. В сравнении с существующими измерительными приборами на спектральной и интерферометрической методиках опроса представленный амплитудный датчик обладает быстродействием, облегченной схемой с доступными компонентами и низкими требованиями к условиям эксплуатации [3]. В дальнейшем планируется создание и испытания схемы опроса с компенсацией потерь, которые могут возникнуть вследствие нестабильной работы источника излучения и/или физических повреждений оптического волокна.

Список использованных источников

1. Mikhneva A.A., Gribaev A.I., Varzhel’ S.V., Frolov E.A., Novikova V.A., Konnov K.A., Zalesskaya Yu.K. Inscription and investigation of the spectral characteristics of chirped fiber Bragg gratings // J. Opt. Technol. – 2018. –V.85. DOI:10.1364/JOT.85.000531.
2. Othonos A. Fiber Bragg gratings // Rev. Sci. Instrum. – 1997. – V.68. – №12. – Pp. 4309–4341.
3. Волошина А.Л., Дмитриев А.А., Варжель С.В., Лосева Е.А. Изготовление суперпозиций чирпированных волоконных решеток Брэгга и исследование их применения для измерения температуры // Сборник тезисов докладов XI Конгресса молодых ученых. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://kmu.itmo.ru/file/download/application/25546 (дата обращения: 28.06.2022).

УДК 535.015

ИССЛЕДОВАНИЕ ФАЗОВЫХ ИСКАЖЕНИЙ В СИСТЕМЕ КВАНТОВОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КЛЮЧА НА НЕПРЕРЫВНЫХ ПЕРЕМЕННЫХ

Гончаров Ф.М.

Научный руководитель – Наседкин Б.А., научный сотрудник лаборатории квантовых процессов и измерений, лаборатории квантовых коммуникаций

fedor_goncharov@mail.ru

Ключевые слова

Фазовая компенсация, квантовое распределение ключа на непрерывных переменных, фазовый шум, алгоритм фазовой компенсации.

Квантовое распределение ключа (КРК) является основной составляющей квантовых коммуникаций, позволяя двум участникам (Отправителю и Получателю) безопасно распределить по квантовому каналу ключ при условии любых действий, подчиняющихся законам физики, со стороны Злоумышленника. Существует два основных подхода реализации КРК: на дискретных переменных и на непрерывных переменных. В настоящее время активно развивается последний, так как он лишен некоторых недостатков подхода на дискретных переменных, в частности, в нем используется когерентное детектирование [1], которое дешевле и доступнее детектирования одиночных фотонов, необходимого для КРК на дискретных переменных. Когерентное детектирование подразумевает под собой интерференцию на светоделителе слабого сигнального излучения с сильным излучением, называемым локальным осциллятором (ЛО). Интенсивности на выходах из светоделителя регистрируется детекторами и затем вычитаются, что позволяет регистрировать квадратурные составляющие сигнального излучения.

Наличие интерференции, как принципиально важной составляющей работы системы, влечет за собой необходимость учета фазовых искажений в системе, так как в противном случае будут использованы некорректные данные для генерации сырой битовой последовательности у Отправителя и Получателя. Фазовые искажения возникают в системе вследствие несбалансированности плеч интерферометра, дисперсии в волокне, не идеальности оборудования. Таким образом, реализация систем КРК НП невозможна без решения проблемы учета фазовых искажений и последующей фазовой компенсации.

В настоящее время уже существуют и разрабатываются методы устранения дрейфа фазы, однако на данном этапе эти методы и алгоритмы носят, в основном, теоретический характер и не являются оптимальными окончательными.

Целью настоящей научно-исследовательской выпускной квалификационной работы (НИВКР) является оптимизация алгоритма и параметров фазовой компенсации для дальнейшего внедрения в систему распределения квантового ключа на непрерывных переменных, реализуемой в лаборатории квантовых коммуникаций Университета ИТМО. Актуальность данной работы обусловлена тем, что для применения теоретических методов на практике возникает необходимость решения множества технических и прикладных задач, а также требуется оптимизация параметров алгоритма фазовой компенсации под конкретную схему КРК. Результаты выполнения данной НИВКР могут стать перспективным научным заделом для использования в дальнейших разработках, проводимых в лабораториях Университета ИТМО в сфере квантовых коммуникаций.

В настоящей ВКР рассмотрены существующие алгоритмы фазовой компенсации [2]. В большинстве из них предлагается использование опорных импульсов для корректировки фаз следующих за ними сигнальных импульсов. Другими словами, считается, что влияние фазового шума между опорным импульсом и сигнальными импульсами, идущими за ним, несущественно. Для того, чтобы соблюсти данное положение, необходимо, чтобы опорные импульсы шли как можно чаще, что, в свою очередь, ведет к тому, что передается меньше

сигнальных импульсов в отрезок времени, следовательно, уменьшается скорость генерации битовой последовательности у Отправителя и Получателя. В настоящей НИВКР предлагается использования двух опорных импульсов для компенсации фазы сигнальных между ними. Для каждого сигнального импульса теперь рассчитывается свой поворот фазы из предположения, что фазовый шум линейно изменяется за время между двумя опорными импульсами. Этот факт позволяет уменьшить частоту следования опорных импульсов и тем самым увеличить скорость, так как можно передавать больше сигнальных импульсов на один опорный.

Помимо оптимизации метода компенсации фазы с использованием двух опорных импульсов вместо одного, в работе также предлагается способ оценки оптимального значения частоты следования опорных импульсов, или же соотношение числа сигнальных импульсов к опорным, что равнозначно. Для оценки частоты опорных импульсов исследуется фазовый шум системы без модуляции сигнала и его спектр, что дает возможность оценить временные интервалы, в пределах которых можно считать фазу постоянной или изменяющейся линейно, тем самым оценить, какая частота следования опорных импульсов является оптимальной.

В рамках НИВКР была собрана экспериментальная схема установки, аналогичная схеме КРК на непрерывных переменных. С помощью анализа фазового шума данной системы был сделан вывод, что оптимальная частота следования опорных импульсов составляет порядка единиц Гц для данной экспериментальной установки. Далее были проведены измерения квадратур для частот опорных импульсов 2 Гц, 4 Гц и 8 Гц и реализованы оба метода фазовой компенсации (метод, предложенный в литературе, и оптимизированный метод). Эффективность корректировки квадратур предложенным методом на двух опорных импульсах оказалась выше для низких частот следования опорных импульсов 2 Гц, 4 Гц и 8 Гц на 85%, 78% и 51% соответственно, по сравнению с методом одного опорного импульса, что говорит о том, что с помощью оптимизированного метода можно использовать меньшие значения частоты опорных импульсов при той же точности фазовой компенсации, тем самым повышая скорость генерации битовой последовательности.

Для оценки оптимальности использования выбранной частоты опорных импульсов (4 и 8 Гц) также проведен эксперимент с частотой 500 кГц. В результате было показано, что частота опорных импульсов 8 Гц выполняет корректировку квадратур Отправителя примерно с той же точностью, как и при использовании частоты опорных импульсов на пять порядков выше. Это было показано при анализе распределений ошибки восстановления квадратурных компонент поля, а именно тем, что средняя дисперсии ошибки корректировки обеих квадратур для частоты опорных импульсов 500 кГц составляет $3{,}71 \cdot 10^{-4}$, что сопоставимо с аналогичными значениями для частот опорных импульсов 4 и 8 Гц ($5{,}31 \cdot 10^{-4}$ и $2{,}73 \cdot 10^{-4}$ соответственно). Один порядок дисперсий ошибки говорит о том, что повышение частоты выше оптимального уровня порядка единиц Гц (4 – 8 Гц) не приводит к улучшению работы фазовой компенсации, что подтверждает предложенную оценку оптимальной частоты опорных импульсов. Уменьшение же частоты до 2 Гц приводит к уже существенному возрастанию дисперсии ошибки восстановления квадратур.

Подводя итог, можно сделать вывод, что предложенный метод компенсации фазы с помощью двух опорных импульсов является более эффективным (что было продемонстрировано экспериментально), и позволяет использовать более низкие частоты опорных импульсов, что повышает скорость распределения битовой последовательности. Кроме того, анализ фазового шума позволяет оценить порядок оптимальной частоты опорных импульсов, что также было показано экспериментально при сравнении результатов фазовой компенсации для выбранной частоты, исходя из данного анализа фазового шума и частоты на пять порядков выше. Результаты, полученные в ходе выполнения данной НИВКР, будут использоваться и уточняться в дальнейших исследованиях.

Список использованных источников

1. Hirano T. et al. Quantum cryptography using pulsed homodyne detection // Physical review A. – 2003. – Т.68. – №4. – С. 042331.
2. Soh D.B.S. et al. Self-referenced continuous-variable quantum key distribution protocol // Physical Review X. – 2015. – Т.5. – №4. – С. 041010.

УДК 66.061:661.12, 581.1:582.71

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ КОМПЛЕКСА БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ ИЗ РЯБИНЫ ЧЕРНОПЛОДНОЙ (*ARÓNIA MELANOCÁRPA*)

Кийски В.Д.

Научный руководитель – Яковченко Н.В., кандидат технических наук, доцент и старший научный сотрудник факультета биотехнологий

vitalina.kiiski@gmail.com

Ключевые слова

Черноплодная рябина, полифенольные соединения, антоцианы, спектрофотомерия, обогащенный продукт.

Пищевые добавки являются неотъемлемой частью нашей жизни. Их использование позволяет решать ряд задач, таких как усовершенствование технологий производства продуктов питания и увеличение ассортимента выпускаемой продукции. Таким образом, пищевые добавки используют для пролонгирования сроков хранения, улучшения вкусо-ароматических характеристик, улучшению консистенции и т.д. По статистическим данным рынок пищевых добавок растет на 3 – 5% ежегодно с 2010 года [1], однако значительная часть производств пищевых добавок принадлежит иностранным компаниям.

Натуральные пищевые добавки получают, используя различные методы: экстракция, фракционирование, аэробно брожение, нейтрализация и др. [2].

В работе выбранный метод – экстракция. Данный метод обладает высокой избирательностью, возможностью работы как с большими, так и с малыми концентрациями, отсутствием загрязнений продуктов [3].

В качестве основного сырья были выбраны ягоды черноплодной рябины, которые произрастают на территории Ленинградской области, плоды использовались замороженными. Использование замороженных ягод не только способствует пролонгированию сроков хранения, но и способствует более успешному извлечению БАВ вследствие дезинтеграции оболочек ягоды [4]. Замораживание позволяет максимально сохранить исходные вещества, в том числе биологически активные.

Стоит отметить, что упоминания об аронии черноплодной берет начало в Северной Америке. В России же черноплодная рябина появилась благодаря И.В. Мичурину, который высоко оценил эту плодовую культуру. Черноплодная рябина превосходит другие ягодники по экономической эффективности возделывания [5]. Помимо этого, черноплодная рябина устойчива к различного рода болезням, плоды ее не осыпаются, обладает высокой урожайностью и стабильностью, отличается простотой в выращивании. Кроме этого, арония черноплодная относится к растениям, плоды которой наиболее богаты полифенольными соединениями и антоцианами, в частности. По среднестатистическим данным [6] в 100 г черноплодной рябины содержится 2000 – 15000 мг фенольных соединений. Из-за специфичного вкуса плоды черноплодной рябины редко употребляются в сыром виде. В основном ее перерабатывают на соки, а также джемы, желе и мармелад из-за высокого содержания пектина. При этом из-за высокого содержания антоцианов арония может быть использована для получения натуральных пищевых красителей. За цвет отвечают антоцианы, которые в клетках находятся преимущественно в виде гликозидов. Они имеют С15-углеродный скелет — два бензольных кольца А и В, соединенные С3-фрагментом, который с атомом кислорода образует γ-пироновое кольцо.

Эти вещества обладают целым рядом биологической активности, к ним относятся спазмолитическая, противовоспалительная, противоаллергическая, мочегонная, кровоостанавливающая, антиоксидантная и другие. Благодаря такому спектру воздействия

на организм существует ряд исследований, посвященных профилактике и лечению таких заболеваний как сахарный диабет и рак, а также попытки замедлить процесс старения.

Таким образом, включение антоцианов в продукт будет являться источником жизненно необходимых веществ, необходимых для обеспечения физиологических потребностей организма. Антоцианы будут нести в себе значимость не только из-за красящего эффекта, но и из-за комплексного положительного воздействия на организм человека [7]. Такая добавка может стать преимуществом на существующем рынке.

Экспериментальный этап разделен на 3 основных блока, связанных между собой. Для выделения полифенольных соединений выбрана экстракция. Этот метод подразумевает использование растворителя. В качестве растворителей исследовались дистиллированная вода и этиловый спирт 96%. Существуют исследования, доказывающие, что наилучшим растворителем антоцианов является 0,1 процентный HCI в метаноле, однако в условиях пищевых производств использование этого летучего ядовитого растворителя затруднено. Также в качестве растворителя могут быть использованы: соляная, молочная, лимонная кислоты, этиловый спирт/этиловый спирт в сочетании с различными кислотами для того, чтобы регулировать активную кислотность среды, глицерин, дистиллированная вода [8]. Известно, что выход вещества зависит от вида применяемого растворителя и продолжительности процесса. В ходе работы было определено, что для того, чтобы получить рабочий экстракт необходимо выполнить ряд операций: измельчить сырье [6], добавить растворитель (гидромодуль 1:2), нагревать экстракты на водяной бане при разной температуре с разной выдержкой. Нагревание на водяной бане необходимо для увеличения выхода экстрагируемых веществ. После этого с помощью спектрофотомерии, методе, который основан на стабилизации окраски раствора и последующем изменении оптической плотности, была определена оптическая плотность экстрактов. Оптическую плотность измеряли при длине волны 530 нм, с использованием кюветы с толщиной 1 см. Полученные данные отображены в таблице 1.

Таблица 1

Значение оптической плотности

№ п/п	Продолжительность, мин	Температура, °С	Оптическая плотность, λ = 530 нм		
			Дистиллированная вода	Этиловый спирт	А(вода+УЗ)
1	20	30	2,253 ± 0,002	2,266 ± 0,002	2,262 ± 0,005
2	45		2,296 ± 0,002	2,286 ± 0,002	2,310 ± 0,005
3	60		2,297 ± 0,002	2,291 ± 0,002	2,311 ± 0,004
4	20	40	2,254 ± 0,002	2,267 ± 0,002	2,362 ± 0,005
5	45		2,298 ± 0,002	2,290 ± 0,003	2,364 ± 0,003
6	60		2,297 ± 0,002	2,292 ± 0,003	2,368 ± 0,004
7	20	50	2,248 ± 0,001	2,502 ± 0,002	2,492 ± 0,003
8	45		2,248 ± 0,002	2,495 ± 0,003	2,495 ± 0,003
9	60		2,423 ± 0,003	2,498 ± 0,003	2,428 ± 0,004
10	20	60	2,498 ± 0,002	2,512 ± 0,002	2,499 ± 0,003
11	45		2,484 ± 0,001	2,499 ± 0,002	2,486 ± 0,003
12	60		2,425 ± 0,001	2,502 ± 0,003	2,428 ± 0,004
13	20	70	2,451 ± 0,002	2,428 ± 0,002	2,457 ± 0,003
14	45		2,453 ± 0,004	2,431 ± 0,002	2,458 ± 0,003
15	60		2,399 ± 0,002	2,413 ± 0,003	2,412 ± 0,004
16	20	80	2,456 ± 0,002	2,399 ± 0,003	2,455 ± 0,005
17	45		2,441 ± 0,002	4,436 ± 0,002	2,463 ± 0,004
18	50		2,401 ± 0,002	2,463 ± 0,003	2,511 ± 0,003
19	20	90	2,610 ± 0,002	2,282 ± 0,003	2,612 ± 0,004
20	45		2,613 ± 0,003	2,279 ± 0,003	2,620 ± 0,004
21	60		2,598 ± 0,003	2,268 ± 0,002	2,615 ± 0,005
22	20	100	2,352 ± 0,002	2,251 ± 0,002	2,257 ± 0,005

Анализируя табличные данные, был сделан вывод о наилучших параметрах приготовления экстракта (рис.1) – температура 90°С, продолжительность выдержки 45 минут, в качестве экстрагента – дистиллированная вода. Для того, чтобы интенсифицировать процесс извлечения биологически активных веществ и увеличить выход извлекаемых веществ было решено использовать ультразвуковые колебания высокой интенсивности. Ультразвук повышает проницаемость клеточных мембран и ускоряет диффузные процессы, кроме этого, ультразвук является зеленой технологией, позволяющей получить качественный конечный продукт с минимальным влиянием на окружающую среду. В качестве источника ультразвукового воздействия была выбрана ультразвуковая ванна. Продолжительность выдержки была выбрана в ходе предварительных экспериментов и составила пять минут при максимальной мощности.

Исходя из данных, отраженных в таблице 1, делаем вывод о том, что воздействие ультразвука увеличивает значение оптической плотности, а следовательно, и выход экстрагируемых веществ.

Для того, чтобы определить значения концентрации фенольных веществ и антоцианов, используем специальные методики. Идентификация фенольных веществ основана на спектральных исследованиях [9], а метод определения общего содержания антоцианов заключается в стабилизации окраски экстракта подкисленным до pH 1 – 2 этиловым спиртом [10]. В таблице 2 отражены значения концентрации фенольных соединений и антоцианов, которые получены по специальным методикам, описанным выше.

Таблица 2

Концентрация выделенных веществ

№ п/п	Продолжитель-ность, мин	Температура, °С	Концентрация фенольных веществ, мг/100г исх. сырья	Концентрация антоцианов, мг/л
1	20	30	31,80 ± 1,24	2379,69 ± 21,32
2	45		32,48 ± 1,24	2426,18 ± 22,32
3	60		32,50 ± 1,25	2427,24 ± 21,31
4	20	50	35,08 ± 1,24	2628,01 ± 23,31
5	45		35,12 ± 1,21	2622,73 ± 22,34
6	60		34,17 ± 1,24	2560,38 ± 21,32
7	20	80	34,55 ± 1,21	2595,26 ± 23,33
8	45		34,66 ± 1,22	2578,35 ± 24,32
9	50		35,35 ± 1,24	2537,14 ± 21,33
10	20	90	36,79 ± 1,21	2757,99 ± 21,33
11	45		36,90 ± 1,21	2762,21 ± 22,34
12	60		36,83 ± 1,21	2745,31 ± 23,34

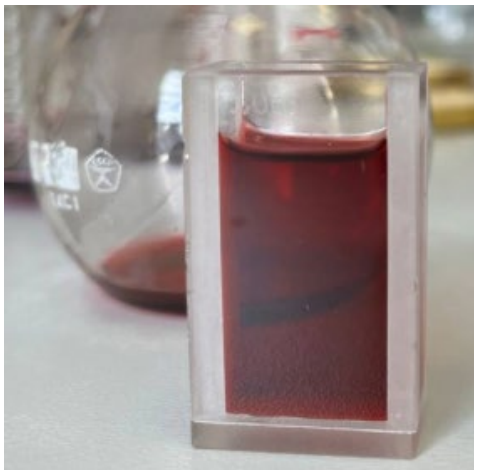


Рис. 1 – Экстракт черноплодной рябины

Рис. 2 – Высушенный экстракт

Из таблицы 2 видно, что наибольшая концентрация фенольных веществ и антоцианов наблюдается в опыте №11. Поэтому в дальнейших исследованиях будет использован экстракт, приготовленный по этой технологии.

Для того, чтобы получить высушенный экстракт (рис.2) в виде порошка, использовали распылительную сушилку [11]. В ходе сушки было определено, что необходимо использовать агент-носитель, в качестве которого был выбран мальтодекстрин, так как порошок без использования мальтодекстрина липкий, а также обладает высокой влажностью, и использование такого образца затруднено. Подбор мальтодекстрина так же производился опытным путем (были рассмотрены концентрации 7%, 12% и 17%), рабочий вариант – 17% от массы жидкого экстракта. При такой концентрации порошок получается не липкий, с влажностью 3,23 ± 0,29%. Температура на входе распылительной сушилки составляла 140°С, температура на выходе составляла 78 – 88°С, давление 1,0 кг/см^2 и скорость потока 0,62 мл/мин. Максимальный выход порошка [12] при таких параметрах 7,9 ± 1,0%, концентрация фенольных соединений 37,28 мг/л, антоцианов – 2493,81мг/100г.

Следующим этапом исследования был выбор дозы вносимой добавки в мороженое (рис.3). Для того, чтобы определить дозу внесения, руководствовались в первую очередь нормой потребления полифенольных соединений и антоцианов. Комитет экспертов ВОЗ по пищевым добавкам (JECFA) рассчитал приемлемую суточную доза антоцианов (ADI) для человека в количестве 2,5 мг/кг массы тела [13]. Необходимый уровень потребления антоцианов должен составлять 50 – 150 мг в сутки [14]. Помимо суточной потребности учитывался внешний вид и вкус. Таким образом, количество вносимого сухого экстракта, обладающего биологической активностью, составляет 2%. Проведя необходимые расчеты, было выяснено, что при потреблении 1 порции мороженого (100 г) содержится 49 мг антоцианов. Также проводилась сенсорная оценка влияния внесения красителя на органолептические показатели мороженого. Помимо органолептической оценки необходимо исследовать влияние вносимого красителя на сопротивление мороженого таянию, взбитости, размер воздушных пузырьков и другие показатели качества. Результаты определения влияния вносимого красителя на формирование качества мороженого (рис.4) отражено в таблице 3. В качестве контрольного образца использовалось мороженое, приготовленное по такой же рецептуре, что и рабочий образец, за исключением внесения экстракта.

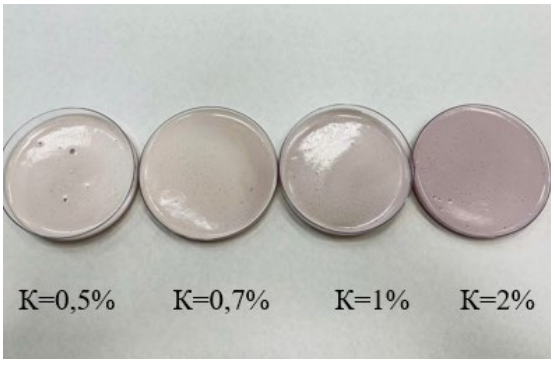


Рис. 3 – Влияние внесения разной концентрации натуральной добавки на цвет смеси мороженого

Рис. 4 – Образцы мороженого без натуральной добавки и с внесением добавки

Таблица 3

Показатели образцов мороженого

Показатель		**Контрольный образец**	**Рабочий образец**
Взбитость, %		49,0±5,0	35±5,1
Средний размер воздушных пузырьков, мкм		32,0±2,5	37,0±2,0
Вязкость, с		13,03±1,10	12,49±1,08
Сопротивление таянию, мин	Мягкое мороженое	17,0±0,1	13,0±0,2
	Закаленное мороженое	39,0±0,1	34,0±0,2

Таким образом, в ходе работы были определены: технологические параметры получения жидкого экстракта (измельчение замороженного сырья, добавление растворителя (дистиллированная вода), использование ультразвуковой ванны (τ = 5 мин), подогрев на водяной бане (τ = 45 мин, t = 90°С); технологические параметр сушки экстракта (распылительная сушка – $t_{вх}$ = 140°С, $t_{вых}$ = 88°С), также с целью повышения показателей качества высушенного экстракта, необходимо использование агента-носителя – мальтодекстрина (с = 17% от массы жидкого экстракта); разработана рецептура молочного мороженого и отработаны технологические параметры процесса производства мороженого с добавкой, полученной из плодов черноплодной рябины (установленная рекомендуемая доза внесения составляет 2% от массы смеси мороженого). В дальнейшем планируется проведение исследований на моделях *in vitro* с целью получения данных о биоусвояемости антоцианов при употреблении их в составе молочных продуктов и включении рацион питания на регулярной основе.

Список использованных источников

1. Исследование рынка пищевых микроингредентов. [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://marketing.rbc.ru/aithor/1203931.shtml (дата обращения: 05.05.2022).
2. Сарафанова Л.А. Пищевые добавки: Энциклопедия // СПб.: Гиорд, 2003. – 688 с.
3. Cravotto G., Boffa L., Mantegna S., Perego P., Avogadro M., Cintas P. Improved extraction of vegetable oil under high – intensity ultrasound and/or microwaves // Ultrasonics Sonochemistry. – 2008. – V.15. – Pp. 898–902.
4. Стрингер М. Охлажденные и замороженные продукты/под науч.ред. Н.А. Уваровой, пер. с англ – СПб: Профессия, 2004. – 496 с.
5. Kokotkiewicz A., Jaremicz Z., Luczkiewicz M. Aronia plants: a review of traditional use, biological activities, and perspectives for modern medicine // J Med Food. – 2010. – №13(2). – Pp. 255–269. DOI: 10.1089/jmf.2009.0062.
6. Федюлин А.С. Особенности измельчения плодов аронии черноплодной // Химия растительного сырья. – 2006. – №4. – С. 55-58.
7. Смирнов Е.В. Пищевые красители. Справочник. – СПб.: Издательство «Профессия», 2009. – 132 с.
8. Болотов В.М., Нечаев А.П., Сарафанова Л.А. Пищевые красители: классификация, свойства, анализ, применение. СПб.:ГИОРД, 2008. – 54 с.
9. Флавоноиды: биохимия, биофизика, медицина / Ю.С. Тараховский и др.; отв.ред. Е.И. Маевский. Пущино: synchrobook. – 2013. – 310 с.
10. Саввин П.Н., Игнатова К.С., Ломакина А.Э. Особенности выделения антоцианов спиртами алифатического ряда // Вестник ВГУИТ. – 2015. – №2. – 171 с.
11. Алексанян И.Ю., Максименко Ю.А., Петровичев О.А. Распылительная сушка растительных экстрактов. Теория. Практика. Моделирование: монография // Germany, Saarbrucken: LAPLambertAcademicPublishingGmbh&Co.KG. – 2011. – 162 с.
12. Jinapong N., Suphantharika M., Jamnong P. Production of instant soymilk powders by ultrafiltration, spray drying and fluidized bed agglomeration // J. Food Eng. – 2008. – 84. – С. 194–205.
13. Колбас Н.Ю. и др. Антоцианы и антиоксидантная активность плодов некоторых представителей рода Rubus // Вести НАН Беларуси. Сер. биологические науки. – 2012. – №1. – С. 5–10.
14. Hou D.X. Potential mechanisms of cancer chemoprevention by anthocyanins // Current molecular medicine. – 2003. – №3(2). – Pp. 149–159.

УДК 004.896

ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ УПРАВЛЕНИЯ ЧЕТЫРЁХНОГОГО РОБОТА С ГИБКОЙ СПИНОЙ

Осипов Е.В.

Научный руководитель – Борисов И.И., кандидат технических наук, доцент и научный сотрудник факультета систем управления и робототехники, старший научный сотрудник исследовательского центра в сфере искусственного интеллекта "Сильный искусственный интеллект в промышленности"

osipov.efim@gmail.com

Ключевые слова

Четырехногие роботы, генетические алгоритмы, не полноприводная система, системы управления робота, энергоэффективность.

Одной из современных проблем шагающих роботов остается продолжительность работы от аккумулятора. Существенные потери энергии возникают при шаге за счет ударных нагрузок. Исследователи в статьях [1,2,3] рассматривают минимизацию потерь благодаря использованию эластичных элементов. Они способны накапливать кинетическую энергию при соударении ноги с землей и возвращать энергию во время взлета. Также в экспериментах с прототипами роботов с гибким корпусом достигались более высокие скорости по сравнению с стандартной конструкцией робота.

Открытым вопросом при управлении четырехногим роботом остается построение математической модели, достаточно точной для отражения состояния реальной системы и возможности синтеза управления для неё. Из-за нетривиальности задачи существует большое количество комбинаций аналитических моделей и регуляторов, которые невозможно рассмотреть за одну работу. Среди алгоритмов управления стоит выделить линейно-квадратичный регулятор, управление с прогнозируемой моделью и управление по импедансу. Составление валидной математической модели робота с гибким корпусом, можно считать, неразрешимой задачей поэтому вышеописанные управления не применимы. Другим подходом является представления системы робота со средой в виде черного или серого ящика, и применение эвристических методов управления. К эвристической группе управления относятся численные методы оптимизации и обучение с подкреплением. Пространство возможных движений робота огромное и обучение модели нейронной сети потребует большого количества времени. Указанные трудности послужили причиной воспользоваться численными методами оптимизации, как системой управления. Метод не найдет оптимальное решение, но рабочее за ограниченное время поиска. В качестве метода оптимизации выбран генетический алгоритм из-за популярности при решении робототехнических задач.

В рамках работы необходимо провести синтез управления для четырехногого робота с податливым корпусом, которая способна обеспечить требуемые типы перемещения: шаг со средней скоростью 0,375 м/с; бег рысью со средней скоростью 0,9 м/с; вращательный галоп со средней скоростью 1,5 м/с. Ошибка по скорости не должна превышать 0,1 м/с. Энергетическая стоимость перемещения (СП) должна быть не более 2 единиц. Значения желаемых скоростей позаимствованы из работы [4], авторы которой нашли наименее энергозатратные скорости для каждой рассматриваемой вида походки.

В ходе работы определились параметры поиска. Пространство поиска задается n-ым количеством положений звена ноги. Через полученные точки строится график движения звена во времени путем интерполяции кубическим сплайном. График задается на заданном промежутке времени. Далее операция выполняется для оставшихся управляемых звеньев ног и составляется макровектор параметров поиска u. При передвижении робота полученная траектория движения звеньев повторяется и создается циклическая походка. Однако, количество параметров можно сократить практически в два раза, если предположить, что

движение правых и левых ног идентичны и различаются лишь фазой движения. Поиск траектории движения ног потребуется только одной из сторон и еще два параметра отвечающие за смещение фазы движения передних и задних ног робота. Для спины робота находится коэффициент жесткости и положение спины, при котором упругий элемент находится в равновесии.

Была составлена целевая функция для численной оптимизации. В функции отражаются критерии оптимизации. Основной задачей является поиск движения ног для достижения желаемой скорости робота $v_{жел}$. Критерий задается как разница между конечной координатой центра корпуса робота $x(t_{стоп})$ и координатой, если бы робот двигался поступательно с желаемой скоростью за все время моделирования t_M. Реалистичность походки робота связана с изменением знака производной от времени графиков движения звеньев, поэтому зададим счетчик χ изменения производной и подставим в целевую функцию, как показательная функция по основанию 2. Данные критерии в ходе оптимизации необходимо минимизировать. Следующий критерий необходимо максимизировать для устойчивости робота при движении и достижения желаемых условий. В целевой функции критерий задается, как время остановки симуляции $t_{СТОП}$ в 4 степени. Итоговую функцию минимизации представлена на формуле (1).

$$F(u^*) = \min_{\mathbf{u}} \frac{(\alpha \cdot (x(t_{\text{стоп}}) - t_{\text{м}} \cdot v_{\text{жел}}))^2}{t_{\text{стоп}}^4} \cdot 2^{\chi}, \quad (1)$$

где α – постоянный коэффициент. Применение четных степеней обусловлено выводами из оптимизации аналитическими методами. Помимо того, что степень увеличивают разность между желаемым и действительным значением, возведение в степень позволяет осуществить сглаживание целевой функции [5].

Условия остановки симуляции определяет нежелательные состояния управляемой системы. Такие как, полет и падение робота, остановка в начале моделирования, движение в противоположную сторону от желаемой, превышение высоты поднятия стопы робота и отклонение от прямой движения. Если одно из условий не выполняется, то симулирование прерывается и переходит к моделированию для следующего набора параметров оптимизации. Что позволяет сократить время оптимизации и не тратить ресурсы на оптимальный набор параметров.

Исследование работоспособности алгоритма управления проводилось на имитационной модели упрощенной версии робота *Unitree A1* от компании *Unitree Robotics.* Упрощение заключается в редуцирование двух приводов бедренного и коленного сустава до одного. Конструкция спины робота представлена в форме вращательной кинематической пары с пружиной кручения.

Результаты оптимизации для трех видов движения представлены в таблице 1.

Таблица 1

Характеристики движения робота для трех видов передвижений

Виды походок	**Желаемые характеристики**		**Жесткий корпус**		**Податливый корпус**	
	***v*, м/с**	**СП**	***v*, м/с**	**СП**	***v*, м/с**	**СП**
Шаг	0,375	<2	0,373	1,48	0,393	1,87
Бег рысцой	0,9	<2	0,89	1,64	0,89	1,74
Галоп	1,5	<2	1,49	1,73	1,44	1,89

Все желаемые характеристики были достигнуты. Если сравнить характеристики двух видов корпуса, то при одинаковых видах походок энергетическая стоимость за перемещения (СП) меньше в случае с жестким корпусом. Полученные результаты могут быть последствием использования простой конструкции спины робота. При корректном механизме спины и оптимизации ее конструкции можно достигнуть лучших показателей энергоэффективности. Еще одной причиной могли стать заданные желаемые скорости для оптимизации. Вышеуказанные скорости были найдены для робота с жестким корпусом и из-за изменения конструкции, оптимальные скорости могли измениться.

Дальнейшая работа предполагает исследование алгоритма на роботе с разработанной конструкцией спины, например, как в статье [2]. Другой направление развития является добавление адаптивности в систему управления для устойчивости передвижения по неровным поверхностям.

Список использованных источников

1. Seok S., Wang A., Chuah M.Y., Otten D., Lang J. and Kim S. Design principles for highly efficient quadrupeds and implementation on theMIT Cheetah robot // 2013 IEEE International Conference on Robotics and Automation. – 2013. – Pp. 3307-3312.
2. Borisova O., Borisov I., Kolyubin S., Stramigioli S. Design of galloping robots with elastic spine: tracking relations between dynamic model parameters based on motion analysis of a real cheetah // 2021 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS). – 2021. – Pp. 8450-8455.
3. Kani M.H.H., Derafshian M., Bidgoly H.J., Ahmadabadi M.N. Effect of flexible spine on stability of a passive quadruped robot: Experimental results // IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics. – 2011. – Pp. 2793-2798.
4. Zipeng F., Ashish K., Jitendra M., and Deepak P. Minimizing Energy Consumption Leads to the Emergence of Gaits in Legged Robots // Conference on Robot Learning (CoRL). – 2021. ArXiv abs/2111.01674.
5. Бурков А. Машинное обучение без лишних слов. – СПб. : Питер, 2020. – 192 с.

УДК 004.946

СОЗДАНИЕ VR ЛОКАЦИИ «ДОМ РОНА УИЗЛИ»

Цителова А.Д.

Научный руководитель – Смолин А.А., кандидат философских наук, директор центра юзабилити и смешанной реальности, доцент факультета программной инженерии и компьютерной техники

anastasia.tsitelova@gmail.com

Ключевые слова

Гарри Поттер, игровое VR приложение, механика управления жестами, механика управления голосовыми командами, VR локация.

Главной задачей реализованного проекта являлось создание игрового VR приложения с детализированной локацией дом Рона Уизли или же «Нора» из серии книг и фильмов о Гарри Поттере, сюжетом, основанном на поиске предметов на локации и такими механиками, как управление жестами и управление голосовыми командами. На данный момент существует большое количество игровых приложений, основанных на истории о Гарри Поттере, но во всех рассмотренных аналогах отсутствует данная локация или локация совсем не детализирована и показана только снаружи. Также обзор аналогов показал, что механики управления жестами и голосовыми командами не широко распространены в сфере игровых VR приложений, ещё реже можно встретить приложения, в которых присутствуют обе эти механики. Таким образом, обзор аналогов показал, что разработанное приложение является достаточно уникальным, как с точки зрения визуального наполнения, так и с точки зрения используемых игровых механик.

Рис. 1 – Кадр из фильма «Гарри Поттер и Тайная комната», вид дома снаружи

Рис. 2 – Кадр из фильма «Гарри Поттер и Тайная комната», вид основной комнаты, кухня

Реализация проекта состояла из нескольких этапов. Первым этапом являлся сбор референсов для проекта из различных источников. Были использованы кадры из фильмов «Гарри Поттер и Тайная Комната» (рис.1 и 2) [1], «Гарри Поттер и Принц Полукровка» и «Гарри Поттер и Дары Смерти. Часть 1». Для поиска наиболее подходящих кадров был использован интернет-сервис Movie-Screencaps, позволяющий просмотреть каждый кадр выбранного в сервисе фильма. Также была использована книга о создании фильмов о Гарри Поттере «Гарри Поттер. Рождение Легенды», фотографии из музея о Гарри Поттере, статьи из открытой энциклопедии о мире Гарри Поттера [2], созданной фанатами серии, а также тексты книг серии.

На основе референсов были выделены следующие черты локации:

1. Предметы выполнены в разных, не сочетающихся между собой, стилях.
2. Локация содержит большое количество бытовых магических взаимодействий (например, сковородка, которая сама себя моет).
3. Все фотографии и рисунки на локации являются двигающимися.
4. На локации находятся характерные культовые объекты, узнаваемые фанатами серии о Гарри Поттере.

После был создан проект локации с помощью инструментов строительства игры «Sims 4», проект был создан с учётом соответствия референсам, а также возможностью прохождения пользователя между объектами на локации. На основе проектов были созданы чертежи локации.

На основе собранных материалов был составлен список моделей, необходимых для сборки локации. Многие стандартные модели были найдены в открытых банках 3D – моделей, однако даже уже готовые модели нуждались в доработке и выборе текстур. Также на основе собранных референсов было создано несколько уникальных моделей (рис.3): волшебные часы Уизли, камин для телепортации и необычного вида шкаф.

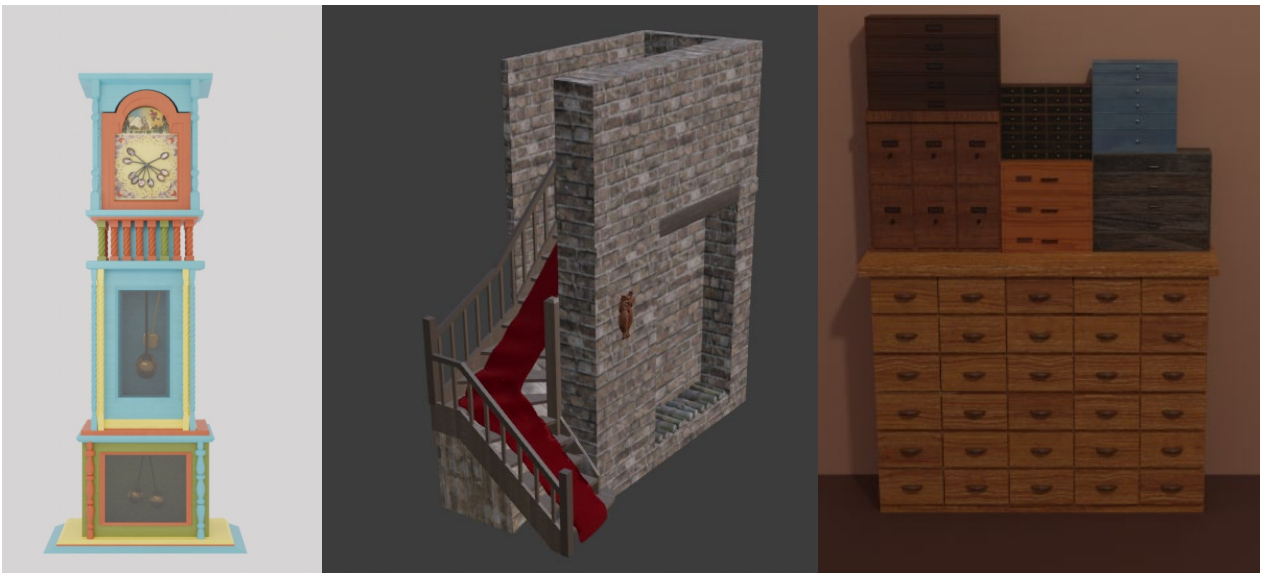


Рис. 3 – Созданные на основе референсов модели

Также были созданы анимации, иллюстрирующие магические взаимодействия предметов. После чего все объекты были собраны в цельную локацию (рис. 4–6) в игровом движке Unity, также были расставлены видео для двигающихся фотографий, настроены материалы и освещение.

Рис. 4 – Собранная локация, зона кухни

Рис. 5 – Собранная локация, зона гостиной

Рис. 6 – Собранная локация, дом снаружи

Также, одним из важнейших этапов, являлось создание сценария и сюжета игрового приложения в рамках тематики, а именно история о Гарри Поттере. Для побуждения игрока изучать локацию был выбран сюжет, основанный на поиске предметов и решении головоломок, данный жанр максимально побуждает пользователя к изучению локации. В качестве концепции был выбран следующий сценарий, основанный на истории о членах семьи Уизли: близнецы Фред и Джордж Уизли потеряли несколько предметов из ассортимента

своего магазина «Всевозможные Волшебные Вредилки» и просят своего брата Рона (игрока) их найти, за это они обещают подарить пользователю заклинание, которое позволит ему вызывать фейерверки. Были созданы соответствующие предметы для поиска (рис.7) и продуман ряд головоломок, которые побуждали пользователя ходить и изучать локацию, а также использовать описанные ниже механики.

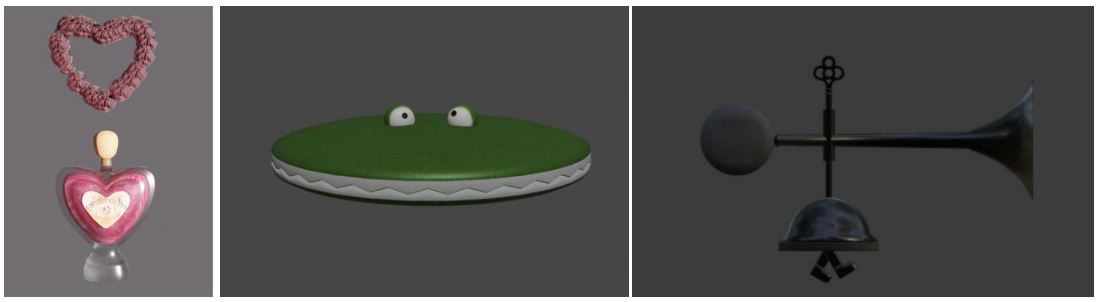


Рис. 7 – Некоторые созданные предметы для поиска

Последний этап – сборка приложения на движке и написание программной части. Этап был реализован совместно со студентом первого курса Дзюба Артуром Денисовичем (образовательная программа Компьютерные технологии в дизайне, факультет ФПИ и КТ). Основными задачами данного этапа являлись реализация механик управления жестами и управления голосовыми командами. Обе эти механики служат, чтобы создать у пользователя иллюзию, что управление внутри приложения происходит с помощью заклинаний, что лучше позволит пользователю погрузиться в атмосферу локации. Также были разработаны стандартные механики перемещения по локации и взятия в руки предметов.

Для реализации механики управления жестами (рис.8) была использована технология, Hand Tracking (отслеживание рук). Для реализации механики было принято решение, что пользователь будет рисовать простые знаки с помощью волшебной палочки, программа будет распознавать знак и вызывать соответствующую команду (заклинание). Для распознавания знаков в программу заранее было внесено некоторое количество рисунков каждого из знака с пометкой, какой именно знак был нарисован. После чего программа анализирует новый нарисованный рисунок, сравнивает его с базой имеющихся примеров и выдаёт пометку рисунка, с которым произошло наибольшее совпадение. Были запрограммированы заклинания для 5 различных символов.

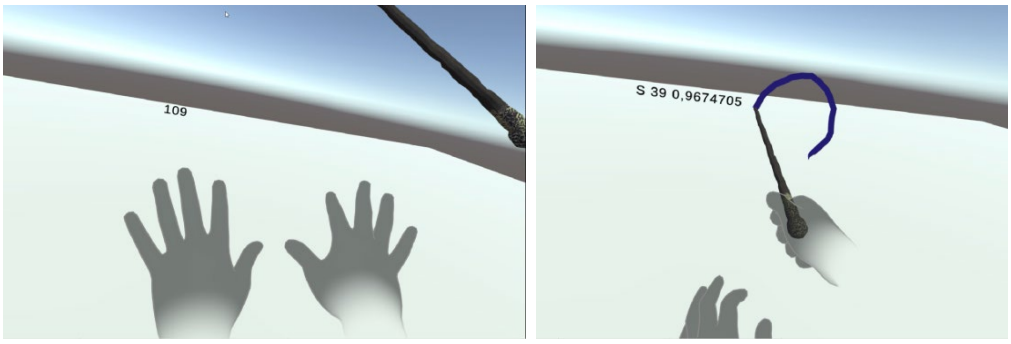


Рис. 8 – реализация механики управления жестами

Обзор аналогов показал, что на данный момент технологии распознавания голосовых команд достигли недостаточно высокого уровня. Поэтому внедрение механики управления голосовыми командами, как основной, либо требует большого количества времени на обучение программы, либо будет выполнена на недостаточно качественном уровне. Опираясь на данные выводы, механика управления голосовыми командами используется в игровом приложении единожды, для отправки всех найденных предметов через камин для телепортации. Реализация механики происходит с помощью встроенного в VR – гарнитуру микрофона и облачного сервера для распознавания голосовых команд.

Интерфейс приложения был реализован без использования дополнительного меню. Поэтому вся необходимая для пользователя информация находится внутри локации. Объяснение задачи находится в письме на столе перед точкой начала игры, рядом приложены необходимые инструкции для управления, а также карточки со знаками для заклинаний, некоторые карточки необходимо найти в процессе игры. Для отображения списка предметов, которые необходимо найти, был создан лист с силуэтами предметов, который висит на стене возле входа в локацию. По мере нахождения предметов силуэты предметов закрашиваются.

В результате данного проекта было разработано игровое приложение в гарнитуре виртуальной реальности, основой которого является локация «Дом Рона Уизли» из серии книг и фильмов о Гарри Поттере. Был проведен обзор аналогичных приложений и не выявлено полных аналогов. В ходе проекта был разработан внешний вид локации на основе анализа собранных материалов. Также был разработан сюжет игрового приложения, основанный на поиске предметов. Для реализации игрового процесса были выбраны и реализованы интерактивные механики управления голосовыми командами и управления жестами, разработаны необходимые элементы интерфейса.

Список используемых источников

1. Movie-screencaps, Harry Potter and the Chamber of Secrets (2002). [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://movie-screencaps.com/harry-potter-and-the-chamber-of-secrets-2002 (дата обращения: 07.02.2022).
2. Fandom Harry Potter Wiki. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://harrypotter.fandom.com/ru/wiki/ (дата обращения: 07.02.2022).

УДК 004.932.2

ГЕНЕРАЦИЯ ЦИФРОВЫХ ВОДЯНЫХ ЗНАКОВ И ИХ ВНЕДРЕНИЕ МЕТОДАМИ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

Шницарь Н.В.

Научный руководитель – Фильченков А.А., кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник исследовательского центра в сфере искусственного интеллекта "Сильный искусственный интеллект в промышленности", инженер факультета информационных технологий и программирования

bernikov.misha2000@gmail.com

Ключевые слова

Цифровой водяной знак, глубокое обучение, распознавание объектов, keypoint matching, template matching, стеганография.

Цифровой водяной знак – это метка, встраиваемая в цифровой контент с целью защиты авторских прав и подтверждения его целостности. Внедрение цифрового водяного знака на изображение – важная задача в области защиты авторского права. Для успешного применения цифровой водяной знак не должен сильно влиять на визуальное восприятие файлов, также он должен быть устойчивым к атакам, направленным на его обнаружение и удаление. При разработке алгоритма генерации цифрового водяного знака необходимо искать компромисс между его устойчивостью и незаметностью.

Цифровой водяной знак, встраиваемый на изображения, бывает видимым и невидимым. Видимый цифровой водяной знак заметен невооруженным глазом. Доказать право владения цифровым контентом при использовании такого водяного знака легко. Присутствие же невидимого водяного знака можно зафиксировать только с использованием специальных программ. На сегодняшний день существует множество приложений для встраивания видимого цифрового водяного знака человеком. К недостаткам подобных приложений относится то, что в них не учитывается композиция объектов на изображении. Это значит, что, если неправильно расположить видимый цифровой водяной знак, можно обрезать участок картинки с ним, незначительного нарушив ее целостность. Исходя из этого видимый цифровой водяной знак следует помещать в такое место на изображении, которое нельзя удалить без вреда для визуального восприятия картинки. Кроме того, при большом количестве изображений, неудобно каждый раз вручную встраивать цифровой водяной знак с помощью указанных приложений. В этом случае процесс нанесения цифрового водяного знака удобнее автоматизировать.

Другая проблема, с которой сталкиваются владельцы цифрового контента – удаление видимых цифровых водяных знаков программными методами. Видимые цифровые водяные знаки можно вручную удалить с использованием графических редакторов. Кроме того, при массовом встраивании таких водяных знаков на изображения становится реальным их обнаружение и удаление при помощи алгоритмов машинного обучения.

Некоторые атаки, направленные на удаление видимых водяных знаков с изображения, могут применяться в отношении невидимых цифровых водяных знаков.

Цель данной работы – разработать алгоритм генерации и встраивания водяных знаков в изображение, устойчивый к атакам, направленным на их удаление.

Задачи, решаемые в работе: изучение основных видов существующих цифровых водяных знаков; изучение атак, направленных на удаление цифровых водяных знаков с изображения; программная реализация алгоритма встраивания цифровых водяных знаков на изображение, устойчивого к атакам, направленным на их обнаружение и удаление; проверка эффективности разработанного алгоритма путем проведения атак, направленных на обнаружение и удаление цифровых водяных знаков с изображения.

Перед генерацией цифрового водяного знака было необходимо определить место его размещения на картинке. Чтобы сделать цифровой водяной знак устойчивым к удалению путем обрезки изображения, было решено поместить его в центр композиции изображения, точку, в наибольшей степени привлекающую внимание человека. Местоположение композиционного центра зависит от расположения главного, основного предмета, вокруг которого группируются остальные. В текущей работе разработан алгоритм определения центра композиции на основе решения задачи keypoint detection и ее подзадачи – face detection. Keypoints или ключевые точки – это точки, которые находятся на ключевых частях объекта на изображении. В рамках выполнения выпускной квалификационной работы я использовала алгоритм Харриса для поиска ключевых точек. Указанный алгоритм учитывает только форму и размер объектов, но не их содержание. Однако, как правило, наиболее важными объектами на картинке выступают люди. Исходя из этого, размещение видимого водяного знака недалеко от лиц, кажется хорошим решением. Поэтому в разрабатываемый алгоритм был добавлен модуль по распознаванию лиц, в котором использован dnn-детектор. Указанный детектор работает, основываясь на выводах нейросети, обученной распознавать лица. Найденные центры лиц также представляют из себя ключевые точки изображения.

За координаты центра композиции предложено брать среднее значение координат всех ключевых точек. Матрицу, содержащую координаты центра композиции, можно представить в формате, описанном в формуле 1.

$$D_{1x2} = \left(\frac{\sum_{i=1}^{n+kw} c_{i1}}{n+kw} \; \frac{\sum_{i=1}^{n+kw} c_{i2}}{n+kw}\right). \quad (1)$$

Также решено предать центрам лиц людей больший вес по сравнению с прочими ключевыми точками на изображении. Вес центров лиц равен 10 по сравнению с другими ключевыми точками, что отражено в формуле 2.

$$w = c * 10, \quad (2)$$

где c – число ключевых точек на изображении; w – количество добавлений точки с центром лица в массив ключевых точек.

Этого достаточно для того, чтобы при наличии человека на изображении центр композиции приходился на его лицо. В случае присутствия нескольких людей на картинке место внедрения цифрового водяного знака приходится на геометрический центр фигуры, образованной точками с центрами лиц.

Результат работы алгоритма представлен на рисунке 1, красная точка на изображениях – это найденный центр композиции изображения.

Рис. 1 – Место внедрения цифрового водяного знака

После определения места внедрения цифрового водяного знака следует его генерация на основе выданного шаблона. При генерации видимого водяного знака следует учесть размеры исходного изображения. За ширину водяного знака положена 1/3 от ширины исходного изображения.

На сегодняшний день существуют техники программного удаления водяного знака при отсутствии шаблона с этим знаком. К таким техникам относится Multi-image matting [1]. Она позволяет распознать видимый цифровой водяной знак, который встраивали на изображения

много раз. При этом, если каждый раз при генерации цифрового знака случайным образом менять форму шаблона с водяным знаком, эффективность Multi-image matting снижается. По этой причине в текущей работе осуществлялись геометрические модификации шаблона до встраивания на изображение. Менялось расстояние между выбранными частями шаблона и угол поворота шаблона при встраивании. В качестве дополнительной меры защиты также предусмотрено внедрение невидимого цифрового водяного знака. На рисунке 2 представлены результаты побитовой разницы между исходным изображением и изображением с невидимым цифровым водяным знаком. Мной был реализован метод скрытого внедрения шаблона цифрового водяного знака методом замены наименьших значащих битов (англ. LSB). Размеры невидимого водяного знака устанавливались по правилам, принятым для видимых водяных знаков, однако изменений геометрических параметров знака не проводилось.

Рис. 2 – Внедрение невидимого водяного знака

Несмотря на то, что человек может легко заметить видимые водяные знаки на картинках, для их обнаружения также применяются машинные методы. Как правило, эти методы нужны для получения координат водяного знака, чтобы применить на изображениях с ним техники автоматического удаления.

Для проверки эффективности реализованных геометрических модификаций шаблона были применены техники Template matching и Keypoint matching для обнаружения водяных знаков. Первая техника направлена на поиск областей изображения, которые идентичны или подобны шаблону, в процессе попиксельного сравнения с шаблоном. В ходе Keypoint Matching осуществляется обнаружение ключевых точек на шаблоне и рассматриваемом изображении. Далее эти точки сопоставляются и принимается решение о совпадении шаблона и фрагмента изображения.

На рисунке 3 представлены результаты Keypoint Matching для изображения из тестового набора.

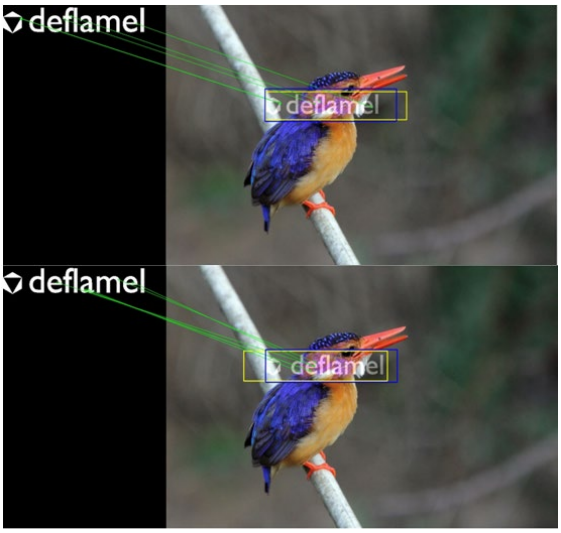


Рис. 3 – Результаты Keypoint Matching до и после смещения составляющей шаблона

Реализацию техники Template Matching при повороте шаблона водяного знака можно наблюдать на рисунке 4.

Рис. 4 – Результаты Template Matching до и после поворота шаблона

Для нанесения цифрового водяного знака с помощью разработанного алгоритма и проведения атак, направленных на его обнаружение и удаление, был сформирован датасет из ста изображений в .jpg формате. На основе указанного датасета были сформированы тестовые наборы с видимым цифровым водяным знаком без геометрических модификаций, с каждой геометрической модификацией отдельно, с невидимым цифровым водяным знаком. В качестве метрики оценки алгоритмов обнаружения цифрового водяного знака была выбрана IoU. В таблице 1 представлены средние значения IoU для каждого тестового набора.

Таблица 1

Результаты обнаружения ЦВЗ

		mIoU
Template Matching	ЦВЗ без изменений	0,76
	ЦВЗ со смещением отдельных частей	0,64
	ЦВЗ с измененным углом	0,58
	Невидимый ЦВЗ	0
Keypoint Matching	ЦВЗ без изменений	0,75
	ЦВЗ со смещением отдельных частей	0,35
	ЦВЗ с измененным углом	0,52
	Невидимый ЦВЗ	0

В результате проведенного исследования оказалось, что техниками Keypoint Matching и Template Matching можно обнаружить только видимый цифровой водяной знак. При этом изменение обоих геометрических параметров шаблона водяного знака при встраивании на изображения оправдало себя при проверке всеми способами обнаружения. По этой причине дальнейшие атаки проводились только на изображения с цифровым водяным знаком, у которого оба геометрических параметра менялись случайным образом, а также – на изображения с невидимым цифровым водяным знаком.

После этого было осуществлено удаление видимого цифрового водяного знака, который удалось распознать на тестовых изображениях, при помощи техник Inpainting. Сперва был применен алгоритм Inpainting, не требующий участия человека: удаление нейросетью Deep Image Prior. Для сравнения с указанным методом выполнено удаление водяного знака Photoshop’ом.

При реализации указанных техник на тестовые изображения, помимо видимого цифрового водяного знака, был нанесен невидимый цифровой водяной знак. В результате использования Photoshop на видимом водяном знаке невидимый водяной знак остался на изображении. Однако в результате применения нейросетей невидимый цифровой водяной знак исчез.

После этого я попробовала удалить видимый цифровой водяной знак, который удалось распознать на тестовых изображениях при помощи техник Inpainting. Поскольку местоположение цифрового водяного знака в этом случае определено машинными методами, мной был выбран алгоритм Inpainting, не требующий участия человека: удаление нейросетью Deep Image Prior [2]. Для сравнения с указанным методом было осуществлено удаление видимого цифрового водяного знака Photoshop'ом. С задачей, направленной на удаление цифрового водяного знака, графический редактор справился лучше нейросетей.

При реализации указанных техник Inpainting на часть тестовых изображений помимо видимого цифрового водяного знака был нанесен невидимый цифровой водяной знак. В результате использования Photoshop на видимом цифровом водяном знаке невидимый цифровой водяной знак остался на изображении. При этом в результате применения восстановления изображения нейросетью Deep Image Prior невидимый цифровой водяной знак исчез.

При обнаружении исчезновения невидимого водяного знака после удаления нейросетью я решила поискать более простые способы его удаления. Поскольку принцип работы сглаживания Гаусса подразумевает изменение интенсивности цветовых каналов пикселей изображения, значение наименьших значащих битов в этом случае также меняется. В результате применения Гауссова сглаживания, на изображениях с невидимым водяным знаком, он исчез со всех картинок. Также удалось удалить невидимый водяной знак со всех изображений путем изменения их формата с .jpg на .png. Невидимый цифровой водяной знак исчез, поскольку для хранения изображений в разных форматах используется неодинаковое число каналов.

Эффективность удаления цифровых водяных знаков оценена с помощью метрики MSE. Для итоговой оценки каждого способа удаления водяных знаков было найдено среднее значение MSE от интенсивностей пикселей полученных и исходных изображений.

В таблице 2 приведены результаты всех проведенных атак, направленных на удаление цифровых водяных знаков.

Таблица 2

Результаты проведения атак

Техника	**Количество удаленных видимых ЦВЗ, %**	**Количество удаленных невидимых ЦВЗ, %**	**Среднее MSE полученного изображения с оригиналом**
Inpainting нейросетью Deep Image Prior	55	55	212,65
Inpainting с Photoshop	55	0	22,2
Удаление сглаживанием	0	100	300,49
Удаление после изменения формата изображения	0	100	295,34

Результаты проведенных атак показывают, что при ручном удалении видимого цифрового водяного знака, полученное изображение отличается от исходного больше, чем при удалении нейросетью. Кроме того, при удалении нейросетью теряется невидимый цифровой водяной знак.

В данной работе был разработан и программно реализован алгоритм генерации и встраивания видимого цифрового водяного знака на изображение, который включает в себя определение места внедрения знака, его размера и случайное изменение геометрических характеристик шаблона водяного знака. Для дополнительной защиты изображения от атак, направленных на удаление цифрового водяного знака, предусмотрено внедрение невидимого водяного знака. Изменение геометрических характеристик шаблона водяного знака позволило снизить эффективность алгоритмов его распознавания, основанных на техниках Template

Matching и Keypoint Matching. При реализации атаки, направленной на удаление видимого цифрового водяного знака, графический редактор показал себя лучше техники, реализующей Inpainting посредством применения нейронных сетей. Кроме того, в результате проведения атак посредством применения нейронных сетей удалился невидимый цифровой водяной знак, воздействия на который не предполагалось. Невидимый цифровой водяной знак также удалось удалить посредством применения Гауссова сглаживания и изменения формата изображения с .jpg на .png.

Список использованных источников

1. Tali Dekel Michael Rubinstein Ce Liu William T. Freeman: On the Effectiveness of Visible Watermarks. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: openaccess.thecvf.com/content_cvpr_2017/papers/Dekel_On_the_Effectiveness_CVPR_2017_paper.pdf (дата обращения: 20.04.2022).
2. Ulyanov D., Vedaldi A., Lempitsky V. Deep: Image Prior. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: sites.skoltech.ru/app/data/uploads/sites/25/2018/04/deep_image_prior.pdf (дата обращения: 20.04.2022).

МАГИСТРЫ

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

УДК 331.442

БИЗНЕС-ТЕЗИС «MENTO»: РАЗРАБОТКА СТРАТЕГИИ РЕАЛИЗАЦИИ И ВЫВОДА НА РЫНОК ПРОЕКТА ДЛЯ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ЭМОЦИОНАЛЬНОГО ВЫГОРАНИЯ

Алибутаев А.К.

Научный руководитель – Силакова Л.В., кандидат экономических наук, доцент факультета технологического менеджмента и инноваций

alibutaev.alex@gmail.com

Ключевые слова

Ментальное здоровье, депрессия, управление продуктом, мобильные приложения.

Согласно опросу, проведенному порталом "Хабр" среди специалистов в сфере информационных технологий, больше 50% респондентов сталкивались с синдромом эмоционального выгорания в своей карьере [1]. Выгоранию подвержены люди любого пола: статистика показывает, что мужчины и женщины приблизительно в равной степени предрасположены к выгоранию. Вследствие снижения эффективности выгорание сотрудника может обернуться финансовыми потерями для организации. Помимо замедления процесса разработки продукта, появляется также вероятность увольнения сотрудника [2]. Опрос показывает, что только четверть сотрудников, испытывающих стресс на работе, остаются на своем рабочем месте: большая часть предпочитает сменить компанию или род деятельности, в целом. Более того, треть респондентов отмечают, что психоэмоциональное состояние коллеги мешает в работе, как отдельному человеку, так и отделу в целом [1].

На данный момент существует несколько способов диагностики эмоционального выгорания: рисуночный тест [3], консультации со специалистом и самостоятельное прохождение опросов. Ко всем из них, как правило, человек обращается на последних стадиях, когда психоэмоциональные потрясения наиболее заметны: проявляется деперсонализация, ангедония и сопротивление к выполнению задач, связанных с профессиональной деятельностью [1].

Главным недостатком всех существующих методов диагностики является несвоевременное обращение к ним. Один из симптомов выгорания на начальных стадиях, согласно Матиусу Буришу – воодушевление, повышенная заинтересованность и последующее истощение, которое можно принять за необходимость отдыха после интенсивной работы [4]. Не всегда, даже с помощью предложенных выше опросников, можно распознать выгорание среди этих симптомов. Однако, именно на начальных стадиях сотруднику необходимо обратить внимание на свое ментальное здоровье для предупреждения развития тревоги и стресса.

Разрабатывая продукт в сфере mental health для людей с проблемами с ментальным здоровьем, стоит учитывать особенности их поведения и мышления. Низкую вовлеченность связывают с необходимостью человеку заниматься самостоятельным лечением, то есть необходимости выделять дополнительное время на упражнения и пользование продуктом [5]. Соответственно, приложения должны конкурировать с событиями, происходящими в повседневной жизни, и поддерживать мотивацию для совершения усилий при работе над собой.

Для определения необходимых для пользователей характеристик приложения по ментальному здоровью был проведен опрос среди 180 пользователей подобных приложений из чатов в Telegram и ВКонтакте. Результаты представлены на рисунке 1.

Таким образом, для пользователей особую важность в приложении играет не только публикуемый контент, но и уверенность в безопасности информации, оставляемой ими в приложении.

Рис. 5 – Ответы респондентов на вопрос о наиболее важных характеристиках

Обзор альтернативных решений продемонстрировал необходимость соблюдения следующих требований:

1. Анализ степени выгорания должен осуществляться в автоматическом режиме, что позволит снизить субъективность оценивания.
2. Должны соблюдаться требования к обеспечению конфиденциальности личной информации, сохранению тайны переписки, а также личной и семейной тайн для соблюдения требований законов о защите персональных данных. Стоит учитывать, что продукт, представленный на российском рынке, должен соответствовать 152-ФЗ, а для европейского рынка необходимо соответствие требованиям GDPR.

Функциональные требования:

1. Журналирование информации о скорости перемещения курсора, нажатия и “отжатия” клавиш, количества нажатий клавиш DEL, Backspace.
2. Журналирование запущенных программ и времени их работы.
3. Классификация используемых программ по типу их применения.
4. Анализ ментальной напряженности на основе сохраненных данных с помощью наивного байесовского классификатора.
5. Ручная классификация программ по типу применения для возможности настройки
6. Просмотр результатов анализа ментального состояния, просмотр статистики запущенных программ
7. Просмотр результатов анализа сотрудников, поделившихся доступом к статистике.

На основании функциональных и общих требований составлена техническая архитектура решения, показанная на рисунке 2.

Программное обеспечение для сбора статистических данных с компьютера пользователя разработано на языке Python с использованием библиотек доступа к API операционной системы. Такой выбор обусловлен быстрой скоростью реализации и возможностью долгосрочной поддержки. Собранные данные, затрагивающие тайны пользователя, обезличиваются перед последующей отправкой на сервер. Все http-запросы, отправляемые ПО, обрабатываются при помощи балансировщика нагрузки во избежание DDoS-атак. Далее, запрос поступает на один из контейнеров API-Сервера, который в свою очередь передает обработанную информацию в базы данных. Базы данных и API-сервер управляются при помощи оркестратора. Это необходимо для автоматического масштабирования системы при увеличении количества пользователей и равномерного распределения запросов и нагрузки между экземплярами приложения. Также оркестратором управляются базы данных, что позволяет обеспечить устойчивость к резкому увеличению нагрузки.

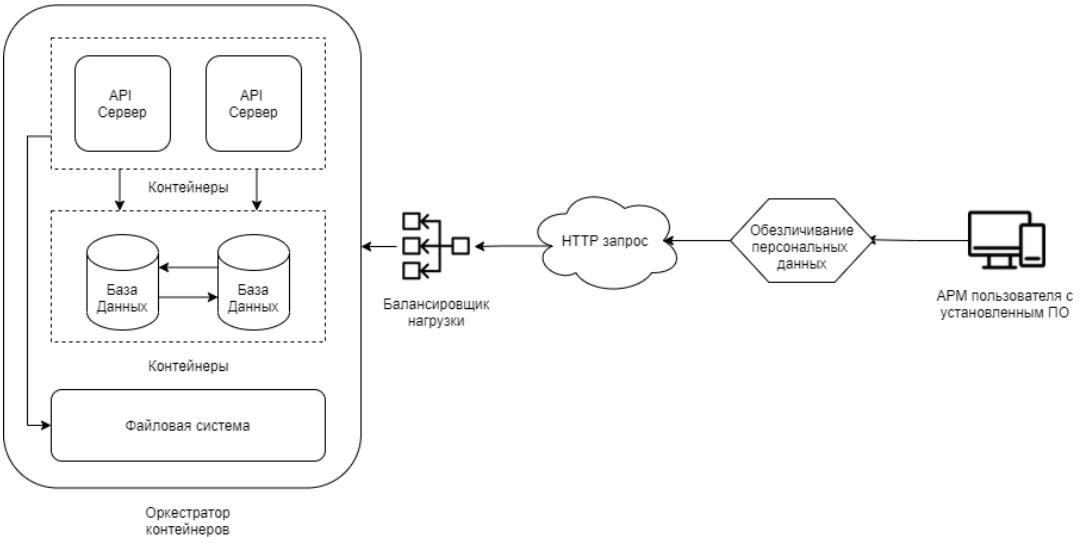


Рис. 2 – Техническая архитектура решения

Система для пользователя состоит из двух компонент: ПО для сбора информации и отправки на сервер, веб-приложение для просмотра результатов анализа ментального состояния. Такой подход обусловлен кроссплатформенностью браузерных решений, что позволяет получить доступ к данным с любого устройства. В результате чего отсутствует необходимость нативной разработки продукта под каждую из операционных систем, что повышает удобство поддержки продукта при его дальнейшем развитии.

В тестировании разработанного ПО приняло участие пять человек. В рамках теста на персональные компьютеры участников была установлена программа, которая запускалась при старте системы и работала в фоне, собирая данные о пользовательском в файл формата csv. Для анализа собранных данных был написан отдельный скрипт, который на вход принимает данные из csv-файла и строит зависимость различных показателей от времени. В ходе нескольких измерений выяснилось, что больше всего информации об умственном утомлении дают показатели: скорость движения мыши, задержка при нажатии клавиш, количество нажатий специальных клавиш. На рисунке 3 приведен пример графика, который вывела система при анализе продолжительности нажатий клавиш: распределение данных в вечерние часы растет в сторону увеличения времени, что объясняется умственной усталостью в конце дня.

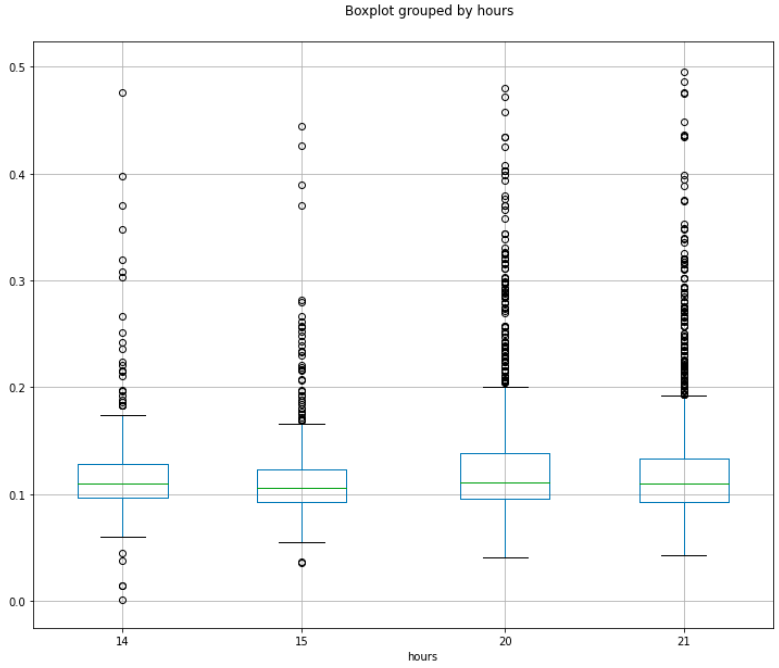


Рис.3 – График распределения данных в зависимости от времени суток и продолжительности нажатия клавиш.

При тестировании ПО на пользователях мы столкнулись с проблемой неравномерного распределения данных во времени, что часто нарушало алгоритм: пользователь мог приступить к работе только вечером, а не утром. Также данные с некоторых устройств ввода были однообразными, что не позволяло точно измерить время нажатия. Все это приводило к ошибкам в анализе.

Также при тестировании продукта мы столкнулись с техническими ограничениями: на некоторых ПК срабатывала антивирусная защита, которая блокировала сбор информации до полного отключения скрипта.

Таким образом, по результатам анализа существующих способов определения эмоционального выгорания и опроса целевой аудитории был разработан MVP продукта, определяющий ментальную усталость пользователя, работающего за компьютером. Однако, технические ограничения не позволили собрать необходимое количество данных для анализа и составления математической модели.

Список использованных источников

1. Максим К. Профессиональное выгорание в ИТ (результаты исследования «Моего круга»). [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://habr.com/ru/company/habr_career/blog/437264/ (дата обращения: 20.12.2020).
2. Deloitte. Mental health and employers: Refreshing the case for investment. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www2.deloitte.com/uk/en/pages/consulting/articles/mental-health-and-employers-refreshing-the-case-for-investment.html (дата обращения: 28.09.2022).
3. Семенюк Е.А. Рисуночный тест в системе диагностики профессионального выгорания // Державинский ФОРУМ. – 2018. – V.8. – №2. – Pp. 67–77.
4. Burisch M. Das Burnout-Syndrom. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, – 2014. – 7 p.
5. Morton E. et al. Use of smartphone apps in bipolar disorder: An international web-based survey of feature preferences and privacy concerns // Journal of Affective Disorders. – 2021. – V.295. – Pp. 1102–1109.

UDK 54.061

APPLICATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE METHODS AND DATA PROCESSING FOR CHEMICAL SYSTEMS ANALYSIS

Aliev T.A.
Scientific supervisor – Prof. Dr. Skorb E.V.

aliev_timur@itmo.ru

Key words
Machine learning, complex analysis, chemical engineering, industrial chemistry, convolutional neural network.

This work aims to study most common artificial intelligence (AI) methods applicability to real laboratory and industrial tasks in chemistry, refinery, and biotechnology not only in medicine and biology [1–5]. Three systems are supposed to be analyzed *via* AI methods. The first system is an encapsulation system, and we are interested in its sensitivity to any fluctuations in formation conditions. The second system simplistically imitates complex solutions such as crude oil. The third system relates to electrochemical assay for dairy industry. The main aim of the thesis is to apply AI methods to analyze multi-chemical system for advanced materials design and obtain requested output for industrial assay.

Functional materials development is an essential part of materials science today. There are different approaches to get the required properties of materials from the modification of initial components to post-formation treatment. DNA is used not only as primers and probes in diagnostics, biosensing, and bioanalysis, but also in nanotechnology. The strict requirements for single-stranded DNA storage conditions limit its applicability in many studies. Currently, promising approaches to ssDNA storage are to incorporate single-stranded DNA into protecting shells such as lipid, crystalline or hybrid capsules. Stimuli-responsive release of an encapsulated compound is one of the most important requirements to the capsules aimed to trap and store DNA. Supramolecular assemblies with the reversible chemical bonding such as hydrogen bonding are good ones here. Melamine (M) cyanurate (CA) supramolecular assemblies (M-CA) are pH-sensitive, which is a significant advantage for release. To control the growth of the capsules and DNA incorporation the reaction-diffusion system was designed. The luminescence intensity of encapsulated DNA and its distribution among M-CA depended on Mg^{2+} concentration. In biology, alkaline and alkaline earth metal ions, most importantly Mg^{2+} neutralize DNA's negative charge.

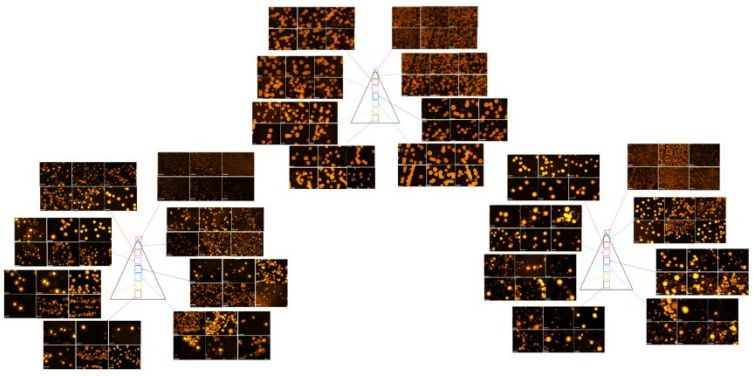


Figure 1 – Fluorescence of the capsule in RHOD channel without Mg2+ (top), in the presence of 50 mM Mg2+ (left) and 500 mM Mg2+ (right). Scale bar 50 μm

The experimental system enables the monitoring of M-CA capsules formation, but the capsules differ in each gel section, and Mg^{2+} content effect also differs from section to section (Fig.1).

Systems containing Mg^{2+} ions and systems without it were visually different. However, the changes in Mg^{2+} concentration affected the reaction-diffusion system less pronouncedly. For quantitative recognition of Mg^{2+} effect we used convolutional neural networks (CNN) originally

developed to work with pattern recognition. To get high prediction accuracy we also use transfer learning method.

The dataset was 7,000 fluorescent microscopy images to confirm whether dependences between Mg^{2+} concentration and the structures of assembled capsules and their fluorescence intensities existed. We formed the reaction-diffusion systems containing 0 mM, 10 mM, 50 mM, 200 mM or 500 mM Mg^{2+}. The concentration of Mg^{2+} affected the fluorescence distribution of the particle and particles' size and the number of particles in different sections of reaction-diffusion system. Three pretrained CNNs within transfer learning method were used to study this effect as more effective vs. traditional analytical methods. In case of accuracy, VGG16 performs the best results compering with another CNNs. Thus, the architecture of this network fits the most according to the task of image analysis of DNA-trapping capsules (Fig.2).

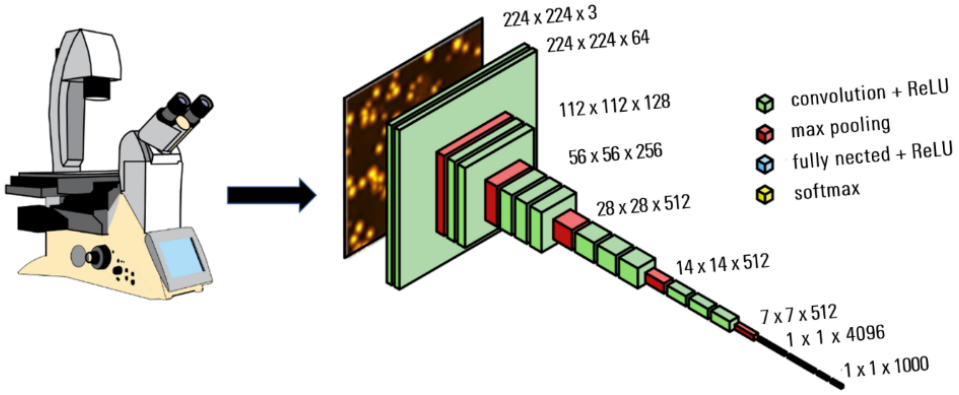


Figure 2 – The architecture of VGG16 in case of the studied system

Figure 3 presents the confusion matrix and correlation between the loss function and training epochs for VGG16 neural network.

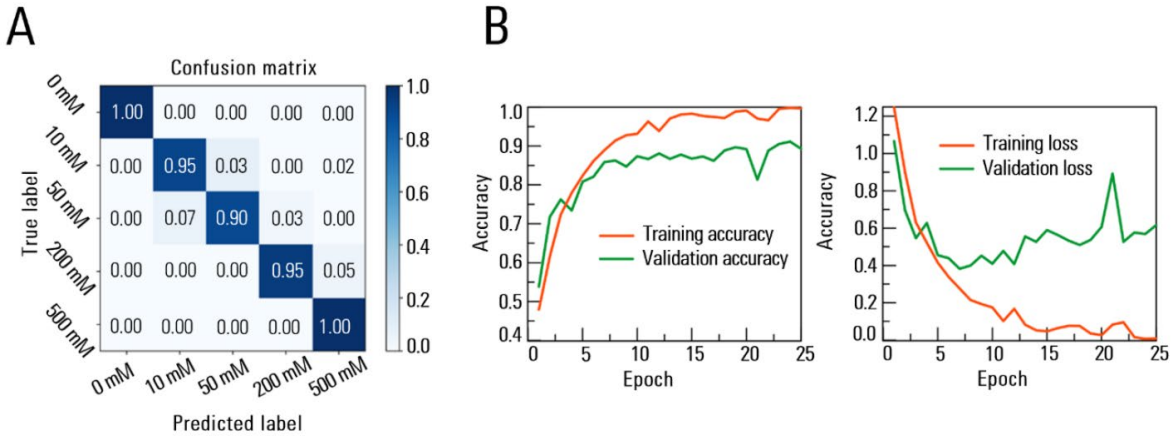


Figure 3 – Confusion matrix for VGG16 (A), plots of the ratio of training accuracy and validation accuracy (B, left), training loss and validation loss (B, right)

Therefore, VGG16 was chosen as the most reliable for the encapsulation system in contrast to other CNNs. All the data including data labelling of the dataset and training parameters are presented (Fig.4).

Figure 4 – QR code for GoogleDrive with code of neural network and database

Figure 5 – QR code for GoogleDrive program demonstration

During the work we automated the process of size evaluation and intensity determination using something. The code was combined with the architecture of VGG16 to make a user-friendly interface for automated prediction of Mg^{2+} ions concentration and analysis of each sample in laboratory. The approval of program's stable work is presented in video provided by QR-code (Fig.5). We used deep learning e.g convolutional neural network and transfer learning combined with computer vision methods. The program can be used for laboratory work for obtaining all information about the samples and conditions in case of complex systems formation with a wide range of significant factors.

CNNs were applied also for pure chemical analysis analog. Here we show the nontrivial application of ultrasound for the qualitative and quantitative determination of the composition of water solutions. We studied the unstable, close to resonance behavior of the cavitation bubble. For the study of the near-resonance unstable behavior, traditional deterministic methods may not work, but artificial intelligence methods can. We propose to observe cavitation bubbles generated in real solutions without the use of optical traps. Thus, our system is as close to real conditions as possible.

Firstly, the question about the physical mechanism behind different behaviors of bubbles in the solutions of different concentrations was closed. It was done as machine learning allows only to establish correlations in the data and not a physical mechanism. As we propose sonochemical approach and cavitation bubbles generation for content analysis, even for complex solutions in case of industrial tasks. A possible physical mechanism could include, in addition to the concentration, also the size of the bubbles and the acoustic pressure amplitude.

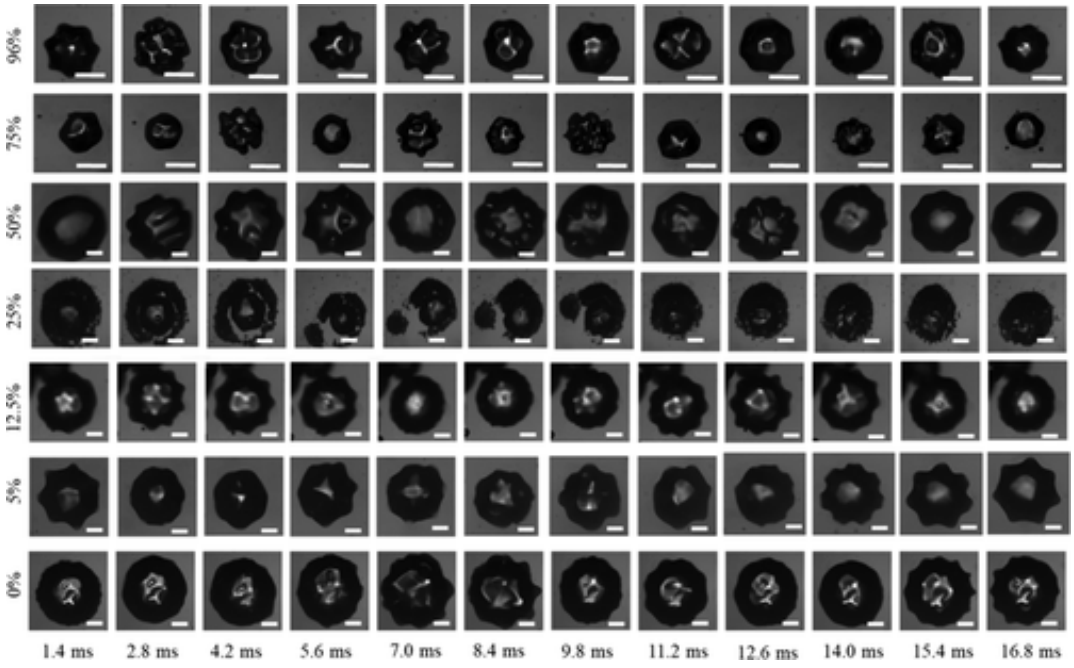


Figure 6 – Shape oscillations of cavitation bubbles in distilled water and water−ethanol solutions containing 5 ÷ 96 wt % of ethanol. The scale bar is 500 μm

We mainly focus on concentration of the solutions because its content affects such crucial parameters as the density of the medium and the value of surface tension. We used water−ethanol solutions prepared at the ethanol mass concentration of 0, 5, 12.5, 25, 50, 75, and 100%. The bubbles were generated by an ultrasound generator (Fig.6).

The database was created from 12 videos for each alcohol concentration and consisted of a training, validation, and test data set. For the training data set, 3000 images were taken for each class. For the validation data set, 300 images were used per class. The test data set was shot separately and consisted of 500 images for each class. 100 epochs were used, since the accuracy of the training and validation data set stabilized after 100 epochs. Also, after 100 epochs, the retraining began. Figure 5d shows the normalized confusion matrix. It was obtained using an already retrained model on a test data set. The accuracy of the test data set was 89.71% (Fig.7).

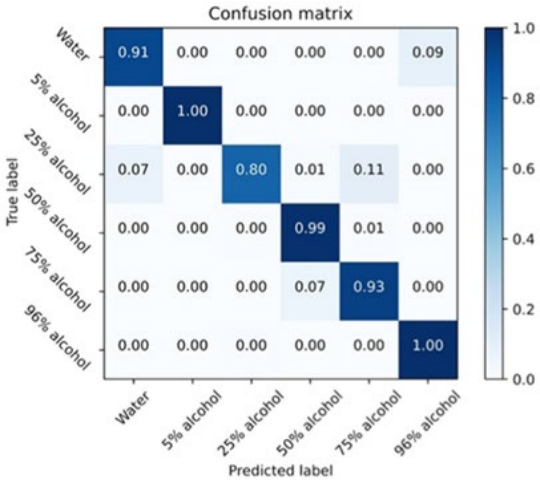


Figure 7 – Normalized confusion matrix of VGG16 trained for cavitation bubbles system

CNNs are not always applicable for complex systems analysis. There is a request from the dairy industry to antibiotics assay in raw milk. Antibiotics or their metabolites store in cows' tissue and matrix and transfer to raw milk that is called antibiotics residues. Dairy industry must control the antibiotics concentration no more than maximum residue limits. There are several traditional detection methods such as chromatographic, immunological, microbiological, and miscellaneous. All of them have a range of disadvantages, and the most significant are long-term analysis, high cost and laboratory conditions for analysis.

One of the methods that principally can be returned into outdoor analysis is electrochemical determination. However, almost all researchers study only one type of antibiotics and the protocol of its electrochemical behavior and, correspondingly, determination. Howerever, it is a great challenge to determine electro-oxidation of antibiotics to get full electrochemical fingerprints with explanation of peak nature. Often, electrochemical approach is combined with chromatography even in case of unmodified carbon screen-printed electrodes use for tetracycline antibiotics analysis.

We propose a novel approach to electrochemical analysis when the explanation of oxidation process details is not needed. Machine learning provides several pathways to do clustering of digital data files, so the analysis can go without any request to antibiotics' electrochemical behavior. For dairy industry we propose miniaturized potentiostat as electronic tongue for antibiotics voltamperograms fingerprints obtaining. We use cyclic voltamperometry and load voltamperograms as data files in .csv in dataset for further machine learning (Fig.8).

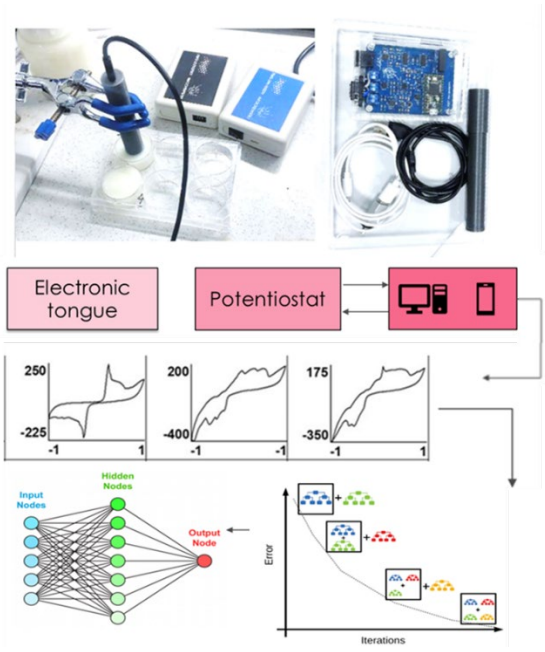


Figure 8 – Scheme of the proposed approach to universal antibiotics electrochemical assay

In the research we use reconstituted milk powder with the adding of different antibiotics separately to get a database of fingerprints for each antibiotic. Voltamperograms are digital array in .csv format. Classic machine learning is used to process data such this. As several methods were applied, the most effective method is gradient boosting. Gradient boosting builds a prediction model in the form of an ensemble of weak predictive models, usually decision trees. This method is effective for both tasks that are presented by the industry such as classification and regression. We focused on the binary (antibiotic presents/is absent) and multiclassification tasks.

Binary classification model was trained using the gradient boosting method in the Catboost framework. Training parameters were selected using the GridSearchCV method of the scikit-learn library. Evaluation of model efficiency model was done using Matplotlib and scikit-plot libraries to ensure that no overfitting and underfitting occurs. The same instruments were used for multiclassification-aimed model.

For binary classification the accuracy is 97.65% (Fig.9) on the dataset with prevalent amount of “antibiotics” files. For multiclassification the accuracy is 81.04%, that is in a range of permitted results for machine learning prediction.

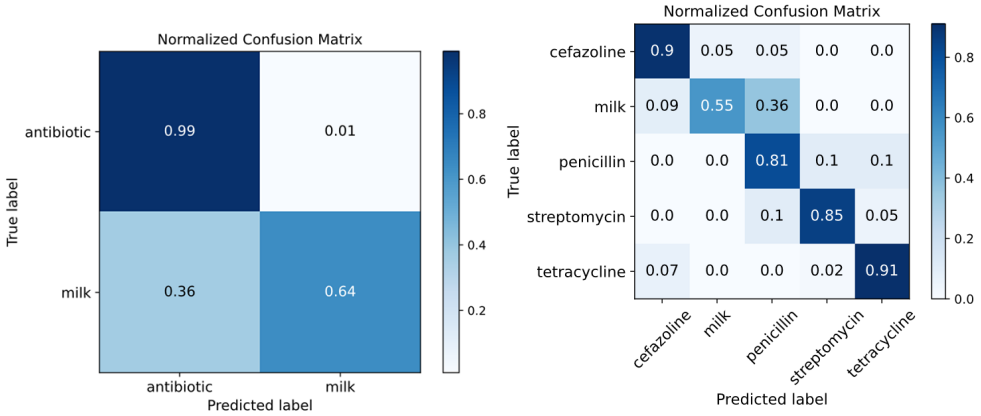


Figure 9 – Confusion matrixes for binary classification and multiclassification

Thus, our approach with gradient boosting method enables to automatically analyze volamperograms using trained model and identify what antibiotic presents in the milk. Both models show that training was successful even for the unbalanced database.

Thus, it was proved that supervised both classic and deep learning method of artificial intelligence can be used for chemical systems analysis.

References

1. Karthikeyan A., Priyakumar U.D. Artificial intelligence: machine learning for chemical sciences // J. Chem. Sci. Springer India. – 2022. – V.134. – №1. DOI:10.1007/s12039-021-01995-2.
2. Harrison C.J., Sidey-Gibbons C.J. Machine learning in medicine: a practical introduction to natural language processing // BMC Med. Res. Methodol. BMC Medical Research Methodology. – 2021. – V.21. – №1. – Pp. 1–18.
3. Mnih V. et al. Human-level control through deep reinforcement learning // Nature. Nature Publishing Group. – 2015. – V.518. – №7540. – Pp. 529–533.
4. Esteva A. et al. Dermatologist-level classification of skin cancer with deep neural networks // Nature. – 2017. – V.542. – №7639. – Pp. 115–118.
5. Hawkins J.B. et al. Measuring patient-perceived quality of care in US hospitals using Twitter // BMJ Qual. \& Saf. BMJ Publishing Group Ltd. – 2016. – V.25. – №6. – Pp. 404–413.

УДК 621.58.59

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ В ОЖИЖИТЕЛЯХ ПРИРОДНОГО ГАЗА

Артемьев Д.В.

Научный руководитель – Зайцев А.В., доцент, кандидат технических наук, доцент образовательного центра "Энергоэффективные инженерные системы"

david.art.kz@gmail.com

Ключевые слова

Теплообменный аппарат, теплопередача, природный газ, сжиженный природный газ.

Кожухотрубный теплообменный аппарат (КТА) является наиболее распространенным типом теплообменного оборудования в технологии сжижения природного газа. КТА (рис.1) состоит из следующих составных частей:

- трубный пучок, представляющий собой набор труб одинакового диаметра и толщины;
- перегородки, служащие для поддержания трубного пучка и турбулизации потока в межтрубном пространстве с целью повышения коэффициента теплоотдачи;
- трубные решетки, удерживающие трубный пучок по краям и определяющие геометрию пучка;
- патрубки на входе и выходе теплоносителей в трубное и межтрубное пространство;
- распределительные камеры для перераспределения трубного потока между входным или выходным патрубком и трубным пучком;
- кожух аппарата, одновременно формирующий межтрубное пространство [1]. В КТА реализуется следующая схема движения потоков.

Горячий теплоноситель поступает в патрубок трубного пространства и через распределительную камеру направляется в трубы, а холодный теплоноситель через патрубок межтрубного пространства поступает в кожух и, огибая перегородки, двигается поперек трубного пучка и перемещается по зигзагообразной кривой от входного патрубка в межтрубное пространство к выходному. При необходимости горячий и холодный потоки можно менять местами, однако обычно поток более высокого давления направляют в трубы [2].

Рис. 1 – Кожухотрубный теплообменный аппарат

Методы и материалы

Основным методом интенсификации теплопередачи в трубном пространстве является использование трубных вставок Twisted Tape и развитие внутренней поверхности трубы за счет микрооребрения MicroFin (рис.2). Трубные вставки Twisted Tape представляют собой металлическую скрученную ленту. Оба вида интенсификаторов применяются для турбулизации потока и увеличения коэффициента конвективной теплоотдачи [3].

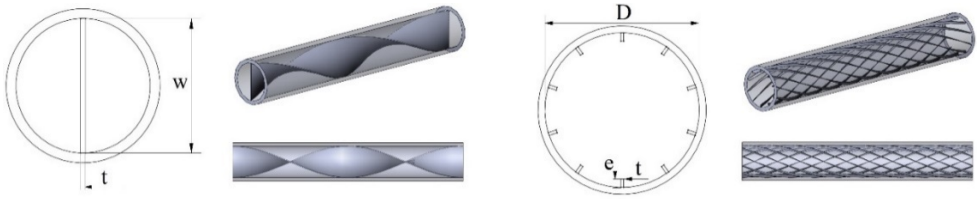


Рис. 2 – Трубная вставка типа Twisted Tape и внутреннее оребрение MicroFin

В данном исследовании проводится сравнение обоих видов интенсификаторов с помощью температурной эффективности охлаждения, численно выраженной в виде:

$$k_{cooling}^{NG} = \frac{t_1^{NG} - t_2^{NG}}{t_1^{NG} - t_1^{tube}}, \quad (1)$$

где t_1^{NG} – температура природного газа на входе в расчетную область; t_2^{NG} – температура природного газа на выходе из расчетной области; t_1^{tube} – температура окружающей расчетной стенки, представляющая собой константу [3].

Граничные условия для CFD – расчета:

1. Теплоноситель в трубном пространстве – природный газ.
2. Температура теплоносителя на входе 25°C.
3. Скорость теплоносителя на входе – 0,5 м/с.
4. В качестве охладителя задается температура окружающей расчетной стенки величиной в -50°C.

Геометрические условия:

– длина трубы – 800 мм;
– внутренний диаметр трубы –21 мм.

Результаты сравнительного анализа изменения температуры природного газа при течении в трубном пространстве и термодинамической эффективности процесса охлаждения представлены на рисунках 3 и 4, и в таблице 1. По результатам исследования можно сделать вывод, что наиболее эффективным способом интенсификации теплопередачи в трубном пространстве является применение микрооребрения внутренней поверхности трубок.

Таблица 1

Результаты расчета температурной эффективности охлаждения природного газа в трубе

Тип трубы	Тепловая эффективность охлаждения природного газа, %
Труба с вставкой Twisted Tape	68,6
Труба с внутренним оребрением	74,1

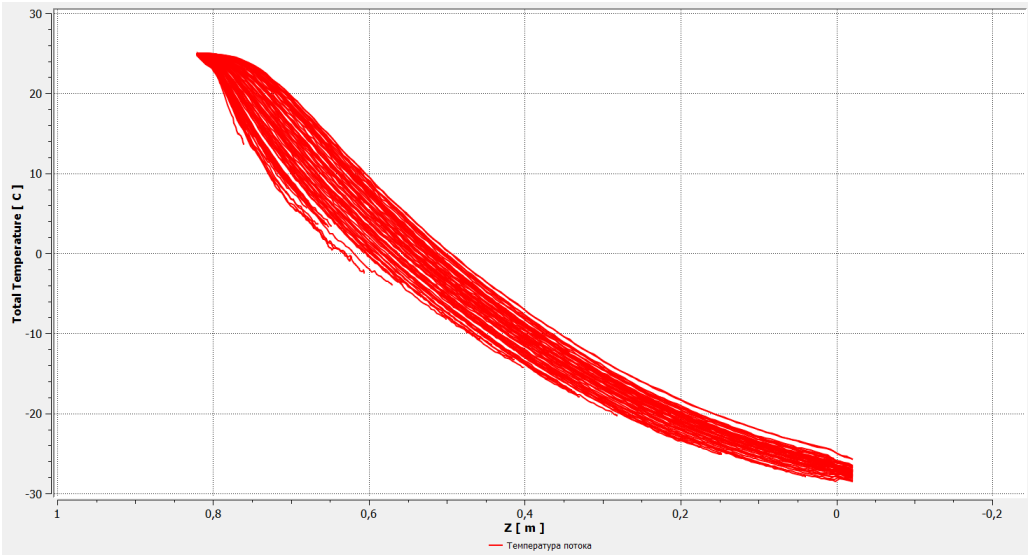


Рис. 3 – Распределение температуры потока в трубе с вставкой Twisted Tape

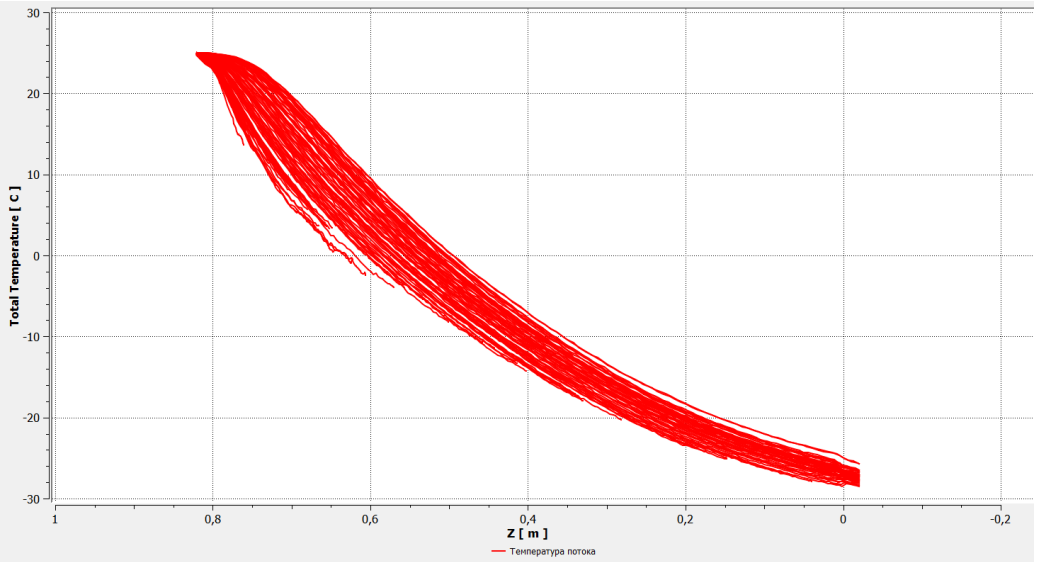


Рис. 4 – Распределение температуры потока в трубе с внутренним оребрением

Список использованных источников

1. SadikKakaç,Hongtan Liu.Heat Exchangers: Selection, Rating and Thermal Design (2nd ed.) // CRC Press. – 2002. – 546 p.
2. Белозерцев В.Н., Бирюк В.В., Довгялло А.И., Некрасова С.О., Угланов Д.А., Сармин Д.В. Интенсификация теплообмена // Самара: Изд-во Самарского университета. – 2018. – 205 с.
3. Chirag M. The Heat Transfer Enhancement Techniques and Their Thermal Performance Factor Beni-Suef University Journal of Basic and Applied Sciences. – 2018. – С. 1–21.

УДК 519.6

ГИБРИДИЗАЦИЯ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ И МЕТОДОВ АВТОМАТИЧЕСКОГО МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕШЕНИЯ ПРОГНОСТИЧЕСКИХ ЗАДАЧ

Борисова Ю.И.

Научный руководитель – Никитин Н.О., кандидат технических наук, старший научный сотрудник лаборатории композитного искусственного интеллекта, доцент факультета цифровых трансформаций, начальник группы исследовательского центра в сфере искусственного интеллекта "Сильный искусственный интеллект в промышленности"

yulashka.htm@yandex.ru

Работа выполнена в рамках проекта № FSER-2021-0012 «ЛабКИИ».

Ключевые слова

Гибридизация, машинное обучение, прогностические моделирование, AutoML, NEMO.

Классические числовые модели физических процессов среды, представляющие собой совокупность систем дифференциальных уравнений, широко известны и применяются со времен начала активного развития ЭВМ. Подобные модели являются в достаточной мере интерпретируемыми и отражающими взаимосвязи используемых физических параметров. Однако при современных потребностях точности моделирования, подобные реализации значительно усложнились, в связи с чем возросла их ресурсоемкость и вычислительная сложность, особенно касательно моделирования для крупных участков территории.

Активное развитие инструментария и методов машинного обучения позволили рассматривать географические данные (в том числе и данные, отражающие динамику морей и океанов) как основу для глубокого обучения. Применение же автоматического машинного обучения позволяет подобрать конфигурацию модели и/или гиперпараметры без непосредственного участия оператора, что позволяет существенно повысить скорость и простоту обучения за счет автономности. В противоположность численным моделям, модели, основанные на машинном обучении, работают быстрее, но в большинстве случаев они плохо интерпретируемы, вследствие чего часто не применяются научным сообществом из-за невозможности сделать выводы на основе моделирования [1].

Добавление возможности гибридного моделирования в парадигму AutoML (автоматического машинного обучения) позволит в автоматическом режиме создавать более интерпретируемые модели за счет обобщения опыта использования физического моделирования на основе дифференциальных уравнений, а также повысить качество для краткосрочных прогнозов за счет ML составляющей. Таким образом, основная задача проекта состоит в том, чтобы реализовать автоматизированный поиск структуры гибридной модели с включением узла физической модели эволюционными методами.

В качестве базового AutoML решения использовался фреймворк FEDOT [2], разрабатываемый НЦКР ИТМО. Его преимуществом является возможность автоматизированного построения сложных структур взаимодействия нескольких моделей одновременно в парадигме AutoML – композитных моделей.

Фреймворк способен осуществлять автоматизированный поиск структуры композитной модели посредством эволюционных методов. В реализации имеется набор мутаций, случайным образом применяемый к графовой структуре. Доступные типы мутаций, число поколений, количество индивидов и прочие параметры эволюции являются настраиваемыми. Поиск гиперпараметров для композитной модели осуществляется байесовской оптимизацией.

С целью инициализации и подбора параметров гибридной модели был разработан алгоритм (блок-схема представлена на рисунке 1), реализованный в виде программного модуля для построения гибридных моделей.

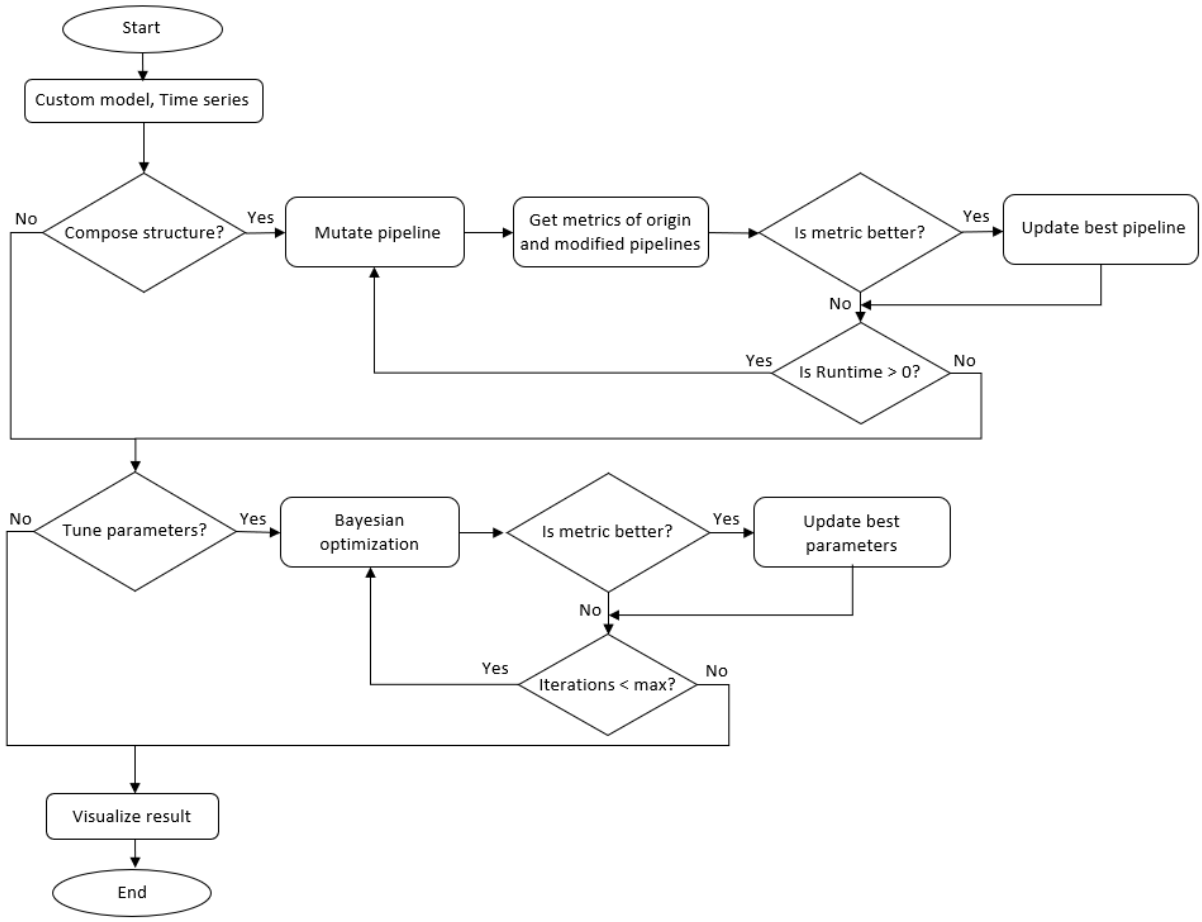


Рис. 1 – Блок-схема алгоритма построения гибридных моделей

В примитивном случае за начальное приближение к структуре принимается одна пользовательская (в нашем случае физическая) модель. Рассчитывается метрика качества предсказания на отложенной выборке и принимается за стартовое значение для начала оптимизации. Постановка задачи оптимизации звучит следующим образом: в качестве целевой функции выступает композитная модель, оптимизируемым параметром является ее структура. Функцией минимизации является метрика качества предсказания на отложенной выборке. Пространство поиска ограничено набором допустимых операций и моделей.

Сходимость алгоритма обеспечивается за счет итеративного изменения модели эволюционными методами. Особенностью является то, что при оптимизации используется подход к композитному моделированию, при котором мутация производится над графовым представлением модели. То есть осуществляется оптимизация структуры направленного ациклического графа с точки зрения его пригодности в качестве композитной модели.

Эффективность прогностического моделирования оценивалась для данных в области гидрометеорологии, а именно для уровня океана акватории Арктики в силу открытости и доступности данных. Также выбранный регион является перспективным с промышленной точки зрения, что обуславливает актуальность моделирования параметров среды на данной территории.

В качестве физической модели для расчета используется модель гидродинамики океана NEMO [3]. Данными для модели машинного обучения послужил реанализ TOPAZ4. Для оценки пространственных особенностей модели также была развернута региональная конфигурация NEMO SPITZ12, охватывающая территорию вблизи острова Шпицберген и отражающая ее в более крупном масштабе.

Постановка эксперимента включает следующие этапы:

- построение начального приближения – модели с фиксированной структурой, содержащей физическую модель;

- запуск процесса поиска оптимальной структуры гибридной модели эволюционными методами;
- запуск процесса поиска оптимальных гиперпараметров гибридной модели методом байесовской оптимизации.

Оценка подобранных структур, с точки зрения качества прогнозирования, разветвленности структуры модели, а также сохранения физической модели в общей структуре. После множественного запуска алгоритма можно сделать следующие выводы:

- более сложная структура начального приближения приводит к большей разветвленности индивидов в популяции, в связи с чем финальная модель обладает более сложной структурой и лучше отражает данные;
- узлы с физической моделью, во многих случаях, не просто сохраняются в структуре модели, но и также добавляются в нее посредством мутации (рис.2). Это говорит о том, что наличие узла физических моделей приводит к лучшему качеству моделирования, чем отсутствие таковых в структуре;
- механизмы мутации обеспечивают достаточное разнообразие валидных индивидов с разветвленной структурой в популяции.

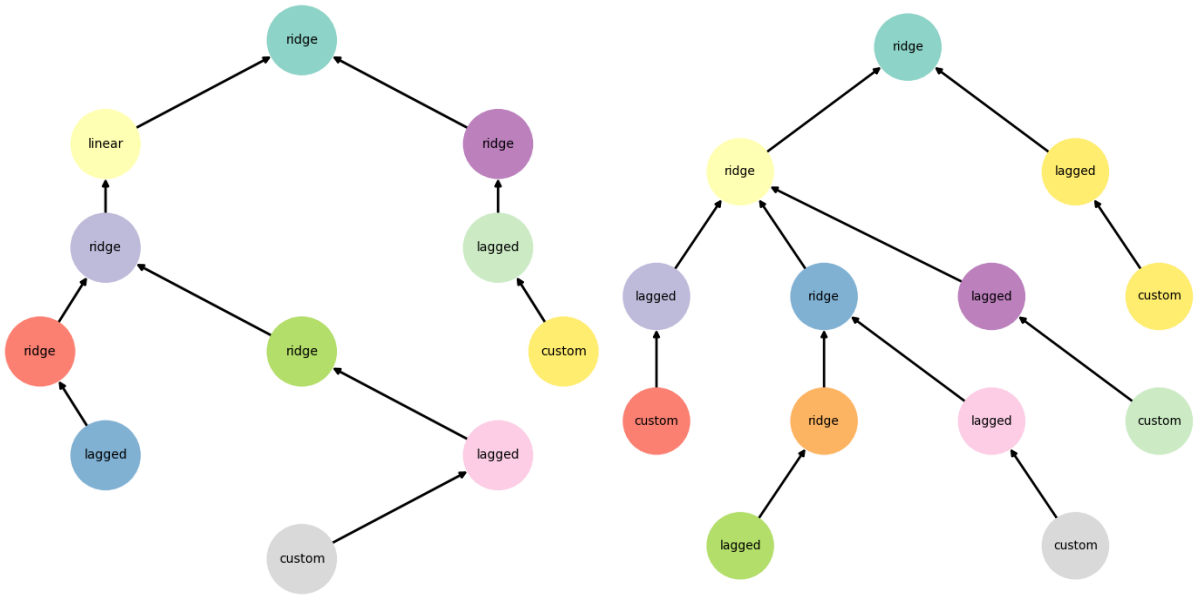


Рис. 2 – Примеры сильно разветвленных сгенерированных структур, содержащих несколько узлов физической модели, где custom – узел, содержащий модель NEMO, ridge – ridge-регрессия, linear – линейная регрессия, lagged – преобразование к траекторной матрице

Для численной оценки вклада узла физической модели в композитную модель было произведено сравнение метрик качества, усредненных по 10 запускам.

Для структур, содержащих узел физической модели:

- MAE = 0,097;
- RMSE = 0,014.

Для структур, не содержащих узел физической модели:

- MAE = 0,108;
- RMSE = 0,021.

Таким образом, структуры, содержащие узел физической модели, показывают лучшее качество прогнозирования, что подтверждает эффективность гибридизации.

С целью исключения влияния случайности при подборе структуры модели эволюционными методами было решено производить оценку качества для гибридных моделей с фиксированной структурой.

Таким образом, модели для экспериментов включали:

1. Базовую модель (baseline) – модель, состоящую из узла нормализации и авторегрессионной модели ARIMA, считающейся классической для предсказания временных рядов.

2. Композитная модель машинного обучения – простая разветвленная модель, предполагающая трансформацию временного ряда в траекторную матрицу, две регрессионные модели для воспроизведения разномасштабных процессов, а также регрессию методом опорных векторов.
3. Две вариации гибридных моделей – обе обладают идентичной структурой с базовой моделью п.1 и композитной моделью машинного обучения п.2, однако включают блок ансамблирования с моделью NEMO.

Для более полной оценки качества предсказания моделей было решено поставить эксперименты для различных горизонтов прогнозирования. Было выбрано семь заблаговременностей прогноза: 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 дней, произведен прогноз и расчет метрик. Далее значение по каждой метрике было усреднено по всем точкам акватории и сведено в общую таблицу.

Таблица

Сравнение метрик качества для различной заблаговременности прогноза

Метрика	Модель	Заблаговременность прогноза (дни)						
		30	40	50	60	70	80	90
MAE (m)	Baseline	0.015	0.015	0.016	0.016	0.017	0.015	0.020
	Hybrid model	**0.009**	**0.012**	**0.011**	**0.013**	**0.015**	**0.012**	**0.013**
	ML model	0.017	0.028	0.026	0.021	0.032	0.032	0.043
RMSE (m)	Baseline	0.018	0.018	0.020	0.020	0.022	0.020	0.027
	Hybrid model	**0.013**	**0.014**	**0.014**	**0.016**	**0.019**	**0.016**	**0.018**
	ML model	0.022	0.033	0.031	0.026	0.042	0.044	0.055
MAPE (%)	Baseline	76.932	51.820	48.769	40.316	42.288	42.930	44.298
	Hybrid model	**74.645**	**41.633**	**41.484**	**34.960**	**51.342**	**36.131**	**33.513**
	ML model	160.339	78.072	63.571	66.357	158.847	165.605	198.309

Как видно из таблицы, гибридная модель показывает лучшее качество прогноза для всех горизонтов прогнозирования.

Так как для некоторых точек применение гибридной модели приводит к понижению ошибки, для других к ее завышению по отношению к базовой модели, было решено произвести оценку пространственного распределения ошибки по площади исследуемой акватории.

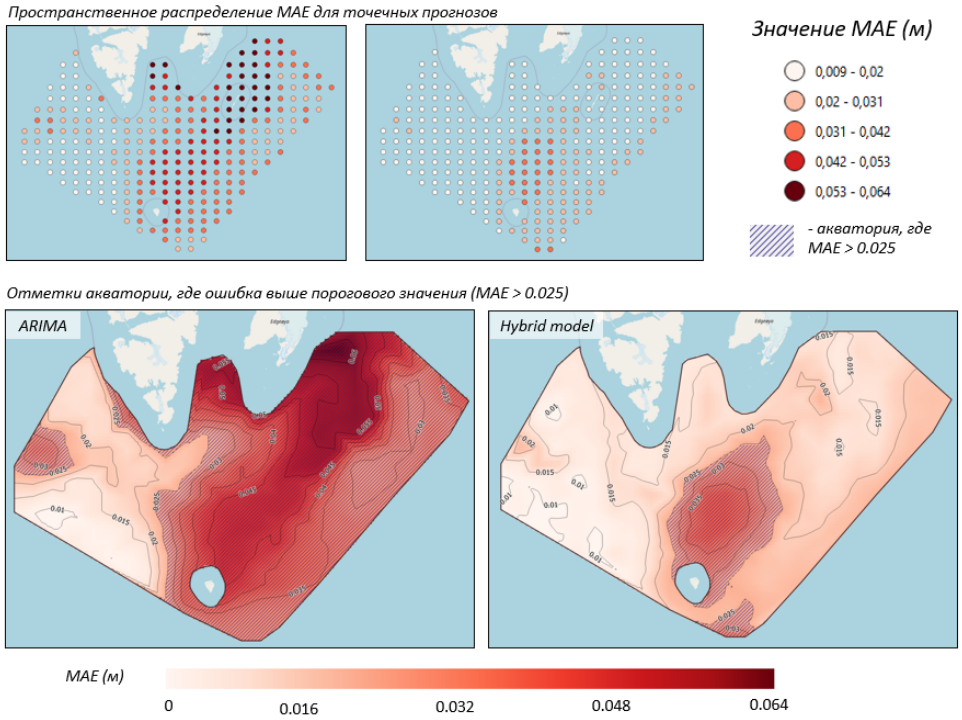


Рис. 3 – Пространственное распределение ошибки на исследуемой территории

Для этого точки, с учетом их географических координат, были нанесены на карту (рис.3) и окрашены в соответствии с непрерывной монохромной шкалой, где минимальное значение отмечено белым, максимальное – коричневым.

Далее была произведена линейная интерполяция с целью создания непрерывного поля значений. Для количественной оценки ошибки прогнозирования был выбран условный порог, приемлемый для моделирования: MAE < 0.025. Далее рассчитана площадь акватории, для которой значение ошибки превышает порог. Было выяснено, что применение гибридной модели позволяет сократить площадь с превышением порога примерно в 4 раза. Для базовой модели (ARIMA) площадь составила 118726 км2, для гибридной модели 27617 км^2.

Анализируя распределение ошибки, можно сделать следующие выводы:

- очевидно нарастание как среднего значения ошибки, так и ее разброса с увеличением горизонта прогнозирования для модели машинного обучения, что говорит о возможности ее применения в краткосрочной перспективе и неприменимости для долгосрочного прогноза;
- применение гибридной модели действительно позволяет сократить среднюю ошибку для акватории по сравнению с базовой моделью и моделью машинного обучения на всех горизонтах прогнозирования;
- применение гибридной модели в большинстве случаев позволяет сократить разброс ошибки для акватории.

Таким образом, применение гибридного моделирования дает лучшее качество прогнозирования по сравнению с базовой моделью и моделью машинного обучения.

Список использованных источников

1. Willard J., Jia X., Xu S., Steinbach M., Kumar V. Integrating Physics-Based Modeling with Machine Learning: A Survey // Computer Science. – 2020. – №1(1). ArXiv, abs/2003.04919.
2. FEDOT GitHub repository. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://github.com/nccr-itmo/FEDOT (дата обращения: 04.05.2022).
3. Официальная страница проекта модели динамики океана NEMO. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.nemo-ocean.eu/ (дата обращения: 21.01.2021).

УДК 681.787

СОЗДАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ ДИНАМИЧЕСКОГО ДИАПАЗОНА ДЛЯ СХЕМЫ ГОМОДИННОЙ ДЕМОДУЛЯЦИИ В ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ ИНТЕРФЕРОМЕТРИЧЕСКИХ ДАТЧИКАХ

Годовова А.С.

Научный руководитель – Плотников М.Ю., кандидат технических наук, начальник лаборатории световодной фотоники

anastasiagodovova@ya.ru

Ключевые слова

Динамический диапазон, волоконно-оптические датчики, измерения гидроакустического давления, гомодинная демодуляция, волоконно-оптическая буксируемая сейсмическая коса.

Волоконно-оптические датчики получают все более широкое применение в измерительных системах и во многих отраслях производства. Явление интерференции оптического излучения является основным принципом работы всех высокоточных волоконно-оптических интерференционных датчиков. Используемые в сейсморазведке акустические сигналы, как правило, представляют собой мощные импульсные высокочастотные сигналы. Как следствие, в ходе регистрации таких сигналов может возникнуть превышение уровня линейного динамического диапазона схемы обработки сигналов. Возникающее ограничение динамического диапазона обусловлено ограниченностью доступной ширины полосы частот интерференционного сигнала и определяется выбранной частотой опроса датчиков и частотой вспомогательной фазовой модуляции [1]. При этом важным, с точки зрения эксплуатации косы, является анализ зависимости динамического диапазона схемы обработки при регистрации сигналов со сложным спектральным составом. Для этого необходимо создать систему контроля динамического диапазона, работающую в реальном времени.

Объектом исследования является схема обработки сигнала с волоконно-оптической буксируемой сейсмической косы, представленная на рисунке 1. Сокращения расшифровываются следующим образом: ФП – фотоприемник, АЦП – аналого-цифровой преобразователь, ОГ – опорный генератор, ФНЧ – фильтр низких частот, БДФ – блок доворачивания фазы, ФВЧ – фильтр высоких частот.

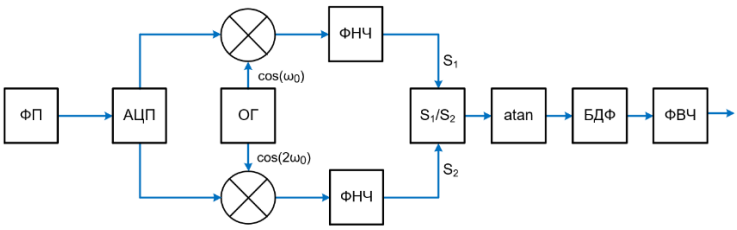


Рис. 1 – Схема алгоритма гомодинной демодуляции на основе вычисления функции арктангенса

Интенсивность зарегистрированного на фотоприемнике интерференционного сигнала представляется функцией

$$I(t) = A + B\cos\big(C\cos(2\pi f t) + \varphi(t)\big),$$

где A и B – константы, определяемые интенсивностью светового излучения, C – глубина фазовой модуляции (рад), f – частота фазовой модуляции, а $\varphi(t)$ определяется как

$$\varphi(t) = D\cos(2\pi f_D t) + \varphi_0,$$

где D – амплитуда измеряемого фазового сигнала, f_D – частота измеряемого фазового сигнала, φ_0 – положение рабочей точки интерферометра [2].

Сигнал с фотоприёмника демодулируют, т.е. производят ряд математических преобразований, получая на выходе обработки сигнал, пропорциональный измеряемому акустическому воздействию. Таким образом, становится возможной оценка величины гидроакустического воздействия по сигналу с волоконного интерферометра.

С целью исследования динамического диапазона схемы гомодинной демодуляции на основе функции арктангенса была реализована математическая модель в среде MATLAB. На рисунках 2 и 3 представлены результаты моделирования рассматриваемой схемы демодуляции, где амплитуда измеряемого воздействия принимает значения от 1 до 20 радиан с шагом 0,1 рад, частота измеряемого воздействия – от 1 до 10 кГц с шагом 1 кГц.

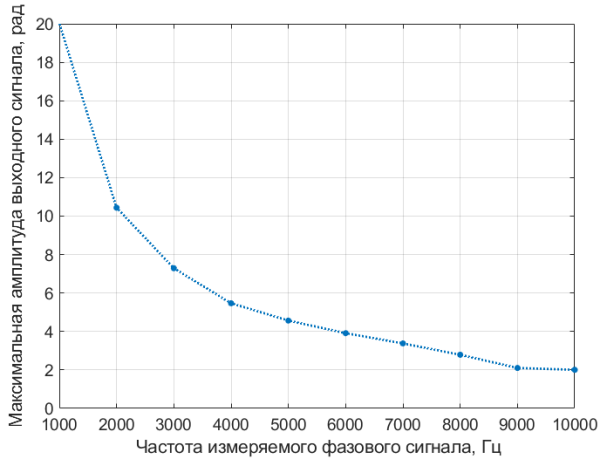


Рис. 2 – Зависимость амплитуды выходного сигнала рассматриваемой схемы демодуляции от частоты измеряемого фазового сигнала

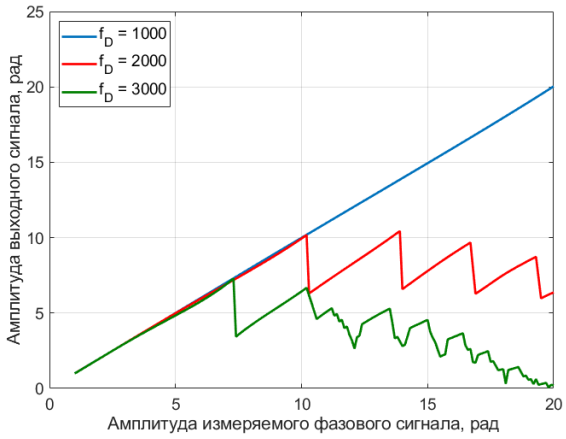


Рис. 3 – Зависимость амплитуды выходного сигнала рассматриваемой схемы демодуляции от амплитуды измеряемого фазового сигнала

Согласно представленным на рисунках результатам, максимальная амплитуда выходного сигнала имеет обратно пропорциональную зависимость от частоты измеряемого фазового сигнала. Ограничение по амплитуде измеряемого фазового сигнала обусловлено увеличением числа сигнальных гармоник, попадающих в полосу пропускания ФНЧ схемы обработки. Таким образом, динамический диапазон уменьшается с увеличением частоты и при больших частотах схема перестаёт работать корректно.

В ходе моделирования в интерференционный сигнал добавлялся дополнительный измеряемый фазовый сигнал с амплитудой D_1 и частотой f_1, т.е. измеряемый фазовый сигнал принимал вид:

$$\varphi(t) = D\cos(2\pi f_D t) + D_1 cos(2\pi f_1 t) + \varphi_0.$$

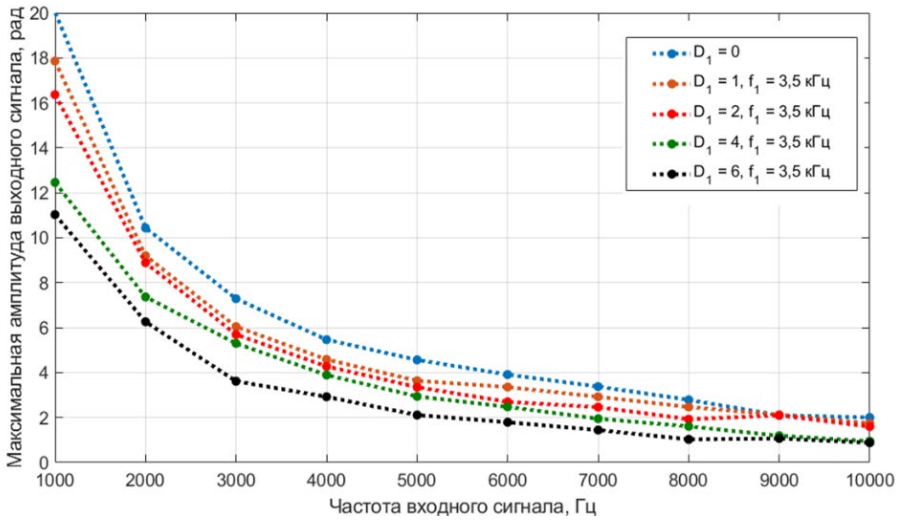


Рис. 4 – Зависимость максимальной амплитуды выходного сигнала от частоты измеряемого фазового сигнала

На рисунке 4 представлены результаты данного моделирования. Для полигармонических сигналов со сложным спектральным составом динамический диапазон схемы уменьшается с увеличением частоты и амплитуды добавочных спектральных составляющих измеряемого сигнала. Зависимость максимальной регистрируемой амплитуды сохраняется в виде обратной пропорциональности от частоты.

Таким образом, для расчета оценки эффективности использования динамического диапазона может быть рассмотрен один параметр измеряемого сигнала, который включает в себя амплитуду и частоту всех частотных компонент сигнала, т.е. его производная.

Максимум производной фазового сигнала включает в себя произведение амплитуды на частоту. Моделирование показало, что при выходе сигнала за динамический диапазон происходит превышение этого максимума, поэтому в качестве индикатора для определения выхода регистрируемого фазового сигнала за динамический диапазон схемы обработки сигналов было выбрано отношение текущей производной $d_{current}$ выходного сигнала к максимальной производной d_{max} сигнала, рассчитанной для текущего варианта схемы обработки сигналов с учетом выбранной частоты вспомогательной фазовой модуляции и полосы пропускания фильтров низких частот:

$$Indicator = \frac{d_{current}}{d_{max}}.$$

Этот индикатор работает таким образом, – если отношение больше единицы, значит, регистрируемый сигнал вышел за динамический диапазон и регистрируется некорректно.

Следующим этапом было проведено исследование спектральных искажений широкополосных фазовых сигналов. В качестве тестового фазового сигнала был использован сигнал с прямоугольным спектром с верхней частотой f_D = 1000 Гц. Подобный сигнал с маленькой амплитудой (D = 40 рад) не искажается после обработки, что видно на рисунке 5. При увеличении амплитуды фазового сигнала до D = 90 рад наблюдаются временные и спектральные искажения выходного сигнала, выраженные в ослаблении низкочастотных спектральных составляющих фазового сигнала.

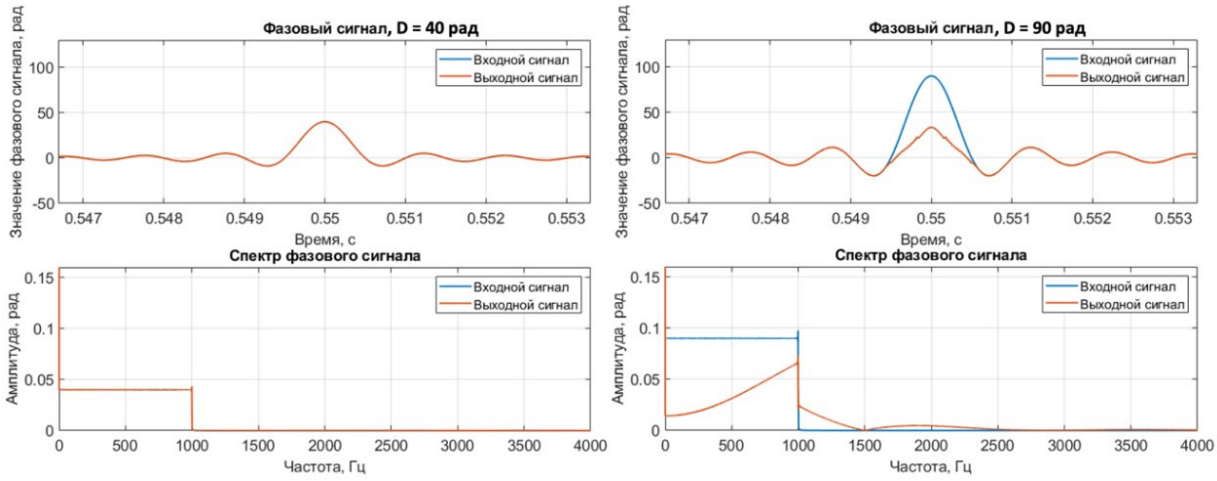


Рис. 5 – Фазовые сигналы с прямоугольным спектром на выходе обработки

На рисунке 6 работа индикатора представлена графически. Сигнал с амплитудой 40 радиан не выходит за динамический диапазон во времени. При увеличении амплитуды до 90 радиан происходит выход за динамический диапазон.

Таким образом, по отношению текущего значения производной фазового сигнала к максимальному возможному значению, можно определять величину сигнала в пределах доступного динамического диапазона, вне зависимости от его формы и спектра, и эффективность использования динамического диапазона схемы обработки.

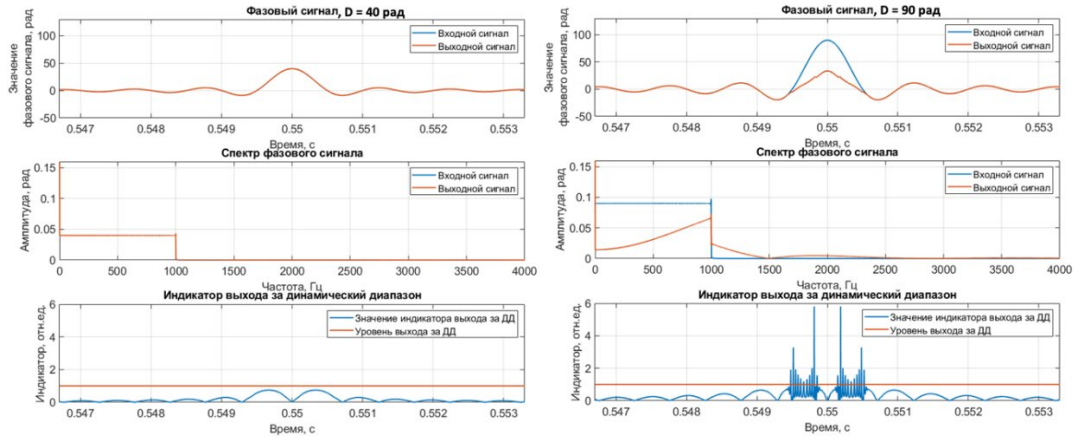


Рис. 6 – Графическое представление работы индикатора для фазового сигнала с прямоугольным спектром на выходе обработки

С целью апробации полученных результатов моделирования был проведен эксперимент для исследования системы контроля динамического диапазона. На рисунке 7 представлена фотография используемой экспериментальной установки, в которую вошли макет волоконно-оптического датчика, состоящий из волоконно-оптической части с платой обработки сигналов с программируемой логической интегральной схемой (ПЛИС), осциллограф, устройства создания звуковых сигналов (мобильный телефон со специальным программным обеспечением), компьютер для записи и обработки сигнала.

Конфигурация схемы гомодинной демодуляции на основе вычисления арктангенса, заданная на ПЛИС макета волоконно-оптического датчика, соответствует конфигурации в модели MATLAB. На этапе моделирования было получено максимальное значение производной (~150 000 рад/с.) для схемы демодуляции с параметрами, соответствующими параметрам на ПЛИС: частота дискретизации 1 МГц, частота модуляции 50 кГц, полоса пропускания фильтра низких частот 20 кГц. В процессе эксперимента осуществлялась запись сигналов на выходе схемы демодуляции, а затем применялась система контроля эффективности использования динамического диапазона.

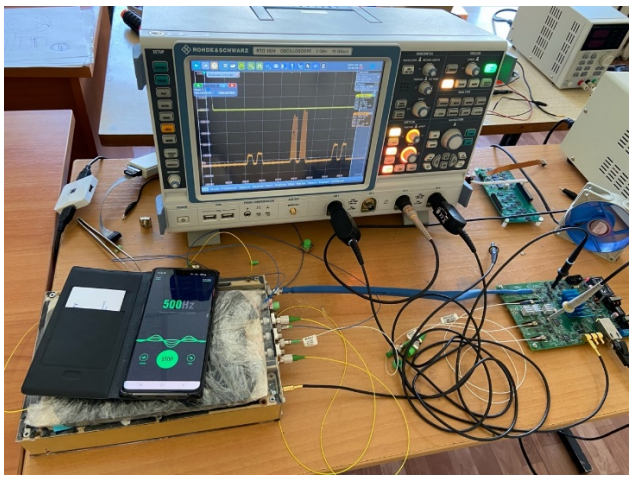
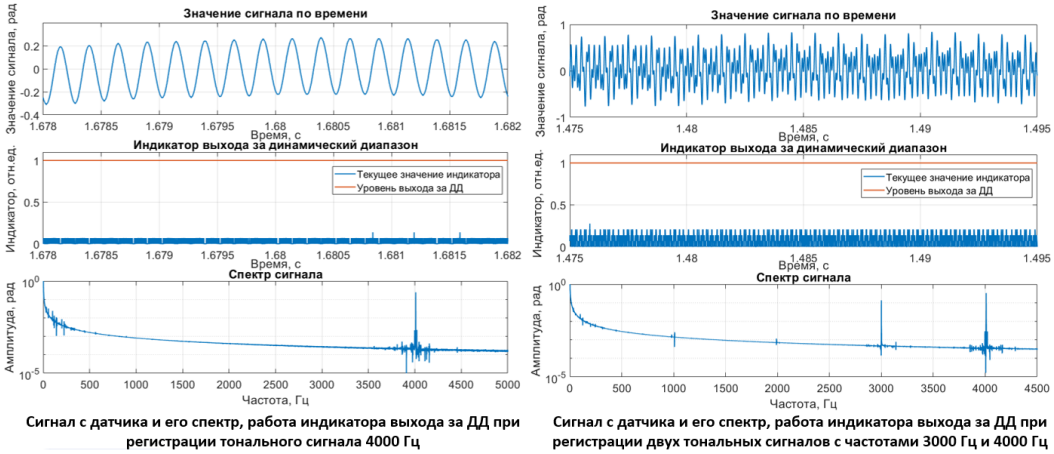


Рис. 7 – Фотография экспериментальной установки для исследования системы контроля динамического диапазона

В ходе эксперимента записывались данные с датчика при подаче на него тональных сигналов с разными частотами. В качестве примера, на рисунке 8 показаны данные с датчика для частоты 4000 Гц и одновременного воздействия частотами 3000 Гц и 4000 Гц. Также приведен спектр сигнала и работа индикатора выхода за динамический диапазон в реальном времени. Значение индикатора в первом случае составляет около 0,1 отн.ед., во втором увеличивается до 0,2 отн.ед., но в обоих случаях не превышает 1 отн.ед. Значит, выход за динамический диапазон не происходит.



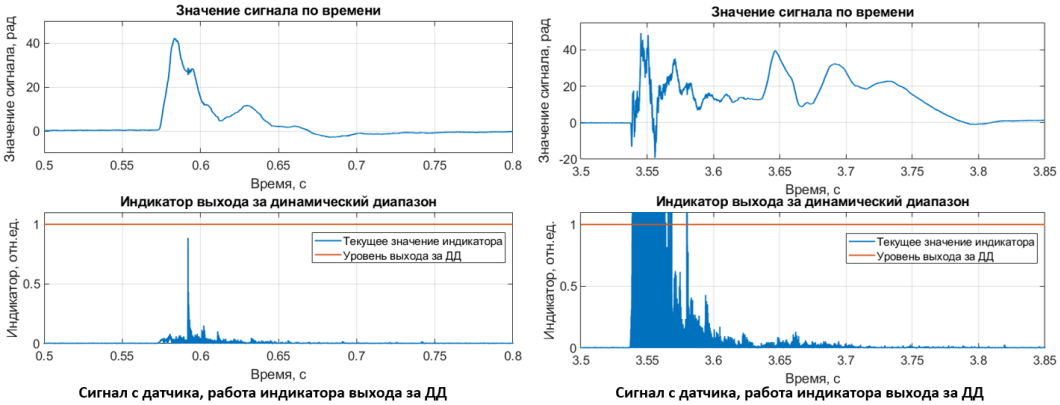
Сигнал с датчика и его спектр, работа индикатора выхода за ДД при регистрации тонального сигнала 4000 Гц

Сигнал с датчика и его спектр, работа индикатора выхода за ДД при регистрации двух тональных сигналов с частотами 3000 Гц и 4000 Гц

Рис. 8 – Результаты эксперимента для тональных звуковых сигналов

Далее в эксперименте на датчик оказывалось ударное воздействие. На рисунке 9 представлены сигналы для обычного и сильного удара. В случае сильного удара зафиксирован выход за динамический диапазон.

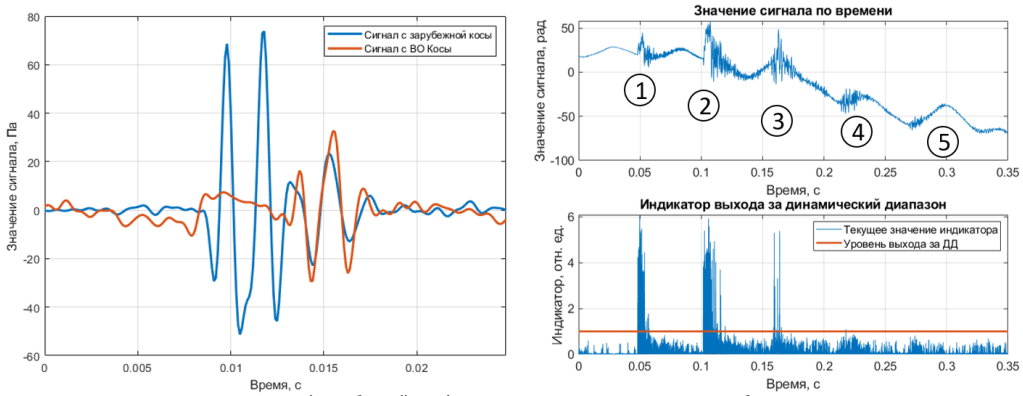
На рисунке 10 представлено применение разработанной системы контроля динамического диапазона для реальных данных с волоконно-оптической косы (ВО косы). На графике слева видно, что ограничение динамического диапазона искажает форму зарегистрированного сигнала. На графиках справа в сигнале числами отмечены кратные волны от переотражения поверхности вода-земля. Волны под номерами 1, 2, 3 выходят за динамический диапазон.



Сигнал с датчика, работа индикатора выхода за ДД при регистрации ударного воздействия

Сигнал с датчика, работа индикатора выхода за ДД при регистрации сильного ударного воздействия

Рис. 9 – Результаты эксперимента для ударных воздействий



Сравнение эталонного сигнала (с зарубежной косы) и сигнала волоконно-оптической буксируемой косы с испытаний

Сигнал с датчика, работа индикатора выхода за ДД при регистрации реальных данных, где 1 – прямая волна, 2 – первая отраженная волна, 3 – первая кратная волна, 4 – вторая кратная волна, 5 – третья кратная волна

Рис. 10 – Применение системы контроля к данным с натурных испытаний ВО косы

В ходе эксперимента была применена разработанная система контроля динамического диапазона. Указанная система и индикатор могут быть реализованы на ПЛИС в конфигурации схемы гомодинной демодуляции и применены в режиме реального времени при обработке сигнала.

Таким образом, можно в реальном времени оценивать эффективность использования динамического диапазона, регулировать на основе этих данных уровень акустических сигналов, используемых для работы на шельфе, и получать максимально возможное отношение сигнал-шум геофизических данных, то есть повышать их качество. Применение критерия выхода за динамический диапазон для обработки сигналов волоконно-оптических буксируемых сейсмических кос может быть использовано для повышения общего качества геологических данных, полученных в результате проведения сейсморазведочных работ, и проведения импортозамещения в сфере современных высокотехнологичных геофизических приборов и комплексов.

Список использованных источников

1. Yan L., Wang Y., Xiao L., Bai Q., Liu X., Gao Y., Zhang H., Jin B. Phase Demodulation Methods for Optical Fiber Vibration Sensing System: A Review // IEEE Sensors Journal. – 2022. – V.22. – Pp. 1842 – 866.
2. Kumar S.S, Khansa C.A., Praveen T.V., Sreehari C.V., Santhanakrishnan T., Rajesh R. Assessment of Dynamic Range in Interferometric Fiber Optic Hydrophones Based on Homodyne PGC Interrogator // IEEE sensors journal. – 2020. – V.20. – №22. – Pp.6422.

УДК 7.067

АРТ-ПРОЕКТ «ЛЮБОВЬ. ЭСХАТОЛОГИЯ. МАШИНА»: КРИТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРА МЕЖЛИЧНОСТНЫХ ОТНОШЕНИЙ ПРИ ОБМЕНЕ ДАННЫМИ ОНЛАЙН

Горланова К.С.
Научный руководитель – Морозов Д.Б., преподаватель

xenia.gorlanova@gmail.com, vtolmusic@gmail.com

Ключевые слова
Art & Science, постгуманизм, survaillance capitalism, надзорный капитализм, политика любви и человеческих интимностей, politics of love, natural language processing, обработка естественного языка, sentiment analysis, анализ тональности естественного языка, световая инсталляция.

В наши дни существенно возрастающий уровень социального дистанцирования происходит параллельно с растущим удобством онлайн-общения. Тотальная связность соблазняет общество обещаниями прозрачности, определенности и прибыли за счет беспрецедентной формы цифрового влияния, предположительно лишающего человечество возможности реально проживать свою жизнь.

Цель описываемого исследования — изучить проблемы, которые ставит перед человечеством чрезмерная зависимость от цифровых форм коммуникации, и сформулировать концептуальные и выразительные средства художественного языка для артикулирования обозначенной проблемы в арт-проекте ‘ love. eschatology. machine’ (‘ любовь. эсхатология. машина’). Методы исследования можно разделить на две группы: теоретические и практические.

Задачами проведенного исследования были:

1. Теоретический анализ последних критических подходов к медиа зависимому потреблению информации и межличностной коммуникации, включая аспекты телеприсутствия, парасоциального взаимодействия, надзорного капитализма, продуктов прогнозирования поведенческих данных и полицейского надзора.
2. Обзор художественных работ, в которых обсуждаются схожие философские, этические и социологические вопросы, связанные с использованием личной информации или представлением данных, на которых будут основываться эстетические методы художественного проекта.
3. Машинный анализ тональности текста, составляющий цифровое содержание будущего художественного произведения.
4. Разработка и создание художественного проекта, формулирующего концептуальное обоснование и результаты изучения данных проведенного художественного исследования.

Практическая значимость работы заключается в проведении художественного исследования в ключе критики научного производства знания, демонстрации обоснованности тесной связи «глобального» и «личного», через политико-социальный контекст. Исследование распределено на три части следующим образом:

- «Актуальность проблемы исследования»;
- «Case-study. Резонирующий личный опыт»;
- «Процесс и реализация результатов художественного исследования».

Первая часть посвящена созданию теоретической концептуальной основы, использованной на всех последующих этапах практического исследования (Глава 2. диссертации) и физической реализации проекта (Глава 3. диссертации) Описываются социальные и этические проблемы, вызванные вторжением технологий и медиа в межличностную коммуникацию. Эволюция встраивания индивидуального опыта во

всеохватывающую глобальную технологическую систему, связанную с медиа проиллюстрирована градацией из трех примеров:

1. Реальные события становятся виртуальными благодаря СМИ: событие действительно происходит, но остается вне поля зрения общественности из-за его освещения в СМИ.
2. Виртуальный несуществующий случай становится причиной более чем реальных событий: оповещения СМИ о недоказанном событии вызывают реальный психоэмоциональный эффект, который невозможно отменить или отыграть назад.
3. Событие, транслируемое, воспроизводимое через медиа (проводимое через медиа без инициирующего события), сильно влияет на реальность, смешивая ее с виртуальностью до неразличимости. Причинение физического, эмоционального вреда на расстоянии.

В третьем примере обмен текстовыми сообщениями и его возможное влияние на психическое и физическое здоровье человека сравнивается с постчеловеческими чертами современных военных действий, которые используют спутниковые телетанатологические машины в качестве передовой технологии доставки смерти [1].

Обсуждение выбранной проблематики продолжается обзором социологических интерпретаций технологии как инструмента властного воздействия, контролирующего и изменяющего поведение людей через СМИ. В структуру исследования вводится термин "надзорный капитализм" [2] для обозначения текущей экономической эксплуатации поведения человека в Интернете компаниями, занимающимися сбором больших данных, и платформами социальных сетей. Внутри этой концепции констатируется, что прогнозы о дальнейшем поведении пользователей, основанные на записях личной онлайн-активности, покупаются и продаются на "рынках поведенческих фьючерсов", становясь новыми "средствами модификации поведения".

Пример личного опыта автора, связанного с романтическими отношениями, зависимыми от текстовой интернет-переписки в мессенджере Telegram, подводит к последовательному доказательству того, что любовь, как отношение, занимает особое место в структуре оппозиции власти [3] и проблем персонального использования технологий. Сформулировано определение любви сегодня через набор следующих характеристик:

- истории, вещи и технологии, а не непреодолимая природная сила;
- набор жестко запрограммированных эмоциональных сценариев, постоянно воспроизводимых людьми под влиянием социальных конструкций;
- она больше не кажется самой важной вещью в жизни человека [4].

В завершении первой части исследования представлен краткий обзор тематически связанных произведений искусства, чтобы в конечном итоге структурировать художественную методологию и основные концептуальные положения окончательного художественного проекта. Три части данного исследования и спроектированный объект с его окончательной презентацией должны быть интерпретированы в соответствии:

- ~~любовь~~ — личный опыт и общая концепция, критический подход, с которым она связана;
- эсхатология — данные личных сообщений, использованные для изучения конкретного случая, средство коммуникации;
- машина — деконструированный интерфейс коммуникации.

Теоретическое концептуальное исследование, представленное в первой части диссертации ставит задачи продолжения работы с выбранным и обоснованным кейсом в рамках более практической "эсхатологической" части исследования по изучению данных. Вторая часть содержит обзор этапов решения исследовательской задачи на основе машинного обучения и оптимизации полученных данных для каждой из использованных моделей обработки естественного языка. Программирование исследования разработано и курировано NLP-инженером (инженером обработки естественного языка) Никитой Крутым, магистром направления "Технологии программирования игр", Московского физико-технический института.

Чтобы обойти проблему ручной маркировки набора данных, было предложено использовать несколько русскоязычных моделей анализа тональности текста и получить медианное значение маркировки для каждого сообщения в исходном дата сете. Модели с

наивысшей точностью работы для обработки русского языка были выбраны в соответствии с репозиторием "Deep Transfer Learning Baselines for Sentiment Analysis in Russian" [5], содержащим точно настроенные Multilingual Bidirectional Encoder Representations from Transformers (M-BERT), RuBERT и две версии Multilingual Universal Sentence Encoder (M-USE) для классификации тональности на русском языке (рис.1).

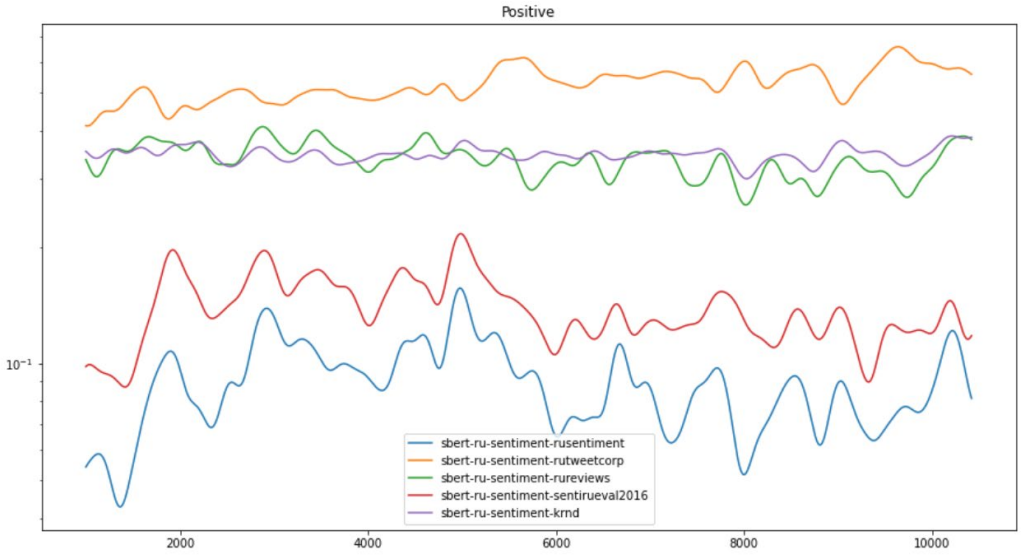


Рис. 1 – Работа пяти выбранных моделей на определение одного из пяти классов данных — позитивности

Общая тенденция тональности переписки все еще может быть охарактеризована как "обычная" для такого рода общения, без экстраординарного преобладания негативных или позитивных классов данных. Различные попытки сортировки данных по-прежнему показывают, что преобладает нейтральность (рис.2).

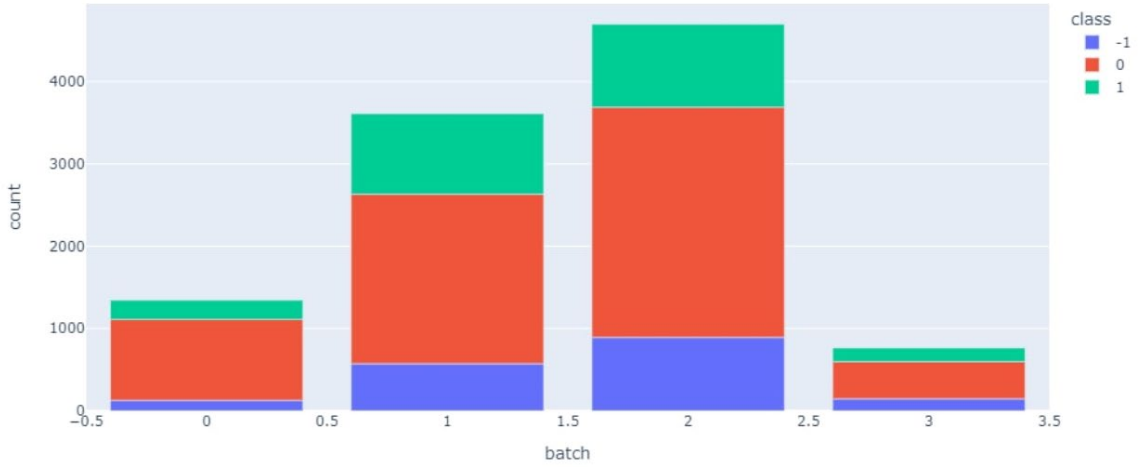


Рис. 2 – Определение количества сообщений одного из трех классов — негативные, позитивные, нейтральные — в четырех одинаковых по времени переписки группах общего массива

Окончательно отсортированный массив данных содержит такие категории данных о сообщениях (помимо самого текста и идентификатора сообщения), как:

- уровень позитивных негативных и нейтральных сообщений, с учетом двух порогов нейтральности 0,9 и 0,97;
- деление партии по времени (batch1);
- равномерное деление по партиям (batch2);
- разница во времени между сообщениями в минутах (timedelta_minutes);

– классы для трех порогов 0.5, 0.9, 0.99;
– количество символов в сообщениях (text_len).

которые можно использовать для создания светового сценария в соотношении классов «позитивный — негативный — нейтральный» с сигналами «белый — красный — отсутствие сигнала» (рис.3).

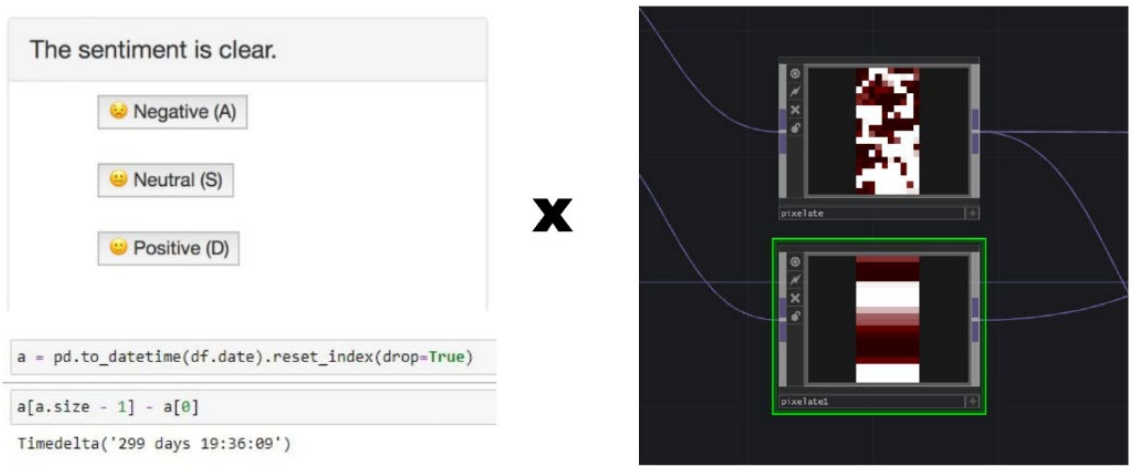


Рис. 3 – Эскиз сценария для световой матрицы инсталляции в корреляции с тремя основными классами маркировки данных массива переписки

В последней части исследовательской работы описывается процесс создания конечного художественного произведения — "машины", с учетом методологии выразительных средств, сформулированной ранее в части 1. и данных, собранных в ходе исследования в части 2. Описан ход поиска формы и вариации реализации идеи от первых эскизов до того, что было представлено на ежегодной выставке выпускников магистерской программы «Art&Science» Университета ИТМО. Перечислены этапы производства с указанием корректировок и проблем, решенных в процессе.

Первоначальное концептуальное решение было сконцентрировано на ранее представленной трехчастной форме (рис.4). В процессе работы было создано несколько альтернативных форм реализации одной и той же концепции, с различными способами создания взаимодействия со зрителем, возможными вариациями содержания и запуска воспроизведения контента, размерами объекта и его расположением в пространстве. Ключевым фактором, определившим окончательный вариант, стал контекст и место проведения будущей выставки, а также доступные сроки и возможности реализации.

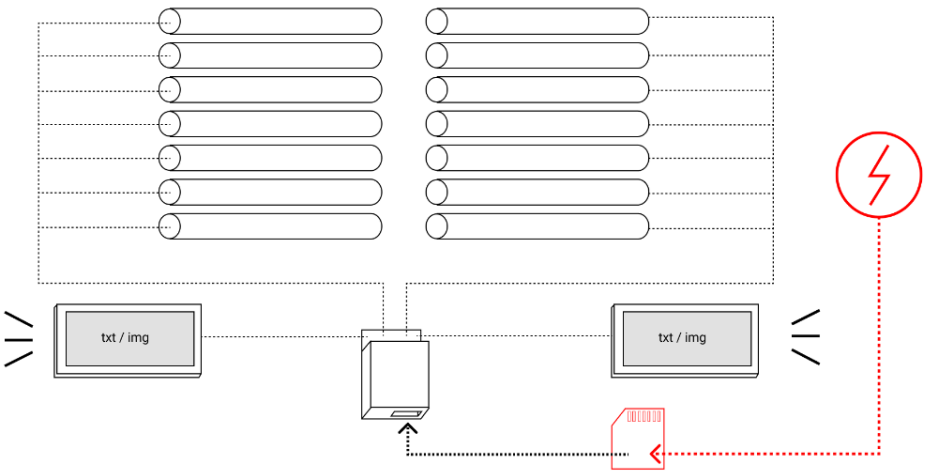


Рис. 4 – Первая эскизная концептуализация составных элементов инсталляции в их соответствии трехчастной структуре — ‘ love . eschatology. machine’

В соответствии с архитектурными особенностями выставочного зала в бывшем помещении церкви Святых Петра и Павла в здании Университета ИТМО на улице Ломоносова, 9, было решено, что инсталляция будет представлять собой световое панно. Более того, расположение в алтарной зоне дополнительно подчеркивает идею части «эсхатология». В соответствии с выбранным пространством был утвержден новый общий размер объекта, а также его вертикальная ориентация и ячеистая структура экрана.

Окончательное производство началось 17 мая и завершилось за день до открытия выставки STAGE 25 мая (рис.5). Основная часть работы была передана в ФабЛаб ИТМО. Проект был реализован командой, состоящей из следующих участников:

1. Павел Лекшин — наблюдение, проектирование конструктивных инсталляции и управление рабочими процессами.
2. Руслан Бобко — электросхемотехника, программирование света.
3. Евдокия Банная, Дарья Бортко, Екатерина Ткаченко, Анастасия Козырева, Полина Шавлинская, Вероника Ткаченко — ассистировали на разных этапах.

Составлено краткое резюме ежедневного процесса работы, а также трудности, возникающие в процессе работы, специальные проектные решения и общий прогресс.

Рис. 5. Финальный вид инсталляции в выставочном пространстве

Основные полученные результаты и выводы представленного художественного исследования могут быть обобщены следующим образом:

1. Изучение современного информационного обмена в средствах массовой информации высвечивает наиболее сложные вопросы, в частности, акцентируя внимание на современной политике любви и интимных отношений.
2. На основе общего теоретического исследования разработана художественная методология комментирования выбранной проблематики.
3. Проведена предварительная обработка естественного языка, выявляющая погрешности этого вида анализа для небольших партий русскоязычных текстовых данных. А также очерчен круг тенденций и параметров для дальнейшего художественного использования.
4. Итоговое художественное произведение "любовь. эсхатология. машина", реализовано и представлено на выставке выпускных работ STAGE 2022.

На основе изучения трудов авторов по выбранной теме было переосмыслено явление любви, которое в недалеком будущем может стать одной из важнейших тем научно-гуманитарного знания. Описаны концептуальные и выразительные средства художественного исследования влияния онлайн медиа взаимодействия на переживание реальности, реализованные в инсталляции ‘~~love~~. eschatology. machine’ — результате междисциплинарного художественного исследования, в котором использованы методы анализа данных, обработки

естественного языка, социологии и гибридного искусства. Итоговый художественный проект реализован в виде световой инсталляции, управляемой данными, иллюстрирующими и подчеркивающими ключевые моменты исследования.

Интерфейсы, среды, средства онлайн-коммуникации и обмена текстовыми сообщениями, знакомые подавляющему большинству обывателей, художественно переосмыслены, чтобы представить неоднозначную дихотомию реального и цифрового в этом типе взаимодействия. С конечной целью — внести вклад в общественную дискуссию о влиянии общения в социальных сетях на построение межличностных отношений в целом и на психический и физический опыт человека, в частности. ‘~~ love~~. eschatology. machine’ призвана преобразовать сортировку данных в сложный пространственно медиируемый опыт, извлекающий суть взаимодействия человека с человеком в нынешней "текстовой" онлайн медиа среде.

Список использованных источников:

1. Брайдотти Р. Постчеловек; пер. с англ. Д.Хамис; под ред. В.Данилова. — М.: Издательство Института Гайдара. – 2021. – 408 с.
2. Зубофф Ш. Эпоха надзорного капитализма. Битва за человеческое будущее на новых рубежах власти; пер. с англ. А.Ф.Васильева; под ред. Я.Охонько и А.Смирнова. – М.: Издательство Института Гайдара. – 2022. – 784 с.
3. Рахманинова М. Д. и др. Власть и любовь в левом гендерном дискурсе //Исторические, философские, политические и юридические науки, культурология и искусствоведение. Вопросы теории и практики. – 2015. – №7-2. – С. 148–152.
4. Вилисов В. Постлюбовь. Будущее человеческих интимностей – М.: АСТ. – 2022. – 464 с.
5. Smetanin S. Sentiment Analysis in Russian. [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://github.com/sismetanin/sentiment-analysis-in-russian#sentiment-datasets-in-russian . (дата обращения: 13.06.2022).

УДК 338.1

БИЗНЕС-ТЕЗИС "RETURN-IT": РАЗРАБОТКА УСТАНОВКИ ПО ОПОЗНАНИЮ ВТОРСЫРЬЯ

Дружинина А.Р.

Научный руководитель – Павлова Е.А., доцент, кандидат экономических наук, доцент факультета технологического менеджмента и инноваций

Druzhinina_anastasiia@itmo.ru

Ключевые слова

Ресурсосбережение, экология, раздельный сбор, сортировка, вторсырьё, полигоны, ресурсы.

Раздельный сбор отходов (РСО) всех классов с последующей переработкой и производством продукции из вторсырья является наиболее экологичным и экономически выгодным решением существующей проблемы обращения отходов. Ежегодно на планете производится порядка 1 300 млн тонн твердых бытовых отходов, что является десятой долей всех отходов в соответствии с данными World Bank What A Waste: «A global review of solid waste management report» [1].

В 2017 году в Европе было произведено в общей сложности 14,5 млн тонн пластиковых упаковочных отходов. По данным EU Observer - их количество варьировалось в разных государствах-членах: от 64 кг на одного жителя в Болгарии и до 231 кг на одного жителя в Люксембурге [2].

Общемировая тенденция – увеличение количества и площадей полигонов, т.е. экстенсивный подход к внедрению экологичных решений. Использование интенсивного подхода, включающего в себя распределение материальных и финансовых потоков между проектами в сфере «зелёных технологий», позволит сократить период реорганизации до 2 – 5 лет в зависимости от комплексности и инновационности предлагаемых решений. В данной работе представлено предложение по оптимизации существующей системы обращения отходов в Российской Федерации. Таким решением может стать проект, являющийся частью полного цикла переработки, которые будут сортировать принимаемое сырье и хранить его в чистом виде для дальнейшего взаимодействия с ним: сбор, сортировку, дробление, плавление, заготовку и фазы переработки.

На данный момент цепочка этапов обращения отходов выглядит следующим образом (усредненный ее вариант по субъектам Российской Федерации): организуемый поток отходов направляется через двухпоточную (перерабатываемое/ТБО) систему сбора на предприятие представителя регионального оператора в субъекте, далее, проходя ручную обработку отходы классифицируются на ценное сырье и не валидное, неценное – например, тетрапак, которое тоже может разделяться, если такая задача стоит перед предприятием. Следующий этап обработки ценного сырья – заготовка, которая может включать более мелкие этапы, однако основная цель этапа – подготовить сырье, чтобы выручить за него прибыль; то, что не попало в «интерес» заготовителя направляется на полигон. После заготовки сырье приобретает ценность и находит новое применение (вторичное). Данный пример репрезентативен для Москвы и Московской области, Санкт-Петербурга и Ленинградской области, Татарстан, Краснодарский край, Воронежская область, Сибирь, Сахалина (список городов является не абсолютным, но подтвержденным по данным экспертов АНО Собиратора и движения РазДельный Сбор) [3,4]. Относительно других городов России достаточно сложно говорить про раздельный сбор и систему, однако действие Национального проекта «Экология» и других зеленых инициатив в будущем призваны исправить данную ситуацию. Ссылаясь на описанную систему обращения отходов выше, можно делать промежуточные выводы и предложения по ее оптимизации.

Рынок вторсырья в России работает, абсолютно соответствуя вышеописанным правилам. Упрощённая схема состоит из следующих элементов: Потребитель упаковки –

Оператор вторсырья (Заготовитель) – Переработчик или полигон. В одном случае это схема работает в рамках целей устойчивого развития (ЦУР), тогда сырье претерпевает процесс даунсайкла и проходит еще несколько циклов использования; либо сырье захораняется из-за недостаточности существующей системы. Рыночная ситуации оборота вторсырья состоит в следующем:

1. Существует ценное вторсырьё: ПЭТ-бутылки, 5, 2, 4 твердые пластики, металл, макулатура – такое сырье оценивается дороже, его выгоднее собирать и отправлять на переработку.
2. Существуют редкости, которые перерабатывают только в тестовом режиме: бритвенные станки, тетрапак, блистеры, фольгированная пленка, текстиль, обувь, пробки из-под вина и шампанского, чистые кофейные стаканчики.
3. Фракции по типу пленки, тетрапака генерируются в большом объеме, однако это максимально неликвидное сырье, которое требует больших затрат со стороны заготовителя и переработчика – тетрапак подлежит трудоемкой технологии переработки, что требует дорогостоящих технологий; в то время как пленка почти не имеет веса, но занимает много места, и ее переработка в основном заключается в даунсайклинге в строительные материалы.
4. В связи с изменчивостью текущего рынка некоторые переработчики отказываются от фракций, которые имеют малую стоимость или не имеют ее вовсе, полностью замораживают тестовую переработку редкостей.

Переработчики создают из вторсырья новые материалы, которые снова попадают на рынок – в круговорот. В Московской области 432 перерабатывающих предприятия. По данным Министерства экологии Московской области, почти все они испытывают дефицит вторсырья. Полный список предприятий в Центральном регионе РФ, а также репортажи находятся в общем доступе на сайте движения РазДельного Сбора [4].

С целью предотвращения возвращения в «линейную» экономику необходимо использовать решения, которые максимально качественно организуют досортировку отходов, что позволит переработчикам работать с сырьем с минимальным процентом засора. Так, качество вторичного сырья будет повышаться, следовательно и количество циклов оборота будет увеличиваться. Одним из таких решений являются аппараты по приему самых популярных фракций – вендинговые аппараты (по-английски – reverse vending machines).

Россия перенимает опыт зарубежных коллег. Первые вендинги в России – Пандоматы китайского производства от компании Tomra [5] – были в виде большого зеленого ящика с отверстием для тары, порядка 400 бутылок без пресса и прокалывателя. Чтобы окупить данное устройство в рамках РОП, необходимо иметь очередь сдающих бутылки и команду для обслуживания бокса. Учитывая, что бокс не выдавал денежные средства, интерес у населения был минимальный.

За последние 3 года было внедрено порядка 360 вендинговых аппаратов от РТ-инвест, а также примерно такое же количество от компаний: Экотехнологии, Пандомат и других компаний. Вендинги можно встретить в 21 регионе, это число планируется увеличить вдвое за 2022 год. На текущий момент рынок представлен компаниями: «Зелёная Собака», Группа Компаний «Пандомат», «Экотехнологии», «Сенсорные технологии», «Инновационная экологическая платформа». Предложения данных компаний на март 2022 года были распространены только в центральном регионе Российской Федерации, точнее в городах: Москва, Санкт-Петербург, Казань, Сочи, Пермь и др.

Фандоматы и Пандомат становятся обычным элементом в экосистеме городов центральной России. Культура возврата тары – пластиковых бутылок и алюминиевых банок – прививается населению. В Санкт-Петербурге разрабатывается проект по внедрению бонусной системы, привязанной к единой карте петербуржца, в Москве, Краснодаре и Казани также рассматривают подобные проекты по привязке бонусных программ вендингов к уже существующим картам. Однако на большинстве площадок данный аппарат – возможность сдать сырье на переработку на безвозмездной основе. Однако, существует не менее важная проблема с менее популярным видом отходов. При действующем раздельном накоплении

практически невозможно без особых ухищрений собрать и выделить на сортировке мелкие фракции (менее 7 см). Такие элементы отсеиваются на грохоте и уже не поступают на следующие этапы сортировки. Примеров такой упаковки множество, например, маленькие флакончики и баночки, применяемых в косметологии и медицине. Сама специфика продукции подразумевает, что у нее маленький расход и большая упаковка нецелесообразна. Например, крем для лица, сыворотки с пипетками, упаковка для декоративной косметики, банки с таблетками и т.д. Список обширный. За всю эту упаковку производитель будет нести расширенную ответственность, т.е. будет обязан обеспечить сбор и утилизацию – однако собрать ее и вернуть в оборот использования пока невозможен.

Возможно, в скором времени на линиях будут стоять роботы с искусственным интеллектом, выхватывающие из общего потока отходов со скоростью света определенные виды упаковки - но собирать и утилизировать необходимо уже сейчас.

Решением могут стать вендинги. Искусственный интеллект или другие опознающие устройства будут распознавать упаковку по внешнему виду, принимать ее, а сдающий получит чек на сумму депозита.

Подавляющая часть вендинговых аппаратов, представленных на рынке на сегодняшний день, идентифицируют оборотную тару оптическим методом: сканируя штрих-код или иной знак на этикетке. Данный метод многократно подтвердил свою простоту и удобство, однако имеет ключевой недостаток: низкая эффективность приема оборотной тары из общей массы из-за высоких требований к целостности этикетки и, в частности, штрих-кодов.

Сегодняшний рынок технологии по идентификации и сортировке отходов представлен в основном устройствами с машинным зрением и ИК-сканами. В основном вендинги именно с данными устройствами опознавания представлены в международных патентных базах данных. Преимущественно патенты на устройства подаются из Китая, США, Европы (Скандинавия). Абсолютным лидером (приходится порядка 70% всех патентов по тематике) – компания-правообладатель международных патентов является Tomra, как и ее китайское представительство. На территории РФ технологии в основном перенимают от китайских коллег, однако появился интерес от физических лиц на регистрацию подобных технологий.

В выпускной квалификационной работе представлено описания проекта, предполагающего создание сортировочного узла для описанных выше установок, основными методами определения вторсырья которого станут – спектрофотометрический и индукционный.

Подготовительным этапом проекта являлся анализ патентов и заявок на подобные устройства и части устройств. Были проанализированы 78 документы и выделены наиболее полезные для дальнейшей разработки (также, за время реализации последующих этапов были зарегистрированы два новых патента на территории Российской Федерации).

На первом этапе проекта был создан экспериментальный макет узла, способный принимать пластиковые бутылки. Механика устройства была примитивной – главной целью этапа было проверить работоспособность механизма «принятия» объекта.

На втором этапе проекта были проанализированы 4 экспериментальных образца – пластика: матовый стаканчик из полипропилена, голубой матовый стаканчик из полипропилена, не бутылочный полиэтилентерефталат, бутылочный полиэтилентерефталат, с помощью спектрофотометра. Были сделаны выводы по полученным данным. Результаты записаны в базу данных проекта для дальнейшего пополнения базы другими спектрами для опознавания принимаемой тары установкой.

Далее предполагается создание полноценного минимального жизнеспособного продукта – сортировочного узла, способного в полном объеме выполнять функции по опознанию пластиковых и алюминиевых бутылок, с помощью базы данных спектров.

Намерение представителей государства перейти от этапа тотального сбора и расхода ресурсов до этапа разумного потребления является положительной тенденцией, однако, стоит обратить внимание на принятие или его отсутствие у населения. Однозначно сказать за тенденции развития всех регионов Российской Федерации невозможно. Рассматривая каждый субъект, нужно принимать все факторы, которые закладывают базис для будущего внедрения

тех или иных технологий, развития инфраструктуры и просвещения населения, учитывая индивидуальные региональные особенности.

Всё вышеперечисленное подтверждает актуальность предложения о внедрении и активной реализации реформ и форм стимулирования на региональном уровне. Данное предложение может включать следующие пункты:

1. Повышение уровня осознанности и просвещения, куда входят курсы, лектории, конференции, еженедельные мероприятия.
2. Создание экосреды и инфраструктуры для реализации кампаний по просвещению, сбору, переработке и осознанному потреблению. Подразумеваются магазины zero-waste, секонд-хенды, открытые площадки для обмена продуктами, одеждой, мебелью.
3. Стимулирование и поддержка школьников, студентов, молодежи в создании и разработке проектов.
4. Создание НКО, оказывающих консультационные услуги уязвимых групп населения.
7. Оптимизация межрегионального сотрудничества на базе университетов и школ, участие в телемостах.
8. Создание и коммерциализация отечественных разработок по обращению всего потока отходов.

В работе представлена вся проектная документация проекта: разрабатываемой установки, экономическое обоснование, технические характеристики, риски проекта, обоснование ценности и актуальности, бизнес-модель, команда проекта, календарный план. Окупаемости проекта планируется достичь в течение 2 лет. Реализация проекта позволит увеличить возможность просвещения населения, объемы собираемого вторсырья и интеграцию Национального проекта «Экология» в регионах.

Список использованных источников

1. World Bank What A Waste: «A global review of solid waste management report». [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/17388 (дата обращения: 05.04.2022).
2. EU Observer. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://eadaily-com.turbopages.org/eadaily.com/s/ru/news/2020/02/21/sammit-po-byudzhetu-es-poteri-ot-breksita-kompensiruet-nalog-na-plastik (дата обращения: 05.04.2022).
3. АНО Собиратор. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: sobirator.ru (дата обращения: 05.04.2022).
4. Экологическое движение «РазДельный Сбор». [Электронный ресурс]. – Режим доступа: rsbor.msk.ru (дата обращения: 05.04.2022).
5. О компании Tomra. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: Tomra.com (дата обращения: 05.04.2022).

УДК 004.925, 4.942

МЕТОДЫ РАСЧЕТА И ВИЗУАЛИЗАЦИИ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ОСВЕЩЕННОСТИ В ТРЕХМЕРНЫХ МОДЕЛЯХ ОПТИЧЕСКИ СЛОЖНЫХ СЦЕН

Кинёв И.Е.

Научный руководитель – Жданов Д.Д., кандидат физико-математических наук, ведущий научный сотрудник и доцент факультета программной инженерии и компьютерной техники

iekinev@itmo.ru

Ключевые слова

Виртуальное прототипирование, рассеянный свет, оптическое устройство, визуализация, фотонные карты, реалистичный рендеринг, трассировка лучей.

На данный момент проектирование светозащиты оптических устройств от паразитного излучения, попадающего на приемник излучения и ухудшающего качество изображения, является одной из самых важных задач в процессе проектирования оптических устройств. Паразитная засветка возникает из-за рассеивания света на не изображающих элементах оптического устройства (корпус объектива, оправы линз, диафрагмы, торцы линз). Новым подходом к решению проблем компьютерного моделирования распространения рассеянного света в оптических устройствах является использование методов реалистичного рендеринга, позволяющего синтезировать и визуализировать изображения, формируемые оптически сложными сценами, содержащими большое количество объектов.

При моделировании рассеянного света существует две основные задачи. Во-первых, определить источники рассеянного света, которые являются первопричиной возникновения паразитной засветки на приемнике. Во-вторых, рассчитать освещенность на приемнике излучения. Если в сцене присутствуют поверхности или оптические свойства, которые создают сложности для расчета яркости глобального освещения (многомерная функция рассеивания) или формируются очень сложные трассы лучей (многократное отражение, преломление, сложная каустика, блики) то процесс расчета становится трудоемким и требует использования специальных физически корректных и эффективных методов трассировки стохастических лучей [1]. Однако данные методы генерируют большое количество выборок Монте-Карло для достижения приемлемой точности, что замедляет расчет и повышает количество используемой памяти. Для решения данной проблемы были разработаны методы Метрополиса [2,3]. Они лучше справляются с рендером сложного вторичного освещения, но имеют плохую эффективность при расчете каустического освещения. Методы фотонных карт [4,5] позволяют эффективно рассчитать каустическое и вторичное освещение. Их преимущество заключается в том, что они позволяют рассчитывать сложные сцены с глобальным освещением, включая каустическое освещение, и достаточно быстро оценивают освещенности изображения. Недостатком является то, что данные методы смещенные, однако правильный выбор радиуса сферы интегрирования и точки сбора вторичного освещения позволяет свести ошибку смещенности данного метода к минимуму.

В большинстве случаев используются два способа получения результата моделирования рассеянного света. Во-первых, используя виртуальное протипирование распространения света в оптическом устройстве, рассчитывается распределение характеристик света на приемнике и в конце предоставляются результаты в виде графиков и таблиц. Во-вторых, визуализировать трассы лучей [6]. Первый способ производит более точный расчет, но его недостатком является то, что он позволяет увидеть результат, но не причину возникновения паразитной засветки. Например, мы знаем величину паразитной засветки, но не можем определить причину ее появления, возможно, это блики на линзах, блики от апертур и т.д. Второй способ наглядно показывает информация о том, как распространяются лучи в сцене, что позволяет

понять первопричину возникновения паразитной засветки, но когда таких лучей становится много (миллион, миллиард), они накладываются друг на друга и затрудняют анализ.

Для решения данных проблем предлагается визуализировать распределение освещенности паразитного излучения на поверхностях оптического устройства. Для эффективного расчета глобального освещения был выбран метод прогрессивной двунаправленной трассировки лучей с обратными фотонными картами [7], который позволяет подобрать оптимальный радиус сферы интегрирования, за счет чего значительно увеличивается скорость вычислений. Кроме того, данный метод строит карту видимости, которая позволяет уменьшить объем памяти необходимый для расчета.

Также предлагается визуализировать следы лучей, а именно косвенную освещенность, представляющую среднюю освещенность изображения, накопленную на диффузных объектах оптического устройства, формирующих данную освещенность. Накопление и визуализация данной освещенности происходит на диффузных объектах сцены, что позволяет проектировщику оптических систем при визуальном анализе сцены быстрее и нагляднее понять, какие элементы в устройстве создают паразитную засветку на приемнике изображения. Зная данную информацию, проектировщик может изменить свойства элемента или конструкцию оптического устройства и улучшить качество светозащиты. Также данные методы будут полезны разработчикам программного обеспечения для отладки и оптимизации алгоритмов рендера, помогая определять области, в которых формируется высокая плотность распределения лучей.

Предлагаемый алгоритм состоит из шести основных этапов:

- формирование трехмерной сетки в сцене;
- испускание лучей из камеры;
- формирование карты видимости;
- испускание фотонов из источников света и сбор освещенности;
- накопление освещенности фотонов в ячейках сформированной сетки;
- визуализация значений, накопленных в трехмерной сетке.

На первом этапе формируется трехмерная сетка (рис.1, слева), состоящая из ячеек, в которых может храниться информация о накапливаемой характеристике света (освещенность, количество фотонов, попавших в ячейку, яркость и т.д.). Размер сетки определяется на основе минимальной и максимальной точек сцены. Кроме того, можно задавать разрешение данной сетки. Для этого были введены три числа x, y, z представляющие собой количество ячеек, которые должны содержаться в трехмерной сетке по осям X, Y, Z соответственно. На основе этого определяется размер самой ячейки по осям X, Y, Z. Это происходит путем деления длины отрезка на количество заданных ячеек.

Далее на втором и третьем этапах с приемника излучения испускаются лучи в сторону сцены (обратная трассировка лучей). Лучи, которые попали на объекты, образуют область видимости. Данная область создает яркость для конкретного положения камеры. Таким образом, формируется карта видимости, содержащая в себе информацию о точках пересечения лучей с объектами сцены и сферами интегрирования соответствующим данным точкам.

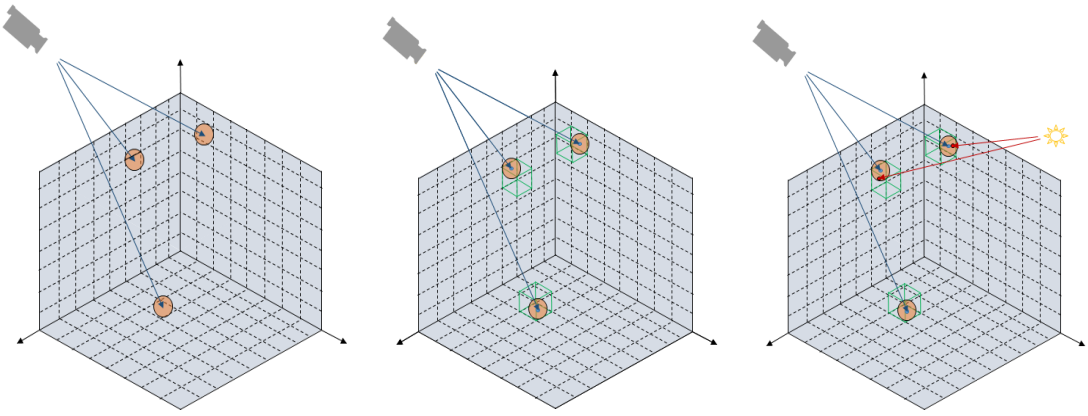


Рис. 1 – Процесс накопления характеристик света в трехмерной сетке

На четвертом этапе производится прямая трассировка лучей. Из источников света пускаются фотоны (частицы, переносящие маленькую порцию световой энергии) в сцену. В конце расчета фотонной карты происходит сбор освещенности, образованной фотонами, которые попали в область виденья, сформированную на третьем этапе. При этом фотон передает свою световую энергию всем направлениям наблюдения (пикселям изображения), сферы, интегрирования которых покрывают данный фотон. Вследствие чего формируется локальное освещение и локальная яркость ряда пикселей изображения.

Во время формирования и расчета фотонной карты в ней сохраняется информация о соударении фотона с поверхностью сцены (координата пересечения, световой поток, сфера интегрирования, направление и т.д.).

На следующем шаге происходит перебор всех фотонов, которые были сохранены в фотонной карте на предыдущем этапе. По координатам фотонов определяется, в какой ячейке трехмерной сетки они находятся (рисунок 1, посередине). Затем, в зависимости от того какую величину мы хотим накапливать (количество фотонов в ячейке, освещенность, яркость и т.д.), на основе информации о фотоне данная величина вычисляется и суммируется к значению ячейки, в которой находится фотон.

Кроме того, в данной работе можно посмотреть какой вклад внесли отдельные компоненты освещения в получившееся изображение. В реализованной программе можно рассчитать и визуализировать три карты: вторичного освещения, каустического освещения и карту видимости. В карту видимости сохраняются все фотоны, которые были сохранены на втором этапе работы алгоритма. При расчете данной карты каждая ячейка накапливает количество лучей, попавших в нее и площадь фотонов, для нормализации. Таким образом, пользователю визуализируются области с наибольшим и наименьшим скоплением фотонов. Каустическая и диффузная карта накапливают освещенность, образованную диффузной и каустической составляющей соответственно. Для них вводится дополнительная проверка. В случае диффузной карты от источника света испускаются лучи, после чего алгоритм проходит по всем фотонам диффузной карты, сформированной на четвертом этапе, и проверяет на пересечение со сферами интегрирования (рис.1, справа). Если луч пересекает сферу, то накопленная информация сохраняется в новую диффузную трехмерную сетку. Аналогичный процесс выполняется для каустической освещенности, но вместо диффузной карты проверяется каустическая карта. Таким образом, можно определить в каких областях находятся каустическая и вторичная освещённость и какой вклад они вносят при формировании изображения.

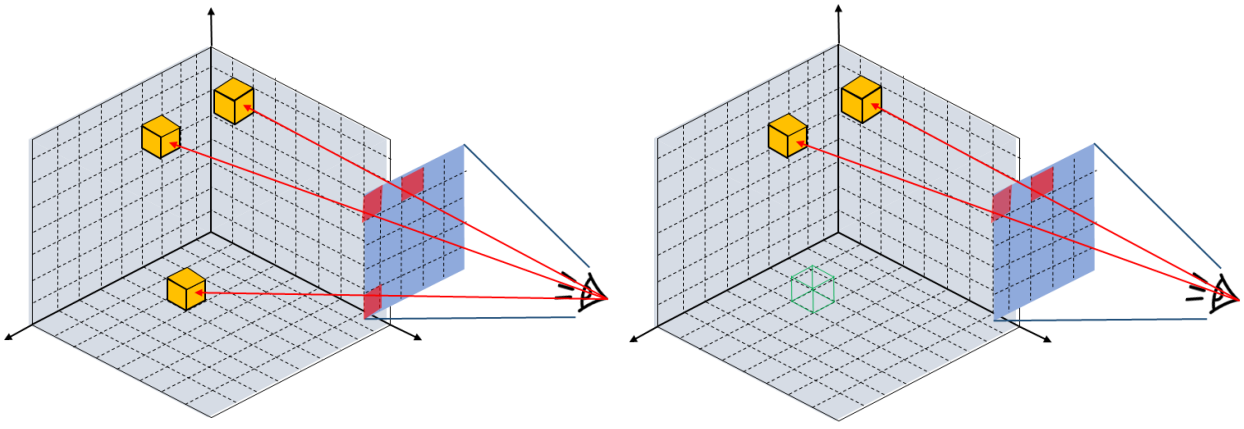


Рис. 2 – Процесс визуализации карт. Справа карты видимости, слева каустическая или диффузная карта освещенности

Для визуализации карт был модифицирован алгоритм Брезенхема [8]. На первом шаге проверяется, где находиться точка начала вектора, в области сцены или за ней. Если точка не внутри области, то ищется первое пересечение данного луча с областью сцены. Если пересечение не найдено, то данный луч не учитывается. На следующем шаге проверяется равно ли значение ячейки нулю или нет. Если не равняется, то данное значение сохраняется

для данного пикселя. Если равно, то луч трассируется дальше из данной точки и ищется следующая внутренняя сторона прямоугольного параллелепипеда ячейки, чтобы не было зацикливания трассировки луча в одной ячейке. После того как было найдено пересечение, индекс ячейки обновляется в зависимости от грани, которую пересек луч (луч может пересечься максимум с тремя гранями куба) и его направления. Обновление происходит по осям X, Y, Z сформированной карты. Данный процесс повторяется до того момента когда либо не будет найдена ячейка со значением не равным нулю, либо когда луч выйдет за пределы области сцены (рис.2).

Далее применяется тональное отображение. В зависимости от значения ячейки пикселя происходит наложение определенного цвета. При большом значении (относительно всех значений в трехмерной сетке) цвет пикселя более яркий, при малом более темный. За яркость пикселей отвечает коэффициент тонального отображения γ. Он задается пользователем или по умолчанию равен 1. Далее строится госпрограмма значений с определенным шагом, затем считается, сколько значений ячеек попало в каждый диапазон и на основе этого определяется медиана значений. После чего строится линейная функция от минимального значения (коэффициент равен 0) до максимального значения (коэффициент равен 1). Медиана принимает значение коэффициента равного 1/2. Далее в данную функцию подставляется значение и определяется коэффициент по формуле, представленной ниже:

$$coef = \frac{\frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot (value - minvalue)}{(median - minvalue)}.$$

где γ – это коэффициент тонального отображения, влияющий на яркость визуализируемых ячеек трехмерной сетки, $value$ – значение ячейки, $minvalue$ – минимальное значение среди всех ячеек, $median$ – медиана всех значений ячеек трехмерной сетки.

В процессе расчета могут, появляется выбросы, которые значительно больше или меньше большинства значений в трёхмерной сетке. Данные выбросы могут значительно ухудшить качество изображения. Это проявляется в пересвете, затемнении изображения, появлении шума и т.д. Чтобы решить данную проблему, было предложено отсекать определенный процент значений слева и справа. Пользователь задает данные проценты и таким образом, может удалять выбросы.

Для тестирования предлагаемых алгоритмов была использована сцена, представленная на рисунке 3. Данная модель представляет собой шести линзовый длиннофокусный объектив с фокусным расстоянием 457 мм. Протяженный источник света в виде солнца, находящийся вне поля зрения освещает объектив под углом ωSun = 5°. При этом приемник излучения не видит источник напрямую из-за того, что угол поля зрения (±3.5°) меньше угла падения лучей источника света ωSun (f/1.8). В данной оптической системе только испущенный свет, рассеивающийся на диффузных поверхностях компонентов системы линз, может быть зарегистрирован на приемнике.

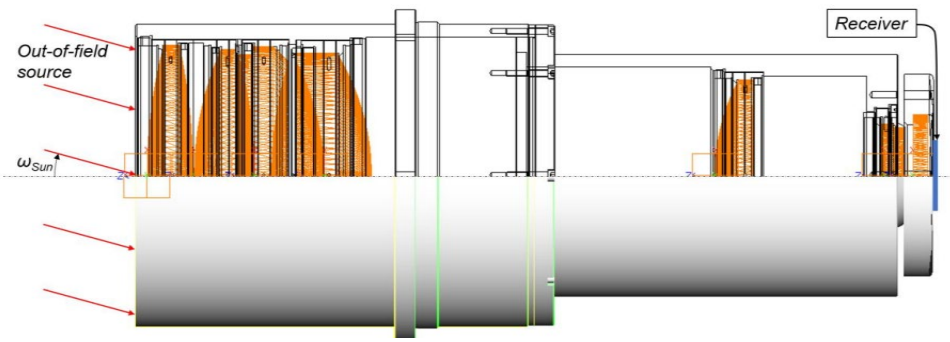
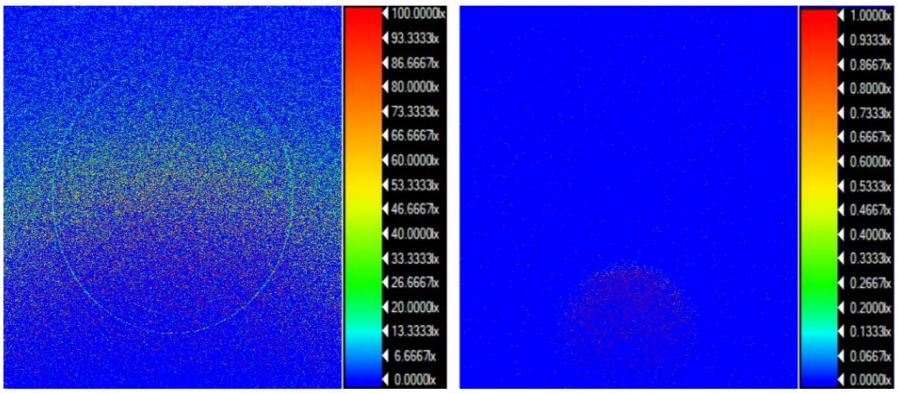


Рис. 3 – Конструкция 6-линзового длиннофокусного объектива

В левой части рисунка 4 представлен результат расчета распределения вторичной и каустической освещённости, образованной рассеянием света, излученным протяженным источником, на креплениях линз оптической системы с 10 процентным отражением (рис.4,а)

и с 5 процентным отражением (рис.4,б). Можно заметить, что результаты сильно отличаются для разных типов рассеивающих свойств оправ линз. В первую очередь это проявляется в пространственном распределении рассеянного света в плоскости приемника излучения, а во вторую в величине освещенности приемника этим рассеянным светом. Как видно на левом рисунке большее паразитной засветки, чем на правом рисунке.



а б

Рис. 4 – Распределение освещенности рассеянного света на приемнике

На рисунке 5 показаны результаты расчета распределения накопленной видимой освещенности изображения на поверхностях оптического устройства. Так как данная освещенность не привязана к направлению наблюдения, то ее можно посчитать один раз и далее визуализировать с разных положений камеры и под разными углами. Просматривая, таким образом, сцену, можно подобрать положение камеры, при котором распределение освещенности выглядит максимально информативно. Видимая освещенность представляет собой зеленые точки на рисунке/сцене. Плотность точек и их яркость говорит о влиянии, которое оказывается на величину паразитной засветки на приемнике излучения.

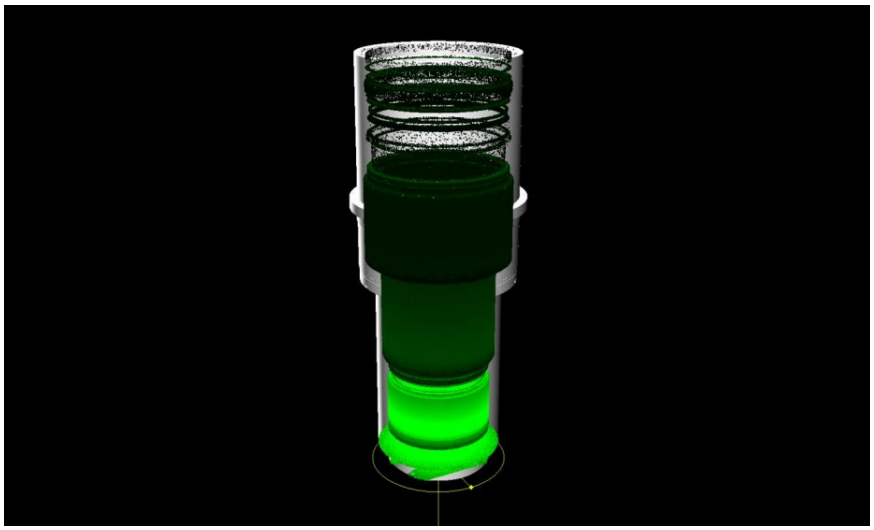


Рис. 5 – Распределение освещенности изображения по поверхностям оптического устройства

В данной работе было предложено новое решение, позволяющее анализировать и моделировать рассеянный свет в оптических системах, формирующих изображение. Разработанный метод двунаправленной стохастической трассировки лучей с использованием обратных фотонных карт позволяет эффективно рассчитывать паразитную засветку, обусловленную вторичным и каустическим рассеянием на конструктивных элементах оптического устройства и на рассеивающих поверхностях оптических элементов. Также визуализируются следы лучей, которые накладываются на изображение, показывая косвенную освещенность, позволяющую понять причину появления паразитной засветки, что

является необходимым при проектировании оптических устройств. При этом метод имеет несколько недостатков: потребляет много памяти, имеет медленную визуализацию. В следующей работе предполагается убрать эти недостатки, используя хеш-таблицы и распараллеливание расчета визуализации.

Список использованных источников

1. Chattopadhyay S., Fujimoto A. Bi-directional ray tracing // ComputerGraphics, Springer Tokyo. – 1987. – Pp. 335–343.
2. Veach E., Guibas L.J. Metropolis light transport // In Proceedings of the 24th annual conference on Computer graphics and interactive techniques (SIGGRAPH '97). ACM Press/Addison-Wesley Publishing Co., USA. – 1997. – Pp. 65–76.
3. Gruson A., West R., Hachisuka T. Stratified Markov Chain Monte Carlo Light Transport // Computer Graphics Forum. – 2020. – V.39. – №2. – Pp. 351–362.
4. Jensen H.W. Global illumination using photon maps // Eurographics workshop on Rendering techniques. – Springer, Vienna. – 1996. – Pp. 21–30.
5. Havran V., Herzog R., Seidel H.P. Final gathering via reverse photon mapping // Computer Graphics Forum. – Oxford, UK and Boston, USA: Blackwell Publishing. – 2005. – V.24. – №3. – Pp. 323–332.
6. Zhdanov D.D., Potemin I.S., Zhdanov A.D., Voloboy A.G. Use of computer graphics methods for efficient stray light analysis // Optical Design and Engineering VII, International Society for Optics and Photonics, SPIE. – 2018. – V.10690. – Pp. 523–534.
7. Jensen H.W. Realistic image synthesis using photon mapping // CRC Press. – 2001. DOI:10.1201/b10685.
8. Zingl A. A rasterizing algorithm for drawing curves. – 2012. – 106 p.

УДК 544.473

РЕАЛИЗАЦИЯ ПОДХОДА SYNTHESIS-BY-DESIGN ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ НАНОМАТЕРИАЛОВ С КАТАЛИТИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТЬЮ

Разливина Ю.С.

Научный руководитель – Виноградов В.В., доктор химических наук, директор и профессор химико-биологического кластера

razlivina@scamt-itmo.ru

Ключевые слова

Нанозимы, машинное обучение, биомиметики, наноматериалы, пероксидазная активность.

Наноматериалы, имитирующие каталитическую активность природных ферментов, называются нанозимами [1]. Нанозимы нашли применение в диагностике, иммуноанализе и биосенсорике благодаря своей высокой и регулируемой каталитической активности, низкой стоимости и высокой стабильности. Сегодня разработка новых нанозимов часто осуществляется методом проб и ошибок, посредством сотен и тысяч экспериментов, реже - с помощью обширных и трудоемких теоретических расчетов, которые плохо учитывают сложность моделируемых систем и экспериментальных условий. При этом, используемые сегодня алгоритмы машинного обучения применяются для открытия, проектирования и синтеза новых материалов, позволяя ученым проводить исследования в области материаловедения более эффективно. В области нанозимов существуют работы, основанные на использовании алгоритмов анализа данных, однако предсказательный алгоритм, имплементированный в многофункциональный и общедоступный онлайн ресурс для прогнозирования каталитической активности наноматериалов, разработан нами впервые.

Для построения алгоритма мы использовали опубликованные данные по наноматериалам с каталитической активностью. Вручную были собраны и обработаны данные в количестве 230 образцов из более 100 научных статей по неорганическим нанозимам, в основном представленные металлами, биметаллами, а также металл- и биметалл-оксидами с пероксидазной активностью, что обусловлено их подавляющей распространенностью в данной области науки. Собираемые параметры включали пять важных категорий: параметры химического состава, физико-химические характеристики наноматериала, условия синтеза и анализа, а также каталитические параметры наноматериала, выраженные в виде константы Михаэлиса-Ментен (K_m), максимальной скорости реакции (V_{max}) и константы скорости реакции (K_{cat}). Все данные были отобраны, очищены и проанализированы, небольшие пропуски (<10%) в данных были заполнены с помощью алгоритма k-ближайших соседей (kNN).

Следующим важным этапом был отбор параметров (предикторов) для предсказательного алгоритма, поскольку все предикторы должны так или иначе коррелировать с предсказываемой характеристикой; кроме того, корреляция между предикторами значительно снижает производительность модели машинного обучения, особенно при использовании небольшого набора данных, что является типичной проблемой в материаловедении. Для более точного описания наноматериалов и улучшения предсказательной способности модели были разработаны новые параметры, позволяющие более точно описать состав и физико-химические свойства наноматериалов, а также снизить количество предикторов и повысить их интерпретируемость. Далее база данных была разделена на два массива: 80% данных были использованы для обучения модели, остальные – для ее валидации.

Были построены и оптимизированы такие параметрические модели, такие как линейная регрессия и искусственная нейронная сеть, а также непараметрические модели градиентного бустинга, регрессии опорных векторов, дерева решений и регрессии случайного леса (RFR), где на вход подавалось 14 выбранных параметров, а пероксидазная активность была

представлена в логарифмической форме (lgK_m и lgK_{cat}) в качестве выходов, чтобы обеспечить способность модели одинаково обрабатывать величины разных порядков, например, такие как 0,1/0,01 и 10/1. Для отбора моделей использовались стандартные метрики, а именно, коэффициент детерминации R^2, средняя абсолютная ошибка, среднеквадратичная ошибка, а также кросс-валидация.

Анализ эффективности модели RFR показал, что в результате выбора признаков и введения новых дескрипторов предсказание R^2 лучшей модели RFR увеличилось для K_m с 0,33 до 0,65, а для K_{cat} с 0,52 до 0,8. MAE снизился с 0,85 до 0,57 для K_m и K_{cat} с 0,98 до 0,78. Таким образом, продемонстрирована обоснованность подхода к выбору признаков на основе корреляции, а также лучшая производительность модели RFR в предсказании активности пероксидазы.

RFR предсказывает пероксидазную активность (рис.1), представленную константой Михаэлиса-Ментен (K_m, ммоль) с R^2 = 0,63 и константой скорости реакции (K_{cat}, c^{-1}) с R^2 = 0,80. Интер- и экстраполяционные возможности RFR-модели, заданные границей отклонения $\overline{|\Delta lgK_{m/cat}|} = 1$, были оценены, чтобы понять текущие ограничения модели, влияющие на единичные предсказания, и выделить пробелы, которые необходимо компенсировать в будущем. К причинам ограничений точности модели были отнесены недостаточно представленные диапазоны значений K_m, недостаток "плохих" нанозимов, нехватка эмпирических данных, а также отсутствие количественных структурных дескрипторов для нанозимов сложных структур, полых и органо-неорганических гибридных нанозимов и т.д.

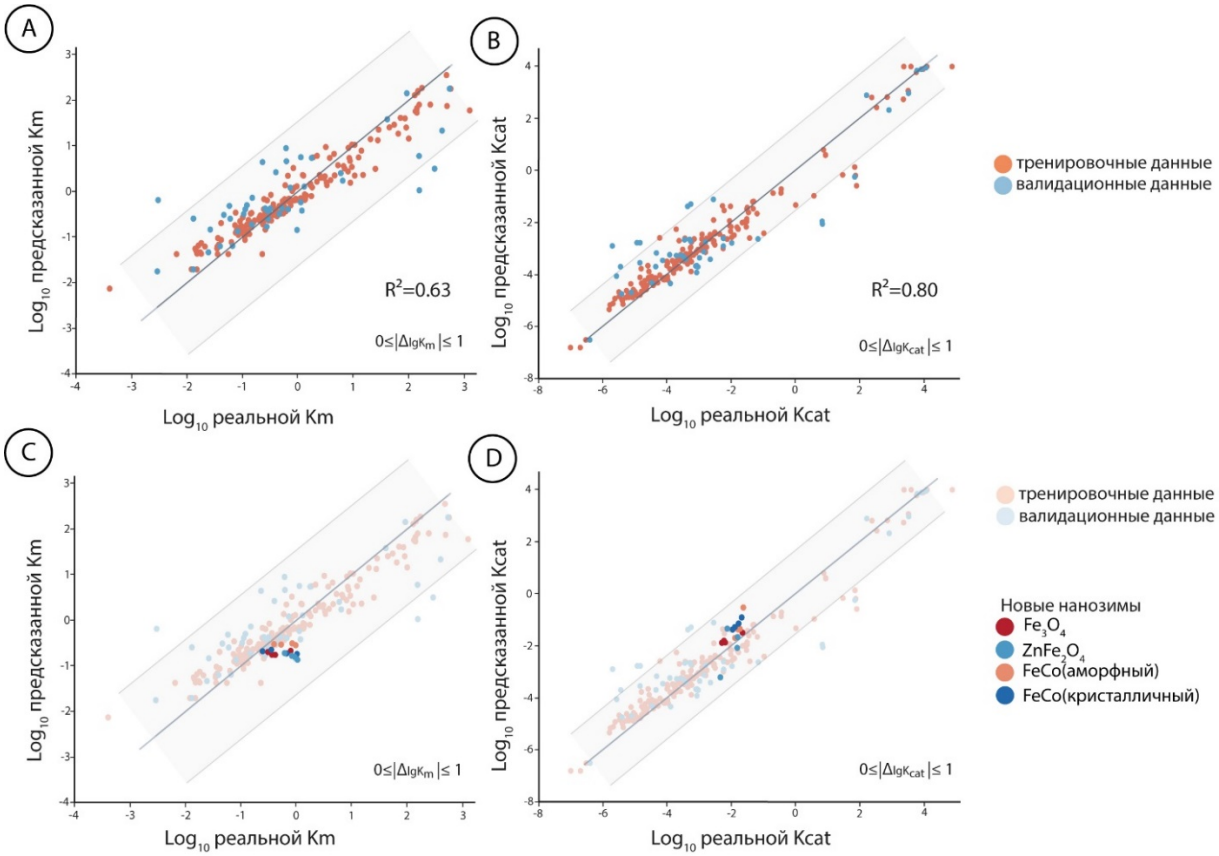


Рис. 1 – Прогнозирование каталитической активности по модели RFR. A) график регрессии для lgK_m (R^2 = 0,63) с доверительным интервалом предсказания; B) график регрессии для lgK_{cat} (R^2 = 0,80) с доверительным интервалом предсказания. Экспериментальная оценка работы модели на наноматериалах с неизвестной пероксидазной активностью, представленной в измеренных и предсказанных значениях C) lgK_m, и D) lgK_{cat}

Чтобы проверить модель не только на собранных из статей эмпирических данных, но и в реальном эксперименте, была проведена лабораторная оценка нанозимов, синтезированных и охарактеризованных в нашей лаборатории. Были синтезированы четыре различные системы

неорганических нанозимов: Fe_3O_4, $ZnFe_2O_4$, а также кристаллический и аморфный FeCo. Исследование пероксидазной активности проводилось на основе стандартизированного протокола [2] с изменениями, такими как вариации температуры и pH буфера.

Способность модели работать на экспериментально полученных данных для текущих нанозимов с неизвестной активностью, демонстрируя средние отклонения $\left|\overline{\Delta \lg K_m}\right|$ = 0,45 и $\left|\overline{\Delta \lg K_{cat}}\right|$ = 0,47 (что согласуется с показателями модели $\left|\overline{\Delta \lg K_m}\right|$ = 0,44 и $\left|\overline{\Delta \lg K_{cat}}\right|$ = 0,32), а также экстраполяция на образцы, недостаточно представленные в собранной базе данных - такие как биметаллические нанозимы (FeCo) - была продемонстрирована на 4 нанозимах, синтезированных, охарактеризованных и протестированных в 16 экспериментах с различными условиями измерения пероксидазной активности, выраженной в K_m и K_{cat}. Все предсказания на синтезированных системах показали разницу менее чем на порядок, что позволяет предполагать их каталитическую активность до эксперимента и различать нанозимы, демонстрирующие хорошие и плохие характеристики. Была продемонстрирована способность модели работать на экспериментально полученных данных и экстраполировать их на недостаточно изученные образцы, что позволяет сравнивать нанозимы и строить новые гипотезы до начала эксперимента.

На основе собранной базы данных, а также выбранной оптимизированной модели, способной количественно предсказывать ферментативную активность, представленную в виде константы Михаэлиса-Ментен (K_m) и константы скорости реакции (K_{cat}), построенной с помощью анализа собранных данных, была впервые разработана веб-платформа открытого доступа DiZyme (dizyme.net) для обеспечения общедоступного рационального дизайна новых нанозимов. [3] Структура веб-ресурса представлена:

1) открытой базой данных существующих неорганических нанозимов со ссылками на оригинальные статьи,
2) инструментом для визуализации данных,
3) алгоритмами прогнозирования каталитической активности наноматериалов,
4) системой пополнения базы данных.

Ресурс DiZyme позволит осуществлять генеративный дизайн наноматериалов для каталитических реакций, используемых в медицине, биотехнологиях и промышленности. Кроме того, благодаря своему дизайну и структуре, платформа может быть легко расширена, чтобы охватить больше наноматериалов, больше типов каталитических активностей и реализовать новые функциональные возможности.

В данной работе впервые была создана веб платформа, содержащая уникальную базу данных нанозимов, интерактивный визуализатор данных и алгоритмы машинного обучения для предсказания каталитической активности наноматериалов. Эта платформа облегчит реализацию подхода synthesis-by-design и оптимизацию наноматериалов с желаемой каталитической активностью и откроет новые горизонты для рационального дизайна нанозимов, позволяя быстро оценить потенциальную каталитическую активность наноматериала до проведения утомительных, многочисленных и ресурсоемких экспериментов.

Список использованных источников

1. Wu J., Wang X., Wang Q., Lou Z., Li S., Zhu Y. et al. Nanomaterials with enzyme-like characteristics (nanozymes): next-generation artificial enzymes (II) // Chemical Society Reviews, – 2019. – №48(4). – Pp.1004–1076.
2. Jiang B., Duan D., Gao L., Zhou M., Fan K., Tang Y., Xi J., Bi Y., Tong Z., Gao G.F., Xie N., Tang A., Nie G., Liang M., Yan X. Nat. Protoc. – 2018. – №13. – Pp. 1506–1520.
3. Razlivina J., Serov N., Shapovalova O., Vinogradov V. DiZyme: Open-Access Expandable Resource for Quantitative Prediction of Nanozyme Catalytic Activity. Small, – 2022. – P. 2105673.

УДК 534.13

ЭФФЕКТЫ НЕЛИНЕЙНОЙ ДИНАМИКИ В ЛОВУШКЕ ПАУЛЯ ДЛЯ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОДИНОЧНЫХ МЕЗОСКОПИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

Рыбин В.В.

Научный руководитель – Рождественский Ю.В., доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник и профессор центра "Информационные оптические технологии"

vadi.rybin@gmail.com

Работа выполнена в рамках темы НИР № 322009 «Охлаждение частиц с внутренними степенями свободы».

Ключевые слова

Ионные ловушки, квадрупольная ловушка Пауля, нелинейная динамика, расширенные орбиты, Nonlinear Damping Identification.

В настоящее время число опубликованных исследований в области наноразмерных структур превышает четырнадцать тысяч научных работ ежегодно по данным библиографической базы Scopus. Особенности физики низкоразмерных систем открывают принципиально новые возможности для модернизации старых и создания новых материалов и технологий. Так, наночастицы применяются для магнитно-резонансной визуализации, in-vivo визуализации тканей, таргетной доставки лекарств и генерации активных форм кислорода. Полупроводниковые квантовые точки становятся основой однофотонными источниками излучения. Современные нано-материалы позволяют осваивать энергоёмкие супер-конденсаторы и совершенствовать технологии зелёной энергетики. Функциональные свойства материалов и технологий, в основе которых лежат наноструктуры, основываются на уникальных свойствах этих наноструктур. Точное определение основных характеристик одиночных наноструктур является единственным подходом к объяснению свойств таких материалов. Были разработаны многочисленные методы определения физических, оптических и химических свойств наноструктур и других мезоскопических объектов. Однако, большинство таких методов нацелены на анализ определённых характеристики. Методы микроскопии и корреляционные методы динамического рассеяния света направлены преимущественно на определение размера и объёма образца. Спектральные методы позволяют узнать химический состав и структурные свойства образца. Техники магнитного левитирования применяется для определения плотности частиц. Методы подвесного микроканального резонатора применяются для определения массы мезоскопических частиц. Полная и всесторонняя характеризация мезоскопического образца зачастую требует использования нескольких техник анализа с применением статистических методов обработки результатов, что влияет как на скорость анализа, так и на его точность.

Особое место в анализе мезоскопических частиц занимают методы масс-спектрометрии и комбинации методов масс-спектрометрии с методом сечения столкновения. Такие техники отличаются высокой скоростью и точностью анализа. Однако, все перечисленные выше методы и техники являются деструктивными по отношению к объекту исследования: методы микроскопии предполагают фиксацию образца в матрице или на подложке, что ограничивает возможность исследования того же самого образца другими методами. Методы динамического рассеяния света и методы подвесного микроканального резонатора принципиально основаны на статистическом анализе образца и не предполагают изучения одиночных объектов. Техники масс-спектрометрии основаны на рассеяние объекта исследования на детекторе и не дают возможности применения альтернативных методов исследования. Недеструктивные методы анализа мезоскопических частиц могли бы позволить

детальное и полное изучение одиночного объекта с возможностью применения сразу нескольких техник характеризации. Применение различных “ловушек” (оптических, электродинамических, магнитооптических), позволяющих захватывать одиночный объект в течение длительного времени, представляется перспективным для развития данного класса методов анализа.

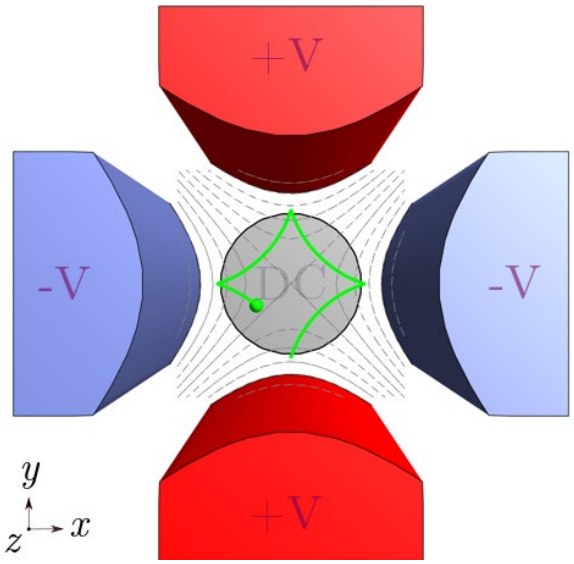


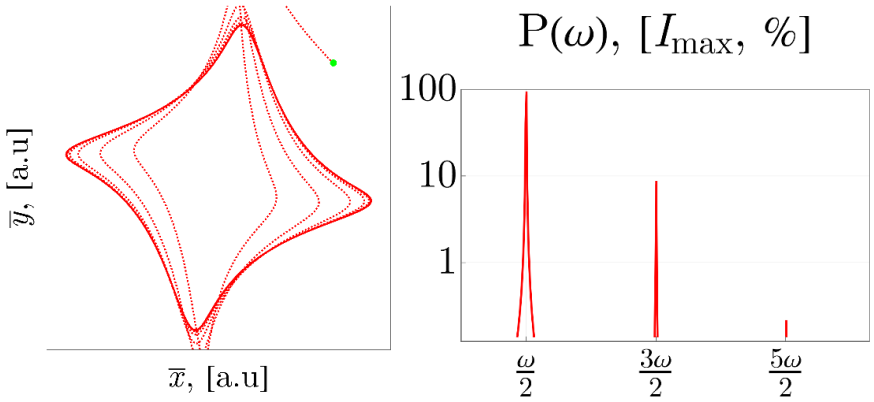
Рис. 1 – Расширенная орбита – xy-предельный цикл движения пленённой заряженной частицы в квадрупольной ловушке Пауля. Синим и красным показаны электроды ловушки, с электрическим напряжением в противофазе. Зелёным показана одиночная пленённая заряженная частица, движущаяся по расширенной орбите

Ионная ловушка Пауля – универсальный инструмент для долговременного пленения и/или изучения заряженных частиц в широком диапазоне размеров $0.5\,\text{Å}\ldots100$ мкм: атомарных ионов, одиночных нано-размерных структур, клеток, вирусов, аэрозолей и микрочастиц [1]. Двумерная квадрупольная ионная ловушка Пауля, изображенная на рисунке 1, представляет собой четыре гиперболических электрода, на которые подаётся электрическое напряжение попарно в противофазе. Такая конфигурация ловушки позволяет формировать периодический электрический потенциал, в котором возможна стабильная локализация заряженных частиц [2]. В подавляющем большинстве случаев ионная ловушка применяется в условиях высокого или сверхвысокого вакуума с использованием трансляционного лазерного охлаждения для стабилизации движения пленённой частицы; также для стабилизации движения используется симпатическое охлаждение. И в том, и в другом случае эффективная демпфирующая сила мала и может быть описана в приближении закона Стокса (линейного эффективного вязкого трения) [3].

При этом условия линейности эффективной силы трения выполняются не всегда. В литературе насчитываются единицы работ, рассматривающие эффект нелинейного демпфирования движения частицы в ловушке Пауля, наиболее известная работа в этой области принадлежит E.A. Vinitsky [4]. Автор рассматривает эффект нелинейного демпфирования в радиочастотной ловушке для микрочастиц при атмосферном давлении. При движении микрочастицы в условиях вязкого трения в буферном газе может наблюдаться формирование автоколебательных замкнутых траекторий частиц, *расширенных орбит* (рис.1), принципиально не описываемых приближением закона Стокса [4,5].

Расширенные орбиты характеризуются квазипериодическими колебаниями в условиях нелинейного вязкого трения. Амплитуда и частотный спектр таких колебаний связаны как с условиями пленения: плотностью и вязкостью буферного газа, амплитудой и частотой поля ловушки; так и с массой, размером и зарядом самой частицы. Анализ настоящего эффекта нелинейной динамики и его интерпретация в терминах характеристик пленённой частицы может обеспечить быстрое, точное и одновременное определение нескольких физических характеристик одиночного мезоскопического объекта без его разрушения.

В настоящей работе рассматривается вклад нелинейной демпфирующей силы в динамику одиночного пленённого объекта и впервые изучается возможность применения NDI [6] методов для характеризации мезоскопических заряженных структур в ловушках Пауля.



а б

Рис. 2 – а) траектории движения частицы по расширенной орбите в нормированных координатах $\{\bar{x}, \bar{y}\}$; б) спектральный состав колебательного движения частицы по расширенной орбите в нормированных координатах $\{I_{max}, \omega\}$

Были рассмотрены основные особенности динамики пленённых заряженных мезоскопических частиц в условиях нелинейного демпфирования. Были определены условия формирования предельных циклов (расширенных орбит) в условиях нелинейного демпфирования в рамках ряда моделей нелинейного демпфирования, а также получены аналитические оценки значений параметров динамической системы (частота и амплитуда электрического поля ловушки, вязкости и давления буферного газа), соответствующие переходу динамики частицы к расширенным орбитам.

Предложенный в настоящей работе метод анализа основывается на изучении движения пленённой заряженной частицы по расширенной орбите (рис.2). Было показано, что частота квазипериодических движение частицы по расширенной орбите кратно половине частоты переменного электрического поля ловушки ω. Движение частицы по расширенной орбите может быть однозначно охарактеризовано спектральным составом трансляционных колебаний (метрика k_e, как отношение интенсивностей первых двух гармоник спектрального состава трансляционных колебаний частицы) и максимальной амплитудой орбиты (метрика R, как максимальный модуль радиус-вектора частицы).

Метод недеструктивной характеризации заряженного мезоскопического объекта, плененного в поле квадрупольной ловушки Пауля, заключается в:

1. Подборе параметров буферного газа, а также параметров электрического поля ловушки для наблюдения расширенной орбиты плененной частицы.
2. Определение численного значения метрики k_{crit} и соответствующего ему численного значения коэффициента β_{crit} точки формирования расширенной орбиты (рис.3).
3. Определение численного значения метрики амплитуды расширенной орбиты R_A и соответствующего коэффициента q_A (рис.3).
4. Расчёте значений массы, размера и заряда одиночной частицы, на основании заранее известных параметров динамической системы.

В работе было показано, что путём выбора соответствующих параметров буферного газа и питания ловушки, возможно добиться формирования расширенных орбит у частиц в диапазоне размеров от 50 нм до 50 мкм. Фиксируя численные значения введённых метрик k_e и R, а также коэффициентов q и β, описывающих взаимодействие заряженной частицы с электрическим полем ловушки и буферным газом, соответственно, возможно однозначно и одновременно определить массу, размер и заряд пленённого объекта.

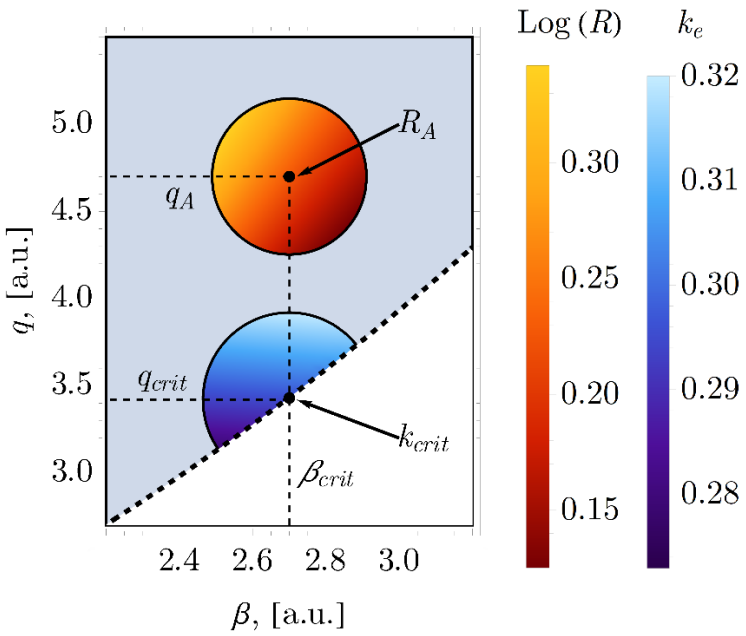


Рис. 3 – Концепция характеризации пленённого мезоскопического объекта NDI методом. Коэффициент q и β описывают взаимодействие заряженной мезоскопической частицы с электрическим полем ловушки и с вязким буферным газом, соответственно. Голубым цветом на диаграмме изображена область расширенных орбит, отделённая от области нормального движения жирной пунктирной линией

Было показано, что границы перехода между динамическими режимами существенно зависят от рассматриваемой модели нелинейного демпфирования. Так, для моделей Клифта и Лепеля отклонение границы составляет ~2% для малых значений значениях демпфирования. При описании метода NDI в рамках настоящей работы был сделан выбор в пользу простоты математической модели Озеена. Однако, при локализации и применении описанного метода на практике, необходимо руководствоваться точностью модели с учётом заданных параметров ловушки и характеристик внешней среды.

Описанный в работе подход может быть направлен не только на недеструктивное определение характеристик мезоскопического объекта, но и на изучение окружающей среды. Действительно, в настоящей работе рассматривалась задача о не известной частице и определённых условиях внешней среды. В предложенной модели возможно решение диаметрально противоположной задачи: определение условий внешней среды по заранее заданным характеристикам пленённой частицы. Тогда задача может быть разрешена не относительно размера и массы частицы, а относительно плотности и динамической вязкости буферного газа.

В рамках настоящей выпускной квалификационной работы была полноценно раскрыта тема движения одиночного заряженного объекта в поле квадрупольной ионной ловушки Пауля. Впервые рассмотрено движение одиночной мезоскопической частицы в условиях нелинейного демпфирования с образованием автоколебательных предельных циклов. Нелинейные эффекты движения частицы в ловушке Пауля интерпретированы в терминах массы, размера, плотности и заряда пленённого объекта. Предложенный метод анализа может быть особо интересен в исследованиях микро- и наноразмерных структур, где требуется одновременное определение массы и размера одиночного объекта. Преимуществом предложенного метода перед аналогами является его недеструктивность по отношению к объекту исследования. Кроме того, такой подход открывает возможность для дополнительного изучения пленённой частицы стандартными оптическими методами.

Списки использованных источников

1. Nolting D., Malek R., Makarov A. Ion traps in modern mass spectrometry // Mass spectrometry reviews. – 2019. – Т.38. – №2. – С. 150–168.

2. Paul W. Electromagnetic traps for charged and neutral particles // Reviews of modern physics. – 1990. – T.62. – №3. – 531 c.
3. Allievi A., Soudack A. Ship stability via the Mathieu equation // International Journal of Control. – 1990. – T.51. – №1. – C. 139–167.
4. Vinitsky E.A., Black E.D., Libbrecht K.G. Particle dynamics in damped nonlinear quadrupole ion traps // American Journal of Physics. – 2015. – T. 83. – №4. – C. 313–319.
5. Rybin V., Rudyi S., Kokorina O. Nondestructive microparticle analysis method // Vibroengineering procedia. – 2020. – T.32. – C. 156–159.
6. Al-Hababi T. et al. A critical review of nonlinear damping identification in structural dynamics: methods, applications, and challenges // Sensors. – 2020. – T.20. – №24. – 7303 c.

УДК 332.025

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕХАНИЗМА УПРАВЛЕНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТЬЮ ОРГАНИЗАЦИИ В СФЕРЕ АДДИТИВНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Сомонов В.В.

Научный руководитель – Мурашова С.В., доцент, кандидат экономических наук, доцент факультета технологического менеджмента и инноваций

vlad@ltc.ru, fpp5@list.ru

Ключевые слова

Государственные бюджетные организации, аддитивные технологии, объекты интеллектуальной собственности, устаревание технических решений, методическая документация.

В современной экономике заметно возрастает роль интеллектуальной собственности (ИС), она влияет на развитие не только отдельных компаний, но и на целые отрасли [1,2], в том числе и на высокотехнологичное процессы, к которым относится аддитивное производство. Функционирование предприятия невозможно без качественного управления ИС, оно развивает его инновационную деятельность в стране и за рубежом. Азгальдов и Костин [3] считают, что управление объектом, в том числе и ИС – это мероприятия, направленные на перевод объекта из одного состояния в заранее заданное другое состояние, за определенный отрезок времени. Мировой и отечественный рынок аддитивного производства постоянно увеличивается в своём объеме, но при этом, наша страна ежегодно теряется до 5% ВВП из-за низкого качества управления интеллектуальной собственности [4]. Повышение эффективности такого управления положительно повлияет на результаты хозяйственной деятельности организации и поможет окупить вложенные в разработку средства. Необходимость такого повышения подтверждают и данные Роспатента (рис.1), свидетельствующие о том, что ежегодно число изобретений, патентующихся, в том числе и в сфере аддитивного производства, в Российской Федерации увеличивается, но лишь незначительная часть из них коммерциализуется посредством договоров распоряжения.

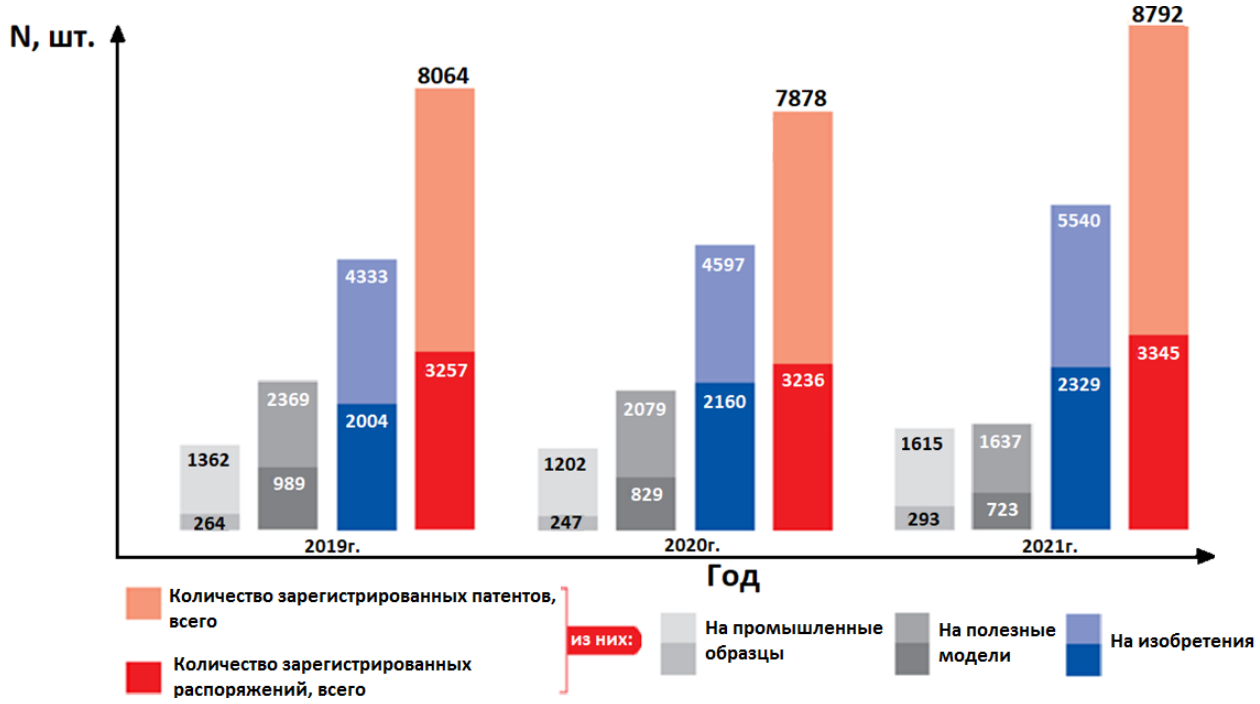


Рис. 1 – Количество патентов, в отношении которых зарегистрированы распоряжения исключительным правом по договору [5]

Вопросами организации управления, включая учет и коммерциализацию нематериальных активов, занимались как отечественные, так и зарубежные ученые. Но большинство исследований проводилось для развитого рынка технологий и существующего западного законодательства, не учитывая характерные особенности технических решений в сфере аддитивного производства и систем управления в области ИС, существующих на отечественных предприятиях, работающих в данной области.

Вышеобозначенные факты предопределили цель исследования, состоящие в том, чтобы выявить проблемы, связанные с низкой эффективностью управления ИС и предложить изменения в существующие методические документы для ее повышения. Акцент был сделан на государственных бюджетных организациях (вузах), являющихся лидерами по разработке технических решений в вышеобозначенной сфере в нашей стране.

В качестве основных источников информации использовались методические документы по управлению ИС МГТУ им. Н.Э. Баумана, Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого, Томского политехнического университета, Санкт-Петербургского морского технического университета. Для достижения цели исследования были использованы описательный и агрегированный подходы к анализу методической документации.

В ходе работы выявлены проблемы, не позволяющие вузам получать значительную экономическую выгоду от имеющейся у них ИС в области аддитивного производства. Среди них:

- отсутствие методической документации по управлению объектами интеллектуальной собственности (ОИС), учитывающей особенности и устаревание технических решений в области аддитивного производства;
- авторы-разработчики часто не сообщают о создании результата интеллектуальной деятельности;
- результаты интеллектуальной деятельности (РИД) в данной сфере изначально не являются коммерчески привлекательными для потенциальных покупателей;
- изобретения и полезные модели патентуются из-за обязательств по контракту и оцениваются ниже реально возможной стоимости на рынке;
- лицензии на ОИС выдаются за бесценок и только неисключительные;
- затянутые сроки заключения и регистрации лицензионных договоров;
- отсутствие финансирования со стороны руководства для обучения сотрудников в области аддитивных технологий.

Основные методические документы, принятые менеджментом вузов направленные на управление ИС, можно разбить на категории согласно рисунку 2.

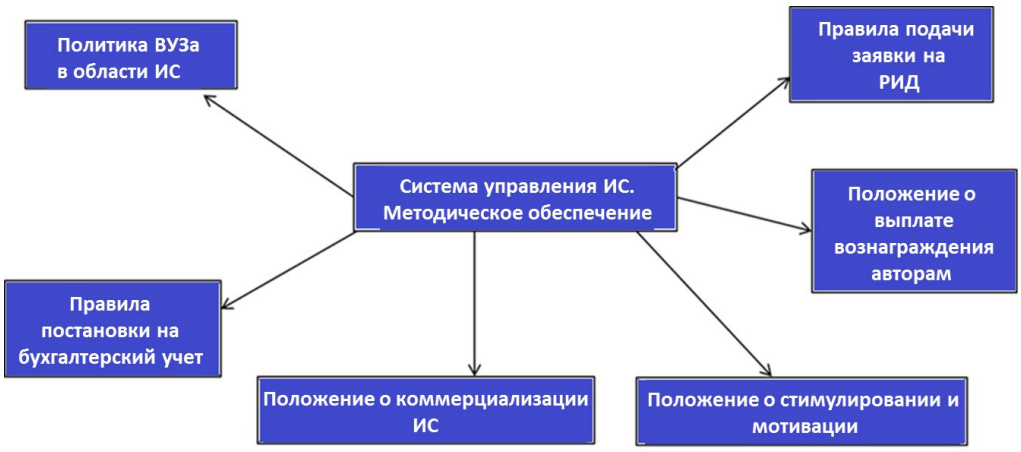


Рис. 2 – Основные документы, принятые менеджментом вузов по методическому обеспечению управления ИС

Для повышения эффективности системы управления ИС авторы предлагают воспользоваться принципами, основанными на процессно-функциональном подходе

управления ОИС на всем протяжении их жизненного цикла. Для этого были разработаны изменения в существующие методические документы по управлению ИС принятые менеджментом вузов.

На основе анализа документов было выявлено то, что в них не уделяется значительного внимания стадии планирования и коммерциализации РИДов, создаваемых в сфере аддитивного производства.

Планирование станет возможным благодаря введению в Регламент по управлению правами на РИДы в обязанности для отдела по управлению интеллектуальной собственностью проводить регулярные патентные и маркетинговые исследования на основе патентной информации и с применением методов патентной аналитики. Такие исследования в вузах России, особенно в данной сфере, практически не проводятся, в отличие от зарубежных компаний, которые с целью планирования своих разработок, заказывают подобные исследования аналитическим компаниям (одна из самых известных, специализирующаяся на аддитивном производстве Wohler's Associates, выпускающая ежегодный отчет о ситуации на мировом рынке). Эти изменения в документах позволят планировать создание актуальных РИДов еще до начала разных научных исследований и конструкторских работ. Такие результаты будут потенциально коммерчески выгодными, что повысит шансы на их коммерциализацию. Исследования помогут выводить из обращения устаревшие решения, стоящие на балансе в виде нематериальных активов еще до плановой процедуры инвентаризации, ведь в существующих документах не учитывается быстрое устаревание технических решений в данной области (после трех лет решения значительно морально устаревают) и их привязка результатов к программному обеспечению, используемому для удалённого создания управляющих программ по "выращиванию" изделий. Выяснилось, что не во всех вузах принята Политика в области ИС, которая могла бы связать и объединить в себе различные стадии управления, регламентированные отдельными методическими документами.

Многие вузы используют письменную форму уведомления о раскрытии РИДа, которая не позволяет учесть технические решения, связанные с трехмерной моделью или алгоритмом разбиения модели на слои и способ создания траектории для рабочего инструмента выращивания изделия. Часто авторам их трудно описать в виде текста, применимого для будущего патентования или не считают нужным прикладывать дополнительный материал к самой форме уведомления. Это приводит к тому, что они просто не уведомляют о таких решениях, облегчая себе работу и лишая вузы потенциально выгодных ОИСов. Лучшим вариантом выхода из сложившейся ситуации авторы видят во введение в использование электронной формы уведомления о создании РИДа с возможностью прикреплять 3D- модели выращиваемых изделий, на которых можно будет изобразить различные схемы наложения слоев и движения рабочего инструмента относительно их.

Для того, чтобы стимулировать сотрудников вуза создавать коммерчески привлекательные РИДы в области аддитивного производства, способные к правовой охране, должно быть прописано в разделе прав их должностной инструкции обязательная выплата вознаграждения на усмотрение руководителя структурного подразделения в соответствии с действующим положением о стимулирующих выплатах, но не менее 5% от оклада сотрудника, что выше чем принято в большинстве вузов. Для принятия решения руководитель структурного подразделения должен руководствоваться показателями эффективности управления интеллектуальной собственностью, связанными с числом поддерживаемых патентом организацией в данной области, коэффициентом использования патентов из области аддитивного производства для собственного производства или для коммерциализации, числом отчуждений и выданных в год на них лицензий, объемом дохода, которые они принесли и числом запатентованных в год технических решений в области аддитивного производства. Если предлагаемое сотрудником техническое решение по прогнозам сотрудников отдела управления ИС совместно с маркетинговым отделом позволит повысить эти показатели, а заодно и надеяться на получение коммерческой выгоды, то размер вознаграждения может быть увеличен пропорционально категориям, указанным в положении

о стимулирующих выплатах и не превышать оклада сотрудника. Алгоритм составления такого запроса на вознаграждение должен быть прописан в Регламенте по управлению правами на РИДы. В существующее в вузе положение о ноу-хау необходимо сделать добавление, что разработанные алгоритмы управления процессом 3D-печати, базы данных режимов 3D-печати изделий или подготовки оборудования перед или после окончания процесса, которые создаются в специальном программном обеспечении, составляют секрет производства и должны охраняться в режиме коммерческой тайны. Для повышения эффективности их выявления предлагается ввести в форму уведомления о создании РИДа раздел, связанный с пожеланием о предоставлении или не предоставлении правовой охраны этим данным в режиме ноу-хау, а в Регламенте по управлению правами на РИДы должен быть пункт, что для случая предоставления режима охраны в виде ноу-хау с авторами, помимо соглашения о неразглашении, заключается дополнительный договор о не конкуренции с вузом в области, к которой имеют отношение материалы ноу-хау.

Для повышения эффективности работы системы управления ИС в Положение об обучении сотрудников и в их должностные инструкции необходимо ввести обязанность участвовать в регулярных обучающих многоуровневых семинарах по основам аддитивного производства для сотрудников отделов по управлению ИС и в области ИС для инженерно-технического персонала. Такое нововведение поможет в выявлении новых решений, повысит их коммерческую ценность на рынке благодаря четкому пониманию. Семинары позволят сформировать представления об основных принципах и трендах среди в области аддитивных технологий, выработать рекомендации по созданию РИДов, их слушателям принять активное участие в процессе управления ИС, вырабатывая управленческие решения, влияющие на объекты на основных стадиях их жизненного цикла от планирования до коммерциализации.

Для повышения автоматизации ведения делопроизводства по заявкам, связанным с аддитивным производством, авторы предлагает внедрить электронную единую систему учета в вузе. Она должна позволять видеть статус, текущее содержание документов заявки, а у сотрудника отдела управлением ИС должна быть возможность вносить исправления в документы заявок. К ней необходимо предоставлять ограниченно открываемый доступ для руководителей различных структурных подразделений. Это позволило бы им быть лучше информированным о названиях создаваемых решений и по необходимости отправлять запросы в этот отдел на предоставление более подробной информации по ним. Также ограниченный доступ к такой системе должен быть предоставлен каждому зарегистрированному отделом управления интеллектуальной собственности сотруднику вуза. Это позволило бы лучше подготавливать материалы технических отчетов, презентаций, подготавливать запросы для организации мероприятий по предоставлению лицензий на недостающие решения для их деятельности. Система должна быть подключена к ресурсам бухгалтерии для оптимизации и сокращения сроков постановки на баланс после принятия соответствующих решений. Внедрение такой взаимосвязи стоит прописать в руководящие документы, связанные с работой бухгалтерии и в Положение о деятельности отдела, занимающегося управлением ИС.

В Должностные инструкции руководителей структурных подразделений необходимо ввести в обязанность для руководителей согласовывать с отделом управления ИС перечень планируемых к созданию РИДов и способ их правовой охраны и дальнейшей коммерциализации, подготавливать краткий сводный отчет о РИДах за квартал. Это позволит повысить контроль за созданием РИДов, скорректировать выбор оптимальной формы правовой охраны, снизить риск разглашения патентоспособных сведений до момента подачи заявки на получение патента.

В результате исследований для устранения проблем, не позволяющие вузам получать значительную экономическую выгоду от ИС в области аддитивного производства, авторами были разработаны рекомендации по совершенствованию методических документов для управления ИС:

- предложено внедрить Политику по управлению ИС, связывающую управление ОИС на всех этапах жизненного цикла;

- проводить регулярные патентные исследования и маркетинговые исследования рынка аддитивного производства на основе патентной информации и с применением методом патентной аналитики для выявления трендов и патентоспособных ниш;
- закрепить в методических документах, связь системы управления ИС с особенностями технических решений в сфере аддитивного производства и основной отрасли промышленности, в которой осуществляет свою деятельность организация;
- обязать отдел по управлению ИС использовать единую автоматизированную систему учета ОИС и создаваемых моделей, подключенную к электронным ресурсам бухгалтерии;
- ввести регулярное проведение обучающих многоуровневых семинаров по основам аддитивного производства для сотрудников отдела по управлению ИС и в области ИС для сотрудников других подразделений;
- руководителей структурных подразделений обязать согласовывать с отделом управления ИС перечень планируемых к созданию РИДов, способ их правовой охраны и дальнейшей коммерциализации;
- добавить раздел об обязательном подписании с авторами ноу-хау соглашения о неразглашении и договора о не конкуренции с вузом.

Список использованных источников

1. Neves P.C., Afonso O., Silva D., Sochirca E. The link between intellectual property rights, innovation, and growth: A meta-analysis // Economic Modelling. – 2021. – V.97. – Pp. 196–209.
2. Duening T.N., Hisrich R.D., Lechter M.A. Technology Entrepreneurship. Taking Innovation to the Marketplace. Third Edition // Elsevier. – 2021. – 416 p.
3. Азгальдов Г.Г., Костин А.В. Управление интеллектуальной собственностью: стандартные мифы или реальные проблемы // Интеллектуальная собственность: Промышленная собственность. – 2010. – №4. – С. 30–38.
4. Российский союз промышленников и предпринимателей. В России впервые подсчитали потери от неэффективного управления интеллектуальной собственностью. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://rspp.ru/events/news/v-rossii-vpervye-podschitali-poteri-ot-neeffektivnogo-upravleniya-intellektualnoy-sobstvennostyu-5faa522555b1b/ (дата обращения: 14.06.2022).
5. Роспатент в цифрах и фактах 2021. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://rospatent.gov.ru/content/uploadfiles/annual-report-2021-short-version.pdf (дата обращения: 14.06.2022).

МАГИСТРЫ

Лауреаты I степени

«Лучшую научно-исследовательскую выпускную квалификационную работу магистров Университета ИТМО»

УДК 538.975

РАЗРАБОТКА ИСТОЧНИКОВ ОДИНОЧНЫХ ФОТОНОВ НА ОСНОВЕ ДВУМЕРНЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВ, ИНТЕГРИРОВАННЫХ С НАНОФОТОННЫМИ СТРУКТУРАМИ

Абрамов А.Н.

Научный руководитель – Кравцов В.А., PhD, физико-математические науки, ведущий научный сотрудник физического факультета

artem.abramov@metalab.ifmo.ru

Ключевые слова

Нанофотоника, квантовая оптика, двумерные материалы, источник одиночных фотонов, экситон, локальная деформация, атомно-силовая микроскопия.

Одиночные фотоны перспективны в качестве носителей квантовой информации. Поэтому источники одиночных фотонов (однофотонные квантовые излучатели – ОКИ) являются одними из ключевых элементов в квантовой оптоэлектронике. В настоящее время ведутся работы по созданию таких источников с использованием различных технологий. Начиная с 2015 года был опубликован ряд экспериментальных работ, в которых было продемонстрировано наличие однофотонной эмиссии из локализованных участков монослоев дихалькогенидов переходных металлов (ДПМ) [1]. Также была показана связь между механической деформацией монослоя ДПМ и изменением его оптических свойств [2]. К настоящему времени продемонстрирована возможность детерминированного создания источников однофотонного излучения в монослоях ДПМ методом локальной деформации с использованием рельефных структур на подложке (например, наностолбиков) [3]. В 2019 году была продемонстрирована возможность создания однофотонных излучателей в монослое WSe_2 с помощью зонда атомно-силового микроскопа (АСМ) [4]. ОКИ, получаемые методом локальной деформации зондом АСМ в монослое WSe_2, отличаются простотой изготовления, высокой яркостью, возможностью точного позиционирования на чипе для связи в ближнем поле с нанофотонными структурами. Однако для таких источников света характерны относительно большие времена затухания люминесценции – порядка 1 – 10 нс (при времени затухания люминесценции нейтрального экситона монослоя WSe_2 порядка 10 пс). Также для таких источников характерен разброс ориентаций излучающих диполей относительно плоскости образца, что понижает эффективность сбора излучения. Улучшение оптических свойств ОКИ возможно достичь путем их интеграции с нанофотонными структурами. Одним из перспективных типов нанофотонных структур для этой задачи являются концентрические брэгговские решетки [5].

В ходе данного исследования была отработана технология формирования источников одиночных фотонов в двумерном полупроводнике методом локальной деформации зондом атомно-силового микроскопа и продемонстрировано улучшение оптических свойств ОКИ, достигнутое путем их интеграции с нанофотонными плазмонными структурами.

Для создания в монослое WSe_2 источников одиночных фотонов был использован метод локальной деформации зондом АСМ (индентирование). Суть метода заключается в создании локально деформированной области монослоя WSe_2, в которой формируется источник одиночных фотонов. Для этого было необходимо создать систему, в которой монослой WSe_2 будет сохранять свою форму после его деформации и не сможет релаксировать. В данном исследовании для решения этой проблемы монослой WSe_2 переносился на полимерную подложку полиметилметакрилата (ПММА), которая сохраняла свою форму после продавливания зондом АСМ, а также предотвращала релаксацию монослоя WSe_2 благодаря силам адгезии. На рисунке 1,а схематично изображен процесс локальной деформации монослоя WSe_2, лежащего на структуре ПММА/SiO2/Si. Образец предварительно сканировался в полуконтактном режиме, затем зонд зависал в заданной позиции. В результате

вертикального смещения зонда в слое полимера ПММА формировалось углубление – индент. Монослой WSe_2 удерживается в этом углублении за счет сил адгезии, при этом его кристаллическая решетка значительно деформируется. Вследствие деформации зонная структура монослоя WSe_2 также меняется: в ней появляются локализованные минимумы потенциала, в которых формируются источники одиночных фотонов с линиями излучения, смещенными в красную область относительно длины волны излучения нейтрального экситона монослоя WSe_2 (схематично изображено на рис.1,а,снизу). Для избежания разрывов монослоя WSe_2 в процессе индентирования зонд АСМ предварительно был затуплен фокусированным ионным пучком так, что латеральные размеры острия зонда составили порядка 500 нм (рис.1,б). Регулируя толщину полимера, глубину продавливания полимера и монослоя WSe_2 зондом АСМ, а также положение зонда в латеральной плоскости, можно добиться точного позиционирования формируемых источников одиночных фотонов и, как следствие, обеспечения их связи в ближнем поле с нанофотонными структурами на чипе. На рисунке 1,в представлен АСМ скан массива источников одиночных фотонов в монослое WSe_2, сформированных методом локальной деформации зондом АСМ. Эмпирически было определено, что оптимальная глубина индента в монослое WSe_2 должна составлять порядка 120 – 250 нм. На рисунке 1,г представлен детальный АСМ скан одного из индентов, а на рисунке 1,д представлены поперечные профили данного индента.

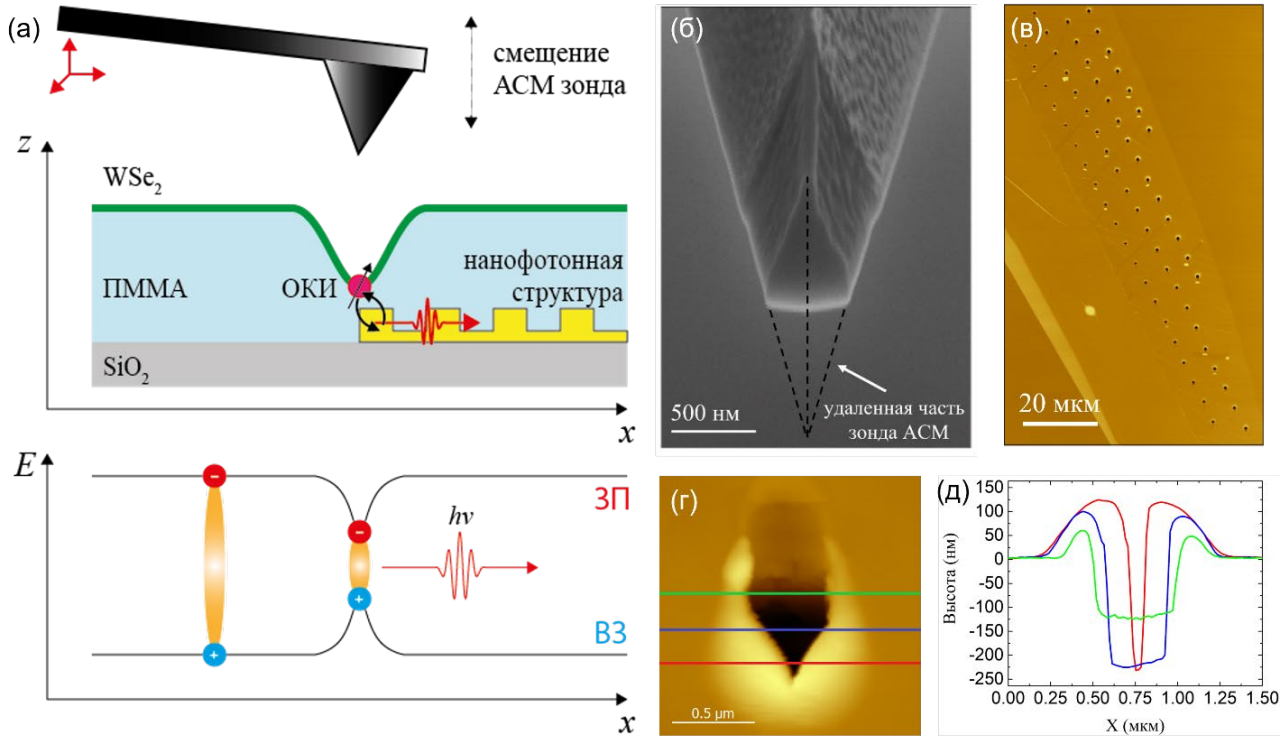


Рис. 1 – а) схематичное изображение процесса формирования ОКИ в монослое WSe_2 зондом АСМ; б) СЭМ изображение модифицированного АСМ зонда; в) АСМ скан структуры с массивом ОКИ в монослое WSe_2; г) АСМ скан индента в монослое WSe_2; д) поперечные профили индента в монослое WSe_2

Оптические свойства полученных источников света были исследованы методами спектроскопии фотолюминесценции (ФЛ) и время-разрешенной спектроскопии. Образцы исследовались при температуре 7 – 10К. Для возбуждения люминесценции использовался HeNe лазер с длиной волны 632,8 нм или импульсный лазер с частотой 80 МГц, генерирующий суперконтинуум, который обрезался спектральным фильтром. Сигнал собирался высокоразрешающим объективом с увеличением 50X и числовой апертурой N.A. = 0,65. В ходе исследования была собрана статистика для порядка 100 излучателей. Все созданные в ходе исследования ОКИ демонстрируют линии излучения в диапазоне 1,45 – 1,67 эВ (740 – 850 нм). На рисунке 2,а представлены спектры некоторых ОКИ и масштабированный спектр нейтрального экситона X^0 монослоя WSe_2. В ходе исследования было выявлено, что

для полученных ОКИ характерно насыщение фотолюминесценции при увеличении мощности накачки, а значение мощности насыщения составляет порядка 1 мкВт (рис.2,б). Также для полученных ОКИ характерна линейная поляризация излучения (рис.2,в). Было выявлено, что полученные ОКИ сохраняют оптические свойства при температурах до 50 К (рис.2,г).

Методом время-разрешенной спектроскопии было определено время затухания люминесценции полученных ОКИ, которое варьируется в диапазоне 1,5 до 21,0 нс, что много больше времени затухания люминесценции нейтрального экситона X^0 монослоя WSe_2, которое составило менее 50 пс (50 пс – верхняя оценка, ограниченная инструментальным разрешением собранной оптической установки). На рисунке 2,д представлены спектры затухания люминесценции для одного ОКИ с длиной волны излучения 757 нм и нейтрального экситона X^0 монослоя WSe_2. Точками обозначены экспериментальные данные, а линиями – кривые подгонки. Однофотонный характер люминесценции определялся путем измерения корреляционных функций второго порядка $g^{(2)}(\tau)$. В полученной статистике значения $g^{(2)}(0)$ составили от 0,11 до 0,37, что говорит о преобладании однофотонного излучения над двухфотонным. На рисунке 2,е представлен график корреляционной функции $g^{(2)}(\tau)$ для одного из ОКИ.

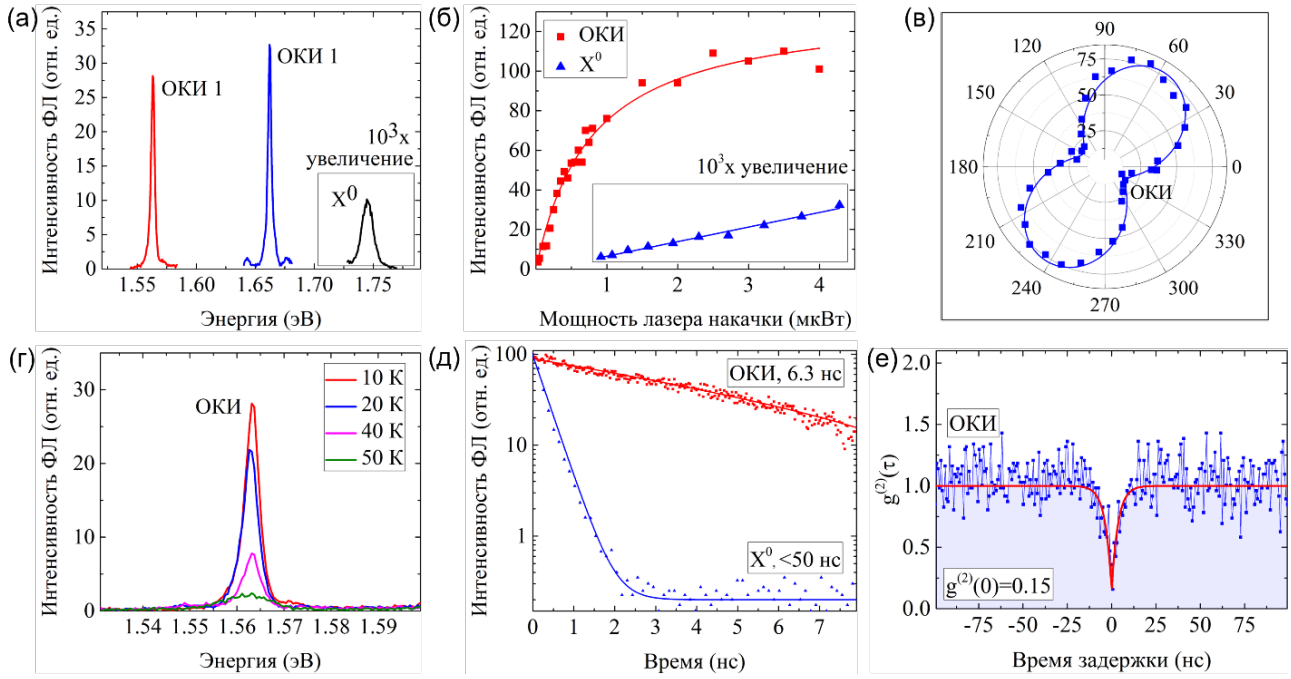


Рис. 2 – а) спектры ФЛ некоторых ОКИ и спектр нейтрального экситона X0 монослоя WSe_2;
б) зависимость интенсивности ФЛ от мощности накачки для одного из ОКИ и X0;
в) зависимость интенсивности ФЛ ОКИ от поляризации фотодетектора;
г) спектры ФЛ ОКИ при температурах от 10 до 50 К;
д) затухание люминесценции ОКИ и X0; е) график g(2) (т) для одного из ОКИ

Полученные излучатели отличаются высокой яркостью (до единиц МГц) и сравнительно небольшим квантовым выходом люминесценции (от 3,4% до 10,1% в полученной статистике), что, скорее всего, связано с сильным нерадиационным затуханием.

Улучшение оптических свойств, полученных ОКИ было достигнуто путем их интеграции с нанофотонными плазмонными резонаторами. В ходе исследования была рассчитана численная модель, а также созданы и исследованы экспериментальные образцы. Моделируемая структура состояла из осесимметричной золотой решетки, расположенной на подложке SiO_2(1 мкм)/Si, и покрытой слоем полимера ПММА. В центре структуры в полимере, в небольшом углублении располагался излучающий диполь. Антенна представляла из себя решетку, состоящую из нескольких колец, расположенных на слое золота (рис.3,а). На рисунке 3,б представлено распределение электрического поля от излучающего диполя и его взаимодействие с нанофотонной структурой, состоящей из слоя золота и 4-х колец. В ходе

моделирования были определены оптимальные геометрические параметры нанофотонной структуры. Теоретически было продемонстрировано усиление люминесценции за счет эффекта Парселла (рис.3,в), а также изменение диаграммы направленности излучения в дальнее поле со сдвигом максимумов изучения ближе к нормали образца, что значительно повышает эффективность сбора излучения даже объективом с небольшой числовой апертурой (рис.3,г и д).

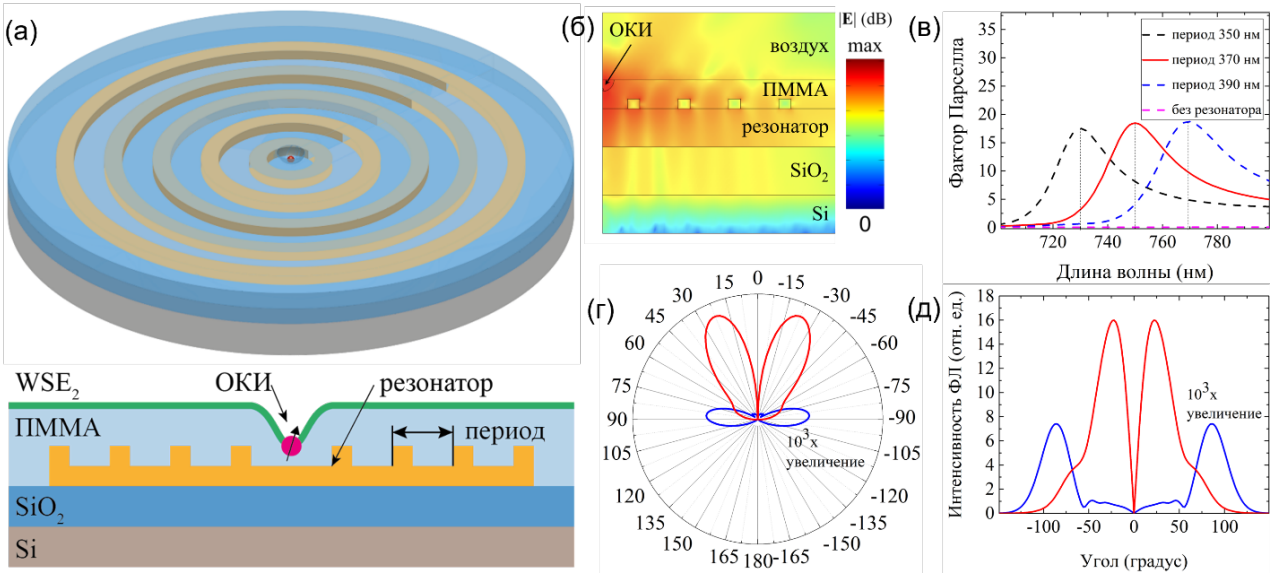


Рис. 3 – а) схематичное изображение нанофотонного концентрического резонатора с интегрированным в него ОКИ; б) распределение электрического поля в структуре с концентрическим резонатором; в) зависимость фактора Парселла от длины волны излучателя для структур с разным периодом резонатора и структуры без резонатора; г) диаграммы направленности излучения в дальнее поле от диполя, интегрированного с нанофотонным резонатором (красная кривая), и диполя, излучающего в свободное пространство; д) моделирование угловой зависимости интенсивности люминесценции в задней фокальной плоскости диполя, интегрированного с нанофотонным резонатором (красная кривая), и диполя, излучающего в свободное пространство (синяя кривая)

Образцы с нанофотонными концентрическими резонаторами создавались с помощью методов электронно-лучевой литографии (EBL) и термического напыления металлов. На очищенную подложку SiO_2(1 мкм)/Si наносился слой золота, затем методом теневой литографии с использование двух электронных резистов разных типов проводилась электронно-лучевая литография. Далее образцы проявлялись, на них методом термического напыления наносился слой золота. Последним этапом формирования резонаторов было удаление остатков золота методом взрывной литографии. На рисунке 4,а представлен СЭМ изображение одного из нанофотонных резонаторов. На подложку с готовыми резонаторами методом центрифугования наносился слой полимера ПММА, далее на полимер переносился монослой WSe_2. Координаты резонаторов определялись путем сканирования на атомно-силовом микроскопе (рис.4,б), затем в центре резонаторов зондом АСМ были сделаны инденты (рис.4,в), в которых формировались источники одиночных фотонов. Такой способ позволил с высокой точностью позиционировать излучатели относительно нанофотонных структур. На рисунке 4,г представлено оптическое изображение массива источников одиночных фотонов, интегрированных с нанофотонными структурами (выделено синим пунктиром), а также массива референсных источников одиночных фотонов (выделено красным пунктиром).

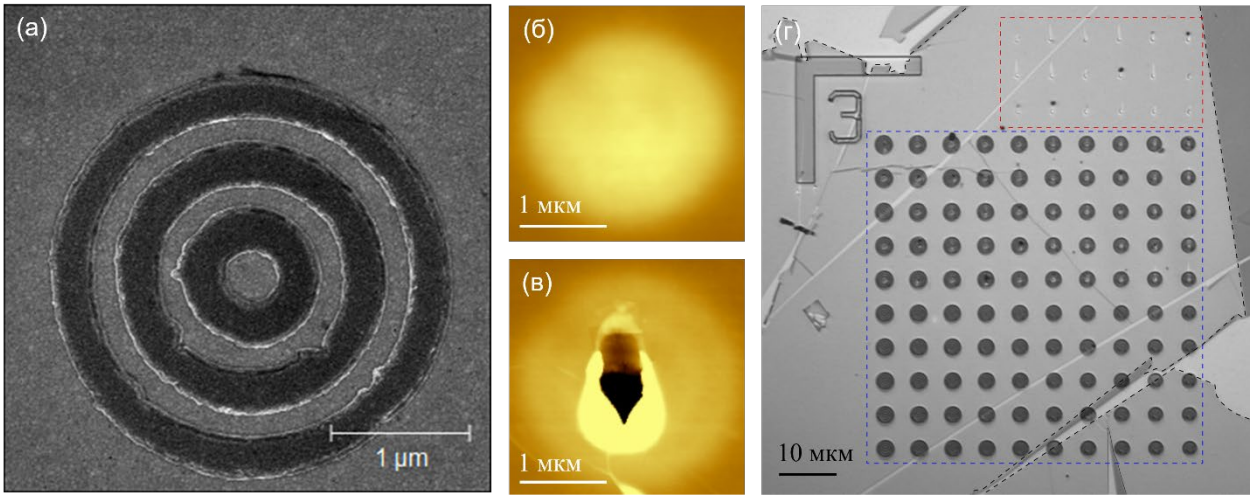


Рисунок 4 – а) СЭМ скан концентрического плазмонного резонатора; б) АСМ скан резонатора, покрытого слоем полимера ПММА и монослоем WSe_2; в) АСМ скан индента над резонатором; г) оптическое изображение массива ОКИ в монослое WSe_2, интегрированных с нанофотонными структурами, а также массива референсных ОКИ

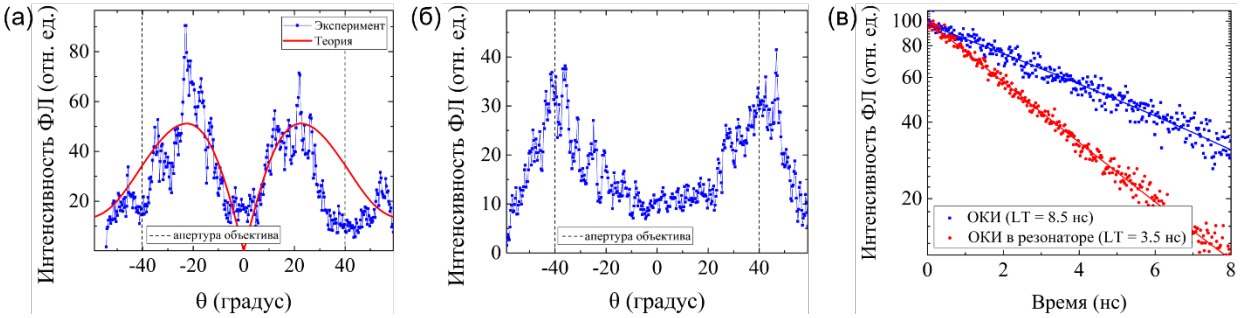


Рис. 5 – а) угловое распределение ФЛ от ОКИ, интегрированного с нанофотонной структурой; б) угловое распределение ФЛ от несвязанного ОКИ, характерное для диполя, расположенного вне плоскости образца. Пунктирной линией обозначено ограничение сбора апертурой объектива N.A. = 0,65; в) затухание люминесценции источника одиночных фотонов, интегрированного с нанофотонной структурой (красные точки – экспериментальные данные, красная линия – кривая подгонки). Затухание люминесценции источника, излучающего в свободное пространство (синие точки – экспериментальные данные, синяя линия – кривая подгонки)

Методом спектроскопии в задней фокальной плоскости оценивалось влияние нанофотонных структур на ОКИ. Было выявлено, что нанофотонные структуры выступают в роли антенн и влияют на диаграммы направленности излучения в дальнее поле. На рисунке 5,а представлено распределение для одного из ОКИ, интегрированного с нанофотонной структурой (синими точками отмечены экспериментальные данные, красной кривой – теоретический расчет). Полученные экспериментальные данные хорошо согласуются с теоретическим расчетом. В качестве примера на рисунке 5,б представлено распределение для референсного источника одиночных фотонов, которое характерно для диполя с внеплокскостной ориентацией и максимумами излучения в плоскости образца. Пунктирными линиями на рисунке 5,а и б обозначено ограничение апертурой объектива. Также были измерены времена затухания люминесценции для ОКИ, интегрированных с нанофотонными структурами и референсных ОКИ. В среднем, источники одиночных фотонов, интегрированные с нанофотонными резонаторами, демонстрируют более короткие времена затухания по сравнению с несвязанными источниками. В качестве примера на рисунке 5,в приведены две кривые затухания люминесценции для двух разных ОКИ. Синими точками обозначены экспериментальные данные, полученные от референсного источника, излучающего в свободное пространство на длине волны 747 нм. Красными точками обозначены экспериментальные данные, полученные от источника, интегрированного с

нанофотонной структурой, и излучающего на длине волны 761 нм. Линиями обозначены кривые, полученные с помощью функции подгонки. Время затухания люминесценции для источника, интегрированного в резонатор, составило LT = 3,5 нс, а для источника, излучающего в свободное пространство – LT = 8,5 нс.

Полученные результаты демонстрируют перспективность технологии формирования источников одиночных фотонов в монослое WSe_2 методом локальной деформации зондом АСМ для использования в практических целях, в частности, для интеграции ОКИ с нанофотонными структурами на оптическом чипе. В ходе исследования была рассчитана численная модель нанофотонного резонатора, улучшающая оптические свойства исследуемых ОКИ, в том числе увеличивающая яркость за счет эффекта Парселла, и изменяющая диаграмму направленности излучения в дальнее поле для повышения эффективности сбора излучения. Были созданы экспериментальные образцы с источниками одиночных фотонов, интегрированными с нанофотонными резонаторами, и исследованы оптические свойства полученных структур. Полученные экспериментальные данные продемонстрировали связь в ближнем поле между источником одиночных фотонов и нанофотонной структурой, и, как следствие, влияние нанофотонных структур на оптические свойства ОКИ. В ходе дальнейшей работы планируется дополнить полученные результаты влияния нанофотонной структуры на оптические свойства источников одиночных фотонов за счет набора статистических данных. Предполагается, что отработанную в ходе исследования технологию создания источников одиночных фотонов можно будет применять в области фотонной инженерии и квантовых технологий.

Список использованных источников

1. Koperski M. et al. Single photon emitters in exfoliated WSe2 structures // Nature nanotechnology. – 2015. – Т.10. – №6. – С. 503–506.
2. Benimetskiy F.A. et al. Measurement of local optomechanical properties of a direct bandgap 2D semiconductor // APL Materials. – 2019. – Т.7. – №10. – С. 101126.
3. Branny A. et al. Deterministic strain-induced arrays of quantum emitters in a two-dimensional semiconductor // Nature communication. – 2017. – Т.8. – №1. – С. 1–7.
4. Rosenberger M.R. et al. Quantum calligraphy: writing single-photon emitters in a two-dimensional materials platform // ACS nano. – 2019. – Т.13. – №1. – С. 904–912.
5. Xia S. et al. Enhanced Single-Photon Emission from GaN Quantum Dots in Bullseye Structures // ACS Photonics. – 2021.

УДК 004.414.32

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МОБИЛЬНОГО ПРИЛОЖЕНИЯ ЕДИНАЯ ПЕРСОНАЛЬНАЯ МЕДИЦИНСКАЯ КАРТА

Бокарева А.А.

Научный руководитель – Ватьян А.С., кандидат технических наук, доцент факультета инфокоммуникационных технологий, старший научный сотрудник исследовательского центра в сфере искусственного интеллекта "Сильный искусственный интеллект в промышленности"

alena_bokareva@itmo.ru

Ключевые слова

Мобильное приложение, разработка, цифровизация, персональные данные, электронный документ, идентификации, аутентификация, медицинские данные.

Правительством Российской Федерации определён один из перспективных направлений развития: цифровизация и переход на электронный документооборот и улучшение качества оказания медицинской помощи населению. В данном направлении уже делаются основные шаги и большая часть всех медицинских обследований, осмотров и диагностик заносится не только в закрытую систему внутрибольничного электронного документооборота, но и дублируется в различных сервисах под управлением Единого портала государственных услуг Российской Федерации (https://www.gosuslugi.ru), например, Портал электронных сервисов системы здравоохранения Санкт-Петербурга «Здоровье Петербуржца» (https://gorzdrav.spb.ru) [2]. В данном сервисе отображаются данные относительно посещений специалистов, диагнозов, направлений и результатов обследования по месту прикрепления полиса Обязательного Медицинского Страхования. Сервис доступен только онлайн при наличии подтвержденной учетной записи на портале государственных услуг Российской Федерации. Возможность аналитической обработки огромного количества информации для построения прогнозов эпидемиологической обстановки, течения различных хронических и вновь приобретенных заболеваний на большом объеме данных и различных вариантах исходных параметров является крайне важной для полноценного функционирования всей популяции. Сбор медицинских данных граждан, дающих свое согласие на их использование в обезличенном (деперсонализированном) виде одна из немаловажных задач данной разработки, и имеет максимально эффективное решение.

Для построения архитектуры разрабатываемого мобильного приложения были выделены следующие задачи:

- автоматический сбор информации с распределенных серверов ЛПУ на мобильное устройство пользователя;
- хранение полученной информации на устройстве пользователя, обеспечивая тем самым доступ в оффлайн режиме;
- приведение полученных данных в единый унифицированный стандарт для последующего хранения и обработки информации;
- анализ полученных данных и построение отчетов по ним, исходя из запросов пользователя;
- передача подписанных разрешений и согласий на обработку данных от пользователя при наличии его согласия;
- передача деперсонализированных данных от приложения на сервера научно-исследовательских центров при наличии соответствующего согласия пользователя;
- обеспечение конфиденциальности данных пользователя и режима ограничения доступа к ним;
- оповещение пользователя методом пуш уведомлений в приложении об изменении

текущей эпидемиологической ситуации и санитарно-гигиенических норм;

– вывод на экран и передача на печать выбранных пользователем актуальных данных об обследованиях, диагнозах и назначениях (в том числе предусмотрена функция печати рецептов с электронной подписью врача и ЛПУ).

Для анализа актуальности разработки мобильного приложения «Единая Персональная Медицинская Карта» (ЕПМК) было выбрано социологическое исследование, а именно – метод анкетирования с использованием закрытых вопросов, предполагающих несколько (более двух) вариантов ответа с градацией уверенности и отношения. Было проведено анкетирование 1347 человек методом разведывательного исследования, 768 человек – когортного исследования и 127 человек – сотрудники ЛПУ. Полученные результаты позволяют сделать вывод о заинтересованности в данной разработке не только потенциальных пользователей (более 80,1% респондентов ответили положительно), но и сотрудников ЛПУ, показавших более чем на 83,3% неудовлетворенность текущей информационной системой.

Разработка архитектуры мобильного приложения подразумевает под собой всестороннюю проработку смоделированных бизнес-процессов на основании выделенных задач и методов их решения в рамках взаимодействия пользователя с приложением. Необходимо также предусмотреть возможность офлайн доступа для сотрудников экстренных служб к данным внутри приложения без возможности авторизации пользователя. Данная задача является «зоной роста» для данной разработки и требует более глубокого как теоретического, так и практического изучения и проработки [3].

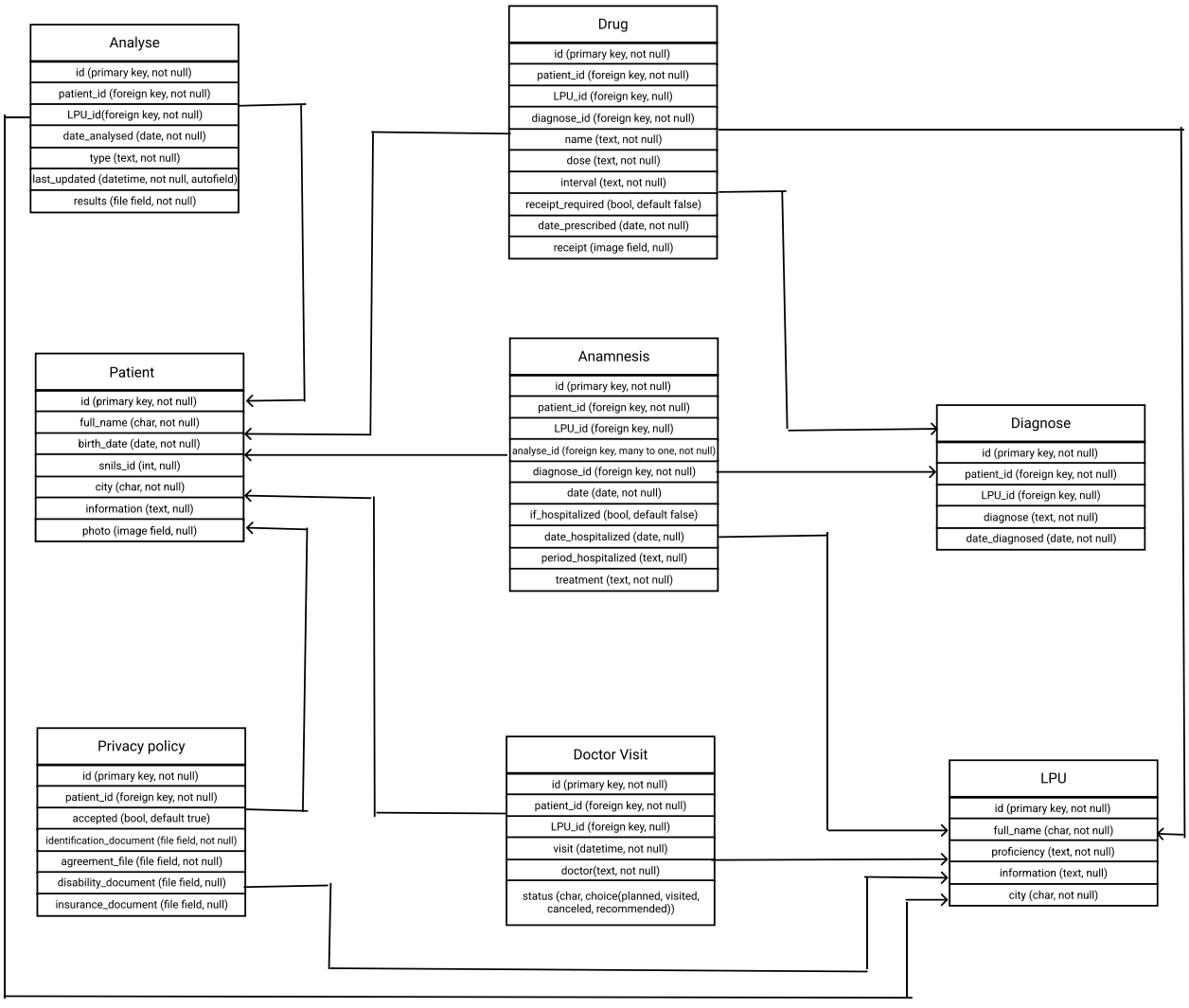


Рис. 1 – Модель обработки входящих данных [1]

Была разработана и построена база данных, оперирующая основными данными о пользователе. В качестве основного определяющего параметра был выбран страховой номер индивидуального лицевого счёта (СНИЛС). СНИЛС – страховой номер индивидуального лицевого счета – уникальный номер индивидуального лицевого счета, используемый для обработки сведений о физическом лице в системе индивидуального (персонифицированного) учета, а также для идентификации и аутентификации сведений о физическом лице при предоставлении государственных и муниципальных услуг и исполнении государственных и муниципальных функций [3]. Большая часть загружаемых данных имеет формат .pdf, что не позволяет работать с самими данными в приложении и БД. Для приведения данных из PDF выбор был сделан в пользу использования языка Python и реализован модуль приведения данных. Визуализация разработанной базы данных представлена на рисунке 1.

Наиболее сложной частью разработки является обработка входящих данных за счет разнородности получаемой информации, отсутствие единого стандарта данных об обследованиях и назначениях. Для решения была создана модель, позволяющая определить необходимые действия для входящих данных и представлена на рисунке 2.

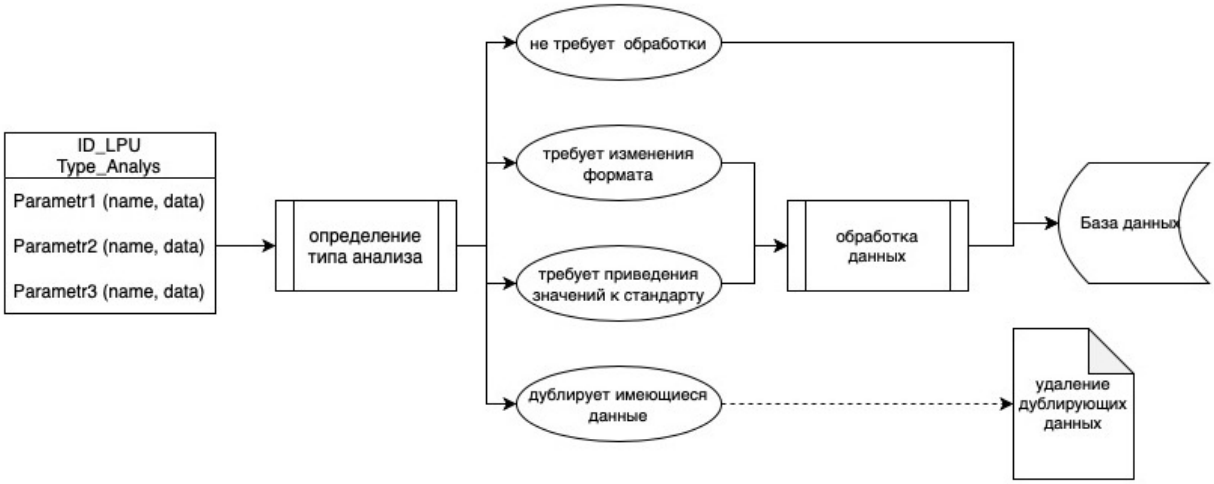


Рис. 2 – Модель обработки входящих данных [2]

Изучив ряд современных исследований и работ в области психологии цвета и создании бренда, согласно цветовой семантике, были созданы несколько макетов для последующей отработки с учетом возможных нарушений зрения (дальтонизм, близорукость и иные особенности).

Работа приложения подразумевает работу с персональными медицинскими данными (в перспективе – с получением данных непосредственно с серверов лечебно-профилактических учреждений или медицинских информационно-аналитических центров), их хранение и обработку. Однако, информация о состоянии здоровья пациента относится к специальным категориям персональных данных, обработка которых не допускается, за исключением случаев, указанных в Федеральном законе (ст. 10 Закона № 152-ФЗ).

Исходя из ограничений оптимальным решением эффективного и разрешенного (с точки зрения законодательных нормативов и требований доступа) к медицинским данным предлагается использование мобильного приложения с использованием систем идентификации и аутентификации, в том числе и с возможностью использования биометрических систем. Использование биометрических параметров в качестве и ключа и метода криптографической защиты является вариантом решения поставленной задачи. Если представить считанные биометрические данные в виде координатной сетки, то сам процесс верификации документа и аутентификации личности может быть организован через некоторую предопределенную функцию изменения характеристик (цифрового кода) точки, определенный координатной сеткой биометрических параметров (в дальнейшем – карта изменения) [4]. Соответственно, при считывании биометрических параметров мы получаем: карту изменений (координаты точек, которые должны быть модифицированы для

верификации и аутентификации), ключ к самому алгоритму изменения точек и низкую вероятность отказов 1 и 2 типа. Данный алгоритм может быть использован как основной для аутентификации и идентификации пользователя в условиях доступа к данным приложения без использования передачи данных, что позволяет работать и в условиях отсутствия доступа в сеть Интернет.

Предложенный биометрический способ аутентификации пользователя решает основную задачу по безопасному доступу к персональным медицинским данным, однако ставит новую – доступа к данным сотрудникам медицинских учреждений и службам экстренной помощи в условиях отсутствия возможности предоставить биометрические параметры самого пользователя (отсутствие сознания, травма, иные ограничения) при необходимости экстренного доступа. При отсутствии решения данной задачи само создание ЕПМК становится менее актуальным для фондов ОМС и качественной медицинской помощи. Одним из вариантов может быть динамический одноразовый пароль, генерируемый в рамках работы с приложением и систем аутентификации сотрудников экстренных служб. Однако данный вариант требует наличия доступа в сеть Интернет, что ставит новые задачи и сложности в рамках данной разработки.

Экономические расчеты показали, что снижение затрат при подключении к использованию ЕПМК составляют от 47% до 68% по истечению 5 лет использования, что, в масштабах выделяемых средств на фонды обязательного медицинского страхования дает принципиально новые возможности для развития текущей системы здравоохранения, замены оборудования и построения новых медицинских учреждений. Процентный показатель варьируется исходя из понимания минимального и максимального количества возможных подключений, зависящий как от территориальных показателей (для России характерно неравномерное распределение населения и ресурсов, в том числе технических), так и от активной возрастной группы.

Мобильное приложение представляет собой агрегатор всех персональных медицинских данных с распределенных серверов лечебно-профилактических учреждений и лабораторий страны с сохранением в памяти мобильного устройства пользователя в едином формате, с анализом основных параметров, подсказками и рекомендациями по дальнейшим обследованиям и консультациям.

Необходимо отметить, что разрабатываемое мобильное приложение имеет важное стратегическое, социальное и экономическое значения не только для отдельных пользователей, но и для всей системы здравоохранения в целом. ЕПМК способна заменить все существующие бумажные (и электронные) медицинские документы пользователя, сделав коммуникацию с государственными институтами простой, доступной и прозрачной, а затраты государства на выпуск, хранение и сбор данных о гражданах свести к минимальному обслуживанию серверов и баз данных.

Данная разработка была неоднократно высоко оценена на различных всероссийских форумах и платформах, в том числе в настоящее время имеет высокий рейтинг и положительные оценки экспертов на платформе «Сильные идеи для нового времени» от Агентства стратегических инициатив и Фонда Росконгресса.

Список использованной литературы

1. Федеральный закон «О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации и признании утратившими силу отдельных положений законодательных актов Российской Федерации по вопросам охраны здоровья граждан в Российской Федерации» от 25.11.2013 № 317-ФЗ, ст. 22. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_154744/ (дата обращения: 12.04.2022).
2. «Здоровье Петербуржца». [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://gorzdrav.spb.ru/information (дата обращения: 12.04.2022).
3. Назаров С.В. Архитектура и проектирование программных систем: Монография / С.В. Назаров. – М.: Инфра-М, 2017. – 32 с.

4. Федеральный закон "Об индивидуальном (персонифицированном) учете в системе обязательного пенсионного страхования" от 01.04.1996 N 27-ФЗ (последняя редакция). [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_9839/#dst100406 (дата обращения: 12.04.2022).
5. Bokareva A.A. Model of a document protection algorithm for a person based on biometric parameters. Actual issues of modern science // Collection of Scientific Articles. European Scientific e-Journal. – 2020. – №6(6). – С. 12–19. DOI: 10.47451/inn2020-09-002.

УДК 681.78

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЯДЕРНОГО МАГНИТНОГО ГИРОСКОПА

Завитаев А.С.

Научный руководитель – Евстифеев М.И., доктор технических наук, профессор

(АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор», г. Санкт-Петербург)

zav.al98@mail.ru

Ключевые слова

Ядерный магнитный гироскоп, ядерный магнитный резонанс, собственные частоты, механические характеристики, деформации.

В настоящее время существует потребность в малогабаритных системах навигации высокодинамичных объектов. Для их создания необходимы гироскопы, превосходящие микромеханические по точности и волоконно-оптические по виброустойчивости и массогабаритным характеристикам.

Указанная потребность привела к возобновлению исследований новых физических принципов, на основе которых возможно построение гироскопов навигационного класса точности. В результате исследований вырос интерес к явлению ядерного магнитного резонанса (ЯМР), которое заключается в резонансном поглощении или излучении электромагнитной энергии атомами вещества, происходящем при изменении ориентации их собственных моментов количества движения (спинов).

Работы по созданию ядерного магнитного гироскопа (ЯМГ) на эффекте ЯМР ведутся в ряде стран, в том числе в США, России и Китае [1,2,3,6,7].

С 1970-х годов по сегодняшний день эксплуатационные и точностные характеристики, достигнутые ЯМГ, значительно улучшились. Так, по программе Micro-PNT (Precision Navigation and Timing) американской компании Northrop Grumman был разработан гироскоп со смещением нуля на 10–2°/ч, ARW – 10-4°/ч1/2. Объем данного гироскопа составил 10 см^3 [4,5]. Разрабатывается возможность миниатюризации квантовых датчиков вращения с использованием технологии MEMS [8]. Применение этой технологии также позволит значительно снизить стоимость изделия при массовом производстве.

В связи с использованием проектируемых гироскопов в высокодинамичных объектах, которые подвергаются вибрационным нагрузкам, повышение виброустойчивости прибора представляет собой актуальную задачу и обуславливает необходимость проведения исследований механических характеристик ядерного магнитного гироскопа.

Построение физико-механической модели конструкции ЯМГ. В CAD системе Pro-Engineer построена физико-механическая модель, в которую введены данные граничных условий для того, чтобы провести оценку механических характеристик ядерного магнитного гироскопа, а именно расчет деформаций конструктивных элементов под воздействием вибрации. Модель содержит все геометрические параметры конструкции, размеры элементов и их форму. В модели заданы механические свойства материалов всех деталей (удельный вес, модуль упругости, коэффициент Пуассона, допустимые напряжения и пр.). Все материалы при расчете приняты изотропными. Кроме того, модель описывает сочленение отдельных элементов конструкции в виде неподвижных сопряжений без проскальзывания и учета контактных деформаций.

Сетка полученной физико-механической модели состоит из 136595 элементов.

Анализ собственных частот конструкции. В результате модального анализа в полосе частот от 0 до 2500 Гц обнаружены 2 резонансных частоты. Они составили 1229 Гц и 2265 Гц. Деформации конструктивных элементов сосредоточены в разных частях прибора при различных частотах.

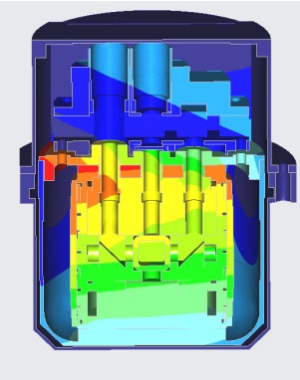


Рис. 1 – Резонанс на частоте 1229 Гц

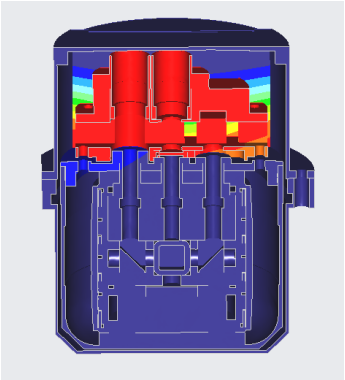


Рис. 2 – Резонанс на частоте 2265 Гц

При резонансе на частоте 1229 Гц основные деформации испытывает кронштейн, на который установлены лазеры оптической накачки и детектирования. Данные деформации нежелательны, так как вызывают изменение мощностей накачки и детектирования, что приводит к изменениям характеристик ансамбля атомов в ячейке и, следовательно, выходного сигнала.

При резонансе на частоте 2265 Гц деформации смещаются в область чувствительного элемента конструкции. Основные деформации сосредоточены на крышке блока с экранами. Сама же ячейка, катушки и корпус испытывают меньшие деформации.

Вибрационные воздействия. Следующим этапом стала оценка деформаций конструктивных элементов при вибрационном воздействии. Вибрационное воздействие задавалось на промежутке от 1 до 2000 Гц с амплитудой 20g. Измерялись деформации таких конструктивных элементов, как:

- ячейка;
- катушки;
- лазер накачки;
- лазер детектирования;
- экран.

В результате анализа получены следующие результаты, представленные в таблице 1.

Таблица 1

Смещение конструктивных элементов при вибрационном воздействии

Резонансная частота, Гц	Ось воздействия	Смещение катушек, мкм	Смещение лазеров, мкм	Смещение экранов, мкм
640	Y	0,08	0,06	17
840	Y	0,08	0,05	8,1
1080	Y	0,1	0,2	7,9
1229	X	1,8	67,8	3,5
	Y	0,1	3,2	1,9
	Z	0,01	0,6	2,8
1723	X	0,3	3,3	4
1805	Z	0,02	0,01	26,1

Из таблицы видно, что резонансные частоты, влияющие на экраны (640, 840, 1080, 1723 и 1805 Гц) практически не влияют, или влияют слабо на смещения катушек и лазеров. Слабое влияние связано с близостью данных резонансов с собственными частотами основной конструкции (1229 Гц). Наибольшие смещения катушек происходит при вибрационном воздействии по оси X на частоте 1229 Гц (1,8 мкм). Наибольшее смещение лазеров происходит при том же воздействии и составляет 67,8 мкм. Наибольшее смещение экранов происходит при воздействии на частоте 1805 Гц по оси Z. Смещение экранов при этом составляет 26,1 мкм.

Анализ источников погрешностей. В результате смещений лазеров накачки и детектирования изменяются их мощности излучений, сообщаемых атомам внутри ячейки. При вибрацинном воздействии на частоте 1229 Гц мощности излучения накачки и детектирования изменяются на 1 и 2% соответственно. В работах Вершовского [9] построена зависимость предельной чувствительности ЯМГ от мощностей накачки и детектирования.

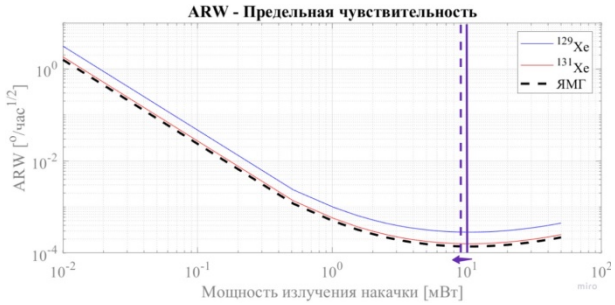


Рис. 3 – Зависимость предельной чувствительности от мощности излучения накачки

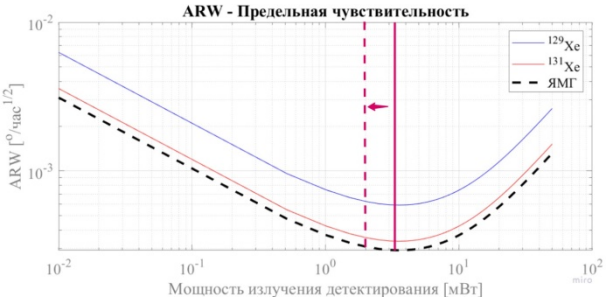


Рис. 4 – Зависимость предельной чувствительности от мощности излучения детектирования

Вертикальной сплошной линией на данных графиках отмечено изначальное значение мощности излучения. Пунктирной вертикальной линией – значение мощности излучения, получившееся в результате вибрационного воздействия. Из данных графиков можно сделать вывод, что предельная чувствительность практически не изменилась и осталась ниже значения 10–2, что является пределом потенциально достижимой точности данного гироскопа.

Магнитное поле играет важную роль в работе ЯМГ. Значение напряженности магнитного поля в ячейке влияет на выходной сигнал гироскопа. Однако так же важную роль играет наличие градиента магнитного поля внутри ячейки. Наличие градиента влияет на то, что время жизни атомов в каждом участке ячейки будет отличаться [10]. В конечном итоге это повлияет на минимальную погрешность измерения частоты прецессии магнитного момента атомов ксенона, а, значит, и точность измерения угловой скорости.

Изменения деформации конструктивных элементов при вибрационном воздействии показатели магнитного поля представлены в таблице 2.

Таблица 2

Изменение магнитного поля

Резонансная частота, Гц	Ось воздействия	Максимальная напряженность поля, мкТл	Максимальное значение градиента, нТл
640	Y	3,72	12
840	Y	3,7	11
1080	Y	3,73	13
1229	X	3,92	67
	Y	3,72	13
	Z	3,71	11
1723	X	3,81	21
1805	Z	3,75	78

Из таблицы видно, что смещения катушек приводит к изменению магнитного поля в большей степени, чем смещения экрана. Это связано с тем, что при приближении катушек к экрану происходит увеличение напряжённости магнитного поля, генерируемого катушками. При этом изменение положения экрана приводит к изменениям градиента магнитного поля.

Заключение. В результате изменений значения магнитного поля происходит смещение нулевого выходного сигнала гироскопа. Максимальное значение составляет 0,7°/ч при вибрационном воздействии на частоте 1229 Гц. Так же происходит ухудшение предельной чувствительности гироскопа. Если за исходную предельную чувствительность брать 10–2°/ч, что является ожидаемой точностью ЯМГ [11], то в результате вибрационного воздействия на частоте 1805 Гц предельная чувствительность ухудшится на порядок и составит 10–1°/ч.

В результате можно сделать вывод, что изменения в магнитном поле, вызываемые вибрационным воздействием, приводят к изменениям в выходных показателях гироскопа. В эти изменения включаются смещение нуля выходного сигнала, а также ухудшение предельной чувствительности.

Список использованной литературы

1. Kuritsky M.M. et al. Inertial navigation // Proceedings of the IEEE. – 1983. – Т.71. – №10. – С. 1156–1176.
2. Мейер Д., Ларсен М. Гироскоп на ядерном магнитном резонансе для инерциальной навигации // Гироскопия и навигация. – 2014. – №1(84). – С. 3–13.
3. Kitching J., Knappe S., Donley E.A. Atomic Sensors – A Review // IEEE Sensors. – 2011. – V.11. – №11. – Pp. 1749–1758.
4. Померанцев Н.М. Физические основы квантовой магнитометрии / Н.М. Померанцев, В.М. Рыжков, Г.В. Скроцкий. – 1972. – 448 с.
5. Попов Е.Н., Баранцев К.А., Ушаков Н.А., Литвинов А.Н., Лиокумович Л.Б., Шевченко А.Н., Скляров Ф.В., Медведев А.В. Характер сигнала оптической схемы квантового датчика вращения на основе ЯМР // Гироскопия и навигация. – 2018. – Т.26. – №1(100). – С. 93–106.
6. Шевченко А.Н., Кузьмин А.Г., Титов Ю.А. Масс-спектрометричекое измерение состава газовых смесей в ячейках квантового датчика вращения // Научное приборостроение. – 2015. – Т.25. – №1. – С.62–68.
7. Умарходжаев Р.М., Павлов Ю.В., Васильев А.Н. История разработки гироскопа на основе ядерного магнитного резонанса в России в 1960–2000-е годы // Гироскопия и навигация. – 2018. – Т.26. – №1(100). – С. 3–27.
8. Rabi I.I. et al. A new method of measuring nuclear magnetic moment // Physical Review. – 1938. – Т.53. – №4. – С. 318–327.
9. Литманович Ю.А., Вершовский А.К., Пешехонов В.Г. Гироскоп на основе явления ядерного магнитного резонанса: прошлое, настоящее, будущее // Материалы пленарного заседания 7-й Российской мультиконференции по проблемам управления ОАО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор». – 2014. – С. 35–42.
10. Шевченко А.Н., Захарова Е.А. Методика формирования требований к градиенту магнитного поля при определении метрологических характеристик ячеек ядерного магнитного гироскопа // Альманах научных работ молодых ученых университета ИТМО. XLVII научная и учебно-методическая конференция Университета ИТМО. СПб. – 2018. – С. 176–179
11. Вершовский А.К., Литманович Ю.А., Пазгалев А.С., Пешехонов В.Г. Гироскоп на ядерном магнитном резонансе: предельные характеристики // Гироскопия и навигация. – 2018. – Т.26. – №1. – С. 55–80. DOI 10.17285/0869-7035.2018.26.1.055-080.

УДК 53.06

СОЗДАНИЕ ВАН-ДЕР-ВААЛЬСОВЫХ ГЕТЕРОСТРУКТУР ИЗ ДВУМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ / FABRICATION OF VAN DER WAALS HETEROSTRUCTURES FROM TWO-DIMENSIONAL MATERIALS

Иванова Т.В.

Научный руководитель – Самусев А.К., кандидат физико-математических наук сотрудник Международного научно-исследовательского центра нанофотоники и метаматериалов

tatyana.ivanova@metalab.ifmo.ru

Nowadays, the process of creating materials with desired properties is one of the key factors in the development of modern semiconductor electronics and optoelectronics. Heterostructures, created by combining two or more materials with different electronic properties (e.g., insulating, semiconductor, and metallic) on the same substrate, are a central concept in modern electronics [1]. In nature, there are numerous layered materials whose layers are interconnected by a weak van der Waals (VdW) interaction (Fig.1). In the crystals in which atoms have strong covalent bonds in one direction and dangling bonds in another direction, strong anisotropy is created. This strong anisotropy allowed the isolation of single layers of crystals like graphite, hBN, and other materials, and then, the combination of materials with different bandgaps for the creation of VDW heterostructures.

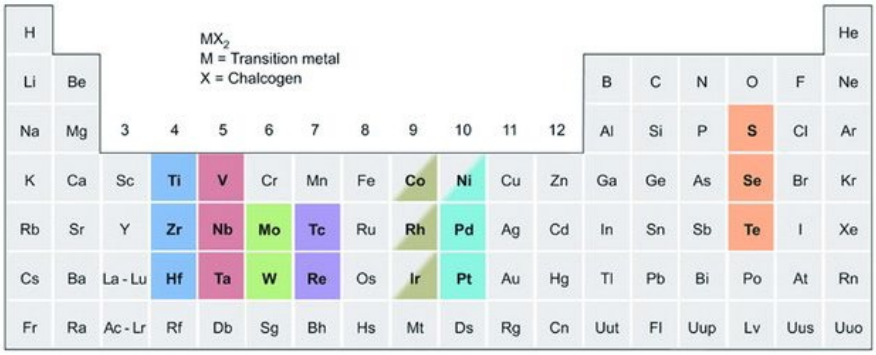


Figure 1 – There are about 40 different layered TMDs. In the periodic table, the transition metals and the three chalcogen elements that predominantly crystallize in those layered structures are highlighted [2]

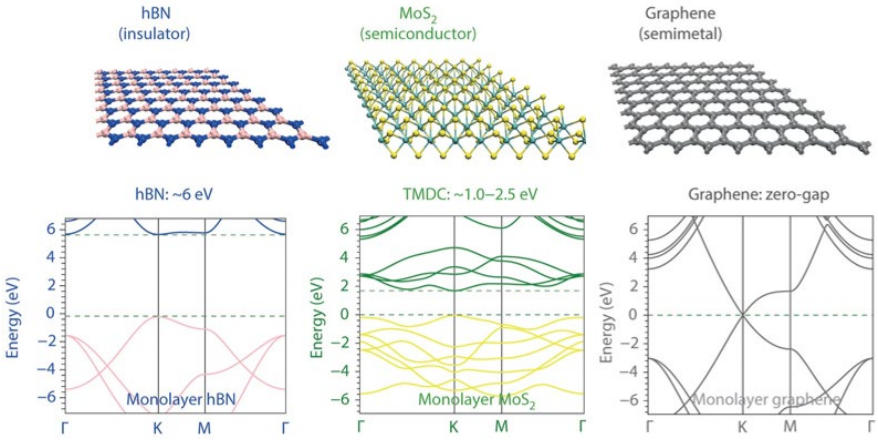


Figure 2 – The crystal structures of hexagonal boron nitride (hBN) insulator, transition metal dichalcogenides (TMDs) and graphene [2]

By combining materials with different band gaps (Fig.2), we obtain a VdW heterostructure with completely new optical and electrical properties. For example, a graphite crystal, which is a combination of single carbon layers [3].

In 2004, Andre Geim, Konstantin Novoselov et al. 12 were the first to obtain a high-quality graphite monolayer and study its properties in detail: they confirmed it to be one of the strongest, lightest and thinnest materials, and an excellent thermal and electrical conductor [4,5]. The significance of this discovery was quickly appreciated by the world scientific community, and in record time, just six years after the first experiments, the Nobel Prize was awarded to the discoverers of graphene.

The aim of this work is the creation of a novel hybrid structure by coupling TMD with photonic crystals. To achieve this goal, a technique for obtaining atomically thin layers by mechanical exfoliation was studied and a new inverted transfer setup was developed. The secondary task is the observation of superconductivity of high-temperature superconductor BSCCO, which was also obtained by mechanical exfoliation inside a glove bag system, which is a new approach to the challenge of transfer of the environmentally unstable 2D materials.

Scientists around the world are actively working on the transition from electronic to photonic devices. The latter are expected to be significantly faster and consume less power than the current electronics. However, the main challenge hindering the realization of photonic devices lies in the fact that photons, unlike electrons, interact poorly with each other. Exciton-polaritons, i.e. the photons that couple with excitons, could be the solution.

In this work, the potential of promising novel 2D materials for applications in photonics and electronics has been developed. For this purpose, we employed improved fabrication and measurement techniques. In particular, a versatile mechanical exfoliation technique allowed us to obtain extremely large-area monolayers for future coupling with photonic crystals and observation of exciton-polaritons.

We developed two transfer setups, one of which is a patented invention for transferring atomically thin layers on an inverted microscope with precise manipulation, and another is a glove box system maintaining oxygen, which is a novel approach to solve the problem of transfer of environmentally unstable 2D materials. I will clarify that all modern glove boxes filter oxygen.

We have experimentally confirmed that hBN encapsulation is crucial for exciton homogeneity and strain relaxation in TMDs, which makes it possible to integrate TMD monolayers with nanostructures. The use of polycarbonate and pure polymer methods enables the protection of TMDs from unwanted doping and observation of exciton lines with a linewidth of 1.8 meV, close to the homogenous residual linewidth of 1.7 meV, which is characteristic for samples with zero disorder, as we showed in Chapter 3.1.

We have used a specially designed inverted system to transfer the monolayer on top of a substrate. We have demonstrated a method to quantify transfer-induced strains and experimentally observe the spectral and intensity variations of photoluminescence across the transfer front in Chapter 3.2.

One of the goals of this work was to couple TMD with photonic crystals to observe exciton-polaritons, and the corresponding work is described in Chapter 3.3. High-quality sample of TMD combined with a photonic crystal cavitiy allowed us to observe that the coupling of an optical bound state in the continuum in a photonic cavity with excitons in TMD creates exciton-polaritons with a Rabi splitting of 27 meV. Then, we experimentally confirmed the appearance of unidirectional spin-polarized edge states in topological metasurfaces integrated with $MoSe_2$ and WSe_2 in Chapter 3.3.

Research in the field of exciton-polaritons opens new possibilities for creating highly sensitive nonlinear optical switches, which, in addition to the response to the magnitude of the applied intensity, have an additional degree of freedom – angle of incidence of light. Further studies of the exciton in the high-field regime may reveal exciting new phenomena.

The secondary task of this work was to observe the superconductivity of a high-temperature superconductor BSCCO. In the course of the work on superconductivity, the temperature of the superconducting transition of a bulk BSCCO crystal was measured experimentally, which is shown in Chapter 3.4. To study atomically thin layers, a new encapsulation approach has been developed for the production of stable layers in a controlled atmosphere, in which both the encapsulation and electrical contact with a two-dimensional layer are simultaneously achieved.

All the presented results demonstrate a huge potential of 2D materials as a platform for studying solid-state physics and integration into optoelectronic devices, which makes the obtained experimental results promising for the development of photonic quantum circuits.

Soon, such devices could be implemented in flexible quantum optoelectronics, and not only quantum computers, but also quantum smartphones could appear in our everyday lives, operating with quantum-protected streams of single photons for transmitting and processing information.

References

1. Novoselov K.S. et al. Two-dimensional atomic crystals // Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A. – 2005. – V.102. – №30. – Pp. 10451–10453. DOI: 10.1073/pnas.0502848102.
2. Chhowalla M., Shin H.S., Eda G., Li L., Loh K.P., Zhang H. The chemistry of two-dimensional layered transition metal dichalcogenide nanosheet s // Nat. Publ. Gr. – 2013. – V.5. – №April. DOI: 10.1038/nchem.1589.
3. Geim A.K., Grigorieva I.V. Van der Waals heterostructures // Nature. – 2013. – V.499. – №7459. – Pp. 419–425. DOI: 10.1038/nature12385.
4. Zhang Y., Tan Y.W., Stormer H.L., Kim P. Experimental observation of the quantum Hall effect and Berry's phase in graphene // Nature. – 2005. – V.438. – №7065. – Pp. 201–204. DOI: 10.1038/nature04235.
5. Novoselov K.S., Geim A.K., Morozov S.V., Jiang D., Zhang Y., Dubonos S.V., Grigorieva I.V., Firsov A.A. Electric Field Effect in Atomically Thin Carbon Films // Science. – 2016. – V.306. – №5696. – Pp. 666–669.

УДК 535.317, 628.974

РАЗРАБОТКА И АНАЛИЗ СВЕТОДИОДНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ПРОЕКТА ОСВЕЩЕНИЯ ПАРКОВОГО ПРОСТРАНСТВА

Козлова О.К.

Научный руководитель – Романова Г.Э., доцент, кандидат технических наук, доцент института "Высшая инженерно-техническая школа", ведущий инженер физического факультета

okk812@mail.ru

Ключевые слова

Кривая силы света, освещение паркового пространства, светодиодная система, проектирование оптических систем, угол раскрытия светового потока.

Парки Санкт-Петербурга являются неотъемлемой частью облика города, зеленые насаждения составляют практически 40% от всей территории города. Однако, при анализе световой среды городских парков была обнаружена проблема отсутствия достаточного освещения на пешеходных аллеях.

Требования к освещенности, создаваемой на пешеходных аллеях, устанавливает ГОСТ Р 55706–2013 «Освещение наружное утилитарное. Классификация и нормы» [1] и СП 52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение» [2]. Согласно данным нормативным документам для пешеходных аллей парковых пространств устанавливаются значения средней освещенности $\bar{E}_h$ (не менее 6 Лк) и ее равномерность U_h на дорожном покрытии (не менее 0,2). В данном случае равномерность освещенности определяется как отношение минимального значения освещенности к среднему.

Для анализа осветительных систем было смоделировано парковое пространство с пешеходной аллеей в программе DIALux Evo. На данной аллее светильники устанавливались с учетом строительных норм [3] – соотношение расстояния между светильниками к высоте подвеса было выбрано 3:1 (расстояние между светильниками – 12 м, высота подвеса – 4 м).

Для освещения уличных пространств применяются светильники с широкой (типа Ш) и полуширокой (типа Л) кривыми силы света для обеспечения равномерной освещенности, которые характеризуются углом раскрытия 2α. Для определения оптимальных характеристик светильника была рассчитана теоретическая кривая силы света, обеспечивающая достижение требуемого значения освещенности и равномерности освещенности. Светильник с полученным теоретическим распределением был установлен в проект в программе DIALux evo, где были получены следующие характеристики: равномерность освещенности – 0,31, средняя освещенность – 6,5 Лк. Используемое программное обеспечение позволяет также оценить параметр слепимости, который описывает, насколько данная сцена будет комфортна с точки зрения освещения для человека. Для светильника с рассчитанным распределением был получен высокий параметр слепимости. Для уменьшения данной характеристики кривая силы света была скорректирована с учетом достижения минимально допустимой равномерности освещенности. При установке в проект осветительного прибора со скорректированной кривой силы света был получен меньший параметр слепимости, при этом средняя освещенности и равномерность освещенности удовлетворяют требованиям. На рисунке 1 представлены полученные кривые силы света.

В дальнейшем для анализа полученных систем использовался такой критерий как отклонение кривой силы света от теоретической.

Для пешеходной аллеи наиболее рациональным является использование осветительных приборов с широкой кривой силы света, так как это позволит сократить необходимое количество фонарей, установленных на аллее. Проектирование оптики для осветительной системы осуществлялось при помощи программы OpticStudio. В качестве источника освещения при моделировании был использован светодиод фирмы «Osram» KW C3L5L1.TE с

углом излучения $2\theta_{1/2}$= 120° и световым потоком 1170 Лм [4], подобранный по итогам энергетического расчета и анализа возможных источников света.

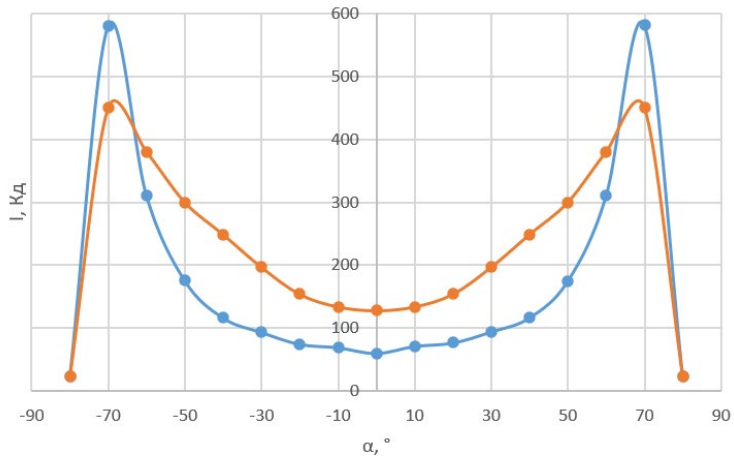
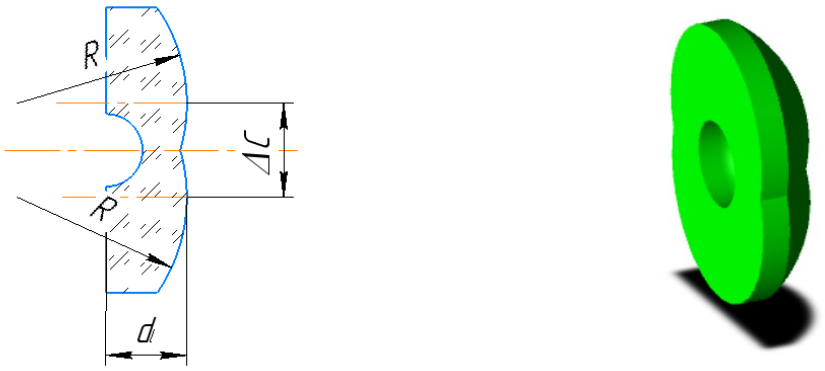


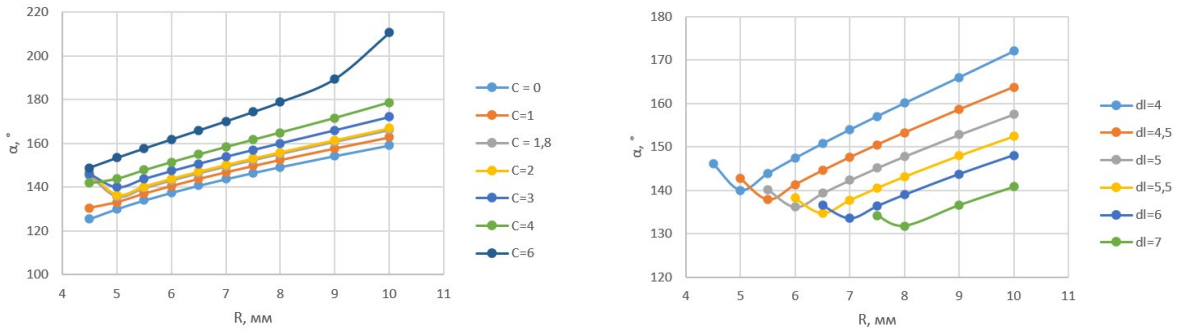
Рис. 1 – Рассчитанные кривые силы света (синяя – исходная, красная – скорректированная)

В качестве линзы для оптической системы рассматривались линзы различной конструкции. Оптимальной конструкцией стала линза, полученная как композиция двух плоско-выпуклых линз, смещенных относительно центра с дополнительным отверстием для установки светодиода. Вид данной линзы представлен на рисунке 2.



а б

Рис. 2 – Вид системы: а) параметры профиля; б) 3D модель



а б

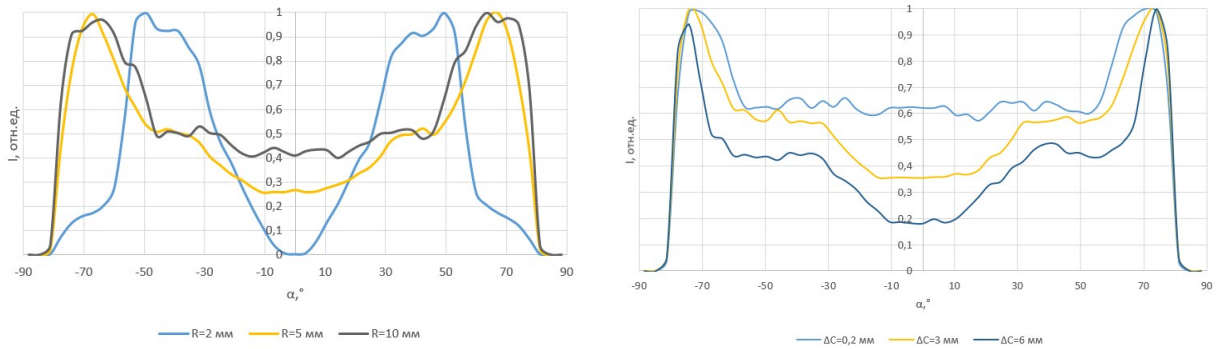
Рис. 3 – График зависимости угла раскрытия светового потока от радиуса кривизны R при а) различных ΔC; б) различной толщине dl

Для выбора оптимальных конструктивных параметров линзы была разработана математическая модель прохождения луча через линзу такого типа, реализованная в виде алгоритма в среде MathCAD. Исходными данными для расчета служат конструктивные параметры линзы и исходные данные трассируемого луча, а итогом работы алгоритма

является угол выхода луча из линзы. Реализованный алгоритм позволяет достаточно быстро подобрать конструктивные параметры линзы для обеспечения требуемого угла раскрытия. На рисунке 3 представлены графики зависимости угла раскрытия светового потока от радиуса кривизны линзы R при различных значениях смещения линз относительно друг друга ΔC (рис.3,а) и толщины линзы d_l (рис.3,б).

Из полученных графиков видно, что для получения наибольшего угла раскрытия следует брать большой радиус кривизны поверхности линзы, большое смещение и малую толщину линзы. При этом наименьшее влияние на изменение угла оказывает изменение смещения линз относительно друг друга.

Для более детального анализа этого типа системы наиболее перспективные варианты, отобранные на этапе теоретического анализа, были смоделированы в программе OpticStudio. На рисунке 4 представлены зависимости кривых силы света от конструктивных параметров линз.



а б

Рис. 4 – Кривые силы света для различных значений: а) радиуса кривизны при ΔC = 3 мм, d = 4 мм; б) смещения линз при R = 6 мм, d = 4 мм

Из полученных зависимостей видно, что для изменения угла раскрытия светового потока системы следует изменять радиус кривизны линзы, а для коррекции неравномерности освещенности следует изменять смещение линз, так как данный параметр влияет на величину силы света.

Анализ влияния различных конструктивных параметров на величину угла раскрытия показал, что для достижения результата, близкого к теоретической кривой силы света, необходимо брать величину радиуса кривизны от 5 до 8 мм, так как для этих случаев угол раскрытия наибольший, и величину смещения от 2 до 5 мм, так как для данных значений распределение освещенности достаточно равномерное. Таким образом, в качестве конструктивных параметров системы были взяты значения: радиус кривизны – 6 мм, смещение линз относительно друг друга – 3 мм. Вид такой линзы представлен на рисунке 5.

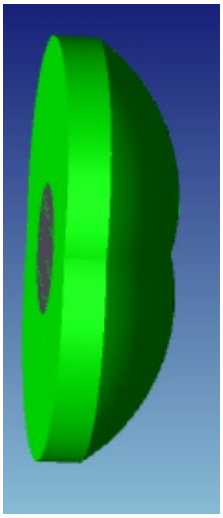
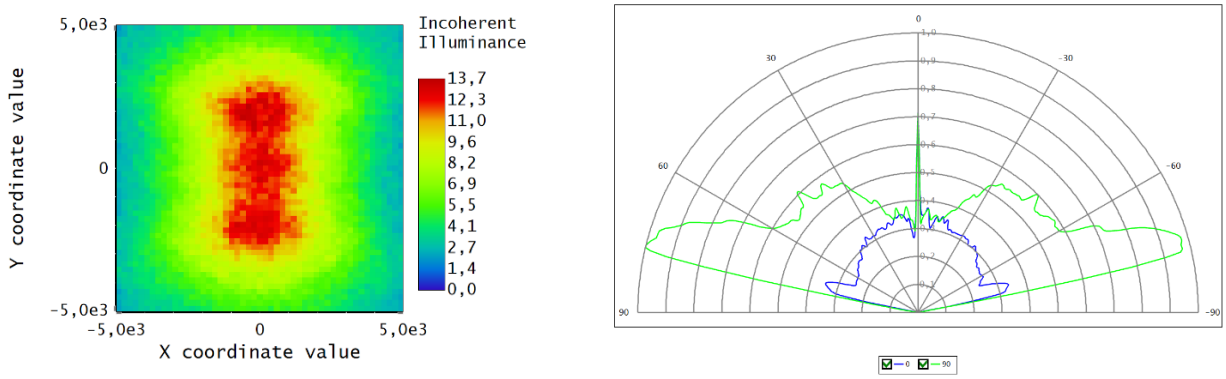


Рис. 5 – Разработанная линза

Распределение освещенности на приемнике, расположенном на расстоянии L = 4000 мм и кривая силы света для данной системы представлены на рисунке 6.



а б

Рис. 6 – Распределение освещенности системы (а) и кривая силы света (б)

Эффективность данной системы достигает 76%. Отклонение полученной кривой силы света от теоретически рассчитанной составило 0,914%.

Для анализа светотехнических характеристик, которые будут достигаться на пешеходной аллее, данная система была установлена в проекте в программе DIALux Evo.

При шахматном расположении светильников средняя освещенность достигает значения 7,54 Лк, равномерность освещенности – 0,37. Также для данной системы был получено небольшое значение параметра слепимости, удовлетворяющее требованиям, предъявляемым к подобным светильникам. Следует отметить, что и при прямом расположении светильников все характеристики также удовлетворяют требованиям. Вид аллеи при шахматном расположении светильников представлен на рисунке 7.

а б

Рис. 7 – а) вид пешеходной аллеи; б) результаты расчета освещенности аллеи в фиктивных цветах

В ходе работы были проанализированы существующие системы садово-парковых светильников, рассчитаны требования к характеристикам системы, получена теоретическая кривая силы света, с учетом требований к параметру слепимости. Также были рассмотрены зависимости характеристик системы от конструктивных параметров линзы, смоделированной как композиция двух плоско-выпуклых линз, смещенных друг относительно друга. На основании полученных зависимостей была выбрана итоговая конструкция линзы, работа системы с итоговой линзой была смоделирована в рабочих условиях, где были получены характеристики, которые удовлетворяют требованиям.

Список использованной литературы

1. ГОСТ Р 55706-2013. Освещение наружное утилитарное. Классификация и нормы. – М.: Стандартинформ, 2014. – 12 с.
2. СП 52.13330. Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95 – М.: Изд-во стандартов, 2011. – 74 с.
3. СН 541–82. Инструкция по проектированию наружного освещения городов, поселков и сельских населенных пунктов. – М.: ФГУП ЦПП, 2004. – 25 с.
4. Osram Opto Semiconductors. [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://www.osram.ru/cb (дата обращения: 20.03.2022).

УДК 541.64

ИССЛЕДОВАНИЕ НЕКОТОРЫХ ЛИЗИНСОДЕРЖАЩИХ ДЕНДРИМЕРОВ И ИХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ С ЛЕКАРСТВЕННЫМИ ПЕПТИДАМИ

Михтанюк С.Е.

Научный руководитель – Неелов И.М., доктор физико-математических наук, профессор центра химической инженерии

mikhtanyuk@mail.ru

Ключевые слова

Пептидные дендримеры, полимерные мицеллы, регуляторные пептиды, компьютерное моделирование, метод молекулярной динамики, метод самосогласованного поля.

В настоящее время создание специализированных систем целевой доставки лекарств и генов является одним из наиболее перспективных направлений фармацевтики и биомедицины. К таким системам относятся, например, различные сополимеры, дендримеры, липосомы, мицеллы, наночастицы, и др. Все эти системы предназначены также для защиты лекарственного препарата от разложения в процессе доставки и для защиты нецелевых органов от возможного токсичного воздействия лекарства. Такие системы должны быть биосовместимыми и биоразлагаемыми для применения в организме. Пептидные дендримеры и дендроны, содержащие лизиновые аминокислотные остатки, удовлетворяют всем этим требованиям.

Дендримеры, дендроны и гибридные молекулы на их основе [1] представляют собой регулярно разветвленные макромолекулы со сложной химической структурой и архитектурой [2]. Дендримеры и дендроны обладают центральным ядром, ветвящимися повторяющимися звеньями и концевыми группами, которые могут быть функционализированы. Одним из преимуществ дендримеров перед другими носителями лекарственных средств является возможность контролируемого синтеза этих молекул, приводящего к их ассоциации и самоорганизации в различные пространственные структуры. Недавно были синтезированы также молекулы ПАВ с лизиновым дендроном и гидрофобным хвостом [3]. Из таких гибридных молекул были получены мицеллы, в которые могут быть загружены лекарственные молекулы.

Целью данной работы является изучение структуры новых дендримеров Lys-2Lys (однобуквенное обозначение – K2K) и Lys-2Gly (K2G) на основе лизина и их комплексов с молекулами лекарственного пептида Ala-Glu-Asp-Gly (AEDG) с помощью метода молекулярной динамики, а также исследование самоорганизации сложных гибридных линейно-дендронных молекул, состоящих из одного лизинового дендрона и двух или более гидрофобных хвостов, численным методом самосогласованного поля.

Задачи:

1. Построение начальных конформаций рассматриваемых дендримеров и их систем с пептидами AEDG в воде, а также топологий гибридных молекул.
2. Численный расчет траекторий дендримеров и пептидов в водном растворе методом молекулярной динамики, а также мицелл методом самосогласованного поля.
3. Получение мгновенных снимков дендримеров и пептидов в процессе формирования дендример-пептидного комплекса.
4. Расчет средних размеров, состава и внутренней структуры комплексов дендримеров с пептидами и мицелл.

Материалы и методы

Первая часть работы была посвящена дендримерам K2K и K2G и их системам с 16 пептидами AEDG. Химическая структура дендримера с двойными вставками лизина

представлена на рисунке 1. Строение дендримера с двойными вставками глицина отличается отсутствием боковых групп, выделенных фиолетовым цветом.

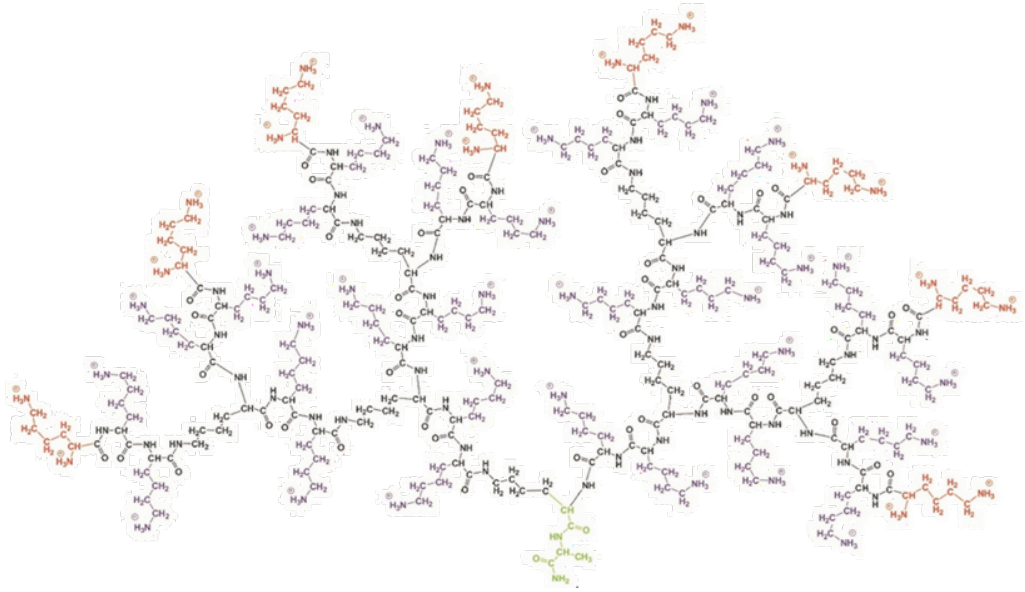


Рис. 1 – Молекулярная структура дендримера Lys-2Lys (K2K) в условиях низкого pH. Ядро окрашено в зеленый цвет, остов – в черный, R-группы аминокислот во вставках – в фиолетовый, концевые сегменты – в красный.

Модели дендримеров были построены с помощью пакета программ MaterialStudio. Начальные конформации молекул пептидов были заданы с помощью молекулярного редактора AVOGADRO. Характеристики исследуемых систем представлены в таблице.

Таблица

Характеристики исследуемых систем

Система	M (г/моль)	N_{Cl}	N_{Na}	N_{H2O}	a_{cell} (нм)
K2K+16AEDG	11908,52	44	32	23221	9
K2HP+16AEDG [4]	12159,68	44	32	23238	9
K2G+16AEDG	9888,82	16	32	23362	9

Во второй части работы были рассмотрены системы самосборки гибридных молекул на основе одного лизинового дендрона и нескольких гидрофобных хвостов, погруженные в водный раствор с ионами соли при комнатной температуре. На рисунке 2 представлена модель объединенных атомов, предложенная для описания гибридных молекул на основе лизиновых дендронов с линейными углеводородными хвостами. Эта модель включает только тяжелые атомы, легкие атомы водорода объединяются в группу с соответствующим тяжелым атомом. Результаты для мицелл, состоящих из гибридных молекул с одним гидрофобным хвостом, были получены ранее и используются здесь только для сравнения [1].

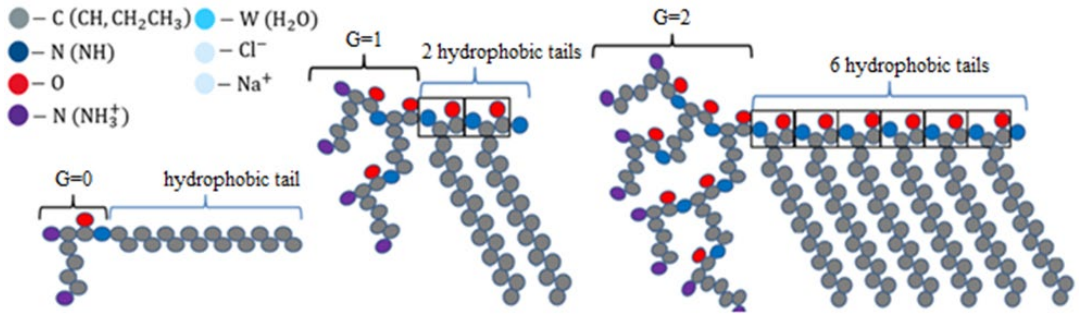


Рис. 2 – Схематические модели гибридных линейно-дендронных молекул: с лизиновым дендроном G = 0 и одним гидрофобным хвостом [1], с лизиновым дендроном G = 1 и двумя хвостами, с лизиновым дендроном G = 2 и шестью хвостами

Для исследования дендример-пептидных систем применялся метод молекулярной динамики. Этот метод заключается в численном решении классических уравнений движения Ньютона. Моделирование всех систем проводилось с помощью пакета программ GROMACS и одного из самых современных силовых полей – AMBER. Потенциальная энергия этого силового поля включает энергии валентных связей и углов, двугранных углов, Ван-дер-Ваальсовых и электростатических взаимодействий. Процесс мицеллообразования исследовался методом самосогласованного поля. Все симуляции были выполнены с использованием программного пакета sfbox.

Оценки характеристик, исследованных в первой части работы систем, проводились с помощью стандартных функций пакета GROMACS и дополнительно разработанных в работе программ. Для оценки размеров систем был рассчитан мгновенный радиус инерции как функция от времени Rg(t) (рис.3) и было показано, что размеры комплексов двух первых более заряженных дендримеров быстро выходят на плато, близки по значению между собой и равны размерам дендримеров в соответствующих комплексах, в то время как размеры менее заряженного «комплекса» сильно колеблются и не выходят на плато. Другой величиной, которая может характеризовать процесс образования комплекса, является мгновенное число водородных связей N(t) между дендримером и пептидами. Это число показывает, насколько прочно пептиды связаны с дендримерами. Среднее число водородных связей в равновесном состоянии для двух первых комплексов довольно велико (45 и 59, соответственно), а для третьего равно 20, что примерно в 2 – 3 раза меньше.

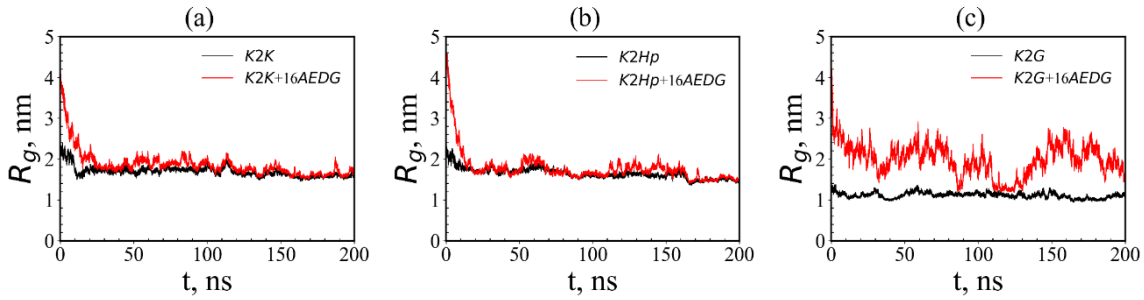


Рис. 3 – Зависимости от времени радиуса инерции Rg(t): а) комплекса K2K с 16 пептидами – красная кривая и K2K в комплексе K2K+16AEDG – черная кривая;
б) комплекс K2Hp с 16 пептидами – красная кривая и K2Hp в комплексе K2Hp+16AEDG [4] – черная кривая; в) комплекс L2G с 16 пептидами – красная кривая и K2G в комплексе K2G+16AEDG – черная кривая

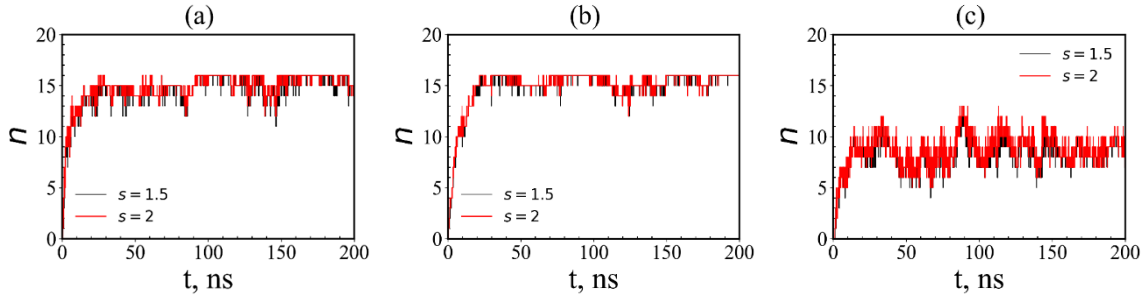


Рис. 4 – Зависимости количества тетрапептидов в комплексах от времени:
а) Lys-2Lys + 16AEDG; б) Lys-2Hisp + 16AEDG [4]; с) Lys-2Gly +16AEDG
(два разных значения расстояний = 1,5 и 2 используются в качестве локального критерия для определения того, близок ли какой-либо атом данной молекулы пептида к какому-либо атому дендримера или нет)

На рисунке 4 представлены мгновенные значения числа молекул тетрапептида в комплексах с дендримерами Lys-2Lys, Lys-2Hisp и Lys-2Gly в различные моменты времени. После достижения рассматриваемыми системами равновесного состояния среднее число пептидов в первых двух комплексах с более заряженными дендримерами близко друг к другу (около 16), в то время как в менее заряженном дендримере это число почти вдвое меньше.

Таким образом, эти и другие рассчитанные в работе характеристики комплексов показывают, что первые два более заряженные дендрииера образуют стабильные комплексы с большим числом лекарственных пептидов AEDG, чем более гибкий, но менее заряженный дендример.

Во второй части работы проводилось моделирование мицелл на основе лизиновых дендронов. На рисунке 5 представлены величины большого термодинамического потенциала, необходимые для образования мицелл, в зависимости от числа агрегации g для ПАВ, состоящих из заряженных дендронов поколений G = 0,1,2,3,4 и N = 1,2,4 линейных гидрофобных хвостов. Из полученных результатов следует, что качественное различие в характере поведения кривых большого термодинамического потенциала усиливается с увеличением количества гидрофобных хвостов.

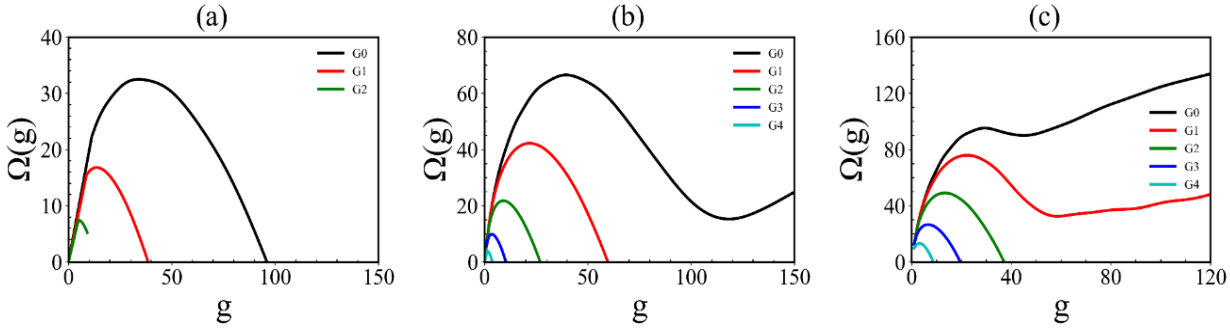


Рис. 5 – Зависимость большого термодинамического потенциала Ω от агрегационного числа g для моделей с: а) 1 хвостом; б) 2 хвостами; в) 4 хвостами.
Во всех случаях расчеты проводились при концентрации соли 0,1 М

Для изучения равновесной структуры мицелл используется функция радиального распределения объемной доли различных компонент относительно центра мицеллы (рис.6). Изменение формы радиального профиля с количеством хвостов невелико, но размер мицеллы увеличивается с увеличением длины хвостов. Количество молекул в сферической мицелле с одинаковым поколением дендронов увеличивается с увеличением длины хвоста и количества гидрофобных хвостов (рис.6).

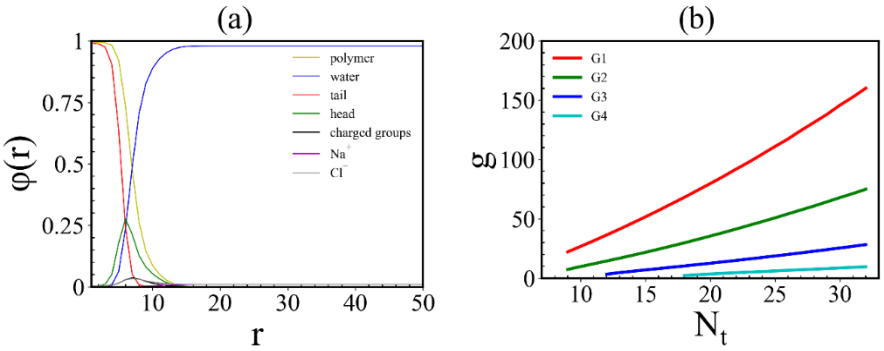


Рис. 6 – Радиальные профили (а) и число агрегации g (б) в зависимости от концентрации соли для сферических мицелл, состоящих из ПАВ с двумя хвостами длиной 16, с учетом постоянной концентрации соли 0,1 М и длины хвоста 16 при Ω≈5 kBT

Выводы

1. Впервые методами молекулярной динамики и самосогласованного поля были изучены комплексы новых пептидных дендримеров на основе лизина Lys2Lys и Lys2Gly с короткими пептидами и сферические мицеллы (состоящие из гибридных молекул дендрона на основе лизина с несколькими алкильными хвостами).
2. Получено, что Lys-2Lys и изученные ранее Lys-2Hisp дендримеры с заряженными вставками 2Lys и 2Hisp и общим зарядом +44 образуют комплексы почти со всеми (15–16) молекулами пептида AEDG. Молекулы AEDG имеют много водородных связей с этими дендримерами и могут проникать глубоко в их внутреннюю часть.

3. Показано, что дендримеры Lys-2Gly с нейтральными вставками 2Gly и общим зарядом дендримеров, равным 16, образуют комплекс только с 8 из 16 молекул AEDG. Молекулы AEDG имеют значительно меньше водородных связей с дендримером Lys-2Gly, чем с дендримерами, содержащими заряженные вставки, и не могут проникать внутрь, оставаясь в основном на поверхности дендримера Lys-2Gly.
4. Продемонстрировано, что исследованные методом самосогласованного поля сферические мицеллы из гибридных линейно-дендронных молекул с несколькими гидрофобными хвостами имеют сухое ядро и плотную корону. Показано, что размер и внутреннюю структуру мицелл, состоящих из гибридных молекул с лизиновыми дендронами поколения 0–4 можно регулировать, меняя число и длину гидрофобных хвостов.

Список использованных источников

1. Shavykin O.V., Leermakers F.A.M., Neelov I.M., Darinskii A.A. Self-assembly of lysine-based dendritic surfactants modeled by the self-consistent field approach // Langmuir – 2018. – V.34. – №4. – Pp. 1613–1626.
2. Tomalia D.A., Fréchet J.M.J. Discovery of dendrimers and dendritic polymers: A brief historical perspective // Journal of Polymer Science Part A: Polymer Chemistry. – 2002. – V.40. – №16. – Pp. 2719–2728.
3. Mirsharghi S., Knudsen K.D., Bagherifam S., Nyström B., Boas U. Preparation and Self-Assembly of Amphiphilic Polylysine Dendrons // New J. Chem. –2016. – V.40. – Pp. 3597–3611.
4. Bezrodnyi V.V., Mikhtaniuk S.E., Shavykin O.V., Neelov I.M., Sheveleva N.N., Markelov D.A. Size and Structure of Empty and Filled Nanocontainer Based on Peptide Dendrimer with Histidine Spacers at Different pH // Molecules – 2021. – V.26. – №21. – Pp. 6552.

УДК 004.622, 004.942

РАЗРАБОТКА МЕТОДА ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДАННЫХ ГОРОДСКОГО КОНТЕКСТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГЕОПРОСТРАНСТВЕННОЙ ИНФОРМАЦИИ

Мишина М.Э.

Научный руководитель – Митягин С.А., кандидат технических наук, директор Института дизайна и урбанистки, старший научный сотрудник национального центра когнитивных разработок, старший научный сотрудник исследовательского центра в сфере искусственного интеллекта "Сильный искусственный интеллект в промышленности"

marg.mished@gmail.com

Ключевые слова

Восстановление данных, неполные данные, городские данные, геопространственная информация, модели регрессии и классификации.

Полная и точная информация о городских объектах является основой создаваемых интегрирующих систем управления городом и во многом определяет эффективность принимаемых решений. Однако параллельные процессы инвентаризации городского хозяйства и мониторинга параметров городской среды, осуществляемые различными ведомствами при ведении собственных бизнес-процессов, неизбежно приводят к ошибкам при объединении имеющихся разрозненных данных и порождают проблему неполноты и неточности используемой информации. Наиболее часто проблема отсутствия полной и актуальной информации о городской среде освещается в разрезе социологических опросов [1]. В других исследованиях вопрос обработки неполных данных рассматривается относительно определенных типов городских объектов или в отношении укрупненных показателей для всего города с учетом установленных паттернов [2]. Результатов в данной области добились исследователи Международной лаборатории сетевого анализа Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики» [3], факультета компьютерных наук и телекоммуникаций Института транспорта и связи в Латвии [4] и факультета инженерии и информационных технологий Технологического университета Сиднея [5]. Однако на данный момент разработанные научные методы восстановления недостающих данных не позволяют в полной мере учитывать специфику городских данных — наличие различных взаимосвязей между признаками, описывающими свойства городских объектов, в том числе их зависимость от положения объекта в городском пространстве.

Городские данные представляют информацию об объектах городской среды — элементах благоустройства, дорогах, зданиях, кварталах и др., включая сведения об их расположении и семантических свойствах, в которых часто наблюдаются различные взаимосвязи. Все объекты городской среды привязаны к местности через их географические координаты. В научной литературе зависимость семантических свойств объектов и явлений от их локализации в пространстве описывается позиционным принципом, выдвинутым Б.Б. Родоманом. Данный принцип отчетливо отражается в территориальном зонировании городов. Геопространственная информация, помимо явного представления в виде последовательности координат, после преобразований и расчетов выражается в новых производных семантических признаках, например, представляющих семантическую информацию об окружении объекта.

Учитывая существующую специфику предметной области, разработанный метод включает: этап извлечения новых признаков из геопространственной информации и этап выявления оптимальной математической модели, наиболее точно описывающей взаимосвязи, существующие как в исходных, так и в производных признаках объектов. На данном этапе преобразование геопространственной информации предполагает дополнение исходного набора признаков агрегированной информацией о соседних объектах. Поиск соседних объектов осуществляется по формуле 1.

$$kNN(q) = \{R \subseteq X,\ |R| = k \cap \forall x \in R,\ y \in X - R : d(q,x) \le d(q,y),\ d(q,x) \le r\}, \qquad (1)$$

где X – множество всех объектов в наборе данных; k – количество искомых соседей; q – исходный объект, для которого осуществляется поиск соседей; d – функция расстояния; r – заданный радиус поиска соседей.

Для каждого признака, содержащего неизвестные значения в исходном наборе данных, подбор оптимальной модели осуществляется при обучении по прецедентам различных алгоритмов (случайные леса, градиентный бустинг и др.). Настройка гиперпараметров применяемых алгоритмов для прогнозирования неизвестных значений признака производится по алгоритму решетчатого поиска с последовательным сокращением вдвое комбинаций гиперпараметров. Данный алгоритм основан на периодическом сокращении малоэффективных моделей и сохранении вычислительных ресурсов для более перспективных. Оценка моделей производится методом k-блочной перекрестной проверки. В качестве функций потерь для моделей регрессии используется среднеквадратическая ошибка, а для моделей классификации – логистическая функция.

Разработанный метод поддерживает восстановление многомерных недостающих данных, когда в исходном наборе значения отсутствуют более чем в одном признаке. В таком случае прогнозирование неизвестных значений производится итеративно для каждого признака, принимаемого за зависимую переменную. Поскольку не все машинные алгоритмы показывают корректные результаты при обучении и прогнозировании по неполным данным, предварительно, если пропуски в независимых переменных еще не были заполнены прогнозными значениями, на их местах инициализируются начальные значения – средневзвешенные по удаленности значения других объектов из набора, рассчитанные по формуле 2. Для алгоритмов прогнозирования, имеющих стохастическую составляющую, прогнозирование неизвестных значений осуществляется несколько раз, а полученные результаты усредняются. Множественные вычисления позволяют учитывать неопределенность восстанавливаемых значений.

$$x_{init}^{t} = \frac{\sum_{i=1}^{k-1} w_i \cdot x_i^t}{\sum_{i=1}^{k-1} w_i},\ w_i = \frac{1}{d}, \qquad (2)$$

где $x_{init}{}^{m}$ – вычисляемое начальное значение объекта по признаку t; $x_i{}^{m}$ – исходное значение иного объекта по признаку t; w_i – коэффициент удаленности объекта; k – количество объектов в наборе; d – евклидово расстояние между объектами.

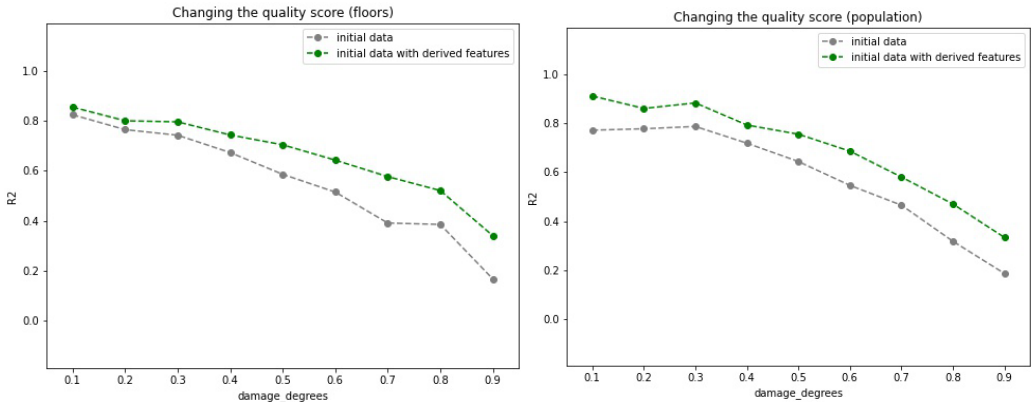


Рис. 1 – Сравнение коэффициентов детерминации, полученных при восстановлении данных с использованием производных признаков (зеленая линия) и без производных признаков (серая линия)

Тестирование разработанного метода осуществлялось на наборе данных, содержащем сведения о жилых зданиях г. Санкт-Петербург. Моделирование пропусков в собранных данных производилось путем случайного удаления значений в признаках. Степень

поврежденности входного набора данных определялась процентом «посеянных» пропусков по каждому признаку и находилась в диапазоне от 10% до 90% с шагом в 10%. Результаты проведенных экспериментов показали, что использование представленного метода позволяет восстанавливать значения с точностью выше 80% при степени поврежденности входного набора данных до 30%. При этом было установлено, что дополнение исходного набора данных производными признаками, полученными на основании геопространственной информации, повышает точность восстанавливаемых значений на 3 – 10% (рис.1). Разработанный метод также показал наибольшую эффективность в сравнении с двумя альтернативными решениями, доступными специалисту прикладной области (рис.2).

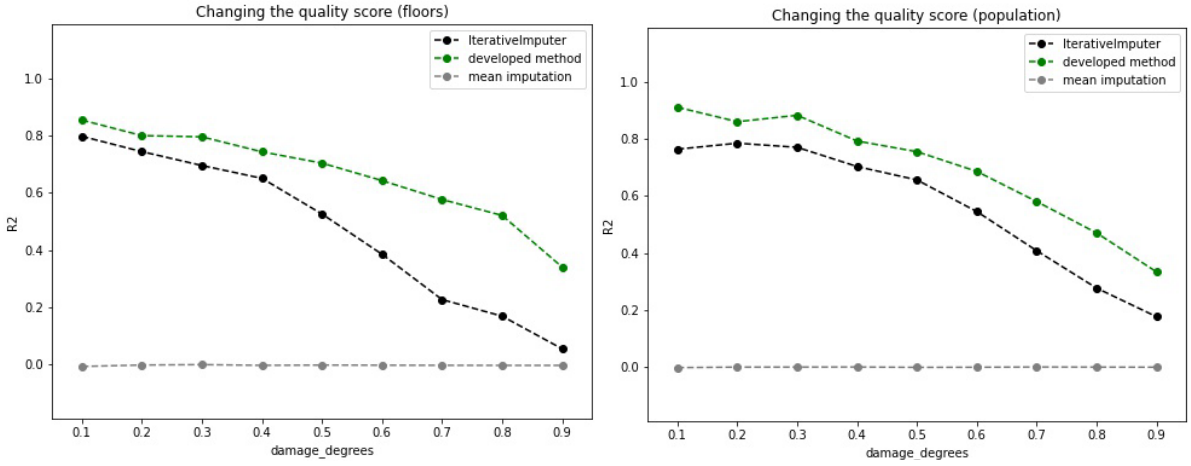


Рис. 2 – Сравнение методов восстановления данных (зеленая линия – разработанный метод, черная линия – метод библиотеки scikit-learn, серая линия – заполнение неизвестных значений средним)

Следует отметить, что на данном этапе представленный метод не позволяет делать уверенных суждений относительно значений признаков для отдельно взятых объектов, однако дает возможность получать корректные агрегированные показатели по территориальным единицам и формулировать достоверные статистические выводы при выработке решений в области управления и оптимизации городских процессов. В дальнейших исследованиях планируется провести эксперименты, направленные на повышение точности восстанавливаемых значений за счет выявления новых взаимосвязей, существующих в городских данных. Отдельным направлением работ будет являться анализ возможности использования разработанного метода для решения проблемы неточности информации о городских объектах путем пересчета всех имеющихся значений признаков.

Список использованных источников

1. Curley C. et al. Dealing with missing data: A comparative exploration of approaches using the integrated city sustainability database // Urban affairs review. SAGE Publications Sage CA: Los Angeles, CA. – 2019. – V.55. – №2. – Pp. 591–615.
2. Boiko D. et al. Approaches to Analysis of Factors Affecting the Residential Real Estate Bid Prices in Case of Open Data Use // International Conference on Electronic Governance and Open Society: Challenges in Eurasia. – 2019. – Pp. 360–375.
3. Зангиева И.К., Сулейманова А.Н. Подходы к агрегированию результатов множественного заполнения пропусков: сравнительный анализ // Социология: методология, методы, математическое моделирование (Социология: 4М). – 2016. – №42. – Pp. 7–60.
4. Yatskiv I., Pticina I. Algorithm of the choice of the missing data imputation method for the urban public transport system quality indicator construction // Proceeding New Techniques and Technologies for Statistics (NTTS 2011) – 2011.
5. Gong Y. et al. A spatial missing value imputation method for multi-view urban statistical data // Proceedings of the Twenty-Ninth International Conference on International Joint Conferences on Artificial Intelligence – 2021. – Pp. 1310–1316.

УДК 004.056

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ВЫЯВЛЕНИЯ МОШЕННИЧЕСКИХ ТРАНЗАКЦИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА МОДЕЛЕЙ ПОВЕДЕНИЯ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ

Федосенко М.Ю.

Научный руководитель – Менщиков А.А., кандидат технических наук, доцент факультета безопасности информационных технологий, старший научный сотрудник мегафакультета компьютерных технологий и управления, директор учебно-практического центра - Киберполигон

fedosenkomaksim98@gmail.com

Работа выполнена в рамках следующих НИР: 52071 «Интеллектуальные технологии обеспечения кибербезопасности организаций банковской сферы», 51205 «Разработка экспериментальных образцов программных компонентов для обеспечения кибербезопасности информационных технологий», 620164 «Методы искусственного интеллекта для киберфизических систем».

Ключевые слова

Финансовое мошенничество, социальная инженерия, машинное обучение, большие данные, транзакции.

В современных реалиях в области информационной безопасности по-прежнему не теряет актуальность тематика противодействия мошенничеству. Мошенничество, как действие, направленное на завладение чужими материальными и нематериальными ценностями обманным путём, имеет место быть во всех сферах жизни общества. Что касается области информационной безопасности, то одним из её направлений является социальная инженерия и действия злоумышленников при использовании данных методов. Использование социальной инженерии даёт большие возможности на осуществление незаконных действий, воздействуя на человеческий фактор при использовании различных психологических приёмов и технических средств.

Что касается банковской сферы – то задача информационной безопасности заключается не только в обеспечении целостности, доступности, конфиденциальности обрабатываемой информации, но и сохранении денежных средств и ценных бумаг, находящихся в обороте, а также разработке инженерно-технических средств защиты информационных систем. Что касается сохранения денежных средств пользователей банковскими услугами – то одной из важнейших задач по достижению цели является разработка систем противодействия мошенничеству в сфере платежей, а также обеспечение возможности предотвращения мошеннических действий до этапа их реализации.

Постепенно происходит интеграция систем противодействия мошенничеству с искусственным интеллектом и машинным обучением. В развитии данной отрасли большую роль играет разработка моделей искусственного интеллекта, обеспечивающих высокое качество – совокупную характеристику, включающую в себя повышение точности предсказания, снижения количества ложноположительных и ложноотрицательных срабатываний, достижения необходимых (в рамках конкретной системы) показателей времени обучения и времени предсказания. Немаловажной ролью в построении данных моделей является обеспечение возможности обрабатывать большие объёмы данных, объекты которых представляют наибольшую ценность для реализации автоматизированных систем искусственного интеллекта методами машинного обучения.

Цель работы: повышение качества обнаружения мошеннических транзакций в системе дистанционного банковского обслуживания за счёт разработки методики выявления мошеннических транзакций методами машинного обучения на основе пользовательского поведения

Научная новизна работы: заключается в исследовании возможностей повышения качества моделей интеграции искусственного интеллекта в задачи противодействия мошенничеству, а также применении анализа пользовательского поведения для обучения систем методами машинного обучения

Практическая значимость работы: заключается в разработке экспериментального образца программного комплекса выявления мошеннических транзакций и программного алгоритма его автоматического развёртывания, а также разработки методики по работе с данным комплексом и выявлению мошеннических транзакций при помощи методов машинного обучения.

В первой части работы был произведён литературный обзор научных трудов из базы SCOPUS по следующим тематикам: machine learning, artificial intelligence, data science, big data, antifraud system, automation of banking processes. На основе обзора было получено, что машинное обучение и системы искусственного интеллекта в настоящее время активно внедряются в банковские системы, в том числе по противодействию мошенничеству. Однако это имеет ряд проблем, связанных с обработкой и использования наборов данных, достижение высоких показателей качества моделей, учёта всех необходимых предикторов пользовательского платёжного поведения. Затем было произведено патентное исследование программ ЭВМ в области интеграции машинного обучения в банковские системы и системы выявления мошенничества. Были рассмотрены российские, американские и китайские разработки, выявлены их достоинства и недостатки, принципы работы и направления необходимых доработок.

Во второй части работы было осуществлено исследование поведенческих характеристик мошенников и мошеннических действий с целью дальнейшего их применения для выявления нелегитимных транзакций методами машинного обучения, а также проведения постинцидентной аналитике. Исследовались такие реализации социальной инженерии как звонок от мнимой службы безопасности банка и правоохранительных органов, действия вымогателей и рекламных представителей. Также были исследованы модель и порядок действий лиц, занимающихся легализацией (отмыванием) доходов, полученных преступным путём [1]. Результатом данной части является разработка моделей поведения пользователей и выделения характеристик в качестве предикторов для наборов данных платежей, которые представлены в таблице 1 [2].

Таблица 1

Признаки для срабатывания банковской системы противодействия мошенничеству

Социальная инженерия	Легализация (отмывание) доходов
• Большое число транзакций *(C)* в единицу времени (*«C»* индивидуальна для каждого клиента на основе его стандартного платёжного поведения); • Сумма транзакции *(S),* диапазон отличий её суммы от стандартного поведения («*S*» индивидуальна для каждого клиента); • Отличие региона транзакции (с учётом регионов с повышенным фродом), наличие «телепорта»; • Взаимодействие с контрагентом, известным как нелегитимный; • Предшествующие данному поведению звонки клиенту, сообщение платёжных реквизитов подозрительным источникам	• Нахождение лица в реестре Росфинмониторинга или «стоп-листе» финансовой организации; • Время регистрации юридического лица менее трех месяцев; • Суммы транзакции, близкие к 600 тыс. рублей; • Сделки с недвижимость на сумму более трех млн. рублей; • Осуществление платежей по арендным и долговым обязательствам; • Выплаты за выигрыши в азартные игры и лотереи; • ОКВЭД (41,43, 58, 62, 66, 73, 92); • Возраст лица (до 22 лет, от 65 лет); • Наличие сведений о проблемах с законом

В случаях осуществления социальной инженерии необходимо руководствоваться показателем отличия в указанных поведенческих характеристиках пользователя на основе типичных или предполагаемых их показателей. В рамках легализации (отмывании) доходов используется другой подход, при котором учитывается совокупность факторов на основе анализа информации о данном физическом или юридическом лице, поскольку при данном правонарушении наблюдается хороший уровень мимикрии злоумышленников под действия легитимных пользователей.

В третьей части работы разобраны особенности больших наборов данных, состоящих из пользовательских транзакций бинарной классификации. Произведён поиск методов и алгоритмов для их обработки и подготовки к использованию в качестве обучающего набора для систем искусственного интеллекта. Результатом данной части является разработка алгоритма предобработки наборов данных, который включает в себя балансировку, корреляцию и нормирование предикторов, обогащение данными пользовательских моделей поведения, применение метода главных компонент и синтетическую генерацию для обогащения наборов [3]. Был сформирован обучающий набор данных, предикторами которых являлись нормированные характеристики осуществления мошеннических платежей. Набор был предварительно обработан: произведена балансировка классов, корреляция предикторов, применён метод главных компонент, нормирование значений. Этапы предобработки представлены на рисунке 1.

Рис. 1 – Этапы предобработки данных пользовательских транзакций [3]

В четвёртой части работы было проведено экспериментальное исследование на основе сформированного набора данных пользовательских транзакций. В результате были выявлены наиболее оптимальные методы машинного обучения по качеству, времени обучения и времени предсказания. Были получены следующие результаты:

- наилучшую точность демонстрируют ансамблевые методы машинного обучения (GradBoost, XGBoost, Bagging), в силу повторного обучения на ранее допущенных ошибках. Однако тяжесть алгоритмов данных методов не позволяет получить минимальные значения для времени обучения модели и предсказания;
- наилучшее время обучения демонстрируют методы наивный байесовский классификатор (GNB), метод k-ближайших соседей (KNN), дерево решений (DT), однако точность предсказания, выраженная площадью AUC у данных методов достаточно низкая. Наиболее высокий AUC среди них имеет дерево принятия решений;
- наилучшее время предсказания (отклика) имеют модели, обучаемые методами логистическая регрессия (LR), дерево решений (DT), наивный байесовский классификатор (GNB), однако точность предсказания, выраженная площадью AUC у данных методов не самая высокая. Наиболее высокий AUC имеет дерево принятия решений [4].

Что касается изменения в объёме наборов данных, то получены следующие результаты:

- методы логистическая регрессия, метод k-ближайших соседей (KNN), наивный байесовский классификатор (GNB), случайный лес (RF), адаптивный бустинг (AdaBoost) показали уменьшения площади AUC при увеличении объёма набора данных;
- методы дерево решений (DT), многоуровневый персептрон (MLP), баггинг (Bagging) продемонстрировали увеличение площади AUC при увеличении объёма набора данных;
- методы логистическая регрессия (LR), градиентный бустинг (GradBoost), экстремальный градиентный бустинг (XGBoost) показали неизменные значения площади AUC при увеличении объёма набора данных [4].

Произведя сравнительный анализ полученных результатов, сделан вывод, что наилучшие взвешенные результаты показывает алгоритм многоуровневый персептрон (MLP), который оказался наиболее подходящим для работы с большими объёмами данных и усреднённым по показателям точности и времени работы. Следующим по взвешенным результатом является метод дерево решений (DT).

На рисунке 2 показаны ROC кривые используемых в эксперименте данных. На рисунке 3 продемонстрирована зависимость показателей AUC и времени предсказания для методов.

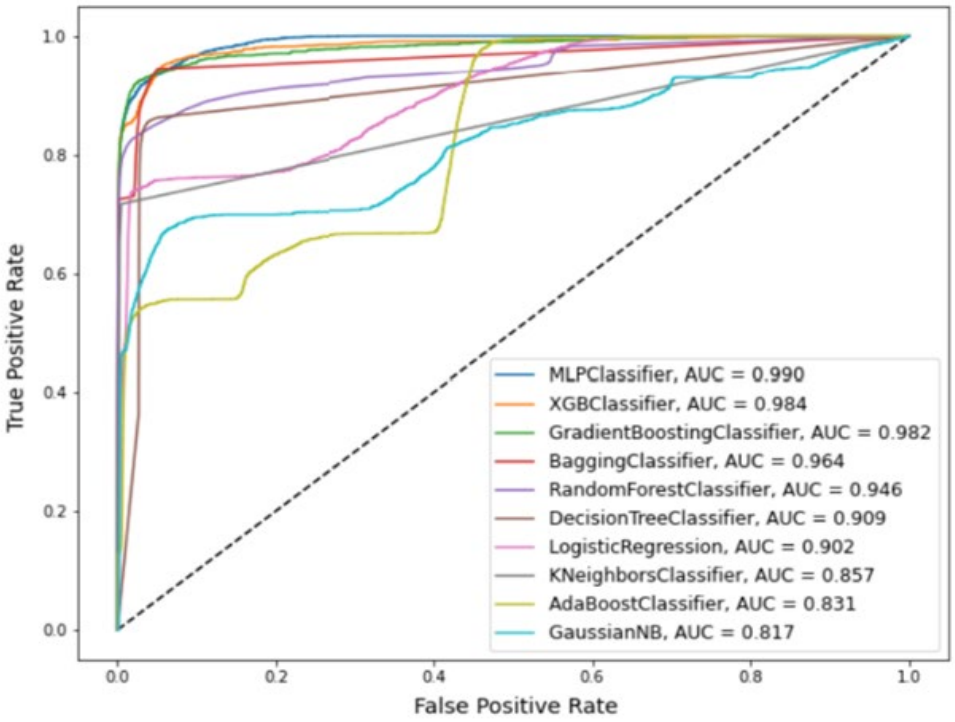


Рис. 2 – ROC кривые для полного объёма данных [4]

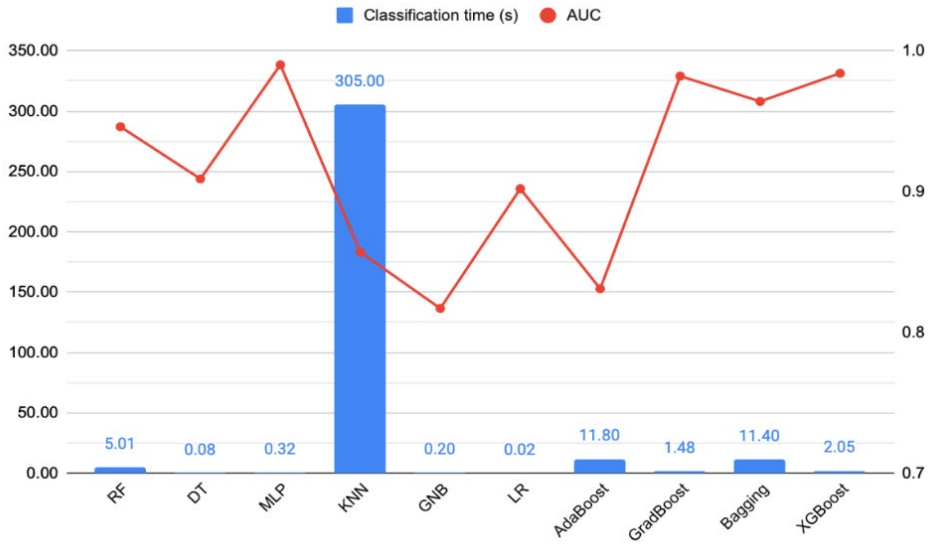


Рис. 3 – Временные характеристики для методов машинного обучения [4]

В пятой части работы была выполнена разработка «Экспериментального образца программного комплекса выявления мошеннических транзакций (ЭО ПК ВМТ) – для его последующего использования в банковских системах противодействия мошенничеству в рамках методики выявления. Стек разработки – HTML, CSS, JS, Python, HTTP-запросы. Суть продукта заключается в возможности произвести обучение на заранее обработанном наборе пользовательских данных, получить предсказание по мерам машинного обучения,

протестировать систему в режиме реального времени на потоке платёжных транзакций. Программный комплекс имеет графический интерфейс, возможность работать из браузера, документацию по его установке и эксплуатации.

На заключительном этапе выпускной квалификационной работы была разработана методика выявления мошеннических транзакций с применением методов машинного обучения на основе анализа моделей поведения пользователей. Этапы методики и входные данные представлены на рисунке 4.

Рис. 4 — Методика выявления мошеннических транзакций в системах дистанционного банковского обслуживания

Методика описывает порядок действия инженера-аналитика на всех разобранных ранее в работе этапах: сбора и обработки наборов данных, обучения модели в зависимости от поставленных целей, параметры использования и настройки переменных программного комплекса и процесс его автоматизированного развёртывания. Что касается этапа автоматизации и сопровождения, то была произведена разработка Системы автоматизированного развёртывания распределённого рабочего окружения для программ хранения и обработки данных – для обеспечения процесса тестирования и непрерывной интеграции программного комплекса. Система представляет собой автоматизацию решения по выделению вычислительных мощностей, установке программных компонентов и зависимостей, интеграции программного комплекса на промышленные стенды. Разработан средствами DevOps. Стек технологий - Bash, Python, Terraform, Ansible, Jenkins, Postgresql, Liferay, Wildfly.

В качестве дальнейшего направления научно-исследовательской деятельности выбрано исследование возможностей реализации системы противодействия мошенничеству на распределённых реестрах. В настоящий момент, в рамках данной работы, проведён аналитический обзор используемых отечественными компаниями приватных блокчейн-платформ в производственных процессах. Выбрана наиболее перспективная платформа по защите данных и возможности работать с юридически важной информацией. Выдвинуты гипотезы блока данных из составных частей системы противодействия мошенничеству [5].

Список использованных источников

1. О противодействии легализации (отмыванию) доходов, полученных преступным путем, и финансированию терроризма»: Федеральный закон № 115-ФЗ: [принят Государственной Думой 13 июля 2001 г.: одобрен Советом Федерации 20 июля 2001 года] – Москва, 2001.
2. Федосенко М.Ю., Менщиков А.А., Возможности применения методов социальной инженерии в организации телефонного мошенничества // Экономика и качество систем связи. – 2021. – №4(22). – С. 36–47.

3. Менщиков А.А., Федосенко М.Ю. Методы и подходы к предобработки данных платежей при условии сильной несбалансированности классов // Студенческий научно-образовательный журнал «StudNet». – 2021. – Т.4. – №9. DOI:10.24412/2658-4964-2021-103682.
4. Fedosenko M.Yu., Roenko D.V., Zykin M.M., Perfilev V.E., Menshchikov A.A. Comparison of Fraudulent Transaction Detection Methods for Big Data Systems // CEUR Workshop Proceedings. – 2022. Pp. 1–11.
5. Федосенко М.Ю., Беззатеев С.В., Федоров И.Р. Перспективы внедрения технологии блокчейн в производственные процессы отечественных компаний // Труды учебных заведений связи. – 2022. – Т.8. – №2. – С. 1–27.

УДК 532.64, 544.032.65

ИЗМЕНЕНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СВОЙСТВ ПОВЕРХНОСТИ МЕТАЛЛОВ ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ ПРИМЕНЕНИЙ ПУТЕМ ЛАЗЕРНОГО УПРАВЛЕНИЯ СМАЧИВАНИЕМ

Щедрина Н.Н.

Научный руководитель – Одинцова Г.В., кандидат технических наук, директор, старший научный сотрудник, доцент института лазерных технологий, директор лаборатории производственных лазерных технологий

schedrina.nadezda@gmail.com

Ключевые слова

лазерная микро- и нанообработка, лазерное структурирование, управление смачиванием, управление функциональными свойствами, гидрофобность и гидрофильность.

В последние несколько лет контроль функциональных свойств поверхности металлов является предметом внимания ученых как с точки зрения фундаментальных исследований, так и с точки зрения применений [1]. Большой интерес представляет возможность контроля такого свойства поверхности как смачивание. Изменение свойств смачивания поверхности стали открывать широкие возможности для применения в различных областях. Гидрофильные поверхности могут влиять на повышение адгезии объектов и покрытий, управление распределением наночастиц и направление течения жидкости. Гидрофобные, например, могут влиять на степень коррозии, биообрастания и обледенения поверхности металлов. При создании гидрофобных поверхностей между каплей жидкости и структурами образуется воздушный слой, который может защищать металл от агрессивного воздействия среды.

Смачивание поверхности изменяется путем модификации химического состава и рельефа поверхности. Часто в промышленности это осуществляется с помощью механических [2] и химических [3] методов. Однако их недостатками являются невозможность локального изменения свойств поверхности ввиду случайного характера шероховатости у механических методов и низкая устойчивость и токсичность у химических методов. Лазерная обработка поверхности является одним из наиболее многообещающих способов для изменения свойств смачивания поверхности. Важнейшими преимуществами лазерной обработки поверхности являются точность, экологичность ввиду отсутствия химикатов, отсутствие износа инструмента, а также незначительное влияние на свойства материала в объеме.

Устойчивость к коррозии, биообрастанию и бактериям, повышение адгезии объектов и покрытий, управление распределением наночастиц (НЧ) являются желаемыми функциональными свойствами металлов, которые могут быть достигнуты с помощью лазерного микро- и наноструктурирования и контроля смачиваемости.

Цель данной работы заключается в исследовании и разработке методов изменения функциональных свойств поверхности металлов для различных применений путем лазерного управления смачиванием. Достижение цели потребовало решения следующих задач: изучить и определить методы управления смачиванием поверхности металлов путем лазерного структурирования, определить параметры лазерного излучения и методы дополнительной обработки для создания гидрофильных и гидрофобных свойств; изучить стабильность и износостойкость гидрофобных свойств, полученных лазерным структурированием; создать структурированную поверхность со смешанным смачиванием путем комбинирования областей с различной степенью гидрофильности; определить связь функциональных свойств металла (степень биообрастания в водной среде, коррозионная стойкость, скорость обледенения, влияние на распределение нанесенных нанообъектов) со свойствами смачивания структурированных поверхностей, предложить методы управления функциональными свойствами за счет контроля смачивания; определить влияние свойств смачивания

поверхности стали на распределение нанообъектов, сформировать градиент смачивания с контролируемыми параметрами гидрофильности структурированной поверхности для создания технологии упорядоченного нанесения нанообъектов.

В качестве основного материала для исследований были выбраны нержавеющая сталь AISI 430, дюралюминий АМцМ и углеродистая сталь 08Ю. Экспериментальные исследования проведены с использованием лазерных установок на базе иттербиевого волоконного лазера с длинной волны 1064 нм. Для характеризации поверхности металлов, до и после лазерного воздействия, были использованы оптическая и сканирующая электронная микроскопии (СЭМ), оптическая, контактная и атомная силовая профилометрии, рентгеноструктурный анализ. Угол смачивания образцов измерялся методом лежачей капли. Свободная энергия образцов измерялась с помощью тензиометра.

Для определения влияния лазерного излучения на смачиваемость поверхности была получена зависимость, демонстрирующая, что при увеличении плотности мощности и перекрытии импульсов лазерного излучения имеется тенденция к уменьшению угла смачивания (рис.1,А). Проведенный рентгеноструктурный анализ фазового состава структурированных образцов показал, что при повышении температуры обработки образуются новые оксиды, которые в чистом виде являются гидрофильными [4]. Проведенные измерения шероховатости поверхности образцов также продемонстрировали рост фактора шероховатости образцов с повышением температуры обработки. Таким образом, угол смачивания уменьшается из-за образования гидрофильных оксидов и высокой поверхностной энергии, а также из-за увеличения шероховатости поверхности, что соответствует модели Венцеля.

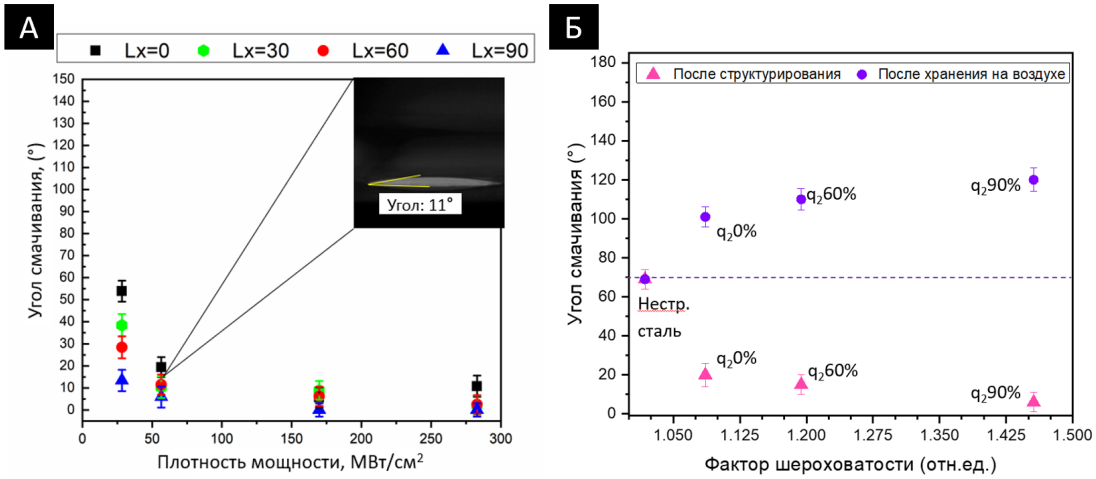


Рис. 1 – А) зависимость угла смачивания от плотности мощности для различных перекрытий; объем капли 3,5 мкл; Lx=Ly; Б) зависимость угла смачивания образцов (неструктурированная сталь и структурированные образцы q20%, q260%, q290%) от фактора шероховатости после лазерного структурирования и после структурирования и хранения на воздухе в течение 30 дней

Соответственно, для получения гидрофобных свойств на поверхности металла, необходимо понизить поверхностную энергию. Для этого в данной работе исследовалось три способа: хранение образцов на воздухе в течение 30 дней для адсорбции органических соединений на поверхность гидрфильных оксидов; аналогичный эффект адсорбции органических соединений при низкотемпературном отжиге (100°С, 3ч.); покрытие силанизированными НЧ кремния. Все методы дают гидрофобные и супергидрофобные свойства, они были сравнены между собой для анализа оценки возможных областей применений.

На прирост углов смачивания значительное влияние оказывает шероховатость поверхности. Известно, что на ровной поверхности, экспериментально возможно получить максимальный угол смачивания равный только 110°. Данное утверждение подтверждается зависимостью углов смачивания образцов (неструктурированная сталь, образцы $q_2$0%, $q_2$60%, $q_2$90%) от шероховатости до и после хранения на воздухе (рис.1,Б). Неструктурированная

сталь характеризуется углом в 69° и фактором шероховатости r = 1,018. Данное состояние является равновесным для нержавеющей стали, поэтому угол с течением времени не изменяется. Как видно из графика, сразу после лазерного структурирования с увеличением шероховатости (достигнутого увеличением перекрытия отпечатков лазерных импульсов) угол смачивания падает, достигая минимума в 6°. Однако, аналогичные по режимам лазерного воздействия и фактору шероховатости образцы, которые хранились на воздухе в течение 30 дней, демонстрируют обратную зависимость. Из графика видно, что для образцов с адсорбированными органическими соединениями после хранения на воздухе при увеличении шероховатости угол смачивания растет. Также можно заметить, что при изменении шероховатости гидрофильные и гидрофобные углы меняются обратно пропорционально друг другу. Следовательно, шероховатость поверхности значительно усиливает свойства смачивания поверхности.

Для демонстрации полученных результатов по смачиванию, было начато несколько проектов с применениями. По ним были получены предварительные результаты. Одним из важных функциональных свойств поверхности металлов является контроль коррозионных свойств. Данное свойство было протестировано на углеродистой стали, которая сильно подвержена коррозии. Были выбраны режимы с небольшими перекрытиями и плотностями мощности, так, чтобы незначительно поменять внешний вид стали. Сразу после ЛС коррозионная стойкость низкая – после измерения угла смачивания образцов на поверхности появились очаги коррозия. Для гидрофобных образцов (рис.2,А) (использовали три перечисленных выше метода) коррозионная стойкость оценивалась в камере влажности. Было отмечено, что все структурированные образцы обладают большей стойкостью, чем контрольные без лазерной обработки (рис.2,Б). При этом угол смачивания коррелирует со степенью коррозии только для низкой плотности мощности. Для образцов с этими параметрами видно, при углах смачивания больше 110°, вероятность возникновения очагов коррозии меньше. Однако при этом важно отметить, что некоторые образцы с углом смачивания 75°–80° также показывают хорошую коррозионную устойчивость, несмотря на отсутствие гидрофобности. Вероятно, это связано со степенью сплошности образованного оксидного слоя. Таким образом, видно, что лазерное структурирование может снизить вероятность возникновения коррозии на поверхности углеродистой стали. Гидрофобные свойства имеют не главную, но важную роль в вопросе коррозионной стойкости.

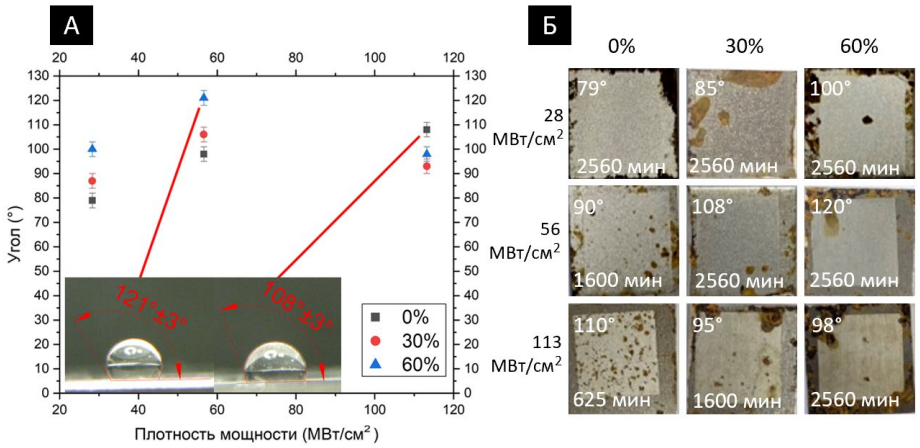


Рис. 2 – А) углы смачивания после лазерного структурирования и низкотемпературного отжига; Б) поверхность структурированных образцов после коррозионных испытаний

Также было проверено влияние угла на скорость обледенения поверхности. Были взяты три разных угла смачивания (60°, 80°, 120°), самый низкий из которых на неструктурированной стали. Образец помещали на элемент Пельтье, охлаждавший пластину до -20°С. На рисунке 3,А показана раскадровка снятого на цифровую камеру видео замерзания высаженных на образцы капель. На рисунке 3,Б представлены зависимости температуры капель от времени нахождения на охлажденном образце. В результате данного эксперимента было продемонстрировано, что с увеличением угла смачивания скорость обледенения

поверхности снижается в 2,5 раза по сравнению в неструктурированной. Данные результаты объясняются наличием воздушного слоя между структурами и каплей воды, что обеспечивает минимальный контакт поверхности с жидкостью.

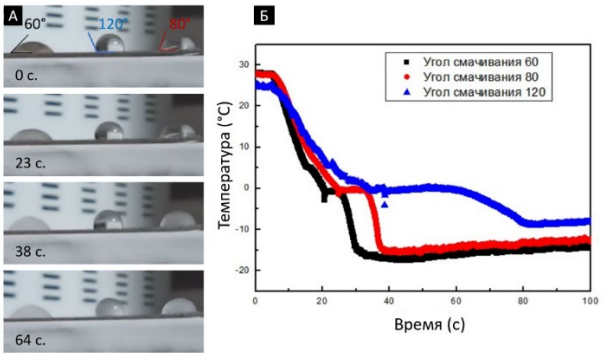


Рис. 3 – Динамика замерзания капель на образцах: А) раскадровка из видео, демонстрирующая замерзание капель; Б) график зависимости температуры капель от времени нахождения на охлажденном образце

Другим свойством, важным для управления, является контроль степени биообрастания металлических объектов, помещенных в воду. Структурированные гидрофильные и гидрофобные образцы помещали в воду на месяц и каждую неделю измеряли углы смачивания и степень биообрастания. В итоге было замечено, что первую неделю нахождения образцов в воде чем больше угол смачивания, тем меньше степень биообрастания. Вероятно, это связано с существованием воздушной прослойки и с низкой поверхностной энергией, что препятствует контакту микроорганизмов с поверхностью. Неструктурированные образцы показали наиболее высокую степень обрастания. В результате работы над данной частью проекта было показано, что лазерное создание гидрофобных структур может защищать поверхность металлов от биообрастания. При повышении углов смачивания степень обрастания структурированных образцов в первые дни нахождения в воде снижается. Гидрофобизация поверхности путем структурирования и последующей адсорбции органических соединений из воздуха является наиболее эффективным методом снижения биообрастания.

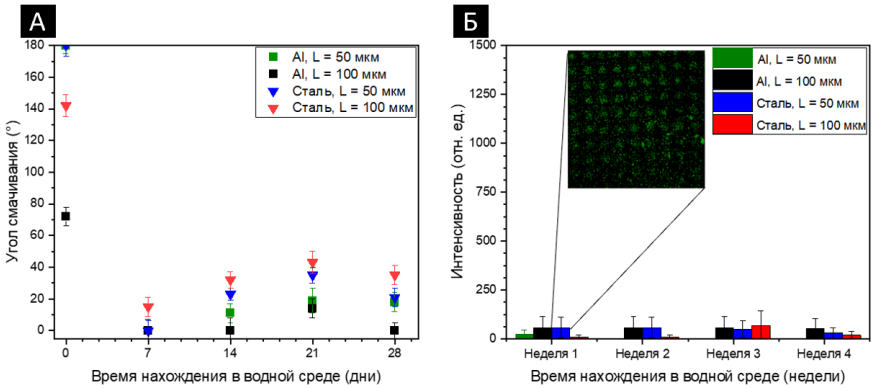


Рис. 4 – Структурированные образцы после отжига при 100°C в течение 3 ч.: А) зависимость угла смачивания образцов стали от времени нахождения в водной среде; Б) зависимость степени биообрастания образцов от времени нахождения в водной среде

Большой интерес представляет создание поверхностей, комбинирующих в себе несколько различных значений угла смачивания. Примером таких поверхностей с различным смачиванием может являться градиент смачивания. Градиент смачивания представляет из себя последовательное расположение областей с разными углами смачивания, в порядке убывания, от гидрофильного до супергидрофильного.

Был изготовлен образец, состоящий из 6 прямоугольных областей a1-a6 размером 2 × 1 мм, (последняя область 2 × 2 мм) (рис.5,А). Лазерная обработка производилось с

перекрытием отпечатков 60% и с изменением плотности мощности от 19 МВт/см^2 до 180 МВт/см^2 с углами смачивания от 60° до 0°. При помещении капли на границу между любыми двумя участками образца жидкость перемещается со скоростью более 20 мм/с, в наиболее гидрофильную часть за счет уменьшения поверхностной свободной энергии структур. Полученные градиенты были охарактеризованы с помощью тензиометра, который подтвердил увеличение поверхностной энергии при уменьшении угла смачивания. В качестве демонстрации применения поверхностей с переменным смачиваниям было выбрано изучение влияния угла смачивания на управление распределением кремниевых наночастиц, высаженных на структурированный материал. Данная часть выпускной квалификационной работы была реализована в ходе гранта НИР среди магистров и аспирантов Университета ИТМО «Разработка метода создания нанофотонных структур путем самосборки резонансных нанообъектов на поверхностях с управляемым смачиванием». Для изучения влияния смачивания на распределение НЧ капельным осаждением на градиент смачивания было нанесено 0.1 мкл коллоидного раствора с наночастицами кремния оранжевого цвета (150 нм) на наиболее гидрофобную область градиента a1 и она распространилась в сторону a6 (наиболее гидрофильной). Было обнаружено, что распределение НЧ кремния не равномерное в зависимости от угла.

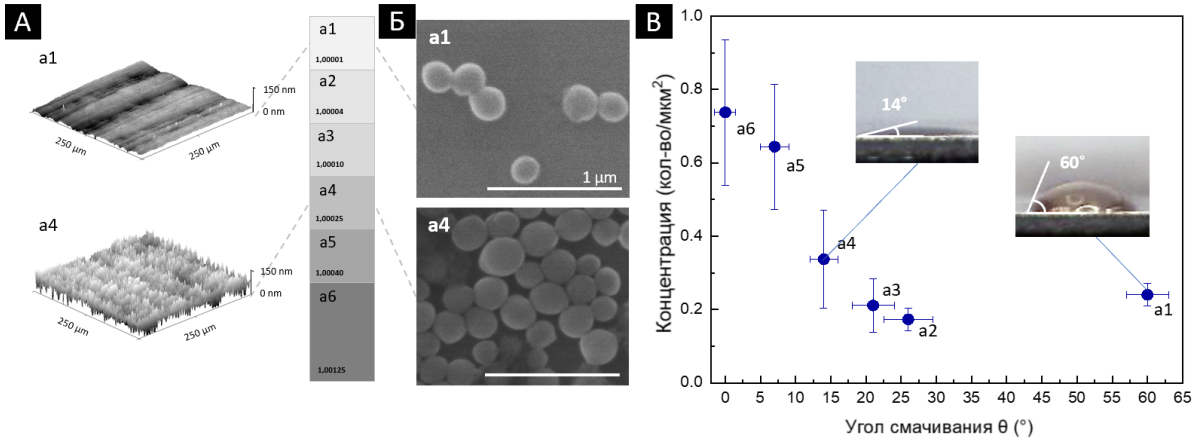


Рис. 5 – А) схематическое образца с градиентом смачивания, со значениями шероховатости и профилограммами; Б) СЭМ-изображения НЧ Si на участках структурах a1 и a4; В) зависимость концентрации НЧ Si на участках a1-a6 от угла смачивания

По полученным СЭМ изображениям каждой области (рис.5,А) после нанесения НЧ было получено, что при снижении угла смачивания, концентрация осажденных НЧ увеличивается. Это происходит в силу увеличения поверхностной энергии гидрофильных областей. За счет увеличения концентрации НЧ на областях 4 – 6 инициируется процесс самосборки НЧ в монослои. Данные результаты являются первым и важным шагом на пути к формированию новых структур нанофотоники.

Таким образом, в данной работе было изучено влияние лазерного структурирования поверхности металлов на управление свойств смачивания. Увеличение плотности мощности излучения и перекрытия импульсов ведет к снижению значения угла смачивания. При структурировании металлов с плотностями мощности от 28,3 МВт/см^2 до 282,9 МВт/см^2 и перекрытии отпечатков лазерных импульсов от 0 до 90% сразу после обработки достигаются гидрофильные и супергидрофильные свойства за счет увеличения шероховатости и образования чистых гидрофильных оксидов металлов.

При последующем снижении свободной поверхностной энергии структур путем хранения на воздухе, низкотемпературного отжига и покрытием силанизированными НЧ кремния возможно создание гидрофобных и супергидрофобных свойств с углами смачивания до 180°. Было продемонстрировано, что ключевым фактором, влияющим на смачивание поверхности является состав, при этом рельеф, создаваемый лазерным структурированием, может значительно усиливать гидрофильные и гидрофобные свойства поверхности. В данной

работе было продемонстрировано, что изменение угла смачивания может влиять на функциональные свойства металлов. При повышении углов смачивания степень обрастания структурированных образцов стали и дюралюминия снижается в первые дни нахождения в воде. Показано, что лазерное структурирование может значительно повысить коррозионную стойкость углеродистой стали. Угол смачивания выше 110° может снизить вероятность возникновения очагов коррозии. Также было продемонстрировано, что увеличением угла смачивания поверхности нержавеющей стали до 120°, скорость обледенения поверхности снижается в 2,5 раза по сравнению с неструктурированной поверхностью. Также был продемонстрирован принцип управления самосборкой диэлектрических кремниевых НЧ на подложках с градиентом смачивания. Концентрация осажденных НЧ увеличивается с уменьшением краевого угла, что инициирует процесс самосборки кремниевых НЧ на участках с концентрацией более 0,3 ед./мкм^2.

Список использованных источников

1. Wang S. et al. Bioinspired surfaces with superwettability: new insight on theory, design, and applications // Chemical reviews. – 2015. – Т.115. – №16. – С. 8230–8293.
2. Nik M.G., Movahhedy M.R., Akbari J. Ultrasonic-Assisted Grinding of Ti6Al4áV Alloy // Procedia Cirp. – 2012. – Т.1. – С. 353–358.
3. Yang Z., Liu X., Tian Y. Fabrication of super-hydrophobic nickel film on copper substrate with improved corrosion inhibition by electrodeposition process // Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects. – 2019. – Т.560. – С. 205–212.
4. Takeda S. et al. Surface OH group governing adsorption properties of metal oxide films // Thin Solid Films. – 1999. – Т.339. – №1-2. – С. 220–224.

МАГИСТРЫ

Лауреаты II степени

«Лучшую научно-исследовательскую выпускную квалификационную работу магистров Университета ИТМО»

УДК 711.4.01;74

СТРУКТУРА ГОРОДСКОЙ ИДЕНТИЧНОСТИ В ПРОЕКТИРОВАНИИ ДИЗАЙН-КОДА ДЛЯ БРЕНДИНГА МАЛЫХ ГОРОДОВ

Баранова Е.А.

Научный руководитель – Горнова Г.В., доктор философских наук, доцент Института дизайна и урбанистики, старший научный сотрудник национального центра когнитивных разработок

elisabettabaranova@gmail.com

Ключевые слова

Брендинг, дизайн-код, структура городской идентичности, малые города, маркетинг городов.

Работа посвящена вопросам дизайн-кода как части территориального брендинга, разрабатываемого для повышения узнаваемости городов. Цели работы состоят в создании адекватных методов разработки дизайн-кода, применимых к специфике малых городов со всеми их возможностями и ограничениями, а также в дальнейшем использовании этих методов для проектирования конкретного городского бренда и дизайн-кода.

В современном мире города, как товары и услуги, конкурируют за внимание туристов, экспатов, инвесторов и многих других. Инструменты маркетинга и брендинга помогают городам привлекать на территорию необходимые для развития ресурсы. Особое внимание в последние годы уделяется вопросам устойчивости системы расселения, а именно – вопросам развития не только крупнейших, но и средних, а также малых городов [1]. Популярность крупных городов во многом обусловлена качеством их городской среды и возможностями, которые город предоставляет жителю. Улучшение этих параметров в малых городах позволит снизить отток населения и, в перспективе, привлекать новых жителей.

Малым городам требуются комплексные программы развития, которые будут охватывать все аспекты города: социальную и инженерную инфраструктуру, транспорт, жилье, рабочие места, коммуникации и многое другое. Часть этих проблем способно решить устойчивое финансирование городов из федерального бюджета. На данный момент времени финансирование осуществляется за счет субсидий, недостаточных для решения даже основных проблем. Другая часть проблем решается созданием рабочих мест, а также поддержкой малого и среднего бизнеса.

Необходимо упомянуть о важности малых городов как центров сохранения аутентичности и культуры. Крупные города привлекают своим разнообразием и открытостью, однако в этом смешении и мультикультурализме, зачастую, теряется дух места или, как его называют иначе, Genius Loci, «Гений места». Малые же города, в особенности исторические, сумели сохранить уникальную идентичность, архитектурное наследие и традиционные ремесла. Именно это может стать основой для городских преобразований и улучшения узнаваемости городов на общероссийской арене.

В эпоху post-covid все чаще стало встречаться понятие slow living, которое помимо замедленного темпа жизни пропагандирует и «медленные города». В конце XX века появилось целое движение Cittaslow, а также ассоциация медленных городов Cittaslow Association [2]. Существует целый ряд критериев (72), половине из которых должен соответствовать город величиной до 50 тыс. человек, чтобы его признали «медленным».

Малые города не являются соперниками крупных городов, но могут предоставлять качественно другой тип жизни. Низкоэтажная застройка, доступная среда, небольшие расстояния и компактность недоступны в мегаполисе по причине большого числа жителей и дороговизны земли. Однако малые города способны предоставить такой уровень качества жилья для тех, кому это необходимо.

Цель брендинга мест состоит в улучшении репутации места, а также в поиске, выражении и развитии городской идентичности и в дальнейшем представлении ее в ярких,

взаимосвязанных образах, привлекательных для целевых аудиторий. Для достижения этой цели специалистами в области городского планирования, дизайна, визуальных искусств и маркетинга разрабатываются документы, призванные стандартизировать различные аспекты городской жизни. Одним из таких документов является дизайн-код. На сегодняшний день в России он регулирует лишь размещение вывесок и внешний вид улиц. Однако спектр задач, которые дизайн-код призван решить в городах, огромен (формирование уникального пространства; «возвращение» населения на городские улицы из торговых центров; поддержание комфортной городской среды как фактора, тормозящего отток населения из города; развитие культурной или исторической уникальности города, формирование имиджа города, который играет важную роль в его социально-экономическом развитии и т.д.).

Как было сказано ранее, в основу любого качественного бренда и дизайн-кода должна быть заложена территориальная (или городская) идентичность. Городская идентичность – устойчивое представление о себе как о жителе именно этого города, естественное ощущение связи с городом [3].

Структура городской идентичности состоит из когнитивного, аффективного, ценностно-смыслового и практического компонентов [4].

Когнитивный компонент представляет собой совокупность объективных представлений человека о месте своего обитания. Когнитивный компонент содержит комплекс представлений о городе, о его объективных характеристиках. Обычно в дизайн-коде и брендинге присутствуют именно ландшафтные характеристики города. Так, у гавайского Гонолулу в логотипе и фирменном стиле нашли отражение их знаменитые в мире серфинга волны и палящее белое солнце (рис.1). Интересно, что при разработке брендинга и дизайн-кода учитываются также экономические и демографические характеристики места. Все они являются «фундаментом» для последующих более тонких и глубоких проработок.

Рис. 1 – Один из логотипов Гонолулу, Гавайи, США

Рис. 2 – Брендинг Нью-Йорка, США

Аффективный компонент связан с эмоционально-чувственным восприятием и освоением города. Если в когнитивном компоненте факторы нейтральны, то в аффективном они приобретают эмоциональную окраску. Эмоции (позитивные или негативные) влияют на жизненные установки горожан. Этот компонент силен, если город способен вызывать у человека сильные чувства, а человек, в свою очередь, способен эти чувства испытывать. Образы городов формируются также и в СМИ, в социальных медиа, которые зачастую могут придать одному и тому же факту как позитивный, так и негативный окрас. Ярким примером является Нью-Йорк, который в 70-х годах XX века был вовсе не привлекающим миллионы туристов в год городом, а местом с крайне высоким процентом преступности и безработицы, небезопасным даже в светлое время суток. Власти города разработали обширную кампанию в СМИ по созданию вокруг города ореол привлекательности и популярности. В 1977 году Уильям С. Дойл, заместитель комиссара Министерства торговли штата Нью-Йорк нанял маркетинговое агентство Wells Rich Greene для разработки маркетинговой стратегии города. Помимо логотипа (рис.2) и бренда композитором Стивом Карменом была также написана песня “I love New York”, ставшая неофициальным гимном штата. Частые упоминания города в искусстве (кино, музыка, живопись и скульптура) сделали город одним из самых желанных

для посещения у туристов со всего мира (по состоянию на 2019 год он занимал 11 место в мире по посещаемости с 14,0 млн туристов в год).

Ценностно-смысловой компонент выражается в объективированных формах городской культуры: идеалах, мифах и метафорах. Они содержат видение города, которое разделяется большей частью жителей. Достаточно типичны для городов метафоры центра (географический центр, духовный центр), метафоры транзитности (окно в Европу), мифы об исконной земле и мифы об оккупированных территориях. В брендинге Смоленска нашел отражение миф города-крепости (рис.3), а город Добрянка в Пермском крае позиционирует себя через метафору «города доброты» (рис.4). Этот позитивный образ пускай и не самый яркий, зато вызывает теплые эмоции и гордость местных жителей.

Рис. 3 – Конкурсный логотип Смоленска, Россия

Рис. 4 – Брендинг Добрянки, Россия

А практический компонент влияет на стратегию жизненного выбора горожанина: уезжать или оставаться, менять город к лучшему. Кажется, что эта последняя ступень не имеет взаимосвязи с городским брендом. Однако, в сущности, именно на этой ступени бренд тестируется на прочность. Реакция публики на дизайн-код и брендинг бывает неоднозначна. Удачный дизайн-код и брендинг в перспективе способен остановить стремительный отток населения, а также привлечь новых жителей при условии комплексного развития городской среды и экономических преобразований в городе. Важно понимать, что в одиночку дизайн-код не способен решить все проблемы малых городов.

В ходе работы был разработан простой и понятный гайдлайн на платформе Tilda (http://howtobrand.tilda.ws/branding) для городских управленцев из администрации малых городов, а также для городских активистов, желающих вносить изменения в городскую среду.

Структура гайдлайна представляет из себя 8 последовательных шагов, выполняя которые можно разработать брендинг и дизайн-код для любого малого города (рис.5). В ходе работы данный гайдлайн был опробован для города Приозерска в Ленинградской области.

Рис. 5 – Пошаговая структура гайдлайна

В результате была изучена история Приозерска, проведены натурные исследования, глубинное интервью с городскими активистами и опрос местных жителей. Для Приозерска было выполнено конструирование городского бренда на основании компонентов городской идентичности, о которых было сказано ранее. Затем была произведена разработка визуального стиля города: логотип, элементы навигации и фирменный стиль (рис.6–8).

Рис. 6 – Проектируемый фирменный стиль Приозерска

Рис. 7 – Проектируемая навигация Приозерска

Рис. 8 – Фирменный стиль на улицах города

Еще одна важная составляющая гайдлайна – возможные источники финансирования на разработку бренда города. Помимо непосредственного финансирования от государства, существует ряд грантов, способных покрыть расходы на разработку и внедрение бренда в городскую среду.

Данная научная работа ставила целью поднять вопросы, связанные с пространственным развитием малых городов. Работа не ставит целью охватить все аспекты территориального развития, но концентрируется на визуальных составляющих: городской среде, дизайн-коде, внешних элементах брендинга.

Городской бренд не состоит лишь из визуального стиля (логотипа, дизайн-кода). Это комплексная работа по улучшению и маркетинговому продвижению территории, однако визуальный стиль является важной составляющей городского бренда, с которой специалисты начинают работу с территорией: по фирменному стилю проще отследить отзывы горожан и туристов, а приведение даже центральных улиц города в единый стиль с помощью навигации и дизайн-кода в значительной степени улучшает внешний вид территории.

Безусловно, для полноценного преобразования города и его среды необходимы значительные усилия и вложения, а также временные и человеческие ресурсы. Однако небольшие усилия и привлечение внимания к городу способны запустить преобразования и собрать вокруг города талантливых специалистов, желающих производить изменения.

Список использованных источников

1. Распоряжение правительства РФ от 13 февраля 2019 года n 207-р [об утверждении стратегии пространственного развития Российской Федерации на период до 2025 года] (с изменениями на 31 августа 2019 года). – 2019. – 116 с.
2. Çiçek M., Ulu S., Uslay C. The Impact of the Slow City Movement on Place Authenticity, Entrepreneurial Opportunity, and Economic Development // J. Macromarketing. – 2019. – Т.39. – №4. – С. 400–414.
3. Горнова Г.В. Визуально-семиотические аспекты городской идентичности // Праксема. Проблемы визуальной семиотики. – 2019. – №6(21). – С. 62–74.
4. Горнова Г.В. Структура городской идентичности // Вестник Омского государственного педагогического университета. Гуманитарные исследования. – 2018. – №3(20). – С. 14–16.

УДК 60

РАЗРАБОТКА ГРАФИЧЕСКОЙ НОВЕЛЛЫ О ПОДДЕРЖКЕ ОНКОЛОГИЧЕСКИХ ПАЦИЕНТОВ И ИХ БЛИЗКИХ

Воропаева А.И.

Научный руководитель – Казаринова Н.В., доцент, кандидат философских наук, старший преподаватель института международного развития и партнерства

sasha.voropaeva15@gmail.com

Ключевые слова

Графическая новелла, графическая медицина, научная коммуникация, коммуникативные проблемы в онкологии, поддерживающая коммуникация, социология и психология онкологических заболеваний.

Идея данной работы родилась из гипотезы, о том, что в российской медицинской журналистике почти не освещается такой важный аспект онкологических заболеваний, как коммуникативные проблемы между онкопациентами и их близкими, и почти не уделяется внимания вопросам грамотной поддерживающей коммуникации между ними. Эта гипотеза в ходе проведенного исследования подтвердилась. Мы можем наблюдать дефицит в обсуждении этой темы в медиасреде.

Онкологические заболевания значительно снижают качество жизни людей и часто сопровождаются тревогой, депрессией, ощущением безнадежности, изоляции и неспособности поддерживать социальные отношения [1,2]. Тем не менее, как показывают наблюдения, пациенты часто не получают достаточной поддержки даже от своих близких. Родные могут не знать, как правильно себя вести, не понимать потребностей больного человека, особенностей его состояния, или, исчерпав собственные ресурсы, сами нуждаться в поддержке [3,4]. В то же время, согласно проводимым исследованиям, грамотная коммуникация и поддержка между онкопациентами и их близкими могут значительно улучшить качество жизни обеих сторон и помочь им активизировать ресурсы для совместной борьбы с болезнью [5,6].

В рамках данной работы в формате графической новеллы, перспективного инструмента коммуникации о социологии и психологии хронических заболеваний [7], предпринималась попытка создать коммуникационный продукт, который мог бы стать одним из шагов на пути снижения дефицита в проговаривании и обсуждении этой темы и выполнить поддержать тех, кто найдет в ее историях ресурс для работы со своими переживаниями.

В качестве медиаформата обсуждения проблемы отношений между онкопациентами и их окружением графическая новелла нами была выбрана в том числе и потому, что в последние годы увеличивается число исследований, подтверждающих преимущество комикса перед другими медиаформатами в коммуникации на сложные медицинские и связанные с ними социальные темы [8]. В области графической медицины проводится всё больше эмпирических исследований использования комиксов [9].

В ходе проведенного анализа гипотеза о дефиците упоминания этой темы в медиа подтвердилась в ходе количественного контент-анализа пяти онлайн-изданий «ДокторПитер», «Медикфорум», «Здоровье.mail.ru», «Профилактика Медиа» и «Лента.ру». Всего было проанализировано триста журналистских материалов: сто на портале «ДокторПитер» и по пятьдесят в каждом из остальных четырех изданий. Первый этап контент-анализа показал следующие результаты по каждому из упомянутых изданий: (искомый признак: тема связана / не связана с трудностями жизни с онкологией, единица подсчета — количество материалов): «ДокторПитер» 8/100, «Медикфорум» 0/50, «Здоровье.mail.ru» 6/50, «Профилактика.Медиа» 29/50, «Лента.Ру» 0/50. В ходе второго этапа было выявлено следующее соотношение (искомый признак: разработанность каждой из трех подтем: 1) психологические и социальные проблемами жизни с онкологией; 2) вопросы улучшения качества жизни онкологических

пациентов; 3) проблемы во взаимоотношениях и коммуникации между пациентами и их близкими, единица подсчета — количество материалов по каждой из подтем): «ДокторПитер» 1)1, 2)7, 3)0, «Медикфорум» 1)0, 2)0, 3)0, «Здоровье.mail.ru» 1)5, 2)3, 3)2, «Профилактика.Медиа» 1)27, 2)19, 3)12, Лента.Ру 1)0, 2)0, 3)0.

Таким образом, гипотеза подтвердилась. В российской медиасреде действительно недостаточно освещаются вопросы коммуникативных проблем между онкологическими пациентами и их близкими. Наиболее читаемые медицинские и онлайн-медиа общей тематики почти не уделяют внимания проблеме («ДокторПитер», «Медикфорум», «Лента.Ру»). Не вписывается в этот тренд лишь «Профилактика. Медиа», демонстрируя тем самым модель решения этой проблемы для других изданий. Удовлетворительнее всего освещаются вопросы психологических и социальных проблем жизни с онкологией. Проблемы во взаимоотношениях и коммуникации между пациентами и их близкими остаются наименее освещенными в сравнении с другими подтемами.

На следующем этапе работы над творческим проектом было необходимо выявить ключевые коммуникативные проблемы, которые могли бы найти отражение в главах создаваемой графической новеллы. Было необходимо тщательно проанализировать различные эмпирические данные, чтобы узнать как можно больше о коммуникационных вызовах и проблемах, которые возникают между пациентами и их окружением. Было важно выявить типичные проблемы коммуникации, психологические трудности, вопросы, которые мучают обе стороны, и понять, как с ними предлагает справляться онкопсихология.

Анализ эмпирических источников состоял их двух этапов. Сперва был проведен анализ рассказов близких пациентов и самих пациентов о реальных ситуациях, которые их беспокоят, на главном в России форуме общения тех, кого рак коснулся лично или опосредованно: «ОНКОЛОГИЯ - общение» в VK [10]. Рассказы анализировались методом качественного контент-анализа. Такой подход помог в дальнейшем создавать персонажей, которые с большей вероятностью смогут вызвать самоидентификацию у читателей новеллы и, следственно, сильнее их вовлечь в размышления над описанными конфликтами. Второй этап сбора данных был обращен к анализу авторитетных источников в области онкопсихологии, а именно публикаций на портале онлайн-службы круглосуточной поддержки в онкологии «Ясное утро» [11] и портале Американского Онкологического Общества [12].

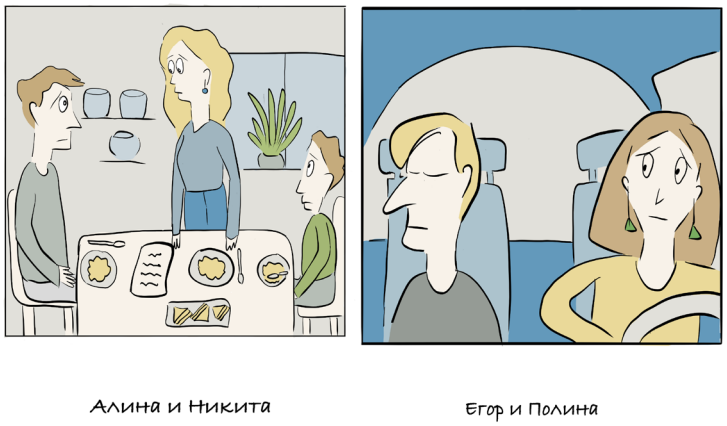


Рис. 1 — Главные герои первой и второй глав новеллы

Рис. 2 — Главные герои третьей главы

Результаты анализа эмпирических данных позволили сформулировать три важные темы, которые легли в основу трех историй в рамках предложенной графической новеллы:

1. Неготовность многих женщин принять диагноз рак груди, избегание обсуждения своих переживаний с партнером, встречное избегание со стороны мужчины разговоров с близкой женщиной об ее болезни (слева на рис.1).
2. Страх мужчин, заболевших раком, показаться слабыми в глазах родных и, как следствие, уход в себя (справа на рис.1).

3. Чувство изолированности, возникающее у многих онкопациентов в силу не точно выбранных их друзьями темы и стиля разговоров, что приводит к ситуациям, когда даже близкий друг оказывается не в силах помочь и только ранит своим желанием поддержать (рис.2).

Обсуждение этих тем с людьми, чья жизнь изменилась с приходом рака, может выполнять терапевтическую поддерживающую функцию.

После создания портретов персонажей каждой из историй и их сюжетной фабулы был написан сценарий, который затем прошел через экспертную оценку онкопсихолога Марии Неклюдовой и онколога Полины Шило.

В дальнейшем начался этап визуализации. В качестве манеры рисунка была выбрана минималистичная иллюстрация. Были прорисованы минималистично в том числе персонажи новеллы. Их внешность не слишком конкретна, они не обладают какими-то значимыми особенности во внешности. Выбор такой манеры обусловлен опорой на современные тренды в иллюстрации и учетом особенностей комикса как жанра, в котором, как писал Скотт Маклауд со своей знаменитой книге, чем более абстрактно прорисованы персонажи, тем большее количество людей может с ними себя проассоциировать [13]. Такой подход позволяет через установку более сильной эмоциональной связи с персонажами лучше удерживать внимание читателя, сильнее вовлекать его и способствует лучшему запоминанию значимой информации.

Рис. 3 – Пример страницы из первой главы предлагаемой графической новеллы

По ходу повествования на полях страниц новеллы были размещены прямые вопросы к читателям, например: «Что бы Вы сказали на месте…» или «Что для Вас было бы важным услышать…». Таким образом, проходя путь вместе с героями новеллы, читатели будут вовлекаться в активное размышление над ситуациями, описанными в новелле. Вопросы будут мотивировать их относиться к ситуациям не абстрактно, а примерять их на себя, думать, как они бы себя повели на месте героев, как бы отреагировали и что бы сказали в той или иной ситуации общения. С примером страницы из предлагаемой графической новеллы можно познакомиться на рисунке 4.

Таким образом, при разработке оригинальной графической новеллы была раскрыты возможности комиксов как инструмента обращения внимания на такой важный аспект онкологических заболеваний, как вызовы и сложности в коммуникации между онкологическими пациентами и их близким окружением. Практическая значимость нашей работы обращена к расширению территории открытого обсуждения социальных и психологических проблем, связанных с коммуникативными аспектами онкологических заболеваний как внутри отдельных семей, так и в обществе в целом.

Разработанная графическая новелла будет опубликована и доступна в печатном виде и pdf-формате. Мы надеемся, что предложенная новелла послужит поддержкой всем, кто найдет в ее историях и персонажах отражение своих переживаний и способы работы с ними.

Список использованных источников

1. Lubkin I.M., Larsen P.D. Chronic illness: impact and intervention // Burlington, Mass.: Jones & Bartlett Learning, – 2013. – Health. –V.7 – №6. – 600 p.
2. So W.K.W. and all, Anxiety, depression and quality of life among Chinese breast cancer patients during adjuvant therapy // Eur. J. Oncol. Nurs. – 2010. – V.14.1. – Pp. 17–22.
3. Ussher J., Kirsten L., Butow P., Sandoval M. What do cancer support groups provide which other supportive relationships do not? The experience of peer support groups for people with cancer // Soc. Sci. Med. – 2006. –V.62.10. – Pp. 2565–2576.
4. Rotegård A.K., Fagermoen M.S., Ruland C.M., Cancer patients' experiences of their personal strengths through illness and recovery // Cancer Nurs. – 2012. – V.35,1. – Pp. E8–E17.
5. Dwarswaard J., Bakker E. J.M., Staa A. van, Boeije H.R. Self-management support from the perspective of patients with a chronic condition: a thematic synthesis of qualitative studies // Health Expect. Int. J. Public Particip. Health Care Health Policy. – 2016. – V.19.2. – Pp. 194–208.
6. Sajjad S., Ali A., Gul R. B., Mateen A., Rozi S. The effect of individualized 67 patient education, along with emotional support, on the quality of life of breast cancer patients - A pilot study // Eur. J. Oncol. Nurs. Off. J. Eur. Oncol. Nurs. Soc. – 2016. – V.21. – Pp. 75–82.
7. Williams I.C.M. Graphic medicine: comics as medical narrative // Med. Humanit. – 2015. – V.38,1. – Pp. 21–27.
8. Farinella M. The potential of comics in science communication // J. Sci. Commun. – 2018. – V.17.1. – P. Y01.14.
9. Czerwiec M.K., Williams I., Squier S.M., Green M.J., Myers K.R., Smith S.T. Graphic Medicine Manifesto // Pennsylvania State University Press. – 2015. – 3 p.
10. Группа в VK «Онкология-общение». [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://vk.com/onko_blog (дата обращения: 02.03.2022).
11. Сайт некоммерческой службы по психологической и иной поддержке онкопациентов и их близких «Ясное утро». [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://yasnoeutro.ru/pacientam/psy-support/ (дата обращения: 07.03.2022).
12. Портал Американского Онкологического общества. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.cancer.org (дата обращения: 07.03.2022).
13. McCloud S. Understanding Comics: The Invisible Art // New York: William 68 Morrow. – 1993. – 224 p.

УДК 004

АДАПТАЦИЯ СИСТЕМЫ СБОРА И ПРЕДОСТАВЛЕНИЯ ДАННЫХ С ПРОМЫШЛЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ К ОБЛАЧНОЙ АРХИТЕКТУРЕ

Головко А.А.[1,2]

Научный руководитель – Маятин А.В.[1,2], доцент, кандидат педагогических наук, доцент факультета информационных технологий и программирования

1 – ООО “Сименс”

2 – Университет ИТМО

artemgolovko98@gmail.com

Ключевые слова

Удаленный мониторинг, распределенные системы, проектирование информационных систем, бесшовная адаптация информационных систем, облачная архитектура.

В компании Siemens существует система по сбору данных с промышленного оборудования по всему миру под названием LDS (Live Data Streaming). Эта система призвана обеспечить оптимизацию рабочих процессов и минимизации человеческого фактора на электростанциях. LDS позволяет собирать данные с датчиков в режиме реального времени и предоставляет возможность аналитическим системам оповещать о неисправностях оборудования, не находясь при этом в непосредственной близости к нему. Для этого непосредственно рядом с оборудованием развернут компонент “Streaming Agent”, который читает данные с устройства и отправляет их в систему. Как только данные были переданы в систему, клиенты получают их в режиме реального времени по механизму подписок. На рисунке 1 представлен пример использования системы.

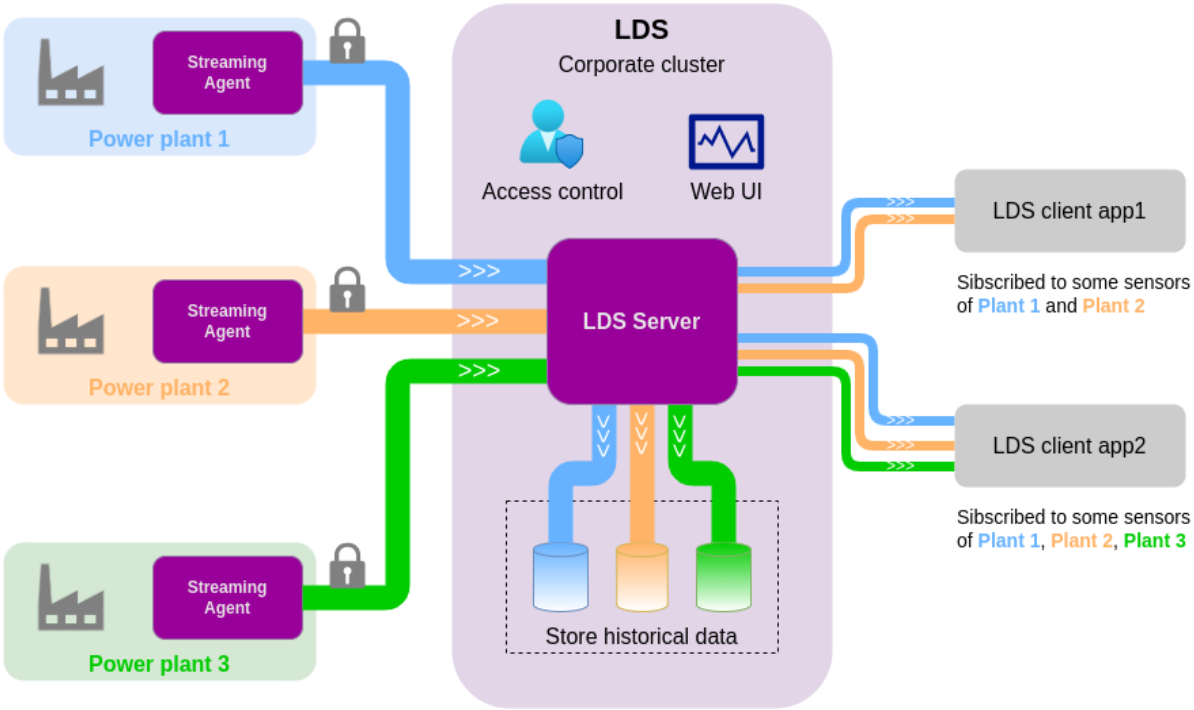


Рис. 1 – Пример использования системы LDS

Система переходит из фазы “Proof of Concept” в фазу “Production Ready Solution”. Для этого было принято решение по адаптации системы на облачную архитектуру по ряду факторов:

1. Поддержка отказоустойчивости.

   Становится все больше клиентов, требования по надежности системы возрастают.

2. Улучшение интеграции с другими системами.

Все больше клиентов желают видеть данные в облачном решении для более простой интеграции с другими системами и, в частности, с мобильными приложениями, что повышает требования к безопасности, так как на данном этапе система развернута во внутренней сети ИНТРАнет.

3. Поддержка межрегиональности.

Существует потребность в распределенной системе, которая позволит уменьшить задержки на передачу данных. Также, это обусловлено положениями законодательства в сфере хранения информации в рамках каждой отдельной страны. Текущее решение имеет две независимых инсталляции в США и в Германии (рис.2), что, в свою очередь, имеет несколько недостатков: нет единой точки входа в систему и дополнительные затраты на поддержку двух независимых инфраструктур.

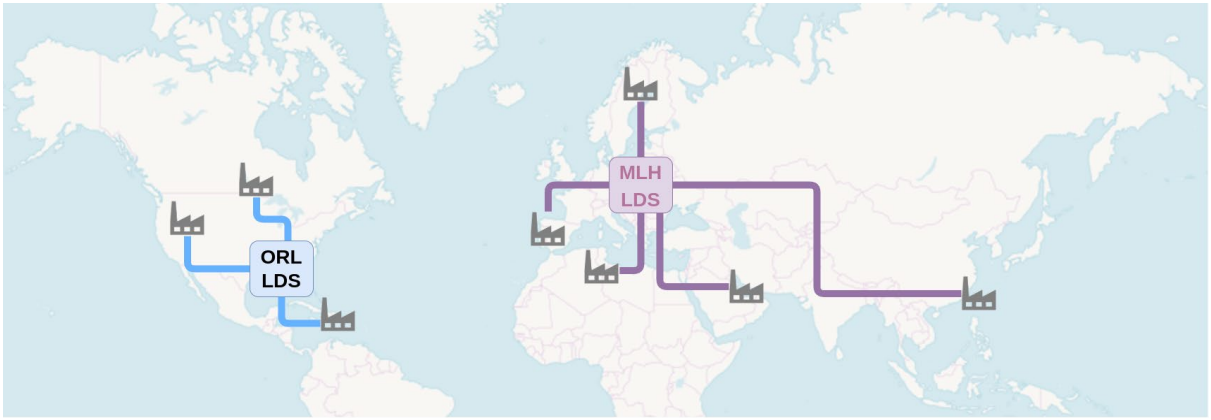


Рис. 2 – Независимые инсталляции LDS

4. Увеличение скорости разработки новой функциональности.

Система продолжает развиваться итерация за итерацией, но бизнес становится все более сложным, и пользователи требуют все большей функциональности. Текущая система имеет низкую скорость разработки новой функциональности из-за наличия устаревших собственных наработок, а также из-за отсутствия код архитектуры. Это состояние известно как “Fear Cycle”, при котором:

- появляется боязнь вносить изменения, так как каждое изменение вносит непредсказуемые и дорогостоящие побочные эффекты;
- новые функции/исправления становятся дорогими в реализации;
- один нестабильный компонент может привести к краху всей системы;
- невозможность внедрения новых технологий;
- трудно внедрять гибкие методологии доставки приложения;
- кодовая база ухудшается из-за бесконечных «быстрых исправлений».

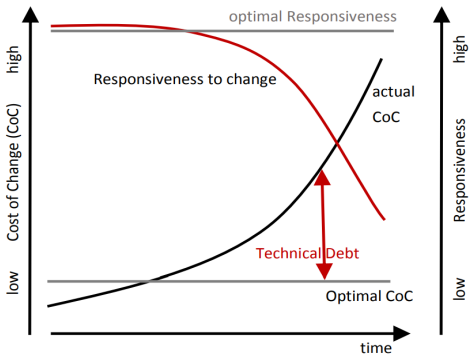


Рис. 3 – Эффективность разработки от времени без соблюдения код архитектуры

На рисунке 3 показано как снижается эффективность разработки (красная линия) со временем, если не производить рефакторинг и не соблюдать код архитектуру. На начальных

этапах стоимость изменений немного выше, но очень быстро окупается, если учесть, что большинство затрат в последующем будет направлено на поддержку этой системы.

5. Создание команды по сопровождению системы.

В любой системе могут быть ошибки и неисправности, а также проблемы в интеграции со сторонними системами. На данный момент только разработчик в состоянии разобраться с проблемой, так как отсутствует прозрачность и система мониторинга.

Перевод на облачную архитектуру призван устранить недостатки текущей системы. Можно выделить следующие группы задач:

1. Поддержка отказоустойчивости и масштабируемости.
   - поддержка горизонтального масштабирования;
   - поддержка развертывания кластерами в нескольких регионах;
   - автоматическое восстановление и откаты.
2. Улучшение безопасности.
   - безопасность транспортировки данных между промышленным оборудованием и системой;
   - обновленные версии сторонних библиотек без CVE репортов;
   - сетевая безопасность.
3. Сопровождение.
   - поддержка системы мониторинга и аудита;
   - предоставление документации для команды поддержки.
4. Обеспечение высокой производительности и надежности.
   - поддержка гарантий доставки данных;
   - поддержка большого количества параллельных запросов к системе;
   - поддержка большого количества подключенного промышленного оборудования к системе.

В ходе работы был произведен анализ текущего состояния системы для определения проблемных мест и реализован ряд этапов, а именно:

- улучшена интеграция с другими системами посредством создания промежуточной системы в AWS;
- сформулированы правила по код архитектуре;
- улучшена безопасность по транспортировке данных между промышленным оборудованием и системой;
- улучшена сетевая безопасность;
- произведено обновление сторонних библиотек для устранения CVE репортов;
- улучшена сборка приложения для поддержки дальнейшего реплицирования компонентов.

Поскольку адаптация на облачную архитектуру является длительным процессом, то можно выделить дальнейший план работ по развитию системы:

- поддержка горизонтального масштабирования;
- поддержка развертывания кластерами в нескольких регионах;
- автоматическое восстановление и откаты;
- поддержка системы мониторинга и аудита;
- поддержка высокой пропускной способности системы за счет перехода на неблокирующую модель ввода-вывода.

Список использованных источников

1. Richards M., Ford N. Fundamentals of Software Architecture. – 2020. – 426 p.
2. Ford N., Richards M., Sadalage P., Dehghani Z. Software Architecture: The Hard Parts. – 2021. – 773 p.
3. Evans E. Domain-Driven Design. – 2003. – 560 p.
4. Kleppmann M. Designing Data-Intensive Applications: The Big Ideas Behind Reliable, Scalable, and Maintainable Systems. – 2017. – 611 p.
5. Welsh M. A Design Framework for Highly Concurrent Systems. – 2000. – 14 p.

УДК 628.475.7:658.567.1

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ АСПЕКТ КОМПЛЕКСНОГО НАПРАВЛЕНИЯ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ: РАЗРАБОТКА ПРОЕКТА СОЗДАНИЯ РЕАКТОРА ДЛЯ МУСОРОПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИХ УСТАНОВОК

Голубева А.С.

Научный руководитель – Павлова Е.А., доцент, кандидат экономических наук, доцент факультета технологического менеджмента и инноваций

Научный консультант – Волков А.Р., старший преподаватель факультета технологического менеджмента и инноваций

astgolubeva@ya.ru

Ключевые слова

Устойчивое развитие, социально-экономико-экологические проблемы, мусороперерабатывающая установка, термохимическая газификация, низкотемпературный вакуумный пиролиз, функционально-стоимостной анализ, Project Expert.

В рамках выпускной квалификационной работы был разработан проект по созданию экспериментальной модели усовершенствованного мусороперерабатывающего реактора (составной части установок, в которой происходят основные реакции при утилизации отходов) – по авторской гипотезе элемента с наибольшей функциональной значимостью – на основе синергии технологии вакуумного низкотемпературного пиролиза и термохимической газификации с использованием катализатора – химического вещества, ускоряющего реакцию, но не входящего в состав продуктов реакции. Использование в совокупности представленных технологий позволяет снижать выбросы вредных веществ в атмосферу, в особенности углекислого газа, по сравнению с аналогичными реакторами, а также увеличивать процент выхода синтез-газа – возобновляемого источника энергии, состоящего из смеси монооксида углерода и водорода в различных соотношениях.

Выпускная квалификационная работа направлена на всестороннее изучение не только нормативно-правовой базы в области обращения с отходами, разработку инновационной технологии их переработки, но и на решение глобальных вопросов, связанных с концепцией устойчивого развития, сочетающей в себе триединый подход социальных, экологических и экономических проблем, наиболее актуальных для эффективного развития Российской Федерации, таких как:

1. Экологический аспект:
   - ежегодное бесконтрольное образование твердых коммунальных отходов (ТКО) порядка 70 млн тонн;
   - полигоны ТКО занимают около 4 млн га, ежегодный прирост составляет 300 тыс. га;
   - только 6 – 8% отходов в России подвергается вторичной переработке;
   - снижение выбросов CO_2 в атмосферу.
2. Экологический и социальный аспект: выбросы свалочных газов ведут к глобальному потеплению.
3. Экономический аспект:
   - исчерпание запасов нефти и природного газа в течение 35 и 50-ти лет [1];
   - около 61% доходов федерального бюджета в 2019 году приходится на добычу, транспортировку и использование полезных ископаемых, в том числе из них 82% – на нефтегазовый сектор [1];
   - необходимость постепенного и повсеместного перехода на возобновляемые источники энергии как для использования на территории страны, так и для продажи, чтобы обеспечить устойчивое развитие.

4. Экологический, социальный и экономические аспекты:
   - повышение спроса на существующие мусороперерабатывающие установки за счет появления возможности использования выходящего синтез-газа в качестве топлива и сокращения выхода вредных веществ, особенно CO_2;
   - внедрение закона о расширенной ответственности производителя (РОП).

После проведения сравнительного анализа методов по обращению с отходами, распространенных на территории города Санкт-Петербурга, было выявлено, что установки, базирующиеся на технологии газификации, полностью соответствуют отображенным в исследовании направлениям и Целям устойчивого развития, а также помогают решить ранее выявленные проблемы в экономическом, социальном и экологическом аспектах за счет эффективности переработки и получения дополнительной энергии в виде синтез-газа, способного заменить нефть и природный газ [2,3].

В результате патентного анализа, изучения рынка, а также выводов, полученных в ходе участия в разнообразных конкурсах, предполагающих развитие стартапов, было решено не разрабатывать полномасштабную мусороперерабатывающую установку, а акцентировать внимание на доработке и изменении основного элемента с наибольшим процентом функциональной значимости, определить который возможно при помощи функционально-стоимостного анализа [4].

В процессе изучения технической документации с помощью патентного поиска в Федеральном институте промышленной собственности по запросам: «газификация отходов» – 1679 документов, «пиролиз отходов» – 2897 документов, «сжигание отходов» – 7535 документов, «плазменная утилизация отходов» – 369 документов были определены общие признаки различных видов мусороперерабатывающего и мусоросжигательного оборудования, составлена матрица взаимосвязей функций и их носителей (табл.1), отображающая общеобъектную функцию типичной установки и основные выявленные элементы конструкции со следующими внутриобъектными функциями: F_1 – принимать отходы, F_2 – термически обрабатывать отходы, F_3 – подавать вспомогательные вещества, F_4 – отводить полученные газы, F_5 – сушить вещества, F_6 – очищать остаточные вещества.

Таблица 1

Матрица взаимосвязей функций и их носителей

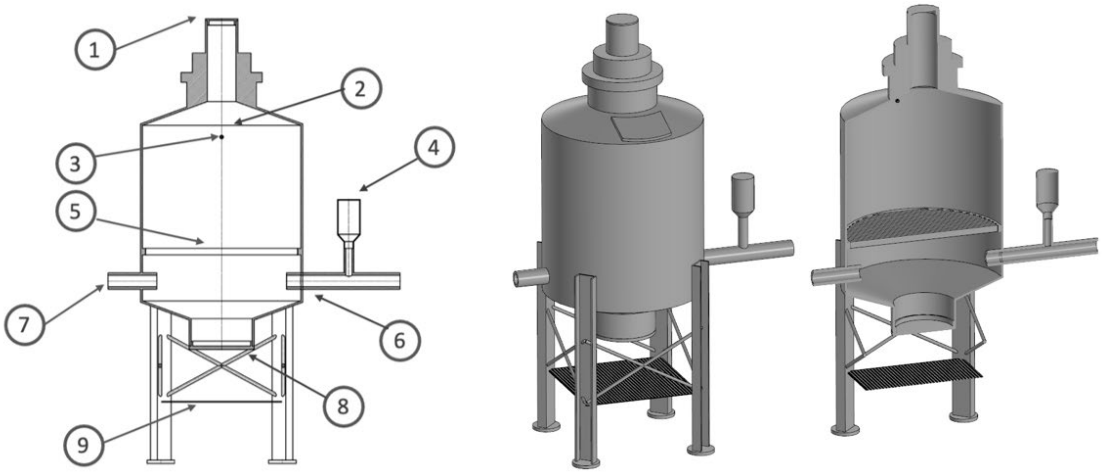
Элементы	**Функции**						
	Общеобъектная функция (F_0) – утилизировать отходы						
	F_1	**F_2**	**F_3**	**F_4**	**F_5**	**F_6**	**Функциональная значимость, %**
Загрузочный узел	Осн.	–	–	–	Всп.	–	10
Приемник отходов	Осн.	–	Всп.	Вред.	–	–	2,5
Реактор	Осн.	Осн.	Всп.	Всп.	Осн.	Всп.	40
Горелки	–	Осн.	Вред.	–	Осн.	Всп.	10
Патрубки для подачи окислителей/ катализаторов, иных вспомогательных веществ	–	Вред.	Осн.	Вред.	–	–	0
Зона сушки	–	Осн.	Всп.	–	Осн.	Всп.	20
Газоотвод	–	–	Вред.	Осн.	–	Осн.	5
Газоочиститель	–	–	–	Всп.	–	Осн.	10
Золоудаление (фильтр)	–	–	–	Вред.	Всп.	Осн.	2,5

Примечание: вид функции – основная (осн.), вспомогательная (всп.), ненужная (вредная) (вред.); функциональная значимость элементов определяется методом экспертных оценок – вредная функция нивелирует одну основную функцию; если элемент закрывает три основные функции и три вспомогательные (все возможные функции), то ему присваивается максимальный процент функциональной значимости – 40%, остальные проценты распределяются относительно элемента с максимальным процентом функциональной значимости.

Наибольший процент функциональной значимости (40%) согласно таблице 1 приходится на реактор, ранее выявленная гипотеза подтверждается. В полном тексте выпускной квалификационной работы также был проведен стоимостной анализ, где было выявлено, что наибольшие затраты приходятся на F_6 – очищение остаточных веществ (892 924 руб.), F_2 – термическую обработку отходов (729 480 руб.) и F_1 – приём отходов (711 112 руб.).

Действительно, для типичных мусоросжигательных установок крайне важно обладать мощными и высокоэффективными средствами очистки с целью предотвращения попадания вредных веществ в окружающую среду – воздух, воду и почвогрунты. Не менее важной является функция по термической обработке, так как разработка новых способов переработки отходов существенно улучшает функциональность установок, а также помогает сократить затраты на очистку выходящих веществ за счёт более полной утилизации изначальных продуктов. Дороговизна приёма отходов обуславливается стоимостью реактора и загрузочных узлов, так как необходимо обеспечить автоматическое поступление отходов с целью минимизации рисков в процессе эксплуатации оборудования, а также создать комфортные условия внутри реактора для термической обработки.

В результате проведенных научных исследований проект NuovoGAS заключается в разработке экспериментальной модели усовершенствованного реактора для мусороперерабатывающих установок в секторе обращения с отходами на основе синергии технологии вакуумного низкотемпературного пиролиза и термохимической газификации с использованием катализатора – негашеной извести, что позволяет снижать выбросы вредных веществ в атмосферу по сравнению с аналогами, а также увеличивать процент выхода синтез-газа. Вследствие апробации результатов и подтверждения гипотез технология патентуется, и руководители проекта предоставляют лицензию на ее использование.



а б

Рис. 1 – 3D-модель планируемой к созданию экспериментальной установки:
а) чертеж модели; б) 3D-модель и модель в разрезе. 1 – выход синтез-газа; 2 – узел загрузки; 3 – отверстие для шланга вакуумного насоса; 4 – емкость для катализатора; 5 – колосниковая решетка; 6 – пневмоподача воздуха и катализатора; 7 – газовая горелка; 8 – выход шлака; 9 – сетка-фильтр

Таким образом, принцип работы экспериментальной модели реактора для мусороперерабатывающих установок, 3D-модель которого была разработана в системе автоматизированного проектирования «Компас-3D» и представлена на рисунке 1 под пунктами «а» и «б», заключается в следующем: в узел загрузки (2) помещаются отходы, далее через отверстие для шланга вакуумного насоса (3) откачивается воздух с целью обеспечения процесса низкотемпературного вакуумного пиролиза, после зажигается горелка (7) для создания температуры порядка 400 – 450°С. Колосниковая решетка (5) необходима для равномерного нагрева исходного сырья и циркуляции сжатого воздуха, который вместе с катализатором подается на следующем этапе через пневмоподачу воздуха и катализатора (4, 6). Вследствие данного технологического процесса реакция низкотемпературного пиролиза

плавно переходит в следующую стадию – газификацию при температуре 750 – 900°С. Полученные продукты в виде синтез-газа и шлака направляются в специально предназначенные под них отверстия (1 – для синтез-газа; 8 – для шлака). Сетка-фильтр (9) необходима для отсеивания крупногабаритного шлака.

В рамках реализации проекта было решено продавать лицензии на использование технологии переработки в реакторе NuovoGAS, включающие в себя получение чертежей разрабатываемого оборудования. Для оперативной корректировки технической документации под запросы потенциальных потребителей – компаний-производителей мусороперерабатывающего оборудования – в штабе постоянных сотрудников предусмотрен инженер.

Стоимость лицензии была рассчитана по следующей формуле (1) [5].

$$Ц_л = \sum_{i=1}^{T} Ц_i \times Q_i \times R_i, \quad (1)$$

где $Ц_л$ – цена лицензии; $Ц_i$ – цена единицы лицензионной продукции в i-м году; Q_i – объем реализации лицензионной продукции в i-м году в натуральном измерении; R_i – ставка роялти в i-м году. Обычно она находится в пределах от 2 до 10%; T – срок лицензионного соглашения. Чаще всего он составляет 5–10 лет.

Исходные данные для расчета стоимости лицензии на технологию представлены на рисунке 2.

Исходные данные	
Цена ед. продукции, руб.	1700000
Темп инфляции март 2022 г.	16,70%
Цена ед. продукции с учетом инфляции	1983900
Индекс цен производителей промышленных товаров (Водоснабжение; водоотведение, организация сбора и утилизации отходов, деятельность по ликвидации загрязнений) Март 2022 - Март 2021 гг.	3,50%

Показатели	1 год	2 год	3 год	4 год	5 год	6 год	7 год
Цена ед. лицензионной продукции, руб.	1 983 900,00	2 053 336,50	2 125 203,28	2 199 585,39	2 276 570,88	2 356 250,86	2 438 719,64
Объем реализации лицензионной продукции, кол-во	3	3	2	1	2	1	1
Ставка роялти	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%

Рис. 2 – Исходные данные для расчёта стоимости лицензии на технологию

В результате стоимость лицензии на технологию реактора NuovoGAS:

$Ц_л$ = 238068+246400,38+170016,26+87983,42+182125,67+94250,03+97548,79 = 1116392,55 руб.

Зная итоговую стоимость лицензии на технологию, количество проданных лицензий, затраты на ресурсы для реализации этапов календарного плана, зарплату персонала, необходимые инвестиции и способы их получения, ставку дисконтирования, равную 42,5 % – как средний процент типичной требуемой нормы доходности для второго раунда финансирования стартапов и учитывая налоговые вычеты – упрощенную систему налогообложения в связи с тем, что численность сотрудников менее 130 человек, доход – менее 200 млн. руб.: объект налогообложения «доходы минус расходы» – налог на прибыль, пенсионный фонд Российской Федерации (ПФР), фонд социального страхования Российской Федерации (ФСС), федеральный фонд обязательного медицинского страхования (ФФОМС), страхование от несчастных случаев – программа Project Expert смогла рассчитать следующие показатели: Прибыли-убытки, Кеш-фло, Баланс, Финансовые показатели, результаты которых подробно представлены в полном тексте выпускной квалификационной работы. Эффективность инвестиций представлена в таблице 2.

Анализ конъюнктуры в области обращения с отходами на территории Санкт-Петербурга и Ленинградской области показал, что существующие на данный момент методы по утилизации: захоронение на полигонах ТКО, биокомпостирование и сжигание – имеют низкую эколого-экономическую эффективность, также технологиям не хватает перерабатывающих мощностей для того, чтобы справиться с ежедневно поступающим потоком отходов, следовательно, они неспособны обеспечить эффективное функционирование мусороперерабатывающих систем.

Таблица 2

Эффективность инвестиций, направленных на проект NuovoGAS

Показатель	Рубли
Ставка дисконтирования, %	42,50
Период окупаемости – PB, мес.	17
Дисконтированный период окупаемости – DPB, мес.	17
Средняя норма рентабельности – ARR, %	57,67
Чистый приведенный доход – NPV	483 092
Индекс прибыльности – PI	1,34
Внутренняя норма рентабельности – IRR, %	310,80
Модифицированная внутренняя норма рентабельности – MIRR, %	59,66

Примечание: период расчета интегральных показателей – 28 мес.

Регион экстренно нуждается в пересмотре существующих технологий для более качественной реализации концепции устойчивого развития в рамках экономического, экологического и социального развития.

Для решения значительной части выявленных проблем следует рассмотреть сочетание технологии низкотемпературного вакуумного пиролиза и последующей термохимической газификации отходов с использованием катализатора в виде негашеной извести.

На основе данных научных статей и профильной литературы было выявлено, что предлагаемый способ по обращению с отходами является наиболее энергоэффективным, экологически безопасным и инновационным решением проблемы опасного антропогенного влияния жизнедеятельности человека на окружающую среду.

Результаты функционально-стоимостного анализа подтвердили гипотезу о том, что реактор, в котором протекает реакция с отходами, является наиболее важной структурной единицей, тем самым обосновывая целесообразность разработки не полноценной дорогостоящей мусороперерабатывающей установки, а отдельной единицы в виде реактора.

После обоснования целесообразности предлагаемого проекта был произведен анализ инвестиционной привлекательности. Результаты расчетов в программе Project Expert показывают, что проект NuovoGAS является привлекательным с точки зрения инвестирования и полностью окупает вложенные в него инвестиции, так как: чистый приведенный доход – NPV > 0; индекс прибыльности – PI > 1; средняя норма рентабельности – ARR > 0; период окупаемости проекта (PB) составляет 17 месяцев.

В процессе выпускной квалификационной работы были решены все поставленные задачи: проанализировано экологическое состояние территории города Санкт-Петербурга, изучена нормативно-правовая база в области обращения с отходами, проведено сравнение существующих методов утилизации отходов, реализующихся на мусороперерабатывающих предприятиях города Санкт-Петербурга, определены основные принципы, особенности и преимущества метода газификации отходов, описана технология синергии низкотемпературного вакуумного пиролиза и газификации с использованием катализатора на примере разрабатываемой экспериментальной модели реактора, обоснована необходимость внедрения экологических проектов на территории города Санкт-Петербурга с помощью индикативно-комплексной оценки устойчивого развития, выявлена целесообразность разработки проекта создания реактора с помощью функционально-стоимостного анализа и анализа инвестиционной привлекательности, сформировано коммерческое предложение для компаний-производителей мусороперерабатывающего оборудования.

Список использованных источников

1. Мень М.А. Отчет о результатах экспертно-аналитического мероприятия «Анализ воспроизводства минерально-сырьевой базы Российской Федерации в 2015-2019 годах» / М.А. Мень, А.А. Каульбарс. – Москва: Счетная палата Российской Федерации, 2020. – 52 с.
2. Голубева А.С. Сравнительный анализ аналогов и обоснование преимущества разработки и внедрения мусороперерабатывающей установки, основанной на газификации отходов с помощью катализатора // Альманах научных работ молодых ученых Университета ИТМО. – 2021. – Т.5. – Часть 1. – С. 129–133.

3. Кузьмин С.Н., Ляшков В.И., Кузьмина Ю.С. Биоэнергетика: учебное пособие. – Тамбов: Издательство ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2011. – 80 с.
4. Шеремет А.Д., Ковалев А.П. Функционально-стоимостной анализ: Учебное пособие / Под ред. А.Д. Шеремета. – М.: Экономический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова, 2017. – 204 с.: ил.
5. Есипов В.Е. Цены и ценообразование: Учебник для вузов. 3-е изд. / Под ред. В. Е. Есипова. – СПб: Издательство «Питер», 2000. – 464 с.

УДК 577.218

БИНАРНЫЕ АНТИСМЫСЛОВЫЕ ОЛИГОНУКЛЕОТИДНЫЕ АГЕНТЫ (БИАСО) ДЛЯ ОНКОМАРКЕР-ЗАВИСИМОЙ ДЕГРАДАЦИИ ЦЕЛЕВОЙ РНК

Дрозд В.С.[1]

Научный руководитель – Виноградов В.В.[1], доктор химических наук, директор химико-биологического кластера

Соруководитель – Колпащиков Д.М.[2, 3], кандидата химических наук, профессор

1 – Университет ИТМО

2 – Chemistry Department, University of Central Florida

3 – Burnett School of Biomedical Sciences, University of Central Florida

valeryadrozd@gmail.com

Работа выполнена при поддержке программы «Приоритет 2030», а также программы УМНИК договор № 17789ГУ/2022.

Ключевые слова

Антисмысловые олигонуклеотиды, БиАСО агент, генная терапия, онкотерапия, ДНК-машины.

В настоящее время основными стратегиями лечения опухолевых заболеваний остаются лучевая терапия и химиотерапия, обладающие множественными побочными эффектами в отношении нормальных тканей и химиорезистентностью, и хирургическое вмешательство, осложненное частыми рецидивами. Эти факты побуждают ученых продолжать поиски новой рациональной противоопухолевой терапии. В наши дни новые агенты генной терапии широко разрабатываются в качестве вспомогательных средств. Технологии на основе АСО, малых интерферирующих РНК, микроРНК и дезоксирибозимов предназначены для подавления транскриптов генов, которые способствуют развитию раковых клеток (например, ангиогенных факторов, факторов роста и маркеров рака, таких как мутантный вариант гена KRAS и т.д.). Однако подавление этих генов не обязательно приводит к гибели раковых клеток и не играет жизненно важной роли в функционировании клеток. Если нацеливать гены домашнего хозяйства, ответственные за поддержание клеточной жизнеспособности, нормальные ткани будут также подвергнуты цитотоксичности. Таким образом, общим недостатком всех агентов генной терапии на основе олигонуклеотидов является их неспособность распознавать последовательность активатора (например, онкогенные микроРНК или матричные РНК с мутациями, сигнализирующие о процессе онкогенеза в конкретных клетках) с последующим запуском гибели клеток путем подавления другой мРНК, отличной от активатора, ген которая играет существенную роль в поддержании жизни в клетках.

Мы обратили внимание на технологию АСО (рисунок,А), которая является одним из наиболее успешных и простых подходов генной терапии, достигающая 80 – 95% супрессии транскрипта целевого гена. Однако недостаточная эффективность и низкая селективность классических антисмысловых агентов ограничивает их медицинское применение в качестве противораковых препаратов. Несколько терапевтических препаратов для лечения опухолевых заболеваний на основе АСО находятся на разных этапах клинических исследований, однако, на сегодня нет ни одного зарегистрированного лекарственного препарата [1].

Опухолевые клетки отличаются от нормальных клеток продукцией специфических молекул, сигнализирующих о процессе канцерогенеза – маркеров рака [2]. Маркерами нуклеотидной природы могут выступать микроРНК, длинные некодирующие РНК, мРНК генов с мутациями. Чтобы добиться высокоселективной активации АСО терапии только в раковых клетках, мы предлагаем концепцию бинарного антисмыслового олигонуклеотидного

агента (БиАСО) (рисунок,Б). Основными преимуществами БиАСО-агентов является распознавание последовательности онкомаркера (активатора), сверхэкспрессированного в раковых клетках, и последующая активация РНКазой Н-зависимого расщепления другой целевой матричной РНК гена, несущего жизненно важную для живых клеток функцию. В то же время новая концепция может решить проблему низкой эффективности из-за открывающейся возможности нацеливания антисмысловых агентов нового типа на любой ген домашнего хозяйства, оставляя нормальные ткани интактными.

Разрабатываемые в настоящем исследовании бинарные антисмысловые олигонуклеотиды (БиАСО) объединили в себе сенсорный модуль бинарных зондов и терапевтический модуль антисмысловых олигонуклеотидов. Мы выдвинули гипотезу, что БиАСО способны активировать терапевтическое действие - расщепление РНК целевого гена, только в присутствии маркера нуклеотидной природы.

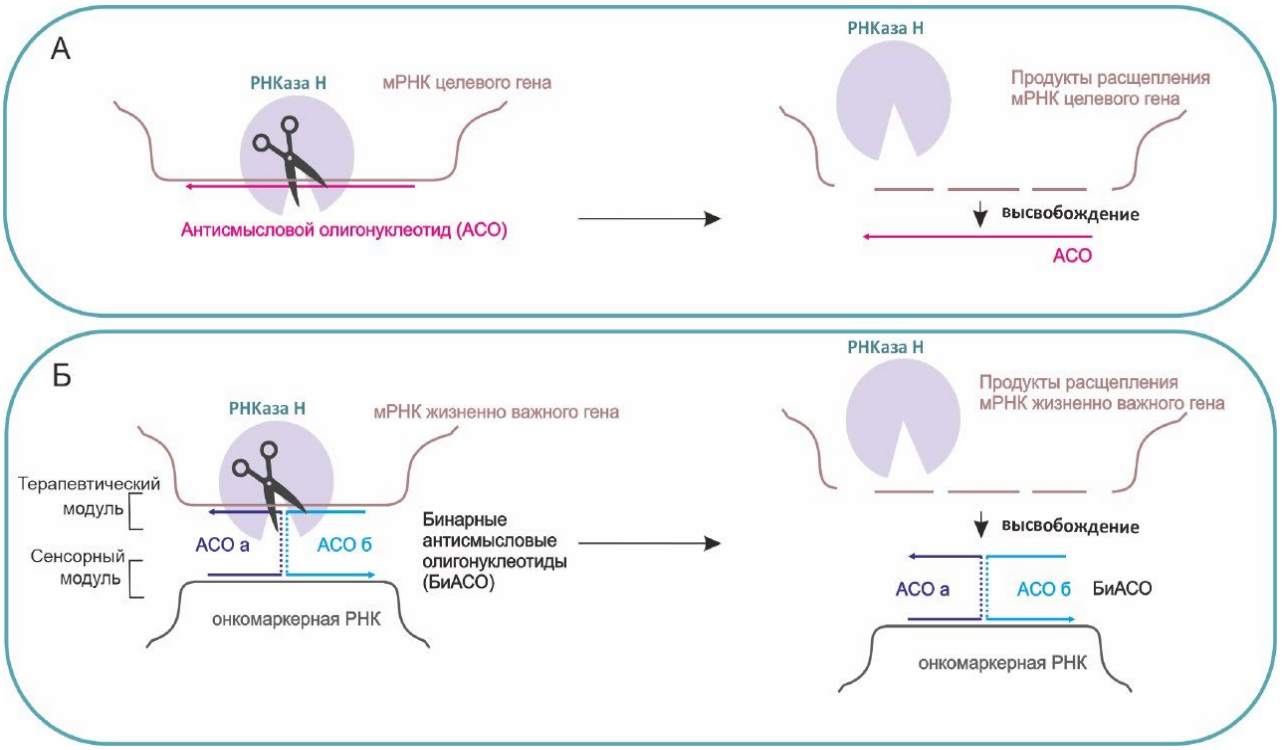


Рисунок – А) принцип работы классического антисмыслового олигонуклеотида (АСО). АСО и мРНК целевого гена формируют пару (дуплекс). Фермент РНКаза Н разрезает в дуплексе мРНК целевого гена, АСО высвобождается и способен связаться с новой молекулой мРНК; Б) принцип работы бинарных антисмысловых олигонуклеотидов (БиАСО). Онкомаркерная РНК объединяет БиАСО цепи (АСОа и АСОб) в общую систему и активирует расщепление мРНК жизненно важного гена с таким же механизмом, как классический АСО

Исследование направлено на разработку бинарных антисмысловых олигонуклеотидных агентов (БиАСО) для деградации целевой мРНК избирательно в присутствии другой РНК активатора (онкомаркера).

Для достижения поставленной цели были выдвинуты следующие задачи:

1. Разработать дизайны бинарных антисмысловых олигонуклеотидов (БиАСО) и ДНК-машин (ДМ) на основе БиАСО технологии для активатор-зависимой деградации целевой РНК.
2. Осуществить сборку конструкций ДМ и протестировать сборки с применением анализа электрофореза в нативном полиакриламидном геле (ПААГ).
3. Достигнуть РНКаза Н-зависимого расщепления целевой РНК *in vitro* с помощью БиАСО агентов и ДМ только в присутствии специфического активатора.
5. Достигнуть высокой селективности в активации БиАСО агентов только полностью комплементарной последовательностью активатора.

В тестовой модели БиАСО агент сконструирован из двух цепочек: АСОа и АСОб. Каждая из цепей имеет сайт, комплементарный последовательности активатора (консервативный фрагмент мРНК гена KRAS, 29 нд), и сайт, комплементарный РНК-мишени (фрагмент мРНК гена GFP, 60 нд). Оба сайта каждой цепи соединены друг с другом через химические линкеры на основе гексаэтиленгликоля. В присутствии РНК активатора две цепи БиАСО связывают РНК-мишень, образуя структуру с четырехсторонним соединением. Затем фермент РНКаза H расщепляет РНК-мишень, с последующим высвобождением БиАСО агента. Кроме того, БиАСО агент был внедрен в концепцию ДНК-машины с общим ДНК каркасом, объединяющим две цепи в одну систему. Дополнительно, дизайн ДНК-машины был оснащен ингибирующими сайтами, которые в отсутствии активатора, должны удерживать на себе сайты, комплементарные РНК-мишени для предотвращения нежелательной активации расщепления в отсутствие активатора.

Для подтверждения гипотезы о селективности подхода БиАСО, синтетический FAM-меченый фрагмент мРНК целевого гена GFP в концентрации 1 мкМ инкубировали с 1 единицей рекомбинантного фермента РНКазы H E. coli и различными антисмысловыми агентами в концентрации 0,05 мкМ в присутствии или отсутствие активатора 0,05 мкМ (фрагмент мРНК гена KRAS). Пробирки с приготовленным образцами инкубировали при 37°C в течение 20 мин. Затем продукты расщепления РНК-мишени разделяли в 15% денатурирующем ПААГ и проводили количественный анализ эффективности расщепления целевой РНК при помощи программы Image Lab. Эффективность расщепления оценивали как процент расщепления РНК-мишени, вызванного различными антисмысловыми агентами. Селективность оценивали по отношению сигнала к фону (S/B), где сигнал представляет собой эффективность расщепления в присутствии активатора, а фон представляет собой эффективность расщепления в отсутствие активатора. Фактор селективности рассчитывали по формуле:

$$Sf = (1 – (Sns – B)/(Ss – B))*100\%,$$

где Sns – % расщепления целевой РНК в присутствии неспецифического активатора, Ss – % расщепления целевой РНК в присутствии специфического активатора, B – % расщепления целевой РНК в отсутствие активатора (фон).

Наибольшее соотношение расщепления в присутствии и в отсутствие РНК активатора (S/B ~ 6) было достигнуто с моделью БиАСО а8-б10 (числа 8 и 10 соответствуют длине сайтов цепей АСОа и АСОб, соответственно, связывающих РНК-мишень). Эта комбинация показала эффективность расщепления 53% в присутствии РНК активатора и около 9% фонового расщепления (соответствует уровню самодеградации РНК-мишени). Эффективность расщепления БиАСО а8-б10 в присутствии активатора соответствует 65% от активности контрольной одноцепочечной АСО. Другие модели БиАСО (цепи АСОа и АСОб, отличающиеся друг от друга длиной комплементарных сайтов РНК-мишени) показали более низкое соотношение S/B или большой процент фонового расщепления в отсутствие активатора. Увеличение длины сайтов, связывающих РНК-мишень гена GFP только на 1 нуклеотид (нд) повышало фоновую активность в два и четыре раза для модели БиАСО а9-б10 и БиАСО а8-б11, соответственно.

Кинетические особенности БиАСО агентов сравнивали с активностью ДНК-машины в экспериментах по временным точкам. Был сделан вывод, что БиАСО обладают большей скоростью расщепления, чем ДНК-машины, благодаря легкости конструкций и отсутствию ингибирующих участков. Однако, модель ДНК-машины а15-б15 на ДНК каркасе 8/8 показала увеличенное соотношение S/B~2.3 по сравнению с аналоговым дизайном БиАСО а15-б15 (S/B~1.5), что подтвердило полезность ингибирующих сайтов ДНК-каркаса для предотвращения деградации РНК-мишени в отсутствие активатора.

Кроме того, в настоящей работе была предпринята попытка модифицировать БиАСО агенты для распознавания однонуклеотидной замены (SNS) в последовательности активатора для увеличения специфичности технологии к мутантным вариантам маркера. Для тестирования специфичности БиАСО к SNS маркерной последовательности в качестве

маркера использовался фрагмент РНК гена KRAS в двух вариантах: в диком типе вариант гена KRAS содержит гуанин (KRAS-G), в мутантом варианте гуанин заменен на аденин (KRAS-A). Было экспериментально подтверждено, что мутированный ген KRAS инициирует и поддерживает развитие опухолей. Более того, 27 % случаев рака у человека ассоциированы с мутациями в этом гене, включая аденокарциному легкого, муцинозную аденому, протоковую карциному поджелудочной железы и колоректальную карциному. На сегодня известны более 130 SNS, возникающих в гене KRAS [4]. В свою очередь, в настоящей работе была использована наиболее часто встречаемая SNS, участвующая в развитии рака – G12. Было выявлено, что исходная модель БиАСО а8-б10 не обладает специфичностью в отношении SNS последовательности активатора. В отсутствии маркера процент расщепления фрагмента РНК гена GFP было на уровне естественной деградации РНК (~15%), в присутствии мутантного фрагмента маркера KRAS-A процент расщепления составил 52%, в присутствии фрагмента маркера дикого типа KRAS-G - 54% (фактор селективности 4,6%). Далее участок цепи АСОб, комплементарно связывающий участок активатора с SNS, был укорочен до 10 нуклеотидов для увеличения специфичности БиАСО к фрагменту маркера дикого типа KRAS-G. Использование БиАСО а8-б10-10 с укороченной цепью АСОб показало высокое расщепление в присутствии маркера KRAS-G (46%) полностью комплементарного цепи АСОб, и значительное снижение активации в присутствии маркера KRAS-A (21%) (фактор селективности 76,4%), что было связано с уменьшением стабильности комплекса БиАСО а8-б10-10/активатор в присутствии SNS ($\Delta G = -7.9$ kcal/mol для KRAS-A и $\Delta G = -12,8$ kcal/mol для KRAS-G. Энергия Гиббса рассчитана с помощью онлайн инструмента UNAFold [5]). Затем мы протестировали модель БиАСО а8-б10-10, полностью комплементарную к KRAS-A. Несмотря на то, что агент БиАСО а8-б10-10 показал низкий процент фонового расщепления, он также показал низкую эффективность в присутствии комплементарного активатора KRAS-A (27,1%) и несовместимого активатора KRAS-G (26,7%) (фактор селективности 3,7%). Низкая эффективность в обоих случаях активатора может быть следствием снижения стабильности комплекса ($\Delta G = -11.7$ kcal/mol для KRAS-A и $\Delta G = -9,4$ kcal/mol для KRAS-G).

Заключение

1. Разработано несколько конструкций Бинарных антисмысловых олигонуклеотидов (БиАСО) и ДНК-машин (ДМ) на основе технологии антисмысловых олигонуклеотидов.
2. Конструкции DM были успешно собраны с хорошим выходом, и сборка была протестирована с использованием электрофореза в нативном ПААГ.
3. Наибольшее соотношение РНКаза Н-зависимого расщепления РНК-мишени в присутствии и в отсутствие активатора KRAS-G (S/B ~6) было достигнуто с помощью модели БиАСО а8-б10, которая продемонстрировала лишь около 9% расщепления РНК-мишени в отсутствие онкомаркера и 53% в его присутствии, что соответствует 65% активности расщепления вызванного контрольным АСО. Конструкции ДМ показали меньшую кинетическую активность *in vitro* по сравнению с агентами БиАСО.
4. Технология БиАСО демонстрирует способность быть оптимизированной к распознаванию однонуклеотидной замены (SNS) в последовательности активатора. Модель БиАСО а8-б10-10 распознает полностью комплементарную последовательность активатора KRAS-G с последующим эффективным расщеплением РНК-мишени (~ 45%) и отменяет активацию расщепления в присутствии активатора KRAS-A с заданной SNS.

Таким образом, была продемонстрирована возможность БиАСО активировать расщепление целевой РНК в ответ на распознавание последовательности активатора (маркера) *in vitro*, что может иметь большой потенциал в прикладной онкотерапии. Этот подход закладывает основу для разработки высокоселективных и эффективных антисмысловых агентов генной терапии. Однако, практическое применение данной технологии в онкотерапии будет зависеть от удачного выбора гена домашнего хозяйства, ингибирование которого вызовет высокую цитотоксичность в живых опухолевых клетках. До сих пор эксперименты проводились с рекомбинантным ферментом РНКазой Н из Escherichia coli, которая обычно

используется для предварительной оценки активности АСО агентов. Мы признаем, что человеческие ферменты РНКаза H1 и 2 могут иметь разные характеристики распознавания субстрата и, следовательно, не связываться со структурой четырехстороннего соединения агента БиАСО и не вызывать расщепления РНК-мишени. Все эти вопросы будут отвечены в последующих исследованиях.

Список использованных источников

1. Xiong H., Veedu R.N., Diermeier S.D. Recent Advances in Oligonucleotide Therapeutics in Oncology // Int. J. Mol. Sci. – 2021. – V.22. – №7. – Pp. 3295.
2. Atri C., Guerfali F.Z., Laouini D. Chapter 6 - MicroRNAs in diagnosis and therapeutics // AGO-Driven Non-Coding RNAs / ed. Mallick B. Academic Press. – 2019. – Pp. 137–177.
3. Drozd V.S. et al. Binary Antisense Oligonucleotides for Oncomarker-Dependent Target Rna Degradation // Новосибирский национальный исследовательский государственный университет. – 2021. – 276 p.
4. Hobbs G.A., Der C.J., Rossman K.L. RAS isoforms and mutations in cancer at a glance // J. Cell Sci. – 2016. – V.129. – №7. – Pp. 1287–1292.
5. Two State Melting Folding. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.unafold.org/Dinamelt/applications/two-state-melting-folding.php (дата обращения: 24.01.2022).

УДК 004.056

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА УНИВЕРСАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКИМ ТЕСТИРОВАНИЕМ БЕЗОПАСНОСТИ ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЙ

Иванов А.А.

Научный руководитель – Кузнецов А.Ю., кандидат технических наук, доцент факультета безопасности информационных технологий

avangard.jazz@gmail.com

Ключевые слова

Информационная безопасность, динамическое тестирование, непрерывная интеграция, управление безопасностью, веб-технологии, веб-приложения.

В настоящее время неотъемлемой частью жизни людей является Интернет, который, в свою очередь, представлен, по большей части, веб-сайтами. Чем больше возможностей для людей дает Интернет, тем больше угроз он может содержать в себе, а эти угрозы, потенциально, могут стать причиной потери финансов или персональных данных. В связи с этим для многих компаний, обслуживающих собственные веб-приложения, стала актуальной задача своевременного поиска и устранения потенциальных угроз безопасности [1]. Один из методов этого достичь – динамическое тестирование безопасности, однако такое тестирование – сложный организационно-технический процесс, и не каждая компания имеет достаточно ресурсов для его реализации [2]. Несмотря на большое количество существующих решений в области исследования безопасности веб-приложений, ни одно из них не подходит для использования в обусловленном процессе как есть [2]. В данной работе предлагается решение, которое способно быть универсальным как с точки зрения самого тестирования, так и с точки зрения применимости в различных инфраструктурах организаций.

Основные проблемы при построении процесса динамического тестирования безопасности веб-приложений условно можно разделить на две категории: технические и организационные. В то время как организационные проблемы могут быть решены в основном только самой организацией или отделом, занимающимися построением процесса, технические проблемы могут быть решены выбором или созданием (при отсутствии существующих) подходящих программных средств. Исследование наиболее общих проблем при построении процесса показало, что система динамического тестирования должна состоять из трех независимых программных компонентов, решающих эти проблемы: обслуживающий, чья зона ответственности - доставка входных данных и получение результатов; тестирующий, суть которого заключается непосредственно в исследовании конечного веб-приложения на предмет угроз безопасности; агрегирующий, функции которого включают учет, хранение и обработку результатов.

Дальнейшее исследование выявило, что существует разнообразное количество готовых решений, которые могут выступать в качестве тестирующего и агрегирующего компонентов, однако не существует достаточно универсальных решений, способных выполнять обслуживающие функции, однако именно этот компонент является ключевым, поскольку он способен решить большую часть трудностей при организации процесса: доставку входных данных, управление покрытием тестирования, управление сценариями тестирования, мониторинг, а также получение и подготовку результатов. Отсутствие подходящих готовых решений стало причиной создания собственного. Также для управления данной системой и ресурсами, которые она потребляет в ходе работы (одна из проблем, представленных на рисунке 1), было принято решение использовать систему контейнеризации “Docker” [3].

Рис. 1 – Выявленные проблемы при организации процесса динамического тестирования безопасности

Разработанное решение представляет собой систему скриптов на языке программирования “Python 3”, выбор языка обусловлен достаточно низким порогом входа и высокой популярностью [4]. Данное решение обладает гибкой модульной системой, позволяющей расширять возможности данного компонента под нужды конкретных организаций, а также легкой системой конфигурирования. В качестве тестирующего компонента была выбрана программа “Zed Attack Proxy” в виду того, что это решение с открытым исходным кодом, имеющее хорошо задокументированный программный интерфейс, различные режимы функционирования и возможность работы в виртуальной среде [5]. В качестве агрегирующего компонента взято программное обеспечение “Defect Dojo” по следующим причинам: открытость исходного кода, большое наличие графического и программного интерфейсов, широкие возможности настройки параметров агрегирования и обработки загружаемых результатов [6].

Описанные компоненты были объединены в единую систему управления процессом динамического тестирования безопасности веб-приложений, которая успешно показала себя в практических испытаниях и при внедрении в инфраструктуру действующей организации. Так, при тестировании данной системы при помощи заведомо уязвимого программного обеспечения, система была в состоянии обнаружить восемь из десяти наиболее актуальных угроз безопасности, но при помощи заложенной в систему гибкости, данный результат удалось повысить до десяти из десяти, внедрив собственные проверки и механизмы работы [7,8]. Результаты тестирования в автоматизированном режиме были собраны, и отправлены на хранение в агрегирующий компонент, который также позволил вести дискуссию о полученных результатах в дальнейшем, что является показателем качественного перехода от “тестирования” к “процессу непрерывного тестирования”. При непосредственном внедрении в действующей организации данная система смогла обнаружить двадцать шесть неизвестных ранее (в рамках тестируемого веб-приложения) уязвимостей и выполнять непрерывное наблюдение на предмет возникновения известных, исправленных ранее уязвимостей. В дальнейшем планируется набор пользовательской базы данной системы, которая сможет поддерживать данный проект, привнося в него улучшения, а также новые проверки для тестирования и модули функционирования, делая данную систему еще более эффективной. Тем не менее, уже сейчас данная система способна позволить многим компаниям организовать процесс динамического тестирования безопасности веб-приложений при минимальных вложениях ресурсов, тем самым повышая уровень информационной безопасности продукта.

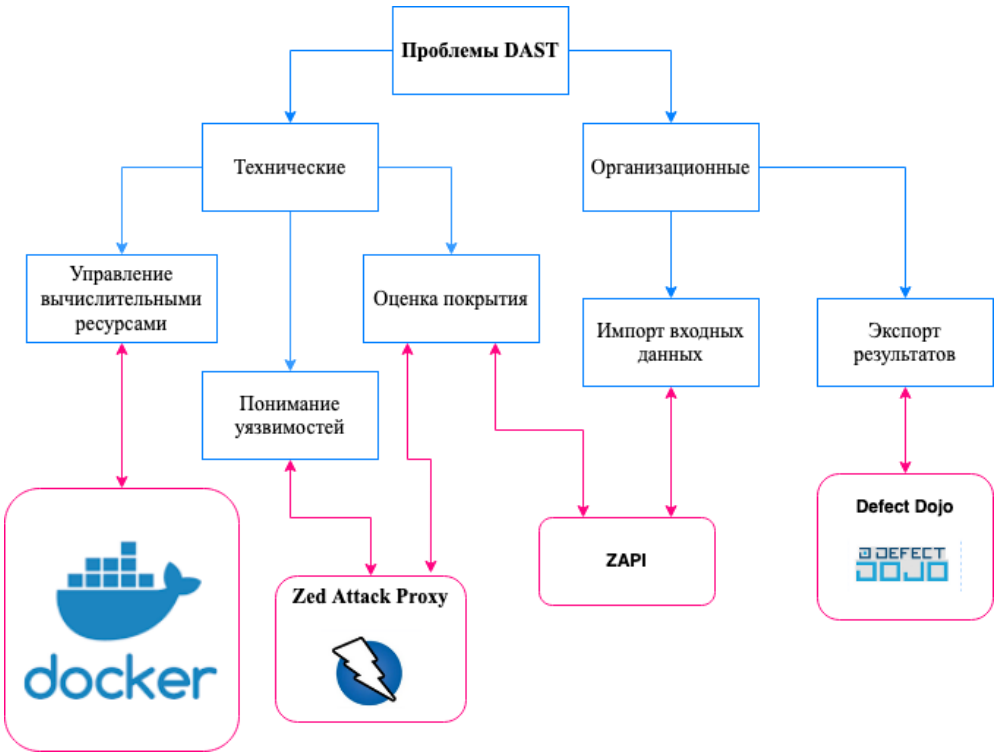


Рис. 2 – Решение выявленных ранее проблем при помощи компонентов разработанной системы

Список использованных источников

1. Stuart D. The Web Application Hacker's Handbook / D. Stuart, M. Pinto - Innapolis: Wiley Publishing, Inc., 2012 – 879 с.
2. Peterson J. Dynamic Application Security Testing: DAST Basics. [Электронный ресурсl – Режим доступа: https://www.whitesourcesoftware.com/resources/blog/dast-dynamic-application-security-testing/ (дата обращения: 27.01.2022).
3. Carey S. What Is Docker? The Spark for the Container Revolution. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.infoworld.com/article/3204171/what-is-docker-the-spark-for-the-container-revolution.html (дата обращения: 07.02.2022).
4. Касми Э. У языков программирования революция. Сменился самый популярный язык в мире. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.cnews.ru/news/top/2021-10-11_tsel_dostignutapython_vpervye (дата обращения: 09.03.2022).
5. OWASP ZAP – Documentation. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.zaproxy.org/docs/ (дата обращения: 22.03.2022).
6. Defect Dojo. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://defectdojo.github.io/django-DefectDojo/. (дата обращения: 23.02.2022).
7. Subash S. Damn Vulnerable NodeJS Application (DVNA) by Appsecco. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://blog.appsecco.com/damn-vulnerable-nodejs-application-dvna-by-appsecco-7d782d36dc1e (дата обращения: 23.03.2022).
8. Сафонов Л. OWASP Top 10 2017 RC. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://habr.com/ru/company/owasp/blog/326272/ (дата обращения: 15.04.2022).

УДК 621.391.63

DEVELOPMENT OF UNDERWATER WIRELESS COMMUNICATION SYSTEM

Инь Чанчэн

Научный руководитель – Мараев А.А., кандидат технических наук, преподаватель центра прикладной оптики

3474128912@qq.com

Key words

UWOC system, seawater channel, random phase screen method, Monte Carlo simulation calculation method.

In recent years, with the construction of the seabed observation network and the rapid development of underwater submersible equipment, people have higher requirements for signal continuity, high efficiency, high speed of underwater communication. UWOC is more and more favored by researchers due to its ultra-high data transmission rate (up to $Gbps$), simple system design, small size, low power consumption and low development cost. Now it has become a research hotspot of domestic and foreign researchers in the field of deep-sea research.

In 2010, Hanson et al. explored the influence of underwater turbulence on laser transmission and found for the first time that blue-green light is the transmission window of clean seawater, but due to the absorption and scattering of seawater, the transmission range of optical equipment is only within 100 m [1]. In 2014, Izumi Mizukoshi et al. first proposed to build a UWOC system based on field programmable gate array (FPGA), which made outstanding contributions to optimizing the system structure (including size and weight), but the experiment only the wireless transmission of 405 nm, 968 Mbit/s optical intensity modulation/direct detection-orthogonal frequency division multiplexing (IM/DD-OFDM) signal on a 2 m underwater channel [2]. In 2016, Chao Shen et al. proposed a compact and low-power UWOC system utilizing a 450 nm laser diode (LD) and a silicon avalanche photodetector (APD). Since the LD operates at a drive current of 80 mA, the optical power is 51.3 mW, demonstrating a high-speed UWOC link [3]. But the communication transmission distance is only 20 m In 2017, Tsai-Chen Wu et al. in order to realize long-distance high-speed UWOC in seawater, using pre-leveled 16-quadrature amplitude modulation (QAM) orthogonal frequency division multiplexing (OFDM) data to directly modulate 450 nm blue GaN LD to achieve maximum transmission capacity up to 10 Gbps. The blue LD-based UWOC can achieve a 16-QAM OFDM bit rate up to 7.2 Gbps, which can transmit over 6.8 m in seawater [4].

In this paper the random phase screen method is used to simulate the light intensity distribution of the receiving end, and the Monte Carlo simulation calculation method is used to measure the energy of the receiving end, which provides a feasible solution for the evaluation of the wireless optical transmission quality under seawater channel in the laboratory. Also, using FPGA to build a laboratory UWOC system, which simplifies the structure and reduces the design cost. At the same time, it also provides a new feasible solution for exploring the UWOC system of long-distance and high-speed transmission in the laboratory.

1. Evaluation of wireless optical transmission quality under seawater channel.

This paper mainly considers three types of seawater: clean seawater, coastal seawater and turbid port seawater. For calculations, corresponding equation parameters were taken from [5] for λ = 520 nm.

Table 1

The coefficient value of water quality (λ = 520 nm) [5]

Sea water type	a(λ)	b(λ)	c(λ)
Clean seawater	0.114	0.037	0.151
Coastal waters	0.179	0.219	0.398
Turbid port water	0.366	1.824	2.190

The total absorption can be calculated using equation

$$c(\lambda) = a(\lambda) + b(\lambda). \quad (1)$$

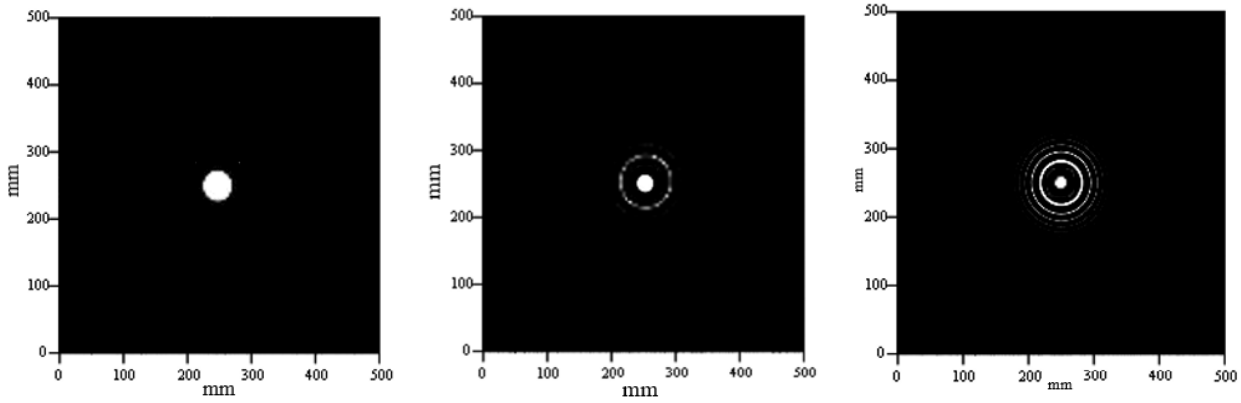
The Monte Carlo simulation method is used to simulate the trajectory of the emitted photon. The simulation parameters that need to be set are shown in table 2.

Table 2

Monte Carlo simulation calculation method simulation parameters

Parameter	Value
Wavelength of light	520nm
Power source	50mW
Photodetector diameter	3cm
Light source divergence angle	22°
Number of photons emitted	$1 \cdot 10^4$

The absorption and scattering of seawater mainly cause the attenuation of light. The random phase screen method is used to simulate clean seawater, coastal seawater and turbid port seawater, and observe the light intensity distribution after the light passes through the three types of seawater. Figure 1 is the light intensity distribution graph of clean seawater, coastal seawater, turbid port seawater.



Clean seawater Coastal seawater Turbid port seawater

Figure 1 — Simulation results of light intensity distribution modeling

When the light passes through clean seawater with the smallest total attenuation coefficient, the light intensity distribution is relatively concentrated, the diameter of the central spot is about $70mm$, and there is no beam broadening. When the light passes through the coastal seawater, the light intensity distribution is also relatively concentrated, but the diameter of the central spot is reduced to about $40mm$, and the beam broadens. When the light passes through the turbid port seawater with the largest total attenuation coefficient, the light intensity distribution is relatively scattered, the diameter of the central spot is only about $20mm$, and the beam broadening is serious.

Then, three types of seawater are simulated by Monte Carlo simulation calculation method, and the number of photons received by the receiver after the light propagates through different seawater channels is measured, and the attenuation rate of each type of seawater is obtained. The number of emitted photons is 1×10^4, and the number of photons received after passing through three types of seawater and the calculated attenuation rate are shown in table 3.

Table 3

Number of photons received and calculated attenuation rate

Seawater type	Number	Attenuation rate
Clean seawater	$9.745 \cdot 10^3$	2.55%
Coastal seawater	$9.037 \cdot 10^3$	9.63%
Turbid port seawater	$8.011 \cdot 10^3$	19.89%

It can be seen that the seawater with a larger attenuation coefficient consumes more light, and the energy of the light reaching the receiving end is also less.

In seawater channel, air bubbles mainly cause the flickering of the beam. Take clean seawater as an example, set the air output of the air pump to 1 L/min, and the light intensity distribution at the receiver after passing through the seawater is observed, as shown in figure 2.

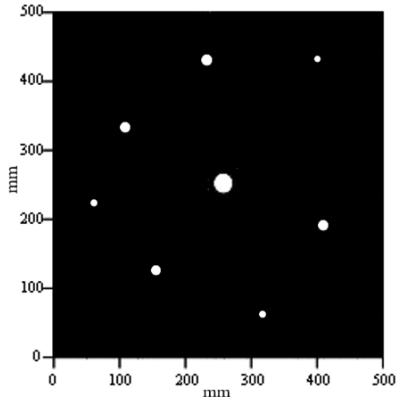


Figure 2 – Light intensity distribution of air bubbles

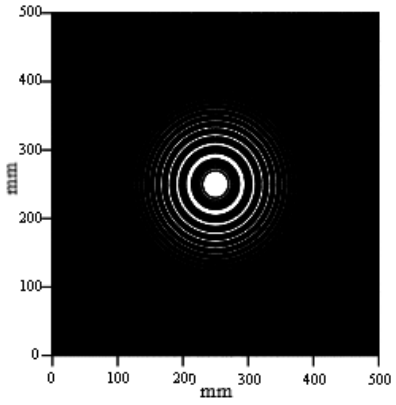


Figure 3 – Light intensity distribution of seawater turbulence

As can be seen from figure 2 that there are many small light spots on the receiving screen. The light intensity of each small spot is relatively concentrated, and no obvious beam broadening occurs.

In seawater channel, seawater turbulence mainly causes beam broadening. Taking clean seawater as an example, the temperature difference is set to 2°C/min, and the light intensity distribution at the receiving end after the light passes through the seawater is observed, as shown in figure 3. As can be seen there are many apertures on the receiving screen, but the center spot is still concentrated and the diameter is about 50 mm. Therefore, the attenuation of the beam by seawater turbulence is small, and no obvious beam flicker is caused. The beam is mainly broadened obviously, and the diameter of the beam spot after the broadening is 200 mm.

2. Design the underwater wireless optical communication system.

This paper proposes to use an application-specific integrated circuit communication device – FPGA. It can act as encoder, modulator, demodulator and decoder in UWOC system. Therefore, the framework structure of the UWOC system in this paper is shown in figure 4.

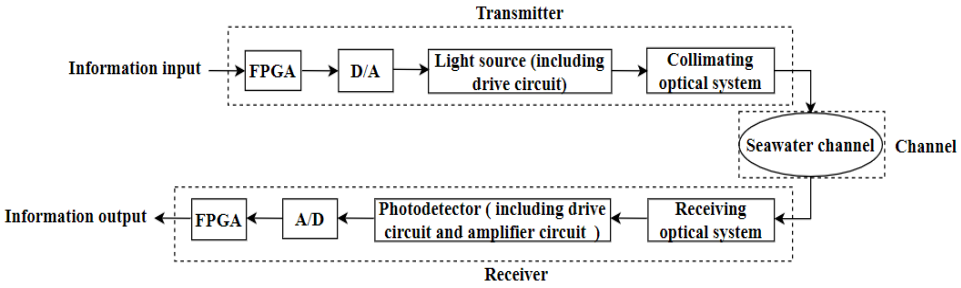


Figure 4 – The framework structure of the UWOC system

The process of loading certain characteristics of information onto light waves for transmission is modulation in optical systems. The on-off key (OOK) modulation method is more suitable for the UWOC system designed in this paper because of its simplicity and easy implementation.

When the binary information is “1”, the laser has optical pulse output. When the binary digital information is “0”, the laser has no pulse output. That is, the OOK modulation method realizes communication by controlling whether the laser outputs pulses or not.

In the UWOC system, the light source plays the role of converting electrical signals into optical signals. LD has advantages such as high modulation bandwidth, fast transmission rate and long transmission distance. In addition, according to the feature that the blue-green light is less attenuated

by the water body, the light source of the UWOC system designed in this paper adopts the point-like green light LD-PLT5 520.

2.1 Design of collimating optical system.

In order to increase the aperture of the exiting beam while compressing the divergence angle of PLT5 520, this paper proposes a secondary collimating optical system. The specific structure of the secondary collimating optical system obtained by calculation is shown in figure 5.

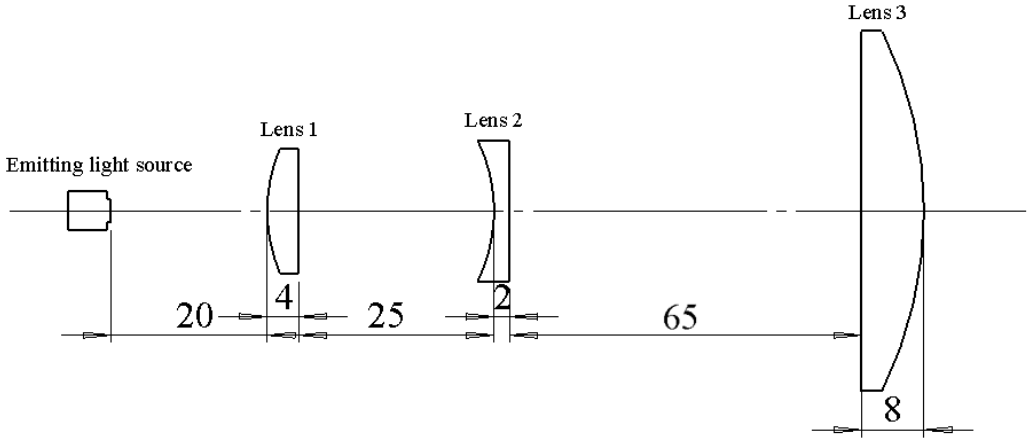


Figure 5 – Structure of the secondary collimation optical system

The light collimated by the secondary collimation optical system is very close to parallel light, and the divergence angle is only 0.028°. In addition, none of the light rays at the edge of the lens are expanded and can be transmitted through the lens, so the secondary collimation optical system is very suitable for the design requirements of this paper.

2.2 Choice of photodetectors.

In the UWOC system, the role of the photodetector is to convert the received optical signal into an electrical signal. APD has the outstanding advantages of high detection sensitivity and high current gain. This is in line with the requirements for the photodetector of the long-distance UWOC system designed in this paper. Therefore, this paper selects Hamamatsu APD module C12702-12 as the photodetector with peak sensitivity at 620 nm, with its typical value of $–1.9 \cdot 10^4$ V/W, NEP 1 pW/Hz^{-1} and bandwidth 1 MHz.

3. Evaluation of underwater wireless optical communication system quality.

For feasibility analysis, it can be verified by calculating the communication link energy of the UWOC system. As for the evaluation of communication quality, there are many evaluation standards at present. Combined with the actual needs of this paper, this paper mainly studies the BER and receiving eye diagram of the UWOC system, and SNR of the photodetector.

3.1 Communication link energy calculation.

The output power of the laser $P_0 = 50$ mW, the transmitting efficiency of the transmitting optical system $\eta_T = 0.5$, the receiving efficiency of receiving optical system $\eta_R = 0.5$, the comprehensive attenuation coefficient of the seawater channel (clean seawater) to the transmitted source c = 0.151, the transmission distance L = 100 m, the transmitting optical system aperture $D_T = 38.9$ mm, the receiving optical system aperture $D_R = 100$ mm, the laser beam divergence angle $\theta = 22° = 0.384$ rad. So it can be calculated:

- the output power of the laser $P_O = 10*\lg 50 = 16.99$ dBm;
- loss of transmitting optical system (db) = 10*lg0.5 = -3.01dB;
- loss of receiving optical system (db) = 10*lg0.5 = -3.01dB;
- seawater channel attenuation (db) = -0.151*100 = -15.1dB;
- geometric attenuation (db) = $10*\lg(0.1^2/(0.0389 + 0.384*100)^2)$ = -51.7dB.

The maximum received power:

$$P_{max} = 16.99 – 3.01 – 3.01 – 15.1 – 51.7 = -55.83 \text{ dB}.$$

The minimum power P_{dmin} that the photodetector can receive can be obtained by the following formula:

$$P_{d\min} = NEP \cdot \sqrt{BW}\ , \tag{2}$$

where NEP is the noise equivalent power, BW is the bandwidth of photodetector.

$P_{d\min} = 1\times10^{-9} \times \sqrt{10^6} = 1\times10^{-6} mW$

$P_{d\min} = 10\times\lg 1\times10^{-6} = -60 dBm$

Therefore, the UWOC system power redundancy = –55.83 – (–60) = +4.17 dBm. Indicating that the UWOC system designed in this paper is feasible.

3.2 BER of the UWOC system.

BER reflects the degree of signal damage in the process of digital transmission, which is the ratio of the number of error symbols in a certain period of time to the total number of symbols in the transmission stream. In this experiment, clean seawater is used as the channel, the transmission distance is 100 m, and the total number of transmitted symbols is $1x10^4$, the BER result at this conditions is 0, indicating that the signal transmission quality is very high. As can be seen that when the communication frequency is 1 Mbps, the eye diagram of the UWOC system indicates that the signal transmission quality is high (quality factor value reaches 108.4).

3.3 SNR of photodetector.

SNR refers to the ratio of signal to noise in an electronic device or electronic system, usually expressed in decibels. A device with a higher SNR means it produces less noise. The SNR for a photodetector is usually the ratio of the signal power to the noise power of the photodetector.

This paper selects APD as the photodetector, and APD is mainly limited by shot noise, which can be expressed by the following formula:

$$P_n = \frac{2ei_L \Delta f M^x}{\wp^2} \approx NEP \cdot \sqrt{\Delta f}\ . \tag{2}$$

The NEP of ADP is 1 pW/Hz^{-1} and Δf is 1 MHz, so the noise power P_n of APD is:

$$P_n = 1\times10^{-9} \times \sqrt{10^6} = 1\times10^{-6} mW\ .$$

Also, the supply voltage of the APD is 5V and the current consumption is 50mA, so the input signal power of the APD is:

$$P_s = 5\times50 = 250 mW\ .$$

The SNR can be estimated using the following formula:

$$SNR = 10\lg\left(P_s / P_n\right)\ . \tag{3}$$

So, it can be calculated that the SNR of the APD is about $10*\lg(250/1x10^{-6})$ = 83.98 dB.

The SNR should generally not be lower than 70 dB. Obviously, the SNR of the APD of the UWOC system designed in this paper is greater than 70 dB, so it meets the design requirements of the communication system.

This paper provides a comprehensive analysis for the study of seawater channel characteristics and the influencing factors of wireless optical transmission quality. It also provides a design idea for designing a laboratory UWOC system based on FPGA with long transmission distance and high transmission rate. The design scheme is simple, effective and saves time and cost, and can well meet the needs of the current development of remotely operated vehicles (ROVs), autonomous underwater vehicles (AUVs) and underwater sensor networks.

References

1. Korotkova O., Fa Rwell N. Effect of oceanic turbulence on polarization of stochastic beams. Optics Communications. – 2011. – №284(7). – Pp.1740–1746.

2. Mizukoshi I., Kazuhiko N., Hanawa M. Underwater optical wireless transmission of 405nm, 968Mbit/s optical IM/DD-OFDM signals // OptoElectronics and Communications Conference; Australian Conference on Optical Fibre Technology. – 2014. – Pp. 216–217.
3. Shen C., Guo Y., Oubei H.M. et al. 20-meter underwater wireless optical communication link with 1.5 Gbps data rate // Optics Express. – 2016. DOI:10.1364/OE.24.025502.
4. Wu T.C., Chi Y.C., Wang H.Y. et al. Blue Laser Diode Enables Underwater Communication at 12.4Gbps[J]. Scientific Reports. – 2017. DOI:10.1038/srep40480.
5. Mobley C.D. Light and Water: Radiative Transfer in Natural Waters. San Diego, CA: Academic press. – 1994. – 592 p.

УДК 637.631

ИССЛЕДОВАНИЕ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ПРОЦЕССА ГИДРОЛИЗА КЕРАТИНСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ ПТИЦЕПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕЙ ОТРАСЛИ ПРИ ПОМОЩИ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

Каршева К.

Научный руководитель – Алексеев Г.В., профессор, доктор технических наук, доцент образовательного центра "Энергоэффективные инженерные системы"

karsheva.888@mail.ru

Ключевые слова

Вторичное сырье, кератинсодержащие отходы, гидролизат кератина, ультразвук, интенсификация, протеиновое питание.

Птицеводство является высоко рентабельным, а значит наиболее развитым и популярным видом животноводства. Ежегодное увеличение масштабности производственных процессов мясопереработки на птицефабриках приводит к скапливанию большого количества вторичного сырья в виде кератинсодержащих отходов (пухоперьевые отходы). Так, например, птицефабрика с поголовьем порядка 10 млн голов может иметь отходы пера более 950 т в год. Утилизация отходов переработки птицы выливается в значительную проблему для предприятий птицепрома и приобретает все большее экономическое значение, создавая определенную нагрузку на себестоимость готовой продукции.

На сегодняшний день уровень переработки такого вторичного сырья как перо достаточно низкий и едва достигает 20%, остальные 80% как правило захоранивают на полигонах. В свою очередь пухо-перьевые отходы относятся к 4 группе экологической опасности и в случае неконтролируемого захоронения могут привести к экологической аварии. Период восстановления почвы после попадания в нее пера в больших количествах может занять от 6 до 10 лет.

Долгий период саморастворения пера заключается в его химическом составе. Перо, как и волосы состоит из белка - кератина. Кератин – химически устойчивый белок, имеет высокую прочность, которая обуславливается наличием дисульфидных связей. Отходы птицеперерабатывающей отрасли могут наносить значительный ущерб окружающей среде, однако непищевые отходы мясопереработки птицы такие как перо, могут быть использованы как вторичное сырье поскольку содержат порядка 80% протеина. Протеин является ценной кормовой добавкой так как, его невозможно заменить другими веществами [1–4].

С помощью существующих технологий можно получать кормовую муку, но при этом она будет с низким содержанием белка в усвояемой форме, 25 – 35% при этом большая часть будет утеряна из-за высоких температур и давления. Однако подобрав оптимальные условия для проведения гидролиза возможно получить кормовую добавку с высоким содержанием протеина. С точки зрения биохимического анализа под протеином принимают простые белки, которые имеют в своем составе только аминокислоты, однако с точки зрения оценки кормовых добавок под протеином принимают все азотосодержащие вещества в корме, такие как белки и амиды. Кроме того, белки служат источником незаменимых аминокислот, таких как лизин, метионин, цистин, триптофан, аргинин, гистидин, лейцин, изолейцин, фенилаланин, треонин, валин. Основной сложностью при производстве кормовых добавок с высоким уровнем содержания протеина и хорошей усвояемостью, становится подбор оптимального технологического режима и оборудования. Технологии, предлагаемые на сегодняшний день, имеют низкую результативность и невысокое качество получаемого продукта. Такие проблемы связанны со сложностями в разрушении дисульфидных связей и применении высоких концентраций реагентов, которые в свою очередь приводят к высокому содержанию солей в готовом продукте. Высокое содержание солей в кормовых добавках негативно сказывается на росте животных. Однако при проведении гидролиза под воздействием ультразвукового излучения, нам удалось добиться оптимальных показателей выхода готового продукта без использования высоких концентраций щелочей.

В работе проводились эксперименты по проведению гидролиза кератин содержащих отходов птицеперерабатывающей отрасли для подбора оптимальных технологических условий. Согласно данным, полученным в ходе исследования, можно сделать выводы о том, что на глубину гидролиза, проводимого под воздействием ультразвукового излучения существенное влияние, оказывает гидромодуль. Явные признаки разрушения структуры кератина наблюдаются при гидромодуле 10, но скорость процесса при этом очень медленная. Мы изменяли гидромодуль в диапазоне от 10 до 40. При гидромодуле 20, скорость резко возрастала, при гидромодуле 30 скорость набухания и разрушения структуры пера возрастала незначительно, при повышении гидромодуля до 40 скорость процесса не возрастает относительно гидромодуля 30, соответственно можно говорить о том, что процесс разрыва дисульфидных связей наиболее эффективно происходит при гидромодуле 20. Дальнейшее повышение гидромодуля приводит к понижению качества готового продукта в части содержания сырого протеина и повышенной засоленности продукта, что негативно сказывается на росте поголовья.

Помимо гидромодуля на скорость проведения гидролиза существенное влияние оказывает концентрация реагентов. Явные признаки разрушения структуры кератина наблюдаются при концентрации 1%, но скорость процесса при этом очень медленная. Мы изменяли концентрацию NaOH в диапазоне от 1% до 9 %. При концентрации 3%, скорость постепенно возрастала, при концентрации 6% скорость набухания и разрушения структуры пера значительно возрастала, при повышении концентрации до 9% скорость процесса возрастает, но уже незначительно, соответственно можно говорить о том, что процесс разрыва дисульфидных связей происходит при концентрации щелочи 6 %. Следующий фактор, который оказывает влияние на скорость проведения гидролиза кератин содержащих отходов – это частота ультразвука. Мы проводили эксперименты с использованием двух частот 22 кГц и 44 кГц. Скорость растворения пера значительно увеличивается при воздействии ультразвука частотой 22 кГц. Так же нами использовались два вида волноводов: сужающийся и расширяющийся. В ходе эксперимента было выявлено, что скорость возрастает при использовании сужающегося волновода [5].

С помощью проведенных экспериментов установлен оптимальный технологический режим для проведения гидролиза кератинсодержащих отходов птицеперерабатывающей отрасли под воздействием ультразвукового излучения • Гидромодуль 20 • Концентрация NaOH 6% • Волновод сужающийся • Частота 22 кГц • Температура 600 С Предлагаемые условия, позволяют значительно ускорить процесс расщепления дисульфидных связей и растворение пера. При этом получаемый продукт имеет высокое качество Содержание сырого протеина в полученном продукте 88% что соответствует основному показателю качества перьевой муки, согласно ГОСТ 17536–82 «МУКА КОРМОВАЯ ЖИВОТНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ» содержание сырого протеина не менее 75%. Для реализации предложенного способа разработана и запатентована полезная модель №209 804 U1 Российская Федерация, МПК B01D 11/02 (2006.01), A23J 1/10 (2006.01), A23J 3/30 (2006.01). Устройство для гидролиза кератинсодержащего сырья: № 2021136928.

Список использованных источников

1. Антипова Л.В., Глотова И.А. Основы рационального использования вторичного коллагенсодержащего сырья мясной промышленности / ВГТА. - Воронеж, 2006.
2. Антипова Л.В., Пащенко Л.П., Шамханов Ч.Ю., Курилова Е.С. Получение и характеристика пищевого кератинового гидролизата // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2003. – №7. – С. 63–66.
3. Бабич О.О, Разумникова И.С., Полетаев Н.Ю. Переработка вторичного кератинсодержащего сырья и получение белковых гидролизатов на пищевые и кормовые цели // Техника и технология пищевых производств. – 2011. – №2(21). – С.11–17.
4. Бредихин С.А., Бредихина О.В., Космодемьянский Ю.В. Технологическое оборудование мясокомбинатов. – М.: Колос, 2006.
5. Каршева К., Резниченко Р.О., Шанин В.А., Алексеев Г.В. Анализ влияния ультразвукового воздействия на скорость растворения пера при щелочном гидролизе // Естественные и технические науки. – 2022. – №1(164). – С. 221–222.

УДК 681.7.07

ВОПРОСЫ МАГНИТНОГО ЭКРАНИРОВАНИЯ ЧУВСТВИТЕЛЬНОГО ЭЛЕМЕНТА ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКОГО ГИРОСКОПА

Климова Е.Н.[1,2]

Научный руководитель – Драницына Е.В.[1,2], кандидат технических наук, доцент факультета систем управления и робототехники

1 – Университет ИТМО

2 – АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор»

elizaveta55555@mail.ru

Ключевые слова

Пермаллой, аморфные сплавы, коэффициент магнитного экранирования, магнитный экран, волоконно-оптический гироскоп, ВОГ.

Наиболее перспективными приборами для решения задач автономной навигации являются волоконно-оптические гироскопы (ВОГ), которые широко применяются для построения малогабаритных инерциальных навигационных систем среднего класса точности. Следует учесть, что в магнитном поле из-за эффекта Фарадея появляется оптический сдвиг нуля гироскопа. Путем введения магнитного экрана можно снизить погрешности измерений, обусловленные этим эффектом и таким образом, улучшить точностные параметры гироскопа [1]. Для расширения областей применения ВОГ и улучшения их эксплуатационных характеристик требуется повышение коэффициента магнитного экранирования (КМЭ), которое может быть достигнуто путем оптимизации конструкции магнитных экранов. Добавление аморфного или нанокристаллического сплава в конструкцию магнитного экрана ВОГ – это возможность увеличить КМЭ без существенного изменения конструкции.

Магнитный экран ВОГ состоит из двух раздельных полых элементов, образующих при совмещении форму цилиндра, внутри которого размещается чувствительный элемент гироскопа. Для увеличения КМЭ экраны делают многослойными (рис.1), так как в этом случае, при наличии достаточных зазоров, суммарный КМЭ значительно выше, чем у однослойного экрана той же толщины [2]. Прочную фиксацию и магнитное экранирование обеспечивает соединение внахлест трех пар полуцилиндров, изготовленных из пермаллоя 79НМ [3]. Этот пермаллой обладает высокой прочностью, коррозийной устойчивостью и пластичностью, а также имеет высокие показатели удельного сопротивления и магнитной проницаемости и отличается малым коэффициентом перемагничивания.

Рис. 1 – Сборка трехслойного магнитного экрана ВОГ
АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор»

Аморфные сплавы на основе железа (АЖ) и кобальта (АК) и нанокристаллические сплавы (НКС) – новый особый класс прецизионных сплавов, отличающийся от кристаллических сплавов структурой, способом изготовления и свойствами. Между собой они схожи по структуре и технологии получения. Также, как пермаллои, обладают высокими механическими и электромагнитными свойствами. Сравнительные характеристики материалов представлены в таблице 1.

Таблица 1

Сравнительные характеристики магнитно-мягких материалов

Материал / **Свойства**	Пермаллой 79НМ	АК	АЖ	НКС
Начальная проницаемость, μi	40 000	60 000	5 000	70 000
Оптим. область рабочих частот, f (кГц)	0...10	10...100000		

В общем смысле КМЭ представляет собой отношение напряженностей магнитных полей внутри и снаружи экрана [2,3] и рассчитывается по формуле:

$$K = \frac{B_{\text{внеш}}}{B_{\text{внутр}}}, \quad (1)$$

где $B_{\text{внеш}}$ – напряженность магнитного поля вне экрана; $B_{\text{внутр}}$ – напряженность магнитного поля внутри экрана.

При теоретическом расчете КМЭ многослойного экрана учитываются следующие факторы: геометрия экрана, количество слоев, материал и толщина каждого слоя, величина зазора между слоями [4,5]. КМЭ для каждого слоя экрана определяется в поперечном K_T и продольном K_L направлениях по формулам (2) и (3) соответственно [2,3].

$$K_T = \frac{\mu \cdot t}{2 \cdot R}, \quad (2)$$

$$K_L = \frac{4 \cdot N \cdot K_T + 1}{1 + R/L}, \quad (3)$$

где μ – магнитная проницаемость материала экрана; t – толщина стенки экрана; R – радиус экрана; L – высота экрана; N – фактор демагнетизации, где $p = L/2R$:

$$N = \left[\frac{1}{1-p^2}\right] \cdot \left\{1 - \frac{p}{(1-p^2)^{1/2}} \cdot \cos^{-1}(p)\right\}. \quad (4)$$

Суммарные КМЭ многослойного экрана для поперечного и продольного направлений определяются по формуле:

$$K = K_n \prod_{i=1}^{n-1} K_i \left[1 - \left(\frac{R_{i+1}}{R_i}\right)^k\right], \quad (5)$$

в которой i – порядковый номер слоя; n – количество слоев; k – коэффициент, зависящий от геометрии сечения экрана: $k = 2$ и $k = 1$ для поперечного и продольного направлений соответственно.

Данный расчет выполнен для сборки из трех полых цилиндров с параметрами серийно изготавливаемого ВОГ (с радиусами R_3 = 74 мм, R_2 = 74,5 мм, R_1 = 76 мм, высотами L_3 = 43 мм, L_2 = 44,5 мм, $L_1 = 46$ мм и толщиной стенок $t = 0{,}35$мм), схематично представленной на рис. 2. Однако расчет ведется без учета конструкционных отверстий, предназначенных для крепления ВОГ, находящегося в экране и ведущих к снижению КМЭ.

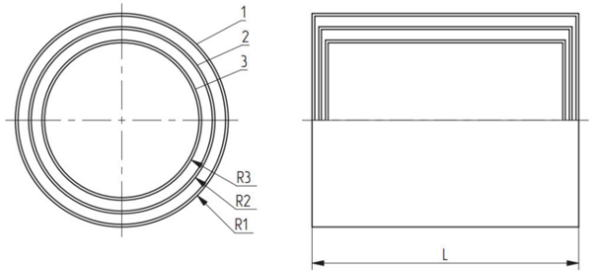


Рис. 2 – Модель трехслойного магнитного экрана

Результаты теоретического расчета КМЭ магнитных экранов из магнитно-мягких материалов при заданных параметрах существующего ВОГ представлены в таблице 2.

Таблица 2

Рассчитанные по формулам КМЭ магнитных экранов

Материал	Однослойный экран		Трехслойный экран	
	в поперечном направлении K_T	в продольном направлении K_L	в поперечном направлении K_T	в продольном направлении K_L
Пермаллой	95	105	970	335
АЖ	10	15	2	1
АК	140	155	3 260	1 130
НКС	165	180	5 180	1 780

Исходя из полученных числовых значений КМЭ для экранов из магнитно-мягких материалов, можно сделать вывод о том, что применение АК или НКС в конструкции магнитного экрана ВОГ может существенно повысить конечный КМЭ, а соответственно уменьшить влияние магнитного поля на чувствительный элемент ВОГ.

Для экспериментального определения КМЭ применялась лабораторная установка, показанная на рисунке 3, состоящая из катушки для задания постоянного поля с проводом ПЭТВ–2 и общим сопротивлением 2,2 Ом; I – источника питания Rigol DP832, работающего в режиме стабилизации тока; немагнитной подставки высотой 420 мм; m – магнитометра HMC5983 на эффекте Холла (ось чувствительности располагалась вертикально); ПК – персонального компьютера для получения показаний от магнитометра.

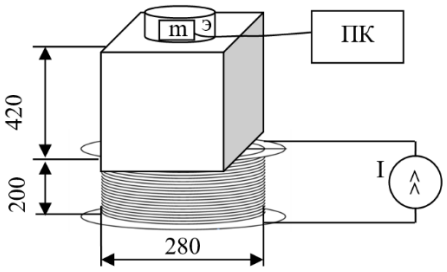


Рис. 3 – Установка для испытаний

Для каждого эксперимента экраны размещались на немагнитной подставке, а центр каждого экрана совмещался с осью симметрии катушки. Измерения напряженности магнитного поля в экранах производились при подаче на катушку тока 2,5А, 3А и 0А. Далее были рассчитаны приращение созданного катушкой магнитного поля (для исключения магнитного поля Земли и сдвига нуля магнитометра) и приращение остаточной намагниченности магнитного экрана. Для этого из показаний магнитометра при каждом значении тока в катушке были вычтены показания при нулевом токе. КМЭ для каждого из экранов рассчитывался по формуле (1) для оси, расположенной вертикально.

В таблице 3 приведены значения КМЭ для рассмотренных конструкций однослойных экранов из пермаллоя и АЖ, а также их совместного использования.

Таблица 3

Сравнение теоретических и экспериментальных значений КМЭ для различных конструкций экрана ВОГ

Конструкция экрана	Теория	Эксперимент
Однослойный экран из пермаллоя	95	34,72
Однослойный экран из АЖ	10	2,2
Двухслойная сборка, состоящая из однослойного пермаллоевого экрана с вкладкой однослойного экрана из АЖ	120	38,46

По данным, представленным в таблице 3, видно, что аморфное железо не обладает должным КМЭ, что может быть обусловлено недостатками конструкции опытного образца – соединение частей экрана происходило не внахлест. Однако результаты показывают качественное совпадение с теоретическими данными.

При определении КМЭ с помощью программного пакета ANSYS Maxwell магнитное поле моделировалось с использованием системы колец Гельмгольца. На рисунке 4 показана

модель трехслойного экрана, помещенного в центр системы колец Гельмгольца. При моделировании определялось значение индукции магнитного поля, создаваемого внутри экрана. КМЭ в поперечном направлении рассчитывался по формуле (1) как отношение напряженности магнитного поля, создаваемого в центре системы колец Гельмгольца, к усредненному значению напряженности магнитного поля внутри экрана.

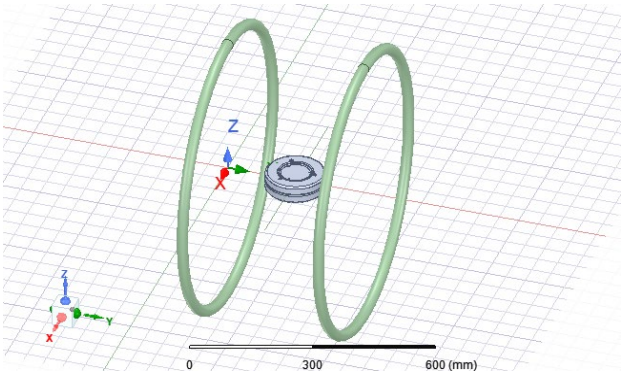


Рис. 4 – Модель трехслойного магнитного экрана, помещенного в систему колец Гельмгольца, для определения КМЭ в поперечном направлении

В центре трехслойного экрана ВОГ напряженность поля приблизительно равна 0,052 нТл, что дает КМЭ равный примерно К = 50/0,052 = 965.

Далее в программном пакете ANSYS Maxwell был проведен анализ конструкции экрана, состоящий из двух слоев пермаллоя, между которыми есть слой из АК. Конструкция предполагает, что использование слоя из АК вместо второго слоя из пермаллоя приведет к потенциальному увеличению значения КМЭ магнитного экрана ВОГ, так как при использовании формул 2–5 был получен КМЭ равный К = 1 450 для такой конструкции.

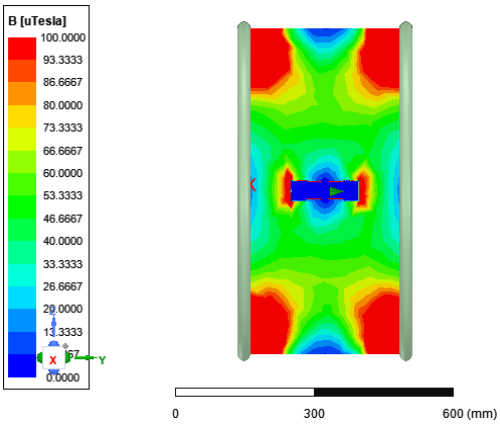


Рис. 5 – Распределение напряженности внешнего магнитного поля по вертикальной плоскости (со скрытой модифицированной моделью экрана ВОГ)

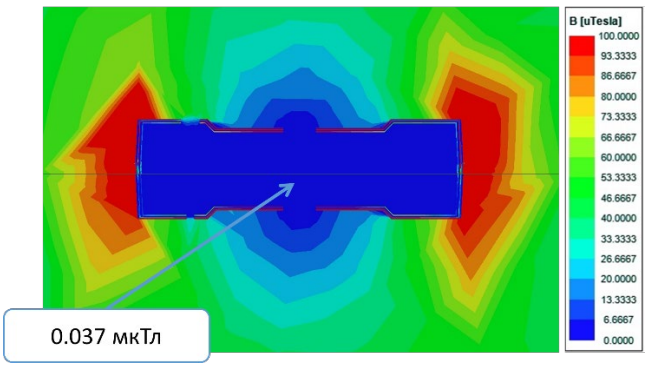


Рис. 6 – Распределение напряженности внешнего магнитного поля по вертикальной плоскости (со скрытой модифицированной моделью экрана ВОГ) в увеличенном масштабе

В центре модели экрана, модифицированной заменой второго слоя на слой из АК, напряженность поля приблизительно равна 0,037 нТл, что дает КМЭ равный примерно К = 50/0,037 = 1350.

Таким образом, при использовании слоя из АК вместо второго слоя из пермаллоя в сборке трехслойного экрана ВОГ значение КМЭ действительно может быть увеличено как минимум в 1,4 раза. Величина меньше, чем в случае применения экранов из пермаллоя толщиной 0,25 мм или 0,27 мм. Однако, использование АК позволяет добиться увеличения КМЭ без существенных изменений конструкторской и технологической документаций, а также без значительной модификации процессов производства (от закупки материалов до технологии изготовления), что позволяет избежать дополнительных затрат на модернизацию

производственных линий – на проектирование и изготовление деталей и оснастки. Таким образом, применение АК экономически более целесообразно для изготовления экранов с повышенным КМЭ.

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы получены следующие результаты:

- проведено теоретическое исследование экранирующих свойств АС. Наиболее подходящими являются НКС и АК;
- подтверждены экспериментально результаты теоретического расчета для пермаллоевого экрана и экрана из АЖ;
- предложена конструкция магнитного экрана с использованием АК;
- представлены результаты моделирования конструкции, позволяющей увеличить значение КМЭ в 1,4 раза;
- проведен анализ, в ходе которого получены результаты экранирующих свойств магнитно-мягких материалов и разработаны требования по модернизации конструкции экрана ВОГ, позволяющие увеличить значение КМЭ магнитного экрана из пермаллоя.

Список использованных источников

1. Пат. RU 88797, МПК G01C19/72. Волоконно-оптический гироскоп. // Рамзаев А.П. (RU); правообладатель «Саратовский государственный технический университет» (СГТУ) (RU). – No. 2009126488/22; заявл. 10.07.2009; опубл. 20.11.2009.
2. Donley E.A., Hodby E., Hollberg L., Kitching J. Demonstration of high-performance compact magnetic shields for chip-scale atomic devices. – Review of Scientific Instruments 78, 083102, 2007. DOI:10.1063/1.2767533.
3. Кулаченков Н.К., Шевченко А.Н., Безмен Г.В. Исследование магнитных экранов с использованием современных методов проектирования. Материалы XVIII конференции молодых ученых «Навигация и управление движением». – 2016. – С. 678–682.
4. Mager A. Magnetic shields // IEEE Trans. Magn.MAG-6,67. – 1970. DOI: 10.1109/TMAG.1970.1066714.
5. Thomas A.K. IEEE Trans. Electromagn. Compat.10. – 1968. – 142 p.

УДК 621.383.52

ОПТИМИЗАЦИЯ СХЕМЫ ОПТИЧЕСКОЙ СТЫКОВКИ ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО КРИСТАЛЛА ФОТОПРИЕМНИКА СПЕКТРАЛЬНОГО ДИАПАЗОНА 1,3–1,6 МКМ И ОДНОМОДОВОГО ОПТИЧЕСКОГО ВОЛОКНА

Ковач Я.Н.

Научный руководитель – Колодезный Е.С., кандидат физико-математических наук, доцент института перспективных систем передачи данных, старший научный сотрудник лаборатории однофотонных детекторов и генераторов

yakovachyakov@gmail.com

Ключевые слова

p-i-n фотодиод, фотоприемный модуль, численная модель оптической стыковки, Zemax, гетероструктура фотодиода.

В настоящий момент существует потребность в создании фотоприемных модулей с высокой спектральной фоточувствительностью в диапазоне 1,3 – 1,6 мкм, которые находят свое применение в системах радиофотоники, в волоконно-оптических датчиках, как и в интеррогаторах. Одним из ключевых моментов, которые влияют на спектральную фоточувствительность фотоприемного модуля, является эффективность оптического согласования. Так, в настоящей работе были изучены численные методы описания кристалла фотодиода и расчета эффективности его оптического согласования с одномодовым оптическим волокном (ОВ).

Между частотой среза кристалла *p-i-n* фотодиода и его фоточувствительностью существует обратно-пропорциональная зависимость [1], поэтому производимые кристаллы фотодиодов [2] возможно разделить на две большие группы: высокочастотные кристаллы с малой апертурой и меньшей спектральной фоточувствительностью и высокочувствительные кристаллы с большей апертурой и малой частотой среза. Исходя из этого в работе были использованы два типа корпусов: «TO» и «Butterfly», которые являются наиболее подходящими для высокочувствительного и высокочастотного кристаллов соответственно. Исследуемый корпус «TO» был использован как наиболее компактный из своей линейки, когда корпус «Butterfly» был выбран, исходя из того факта, что его электрические выводы поддерживают частоту модуляции более 10 ГГц, а сам корпус является наиболее унифицированным.

Для проведения численного моделирования требовалось задать следующие элементы системы: оптическое волокно, корпус, микролинза и кристалл *p-i-n* фотодиода. Когда необходимые параметры первых трех элементов возможно получить из их спецификаций, то для задания кристалла фотодиода потребовалось проведение дополнительного исследования.

Так, у гетероструктуры *p-i-n* фотодиода с активной областью InGaAs были измерены спектры фотолюминесценции (рис.1), которые подтверждают ее высокое структурное совершенство и позволяют судить об ее измеренных далее спектрах отражения как об достоверных спектрах отражения гетероструктуры *p-i-n* фотодиода, что обосновывает использование последних в программном комплексе Zemax при моделировании кристалла.

Спектры отражения для гетероструктуры фотодиода при отсутствии просветляющего покрытия нитрида кремния (III) и вместе с ним представлены на рисунке 2. При дальнейшем создании элемента кристалла *p-i-n* фотодиода в численной модели был учтен спектр отражения при наличии просветляющего покрытия толщиной 0,2 мкм [3] на всей поверхности апертуры.

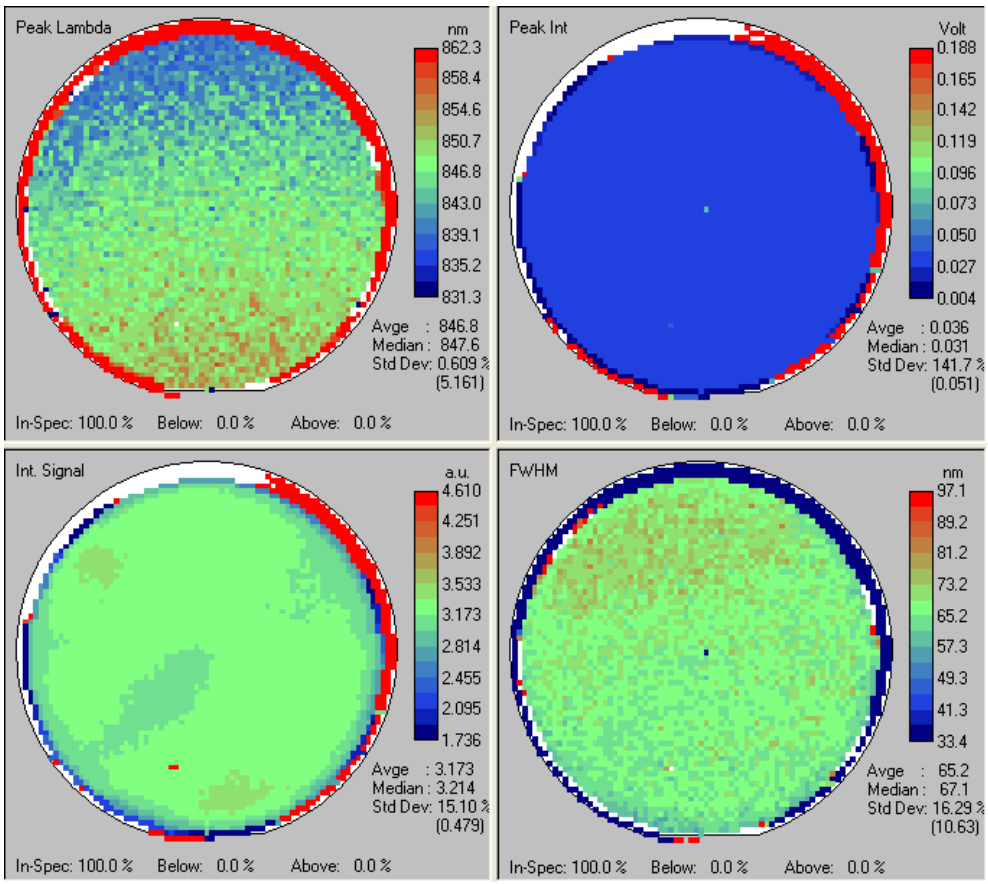


Рис. 1 – Карты фотолюминесценции для гетероструктуры p-i-n фотодиода; сверху слева – длина волны пика интенсивности, сверху справа – максимальная интенсивность пика, снизу слева – интенсивность сигнала, снизу справа – полуширина пика

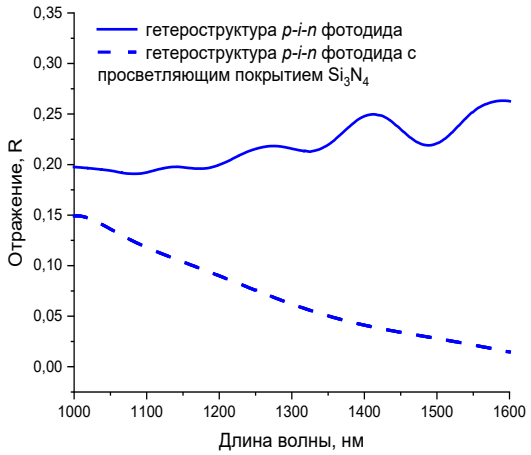


Рис. 2 – Спектры отражения от гетероструктуры p-i-n фотодиода

Для описания численной модели в непоследовательном режиме был задан источник излучения, расположенный на торце ОВ и приемник – кристалл размерами 420x420x380 мкм с апертурой входного окна 80 мкм. Мощность оптического излучения, выходящего из ОВ, была задана равной 10 мВт, когда расходимость излучения задана по характеристикам, указанным в стандарте ITU-T G.652 для одномодового ОВ.

Во всех рассматриваемых системах применяются элементы с просветляющими покрытиями: для сапфировых окон и микролинз был задан слой MgF_2 толщиной 0,2 мкм.

Оптическая система с корпусом типа «ТО» включала в себя сферическую микролинзу, диаметр которой равен 1 мм, расположенную на расстоянии 300 мкм от ОВ (рис.3). Распределение освещенности фотоприемной площадки кристалла представлено на рисунок 4. Эффективность стыковки в такой системе после проведения 10 циклов оптимизации составила 93 %.

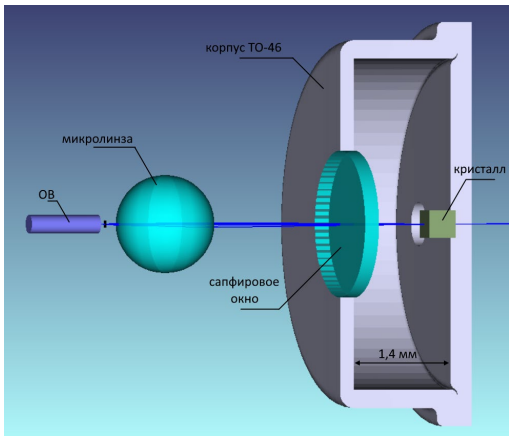


Рис. 3 – Вид оптической системы с корпусом типа «ТО»

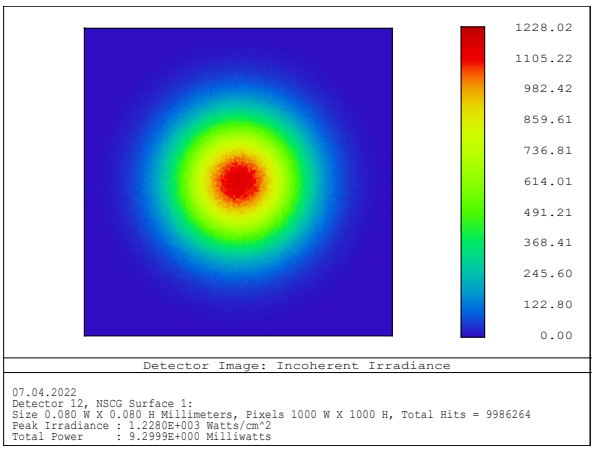


Рис. 4 – Результирующее распределение освещенности кристалла с апертурой 80 мкм при использовании сферической линзы

Оптическая система с корпусом «Butterfly» представлена на рисунке 5, а результирующее распределение освещенности в фоточувствительной области кристалла – на рисунке 6. В такой системе был использован кристалл фотодиода с апертурой 24 мкм, а эффективность оптического согласования после 10 циклов оптимизации составила порядка 98%. Так как в такой корпус волокно вводится внутрь, а монтаж кристалла производится на боковую грань, то в системе возможно реализовать согласование со свободным распространением излучения, которое в ходе исследования существующих типов обеспечения оптического согласования было выделено, как оптимальное с точки зрения как достижения максимальной эффективности согласования, так и экономической целесообразности ввиду отсутствия дополнительных оптических элементов.

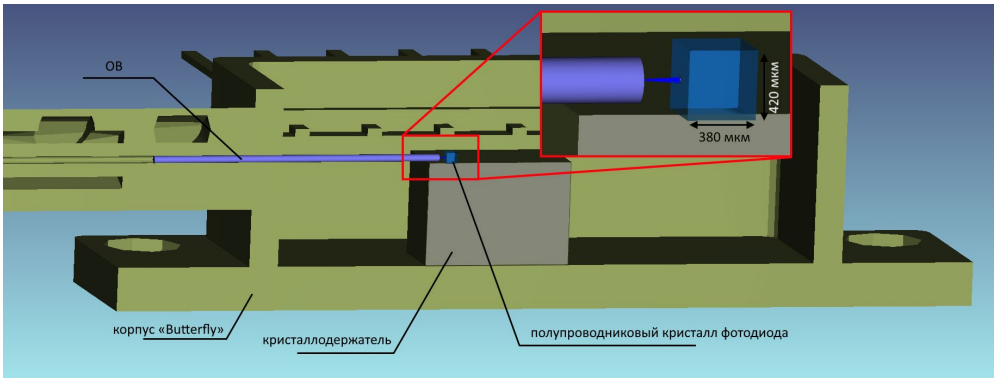


Рис. 5 – Вид оптической системы с корпусом «Butterfly»

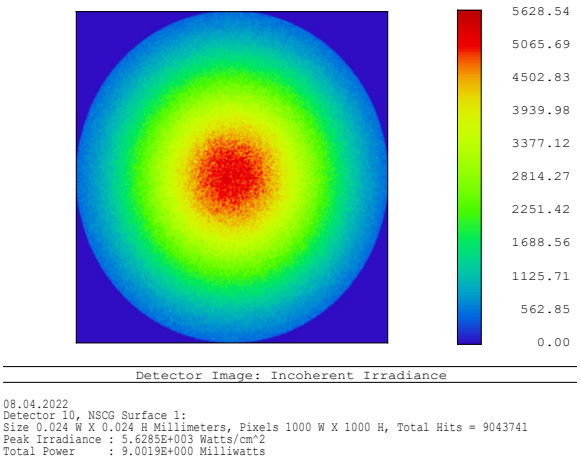


Рис. 6 – Результирующее распределение освещенности кристалла с апертурой 24 мкм при свободном распределении излучения, выходящего с ОВ

Также было исследовано влияние поперечных и продольных сдвигов ОВ в представленных выше оптических системах фотоприемных модулей. Так, проводя вычисления при малых сдвигах ОВ возможно оценить требуемую точность юстировки оптических элементов при сборке фотоприемного модуля, которая для исследуемых систем составила около 2,5 мкм Пример влияния сдвигов ОВ на освещенность фоточувствительной области кристалла представлен на рисунке 7, где в явном виде представлено, что при неточной юстировке оптических элементов возможны потери более половины оптической мощности или нежелательная фокусировка излучения в пятно с малым диаметром, что в свою очередь может привести к превышению порога оптической прочности.

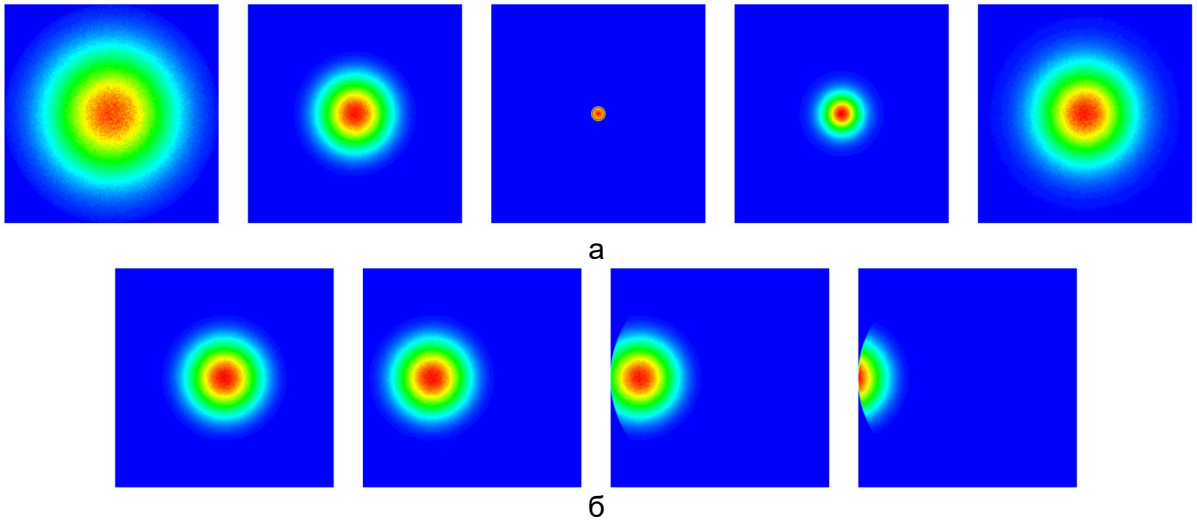


Рис. 7 – Распределение освещенности фотоприемного окна кристалла в системе с корпусом типа «ТО» при а) продольном сдвиге ОВ; б) поперечном сдвиге ОВ

В результате работы были созданы численные модели фотоприемников двух типов, проведены расчеты эффективности оптического согласования между ОВ и кристаллом *p-i-n* фотодиода в них, и выполнена оптимизация системы с целью повышения эффективности оптического согласования. Предлагаемая методика поиска оптимальных расстояний между оптическими элементами в конструкции фотоприемного модуля, а также определения требуемого разрешения линейных микротрансляторов, используемых при сборке и юстировке, могут быть использована при проектировании фотоприемных модулей. Следует отметить, что дальнейшее повышение эффективности оптического согласования возможно достичь совершенствованием просветляющих покрытий.

Немаловажно, что в предлагаемой численной модели расчета эффективности оптического согласования между ОВ и кристаллом *p-i-n* фотодиода возможно уточнение спектров обратного отражения от границы раздела воздух – гетероструктура при использовании экспериментальных данных. Таким образом, возможно численное моделирование кристаллов, имеющих различные гетероструктуры или просветляющие покрытия, что приближает численную модель фотоприемного модуля к его реальному исполнению.

Список использованных источников

1. Bitter M. InP/InGaAs pin-photodiode arrays for parallel optical interconnects and monolithic InP/InGaAs pin/HBT optical receivers for 10-Gb/s and 40-Gb/s // Wallbach: ETH Zürich. – 2000. – 257 с.
2. GaAs & InGaAs PIN Photodetectors, Global Communication Semiconductors, LLC. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.gcsincorp.com/optical_chips/GaAs & InGaAs PIN Photodetectors.php (дата обращения: 07.04.2022).
3. Novikov I.I. et al. Study of antireflection coatings for high speed 1.3 -1.55 μm InGaAs/InP PIN photodetector // Mater. Phys. Mech. – 2017. – Т.55. – №2. – С. 194–197.

УДК 681.586.5

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКОГО ИНТЕРФЕРОМЕТРА ФАБРИ-ПЕРО ДЛЯ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

Коннов Д.А.

Научный руководитель – Варжель С.В., доцент, кандидат физико-математических наук, заведующий лабораторией научно-исследовательского центра световодной фотоники, доцент института "Высшая инженерно-техническая школа", начальник лаборатории записи волоконных брэгговских решеток

dakonnov@itmo.ru

Ключевые слова
Высокотемпературные измерения, интерферометр Фабри-Перо, фазовая чувствительность, дуговая сварка, частотно-импульсная модуляция.

Среди множества оптических способов контроля состояния различных сред важное место занимают методы, основанные на применении спектральных приборов для исследования спектров излучения, поглощения, рассеяния, отражения и так далее. Изучение этих спектров позволяет получить обширную информацию как о физических процессах в источниках излучения, так и о физических свойствах среды, в которой распространяется это излучение. Чувствительный элемент в виде интерферометра. Фабри-Перо применяется в волоконно-оптической измерительной технике в качестве датчика физических величин, например давления, длины волны, деформации, влажности, температуры.

В научной литературе формирование волоконно-оптического интерферометра. Фабри-Перо представлено различными вариантами, например, с применением фемтосекундных лазеров, на основе оптических волокон со сложной пространственной структурой, с использованием сварного соединения и оптического волокна с высоким содержанием оксидов в сердцевине [1]. Однако подобные методы формирования волоконно-оптического интерферометра Фабри-Перо имеют ряд недостатков, такие как: конструктивная и технологическая сложность изготовления, дороговизна, плохая устойчивость к агрессивным условиям окружающей среды. Таким образом, цель данной работы – разработка датчика высоких температур на основе волоконно-оптического интерферометра Фабри-Перо и проведение его температурного исследования.

По результатам литературного анализа принято решение для изготовления волоконно-оптического интерферометра Фабри-Перо использовать метод дуговой сварки. Для создания зеркал интерферометра Фабри-Перо выбрана технология электронно-лучевого напыления материалов на полированный торец оптического волокна.

Исходя из поставленной задачи производить высокотемпературные измерения осуществлялся подбор материалов для напыления зеркал (потенциально до 600°C). Материал для напыления подбирался исходя из его температуры плавления, коэффициента теплового расширения, и области оптической прозрачности, чтобы он отвечал поставленной задаче. По результатам теоретического анализа и математического моделирования для формирования диэлектрических зеркал на торце волокна принято решение использовать диоксид титана TiO_2, параметры которого представлены в таблице 1.

Таблица 1

Параметры материала для напыления диэлектрических зеркал

Тип материала	TiO_2
Показатель преломления, 1550 нм	2,25
Область прозрачности, нм	400 – 7000
Температура плавления, °C	1900
Коэффициент теплового расширения, 10^{-6} K^{-1}	8,15

Кроме того, стояла задача выбора волокна, которое бы также сохраняло свою работоспособность при заданных температурных условиях.

Типичные полимерные покрытия оптических волокон работают при максимальной температуре 125°C, но для применения в агрессивных условиях может потребоваться температура до 700°C. Для реализации интерферометра Фабри-Перо выбрано оптическое волокно (характеристики комплиментарны SMF-28) с медным покрытием, произведенное Научным центром волоконной оптики им. Дианова РАН. По данным, предоставленным производителем, оптическое волокно выдерживает максимальную температуру до 600°C [2]. Параметры оптического волокна представлены в таблице 2.

Таблица 2

Параметры оптического волокна с медным покрытием

Тип волокна	SMF
Материал защитного покрытия	Медь
Диаметр оптического волокна в защитном покрытие, мкм	250
Диаметр кварцевой оболочки, мкм	125
Числовая апертура (NA)	0,22
Минимальный радиус изгиба	80 радиусов оптического волокна
Прочность при перемотке, ГПа	100
Толщина покрытия, мкм	От 15 до 150
Внешний диаметр, мкм	От 100 до 800
Минимальная рабочая температура, ºС	-196
Максимальная рабочая температура, ºС	600

Исходя из требуемых условий эксплуатации волоконно-оптического интерферометра Фабри-Перо, необходимого коэффициента отражения, произведен расчёт толщины напыляемого материала. На рисунке 1 представлено схематическое изображение волоконно-оптического интерферометра Фабри-Перо.

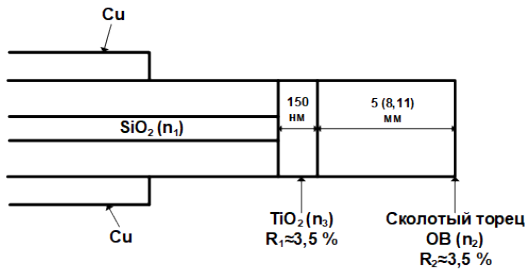


Рис. 1 – Схематическое изображение интерферометра Фабри-Перо

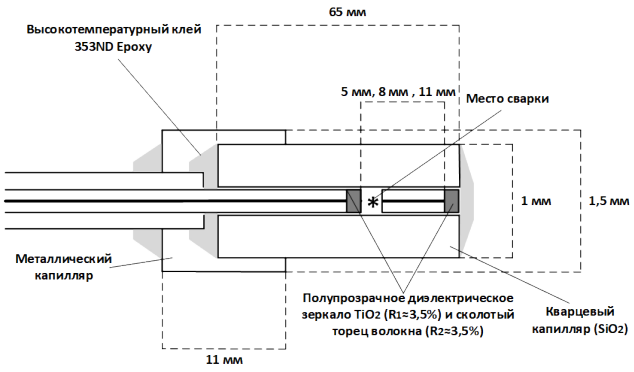


Рис. 2 – Схематическое изображение разрабатываемого волоконно-оптического интерферометра Фабри-Перо

Разрабатываемый волоконно-оптический интерферометр Фабри-Перо реализован на основе одномодового оптического волокна с медным покрытием, диэлектрических зеркал, кварцевого капилляра, металлического капилляра и высокотемпературного клея 353ND Epoxy, представленный на рисунке 2. Диэлектрические зеркала получены путем поэтапного электронно-лучевого напыления в вакууме тонких пленок TiO_2 на полированные торцевые сколы оптического волокна.

Для сборки волоконно-оптического интерферометра Фабри-Перо использовалась оптическая схема, которая состоит из анализатора оптического спектра, широкополосного источника излучения, Y-ответвителя, сварочного аппарата Fujikura FSM-45F (рис.3).

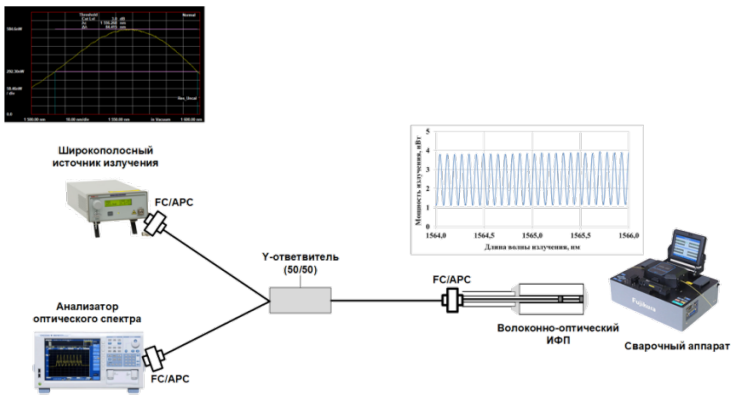


Рис. 3 – Оптическая схема для сборки интерферометра Фабри-Перо

В процессе сварки контролировался спектр волоконно-оптического интерферометра Фабри-Перо. Путем подбора параметров установки оптического волокна и электрической дуги сварочного аппарата Fujikura FSM-45F, обеспечивалась хорошая контрастность интерференционной картины, а также максимально сохранялись свойства интерферометра.

Методика сборки волоконно-оптического интерферометра Фабри-Перо включает в себя следующие этапы:

1. Подготовка образца оптического волокна (химическое снятие медного покрытия) и полировка торцевого скола.
2. Напыление диэлектрического зеркала на торцевой скол.
3. Сварка торца оптического волокна со стороны диэлектрического зеркала с комплементарным оптическим волокном.
4. Скол подваренного оптического волокна для получения интерферометра Фабри-Перо с расстоянием между зеркалами 5, 8 и 11 мм.

Параметры, применяемые для сварки образца волоконно-оптического интерферометра Фабри-Перо представлены ниже:

- мощность дуги – 20 относительных единиц;
- длительность дугового воздействия – 140 мс;
- длительность очищающей дуги – 10 мс;
- зазор между торцами оптических волокон – 10 мкм;
- перекрытие торцов оптических волокон – 3 мкм.

Ниже, на рисунке 4, представлено фотографическое изображение волоконно-оптического интерферометра Фабри-Перо.

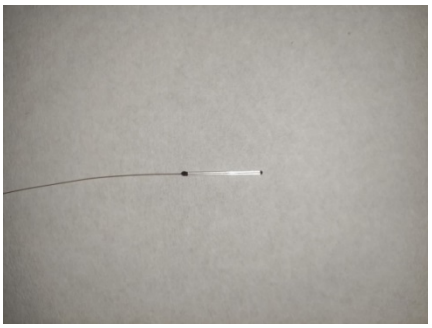


Рис. 4 – Фотографическое изображение полученного волоконно-оптического интерферометра Фабри-Перо

В рамках данной работы проведены температурные испытания, получены зависимости сдвига фазы от температуры при различных длинах базы интерферометра Фабри-Перо, рассчитана чувствительность волоконно-оптических интерферометров Фабри-Перо. Температурные испытания производились с применением перестраиваемого по длине волны вертикально-излучающего лазера (VCSEL). Схема опроса экспериментального образца датчика температуры на основе интерферометра Фабри-Перо приведена на рисунке 5 [3].

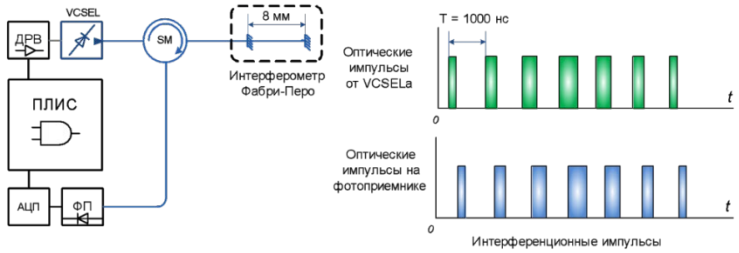


Рис. 5 – Оптическая схема опроса интерферометра Фабри-Перо

Интерферометр Фабри-Перо опрашивался с помощью оптических импульсов переменной длительности (от 200 нс до 350 нс), посылаемых от VCSELa с частотой 1 МГц. В схеме, представленной на рисунке 5, оптические импульсы последовательно отражаются от зеркал интерферометра Фабри-Перо и перекрываются по времени, формируя интерференционные импульсы, попадающие на фотоприемник через оптический циркулятор [3].

Лабораторные испытания волоконно-оптического интерферометра Фабри-Перо проводились на установке, показанной на рисунке 6.

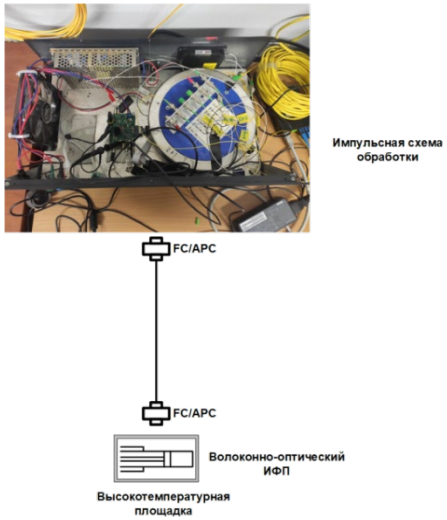


Рис. 6 – Оптическая схема опроса интерферометра Фабри-Перо

Рис. 7 – Оптическая схема опроса интерферометра Фабри-Перо

Установка включала в себя (рис.7):

1. Макет с источником оптического излучения (VCSEL) и платой обработки сигналов с фотоприемником.
2. Осциллограф.
3. Тестируемый интерферометр Фабри-Перо.
4. Высокотемпературную площадку.
5. Ноутбук.

Условия проведения температурного исследования интерферометра Фабри-Перо:

- диапазон изменения температуры от 20 до 380°C;
- шаг изменения температуры 30°C;
- регистрация сдвига фазы интерферометра Фабри-Перо осуществляется как при нагревании исследуемого образца, так и при его охлаждении;
- определение зависимости сдвига фазы интерферометра Фабри-Перо от температуры окружающей среды.

По результатам температурных испытаний получены температурные зависимости сдвига фаз для образцов волоконно-оптического интерферометра Фабри-Перо с разными длинами резонатора (5 мм, 8 мм, 11 мм). Ниже представлены графики зависимости разности фаз от температуры.

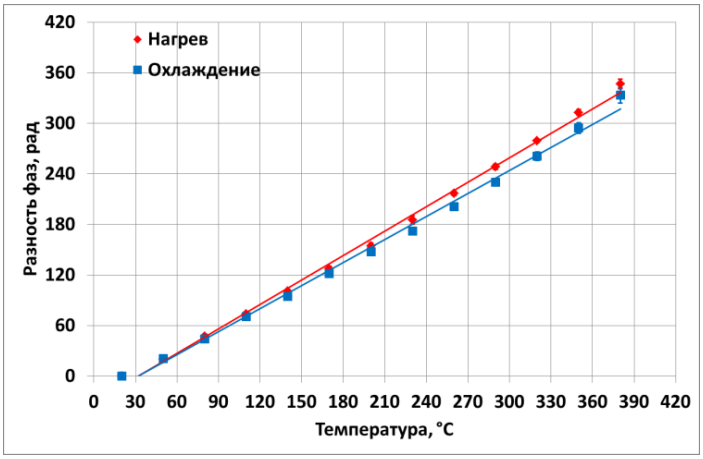


Рис. 8 – Зависимость разности фаз волоконно-оптического интерферометра Фабри-Перо (база 5 мм) от температуры

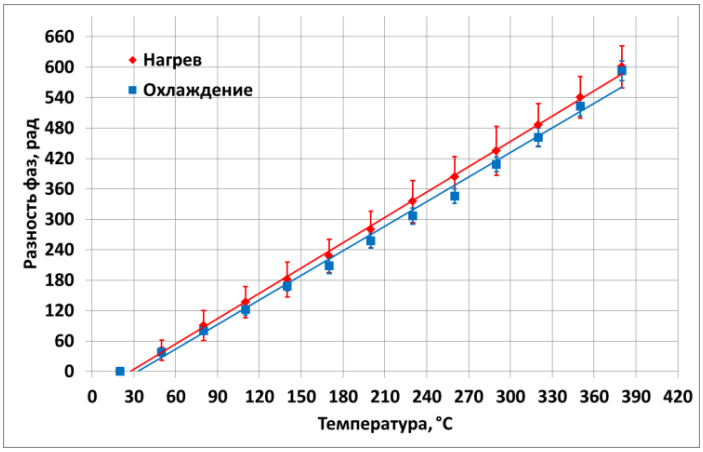


Рис. 9 – Зависимость разности фаз волоконно-оптического интерферометра Фабри-Перо (база 8 мм) от температуры

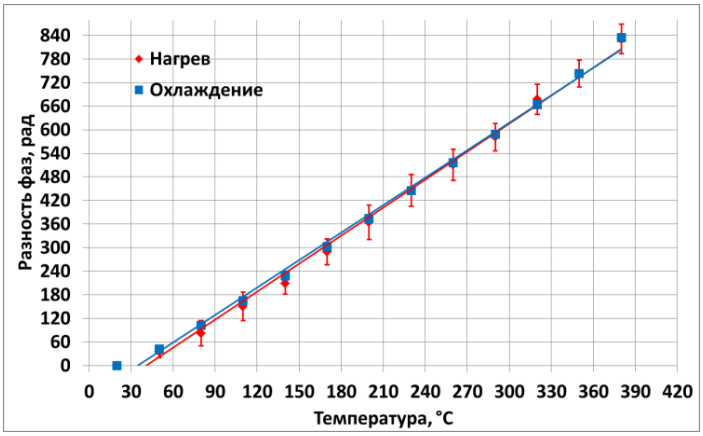


Рис. 10 – Зависимость разности фаз волоконно-оптического интерферометра Фабри-Перо (база 11 мм) от температуры

В результате температурных испытаний рассчитаны чувствительности для образцов волоконно-оптического интерферометра Фабри-Перо с разной длиной базы (табл.3).

Таблица 3

Чувствительность образцов интерферометра Фабри-Перо

База интерферометра Фабри-Перо, мм	TiO_2
5	0,96
8	1,68
11	2,35

В рамках работы сформирована концепция конструкции волоконно-оптического интерферометра Фабри-Перо, изготовлены образцы волоконно-оптических интерферометров Фабри-Перо.

По результатам температурных испытаний изготовленные образцы волоконно-оптических интерферометров Фабри-Перо продемонстрировали работоспособность в диапазоне температур от 20 до 380°C. В работе представлены результаты температурных испытаний разработанного датчика, получены фазовые характеристики образца интерферометра Фабри-Перо при температурах от 20 до 380°C.

Эксперимент, направленный на определение фазовой чувствительности показал, что:

1. Исследованный волоконно-оптический интерферометр Фабри-Перо может использоваться как датчик температуры. В ходе обработки сигналов получены два типа сигналов: сигнал фазового дрейфа и сигнал изменения амплитуды вспомогательного фазового сигнала.
2. Фазовая чувствительность интерферометра к температуре составила 0,96 рад/°C, 1,68 рад/°C, 2,35 рад/°C для длины базы в 5 мм, 8 мм, 11 мм соответственно.

Дальнейшее развитие исследования будет связано с улучшением конструкции интерферометра Фабри-Перо, нахождением причин образования дополнительных интерференционных картин в спектре отражения и проведением температурных испытаний с более точными параметрами.

Можно выделить следующие варианты доработки схемы волоконно-оптического интерферометра Фабри-Перо и методики опроса датчика:

1. Сигналы фазового дрейфа и изменения амплитуды вспомогательного фазового сигнала можно скомбинировать для повышения общей точности измерений.
2. Увеличение амплитуды вспомогательного фазового сигнала за счет усиления модуляции источника оптического излучения по длине волны. На фоне таких же собственных шумов системы изменение амплитуды сигнала из-за воздействия на датчик температуры будет больше, т.е. повысится точность абсолютного измерения температуры.
3. Введение в схему дополнительного опорного интерферометра Фабри-Перо, который позволит производить калибровку системы в момент включения и учитывать изменение центральной длины волны источника излучения.

Список использованных источников

1. Ma Z., Pang F., Liu H., Chen Z., Wang T., Air microcavity formed in sapphire-derived fiber for high temperature sensing / 26th International Conference on Optical Fiber Sensors. – Lausanne. – 2018. – WF48.
2. Научный центр волоконной оптики им. Е.М. Дианова РАН. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.fibopt.ru/ (дата обращения: 14.06.2022).
3. Плотников М.Ю., Волоконно-оптический гидрофон: дис. канд.т.н.: 05.11.01 // Михаил Юрьевич Плотников. – Санкт-Петербург, 2014. – 155 с.

УДК 004.048

DEVELOPMENT OF A MULTILEVEL ADAPTIVE ALGORITHM FOR URBAN EVENTS DETECTION THROUGH SOCIAL MEDIA DATA

Корнеев А.И.

Научный руководитель – Насонов Д.А., кандидат технических наук, руководитель научно-исследовательской лаборатории "Когнитивные технологии в промышленности", доцент факультета цифровых трансформаций, старший научный сотрудник лаборатории композитного искусственного интеллекта, старший научный сотрудник исследовательского центра в сфере искусственного интеллекта "Сильный искусственный интеллект в промышленности"

aikorneyev@yandex.ru

Keywords

Events detection, urban life analysis, social media analysis, anomalies detection, machine learning.

Nowadays social media are of vital importance for a lot of people. Regular users publish information about their daily life, organizers of mass events broadcast public content via official pages. The huge spread of social networks allows researchers from different fields to obtain useful information which helps to answer a wide range of questions from a variety of scientific disciplines. In particular, this trend makes social media an important source for tasks devoted to the analysis of urban processes. Extracted knowledge about urban life allows creating, for example, recommendation or crime monitoring systems, based on detecting multi-scale events.

Currently, numerous research groups are investigating in the direction of urban events detection methods development and have published a large number of works on the application of different algorithms (widely discussed by Afyyouni et al. in [1] and Zhou et al. in [2]). Nevertheless, existing approaches are mainly focused on macro events detecting (huge urban events which are represented in social media by significantly large number of posts) and do not handle micro events. Authors of most advanced solutions use statistical approaches which are tuned to be sensitive to macro events alone in order to avoid undesirable noisy posts and advertisement capturing. Otherwise, low sensitivity thresholds lead to poor quality of urban events detecting system.

Therefore, the goal of this work is to improve urban events detection through social media data by expanding the handled range with micro events. In order to achieve it, the following tasks have to be solved: one has to develop an algorithm which allows micro events detecting, one needs to make this algorithm adaptive with respect to different types of events and robust to noisy data and advertisement.

One of the best existing event detecting methods is ConvTree approach [3]. Visheratin et al. showed that ConvTree achieves the highest recall and a precision on par with other algorithms (Table 1). After analysis of the approach one can distinguish two main stages – anomalies detection stage and merging stage (the whole pipeline is presented in the Figure 1). ConvTree uses historical guadtrees to detect anomalies and then search for events by looking for the similar hashtags. However, one can notice several disadvantages: this pipeline ignores semantics of posts and distribution features of different categories of events. Thus, algorithm uses high threshold for anomalies detection and is not capable of micro events handling.

Table 1

Precision and recall comparison for event detection approaches

Events detection method	Precision	Recall	Micro events handling
Eyewitness	70%	–	–
GeoBurst+	35%	48%	–
TrioVecEvent	78%	60%	–
ConvTree	77%	73%	–

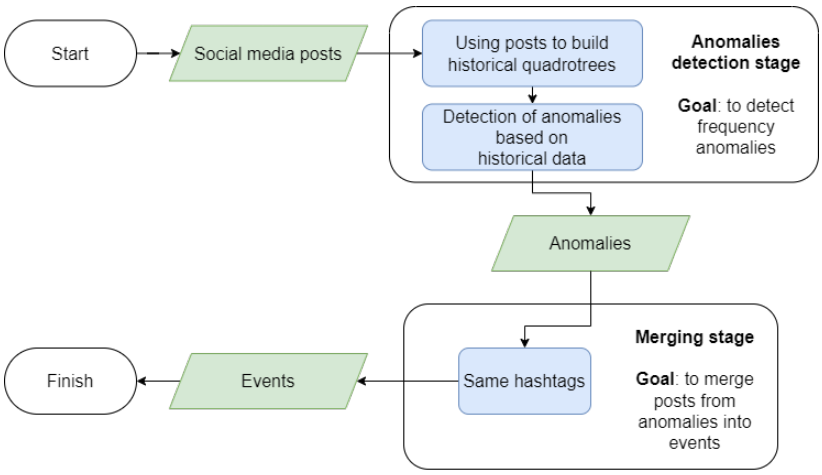


Figure 1 – ConvTree approach pipeline [3]

The aforementioned pipeline can be upgraded in order to leverage advantages of both stages and expanded with additional modules which might fix the disadvantages. The resulting developed pipeline with additional modules is shown in the Figure 2. Blue color corresponds to the modules of the original ConvTree algorithm, green color is assigned to data and the orange color corresponds to innovations, which are briefly discussed below.

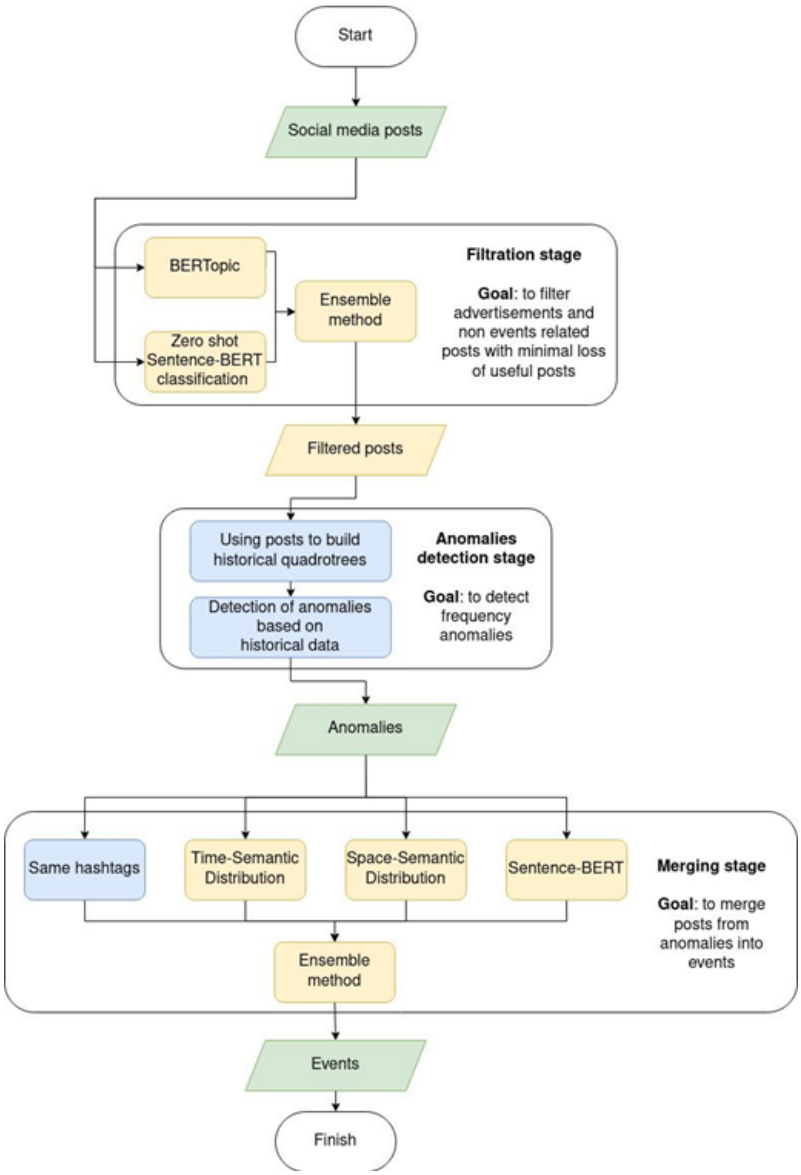


Figure 2 – The developed event detection pipeline

Filtration stage contains two independent algorithms to catch noisy data and then uses weighted voting to join results. The first algorithm is based on BERTopic technique. It allows obtaining clusters and then assigning class for each cluster according to the labeled posts in it. For the second step one needs to have at least part of the dataset being labeled, thus it can be considered as semi-supervised approach. The second algorithm is Zero Shot classification with Sentence-Bert model. The key idea is to find what predefined class is the most similar to a particular post. It is possible to do so by applying cosine similarity to the embeddings of key word phrase for each class and post. As a result, one can assign class to each posts.

Merging Stage contains four parallel algorithms. All of them return the connection strength between two certain posts. Sentence-Bert model calculate cosine similarity for this purpose, Time- and Space-Semantic Distribution approaches take into account how different types of events are distributed in time and space domains. For example, conferences are usually held for a few days, but birthdays are one day events. This information allows merging posts into event more accurate and to make algorithm adaptive for different types of events.

The dataset which is used for experiments is obtained using locations of New York city with total number of 20 million of social media posts. After the analysis of data and domain specific third-party sources I have defined categories for public, private events and noise (the list of categories is shown in Figure 3). For a validation purposes I have used labeled posts for 3 days in different months for different time period during a day with total number of 6361 posts. This choice is explained by the motivation to cover seasonality trends of social media user's activity.

Public events	Private events	Noise
Festivals	Weddings	Food
Music concerts	Birthdays	Weather
Exhibitions	Stroll/walking	Humor
Sport events	Other private events	Advertisement
Conferences		Other posts
Calendar holidays		
Other public events		

Figure 3 – Categories of urban events

First of all, several experiments were conducted for the filtration stage separately. The combination of BERTopic based model and Zero Shot Sentence-BERT model allows achieving significantly better results than for each model separately. Recall, precision and f1-score metrics are presented in the table 2. The f1-score for the first class (posts related to events) is equal to 0.59 with recall being equal to 90% and precision of 44%. Advertising and noisy data are determined with precision of 94% and recall of 59%. This result can be explained by the fact that a number of posts which were not classified as noise by BERTopic based approach (posts from the first cluster of HDBSCAN or lack of information about a cluster) were successfully distinguished by zero-shot Sentence-Bert filtering model. As a result, two models complement each other and improve the quality of filtration stage.

Table 2

Results for filtration stage experiments

	Precision	**Recall**	**F1-score**
Events posts	0.44	**0.90**	0.59
Noise/advertising posts	**0.94**	0.59	0.72
Macro avg	0.69	0.74	0.66
Weigthed avg	0.81	0.67	0.69

Secondly, a total number of event posts and events were calculated. The first value was obtained after the second stage of the pipeline, when the anomalies detection stage is finished. The number of events was calculated as a result of applying the whole developed pipeline including merging stage. All calculations were performed for the original pipeline, the developed pipeline and the original pipeline with a sensitivity threshold of developed one.

The dataset of New York posts was divided into two parts, the first being posts from 2018 which were used to build historical data and adaptive grids and the second part from 2019 to April 2020 (16 months in total) was used to search for events.

As one can see in the table 3 significantly more events were found by the developed pipeline, a total number of events increased from 10 757 to 177 315 (16 times more). This result is explained by the fact that the original pipeline is not handling micro events and the number of micro events is much more than for macro events. Number of events posts is also increased from 151 084 to 803 454 with a smaller sensitivity threshold and to 538 628 using the developed.

Table 3

Total number of detected events for 1.5 year period

Method	Number of events	Number of events posts
ConvTree pipeline	10 757	151 084
ConvTree with low sensitivity threshold	263 533	803 454
Developed pipeline	177 315	538 628

Nevertheless, increasing the number of events does not guarantee that the same precision metric is maintained. In other words, most likely detected events could contain many false positives. This fact explains why the total number of events and events posts for the developed pipeline that contain a filtrations stage are less than for the original pipeline with a smaller sensitivity threshold.

Therefore, last experiments was dedicated to calculating the distribution of posts related to a macro event, posts related to a micro events and noise or advertising posts detected by the algorithm. The results were obtained using labeled data for the whole covered period and then extrapolated to a larger volume. As it is shown in the table 4, the number of macro events posts for the original pipeline is 116 334 which is 77% from the total number of posts detected as abnormal during the anomalies detection stage. The rest (34 749 posts or 23 % of the total number of posts) is false positive events which are actually associated with noise or advertising data. The original pipeline does not detect any micro events posts because of the high sensitivity threshold. In contrast, the developed pipeline allows detecting 236 996 micro events posts, moreover, the share of micro events is the largest one (44%). The developed pipeline also captures 156 202 of macro events posts which is 40 thousand more to compare with the original one. Thus, one can see that the upgraded pipeline allows not only detecting micro events, but also improving the detection of macro ones. However, this feature comes at the cost of lowering the threshold, which allows a larger number of noise and advertising posts to leak through. Only 34 749 of posts were marked up as noise for the original version of the pipeline, the upgraded pipeline has captured 145 429 of such posts. Nevertheless, the shape of noise increased only from 23% to 27% which is not dramatically more.

Table 4

Distribution of macro events, micro events and noise

Method	Macro events	Micro events	Noise
ConvTree pipeline	116 335 (77%)	-	34 749 (23%)
ConvTree with low sensitivity threshold	172 504 (21%)	262 304(33%)	368 646 (46%)
Developed pipeline	**156 202 (29%)**	**236 996 (44%)**	145 429 (27%)

In conclusion, a multilevel adaptive algorithm for urban events detection through social media data was developed. The developed algorithm uses state-of-the-art models for semantic analysis which leads to successful micro events detecting and noisy data filtering. Moreover, the developed filtration stage can be applied in a variety of other applications that use social media data analysis.

The original merging of posts into events has also been improved with additional measures of posts similarity. The analysis performed in the scope of this work and the mechanisms developed to improve existing urban events detection approaches allow not only to eliminate drawbacks of previous methods, but also open up potential opportunities for new research in this area. The results of experiments showed that the developed algorithm is able to handle micro events which are presented only by few posts in social media data. More than that, decreasing of sensitivity threshold also allowed capturing more macro events which are not described as well as others. Thus, this algorithm outperforms existing approaches in the number of detected events and allows performing an urban life analysis in more details.

References

1. Afyouni I., Aghbari Z., Razack R. Multi-feature, multi-modal, and multi-source social event detection: A comprehensive survey // Information Fusion. – 2022. – V.79. – Pp. 279–308.
2. Zhou H., Yin H., Zheng H., Li Y. A survey on multi-modal social event detection // Knowledge-Based Systems. – 2020. – V.195. DOI:10.1016/j.knosys.2020.105695.
3. Visheratin A., Mukhina D., Visheratina A., Nasonov D., Boukhanovsky A. Multiscale event detection using convolutional quadtrees and adaptive geogrids // The 2nd ACM SIGSPATIAL Workshop on Analytics for Local Events and News (LENS'18). – 2018. – Pp. 1–10.

УДК 504

ОЦЕНКА СТЕПЕНИ БИОРАЗЛОЖЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ ПО ISO 17556, СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ И РАЗРАБОТКА УСТАНОВКИ ПО ГОСТ Р 57219–2016

Кузнецова А.П.

Научный руководитель – Молодкина Н.Р., кандидат технических наук, заведующий лабораторией и доцент факультета экотехнологий

apkuznetcova@itmo.ru

Ключевые слова

Биоразложение, степень биоразложения, биоразлагаемые материалы, биоразлагаемость, контролируемое компостирование.

Исследования в сфере оценки биоразложения определяются современным запросом на внедрение биоразлагаемых и компостируемых материалов вместо традиционных пластиков. Так компания “Российский экологический оператор” (РЭО) представило Минприроды список из 28 видов товаров и упаковки, рекомендованных к запрету в стране. Во время Восточного Экономического Форума в 2021 году глава Минприроды России Александр Козлов подчеркнул: «Окончательный запрет на производство одноразовых товаров из пластика в РФ должен быть введен в 2024 году». При этом как альтернатива пластикам рассматриваются биоразлагаемые материалы [1,2].

Работа посвящена рассмотрению вопросов, связанных с отсутствием многих методик оценки биоразложения, их несовершенств, а также их апробации и не представленностью технических средств для проведения анализов на биоразложения. Это обуславливает необходимость совершенствования старых и разработки новых лабораторных методик оценки свойств биоразлагаемых материалов, в том числе, с созданием технических средств, позволяющих такие методики применять. Озвученная проблема также приводит к отсутствию на российском рынке лабораторий, предоставляющих услуги по оценке способности к биодеградации материалов в соответствии со стандартами.

Объектом исследования является оценка способности материала к биоразложению. Предметами исследования являются методики оценки способности к биоразложению по международному стандарту ISO 17556 и ГОСТ Р 57219–2016. Методика стандарта ISO не переведена на русский язык, однако активно используется за рубежом как для исследовательских целей, так и для сертифицированного подтверждения биоразлагаемости оцениваемых материалов. Она характеризуется легкостью воплощения, экономичностью и точностью получаемых результатов. Для реализации методики ГОСТ Р 57219–2016 в России не представлены необходимые технические средства, однако именно по этой методике однозначно определяется биоразлагаемость материала. Создание установки по ГОСТ Р 57219–2016 позволит интенсифицировать проведение анализа по оценке степени биоразложения и снизить его срок с шести месяцев до четырех.

В России теме оценки биоразложения уделяется крайне мало внимания. Основные научные разработки направлены на создание биоразлагаемых материалов без должной оценки их биоразлагаемости. Тематику биоразлагаемых материалов в своих работах освещали Кирш И.А., Колпакова В.В., Павловская Н.Е., Потороко И.Ю. Особое внимание оценке биоразложения уделяется в зарубежных исследованиях. Значительный вклад в апробацию стандартных методик и их совершенствования, а также в рассмотрение процедур сертификации внесли Rudnik E., Briassoulis D., Mistriotis A. В России оценку степени биоразложения проводит только научная лаборатория «Перспективные композиционные материалы и технологии» при кафедре химии и физики Российского экономического университета им. Г.В. Плеханова [3]. Лаборатория не исследует и не проводит анализы по ГОСТ Р 57219–2016, являющимся основным методом оценки степени биоразложения.

Первая часть выполненной работы посвящена апробации и совершенствованию процедуры анализа по ISO 17556 с перспективного дальнейшего внедрения методики в разрабатываемом проекте лаборатории по оценке биоразлагаемости материалов. Эксперимент включает несколько этапов: подготовку смеси субстрата (проб почвы и инокулята (носителя микроорганизмов)), подготовку исследуемого материала (его измельчение), проведение эксперимента, снятие результатов.

В качестве исследуемого материала использовались крышечки от кофейных стаканов, обладающие сертификацией биоразлагаемых материалов «Seeding». В качестве эталонного материала был использован кукурузный крахмал. На стадии эксперимента смесь субстрата с материалом погружалась в стеклянные герметичные емкости для проведения эксперимента. Количество повторности для субстрата (нулевого контроля), исследуемого материала и эталона составило 3. Эксперимент проводится не более 180 дней с постоянным перемешиванием субстрата и проветриванием емкостей для обеспечения доступа воздуха. Температура эксперимента поддерживалась в диапазоне 20 – 28°C, влажность на уровне 70%.

Основным методом контроля динамики процесса биоразложения выступает метод титрования. Определяется количество углекислого газа, выступающего в качестве косвенного показателя биоразложения. Углекислый газ образуется в ходе жизнедеятельности микроорганизмов, для которых единственным источником углерода является углерод исследуемого материала или эталона. С помощью абсорбционных ловушек с KOH, установленных в каждую емкость, происходит улавливание выделенного CO_2. После чего с помощью титрования с двумя индикаторами (фенолфталеином и метилоранжем) определялось количество выделяемого газа.

В качестве дополнительного метода контроля процесса биоразложения использовался метод визуального контроля. В течение всего эксперимента наблюдались рост микроорганизмов, уменьшение и рассыпание частиц исследуемого материала, а также ощущался запах плесени и сырости субстрата. На рисунке 1 представлены все виды грибов (плесени), присутствовавшие на протяжении всего эксперимента.

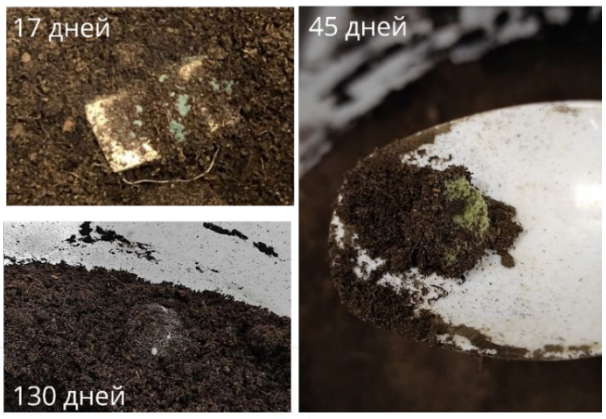


Рис. 1 – Фотографии различных видов плесени на протяжении всего эксперимента

Рис. 2 – Кусочки неразложившегося материала после просеивания

Рост плесени на материале свидетельствует о развитии микроорганизмов, отвечающих за разложение, материала. Появление плесени является ключевым фактором, иллюстрирующим биоразложение [4]. После 130 дня эксперимента практически невозможно было увидеть частицы материала в субстрате. Перечисленные факты указывают на то, что микроклимат поддерживался на протяжении всего эксперимента, и процесс биодеградации не прекращался.

Завершение эксперимента было произведено 29.09.2021, по истечении 172 дней с начала эксперимента. Решение о завершении эксперимента было принято в связи с завершением выделения углекислого газа. Субстрат из банок с материалом был просеян через сито 2 мм для отделения неразложившегося материала, представленного на рисунке 2.

Сохраняя близкую к первоначальному виду форму, материал истончился, и в процессе разложения произошло разрушение внешних слоев материала. Наблюдались следы образования плесени, в том числе, изменение общего цвета материала.

Результирующими показателями методики выступают степень разложения и кривая биоразложения. Степень разложения материала характеризует его физическую деструкцию. Для ее определения необходимо знать изначальную массу пробы и массу неразложившихся частиц материала, расчет ведется по формуле:

$$D = \frac{m_i - m_r}{m_i} \cdot 100\%,$$

где m_i – начальная сухая масса испытуемого материала, г; m_r – сухая масса испытуемого материала, который не прошел через сита, г. Данная формула указана в ГОСТ Р 57226-2016, однако расшифровка переменных представлена не корректно, что было выявлено при сравнении текстов национального стандарта и первоисточника методики, стандарта ISO 16929:2013.

Начальная масса проб составляла 6,5 г, масса неразложившегося материала после проведенных измерений и статистических расчетов составила 0,651 ± 0,018 г (при p = 0,95). Степень разложения материала составила 91 ± 2%, что соответствует требованиям международных стандартов по степени разложения биоразлагаемых материалов.

Кумулятивное количество углекислого газа, выделяемого исследуемым материалом или эталоном, отображается на кривой биоразложения, которая отражает динамику процесса и является индикатором для завершения эксперимента (при достижении плато на графике). Кривая биоразложения изображена на рисунке 3.

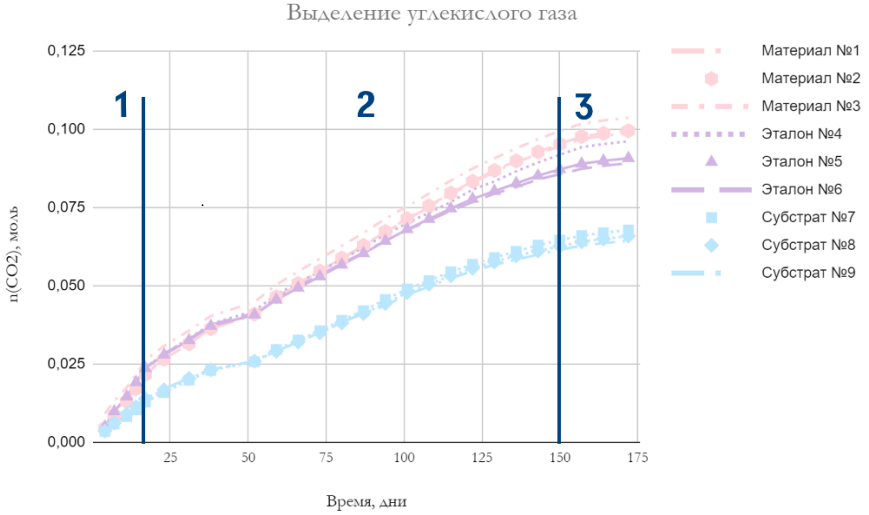


Рис. 3 – Кривая биоразложения с фазами процесса биоразложения: 1 – лаг фаза; 2 – фаза биоразложения; 3 - фаза плато

График иллюстрирует плавный рост количества выделяемого углекислого газа, что иллюстрирует протекание процесса биоразложения. Согласно графику, выделение углекислого газа субстратом и смесью субстрата и эталона стабильно, и значения внутри групп различаются минимально. В случае с емкостями с исследуемым материалом более высокие значения присущи третьей повторности исследуемого материала (на графике материал №3). В данной емкости наиболее часто и полно присутствовала плесень разного вида. Кумулятивное количество выделенного углекислого газа у исследуемого материала выше, чем у эталона, что свидетельствует об интенсивности процесса биоразложения. Отмечается схожесть кривых биоразложения для материала и эталона, что доказывает создание оптимальных условий для процесса биоразложения. Динамика, полученная входе эксперимента, соответствует кривой биоразложения, приведенной в ISO 17556.

По графику можно выделить три фазы протекания процесса биоразложения как для эталонного, так и для исследуемого материала. Лаг фаза иллюстрирует время, необходимое для адаптации микроорганизмов и их развития, и начала процесса биоразложения, она заняла 17 дней. Фаза биоразложения – период времени, во время которого происходит основная часть процесса биоразложения, она продлилась 133 дня. Фаза плато – время до завершения эксперимента. Фаза плато заняла 22 дня.

По результатам апробации метода были сформулированы рекомендации по совершенствованию методики. Предлагается изменить состав субстрата – добавить органические отходы для моделирования процесса биоразложения в более естественных условиях. Интенсифицировать процесс возможно с помощью более частого перемешивания. Для увеличения площади поверхности выделения углекислого газа субстратом предлагается использовать подставки для ловушек углекислого газа. Для повышения точности результатов анализа предлагается использовать осадительное титрование с хлоридом бария. Такое титрование позволит отделить карбонат калия и гидрокарбонат калия (при его наличии в растворе), и оттитровывать оставшуюся щелочь.

В результате второй части работы разработана установка для оценки биоразложения по ГОСТ Р 57219–2016. По сравнению с предыдущем методом, данная методика обеспечит интесификацию процесса оценки биоразложения и его автоматизацию. Основными требованиями, предъявляемыми к проведению анализа, являются поддержание температуры (58 ± 2°C) и скорости подачи воздуха (от 10 до 30 мл/мин). Таким образом, для проведения эксперимента требуется разработать установку, позволяющую поддерживать температуру и скорость подачи воздуха, установленные стандартом.

На первой стадии разработки установки был проведен подбор аппаратуры и емкостей. На основе подобранных составляющих, и с учетом соединений емкостей для подачи воздуха и необходимости нагрева емкостей с компостом, разработаны чертеж и модель установки, представленные на рисунке 4.

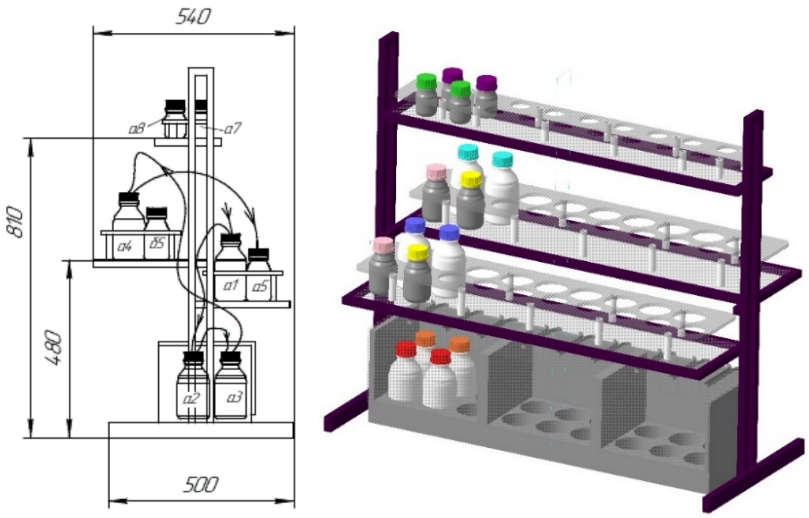


Рис. 4 – Схема и модель установки: a1 – ловушка диоксида углерода из подаваемого воздуха (натронная известь), a2 – вода в термостате для увлажнения воздуха, a3 – смесь компоста и исследуемого материала в термостате, a4 – ловушка для аммиака (серная кислота), a5 – ловушка осушения (силикагель), a6 – вторая ловушка осушения (силикагель, безводный хлорид кальция), a7 – ловушка для углекислого газа, выделенного при компостировании (смесь натронной извести и соды-талька), a8 – ловушка для поглощения воды (безводный хлорид кальция)

Для разработанной установки было проведено технико-экономическое обоснование, представленное в таблице. Полученные экономические показатели демонстрируют перспективность коммерциализации анализов с применением разработанной установки. Согласно проведенным расчетам, чистая экономия в год с установки составит 354 тысячи рублей, а период окупаемости 1 год.

В рамках работы был проведен опрос представителей сектора бизнеса биоразлагаемых материалов. Из восьми компаний согласились пройти опрос четыре. Выявлено, что компании, производящие и/или продающие биоразлагаемую продукцию заинтересованы в получении сертификации своей продукции, а также в создании российских лабораторных центров по оценке биоразложения материалов, так как в настоящий момент они вынуждены обращаться в зарубежные лаборатории через посредников, что значительно повышает стоимость анализа.

Таблица

Рентабельность

Наименование	Обозначение	Ед. измерения	Величина
Общие инвестиции	I0	тыс. руб.	363446
Чистая экономия	B	тыс. руб./год	354476,1
Период окупаемости	PB	год	1
Динамический период окупаемости	DPB	год	1,6
Чистый дисконтированный доход	NPV	тыс. руб.	1 219 106
Индекс доходности	PI	-	3,35
Внутренняя норма рентабельности	IRR	%	30

Основываясь на выявленной заинтересованности производителей биоразлагаемых материалов, а также политической повесткой, был разработан бизнес-модель лаборатории по оценке биоразлагаемости материалов. К внедрению в лаборатории предлагаются апробированная в работе методика ISO 17556 и разработанная установка по ГОСТ Р 57219–2016. Потребителями услуги оценки степени биоразложения рассматриваются: государственные органы контроля качества продукции (Роспотребнадзор), крупные ритейлеры, ведущие экологическую политику (Окей, X5 retail group), органы контроля качества производства/разработки биоразлагаемых материалов (Ростехрегулирование, Росстандарт), производители/разработчики биоразлагаемых материалов (Геовита, DoEco, Cleapl).

Таким образом, в работе успешно апробирована методика ISO 17556:2019 – были созданы требуемые условия и микроклимат для процесса биоразложения, отмечалось постоянное присутствие основных агентов биоразложения – плесневелых грибов. Динамика процесса биоразложения отражена на кривой биоразложения и иллюстрирует интенсивность протекаемого процесса. Схожий характер кривых для эталона и исследуемого материала, а также его соответствие реферативным кривым в ISO 17556 доказывает соответствие проведенного эксперимента стандарту методики ISO 17556. Сертифицированный исследуемый материал в ходе применения метода доказал свою биоразлагаемость, разложившись за 172 дня, достигнув степень разложения D = 91 ± 2%. Был разработан проект установки оценки биоразложения согласно ГОСТ Р 57219–2016 (ISO 14855-2:2018). Использование данной методики позволит сократить срок оценки биоразложения до четырех месяцев, а также сделать процесс более автоматизированным и подконтрольным. Рассчитаны основные технико-экономические параметры установки. Дальнейшие расчеты позволят определить оптимальное количество установок для реализации их в лабораторном масштабе с потенциалом успешной коммерциализации. В качестве практической реализации результатов исследований представлена концепция научно-исследовательского центра биоразложения. Дальнейшие исследования позволят усовершенствовать разработанную установку по ГОСТ Р 57219–2016, а также разработать собственную методику оценки степени биоразложения.

Список использованных источников

1. Zhu J., Wang C. Biodegradable plastics: Green hope or greenwashing? // Marine Pollution Bulletin – 2020. – V.161. – Pp. 1–6.
2. Klein F., Emberger–Klein A, Menrad K., Möhring W., Blesin J.-M. Influencing factors for the purchase intention of consumers choosing bioplastic products in Germany // Sustainable Production and Consumption – 2019. – V.19. – Pp. 33–43.
3. Научная лаборатория «Перспективные композиционные материалы и технологии» [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://plastlab.org/about/ (дата обращения 09.04.2022).
4. Briassoulis D., Mistriotis A. Key parameters in testing biodegradation of bio-based materials in soil // Chemosphere – 2018. – V.207. – Pp. 18–26.

УДК 535.317

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЦЕНТРА ПЯТНА РАССЕЯНИЯ И РАЗРАБОТКА ПРОГРАММЫ ДЛЯ АНАЛИЗА КАЧЕСТВА ОПТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПО ЗАРЕГИСТРИРОВАННОЙ ФУНКЦИИ РАССЕЯНИЯ ТОЧКИ

Летова Е.Ю.

Научный руководитель – Иванова Т.В., доцент, кандидат технических наук, доцент физико-технического мегафакультета

letova@niuitmo.ru

Ключевые слова

Пятно рассеяния, аберрации, определение центра, функция рассеяния точки, функция рассеяния линии, функция передачи модуляции, функция концентрации энергии, тест-объекты конечного размера.

Точный контроль качества создаваемых оптических систем является неотъемлемой частью оптического производства. Одними из наиболее распространённых методов контроля оптических систем является оценка функции передачи модуляции (ФПМ), которую можно вычислить как преобразование Фурье, зарегистрированных функции рассеяния точки (ФРТ) или функции рассеяния линии (ФРЛ). Например, на «ЛОМО» при использовании такого метода регистрацию пятен рассеяния производят на установке, схема которой представлена на рисунке 1.

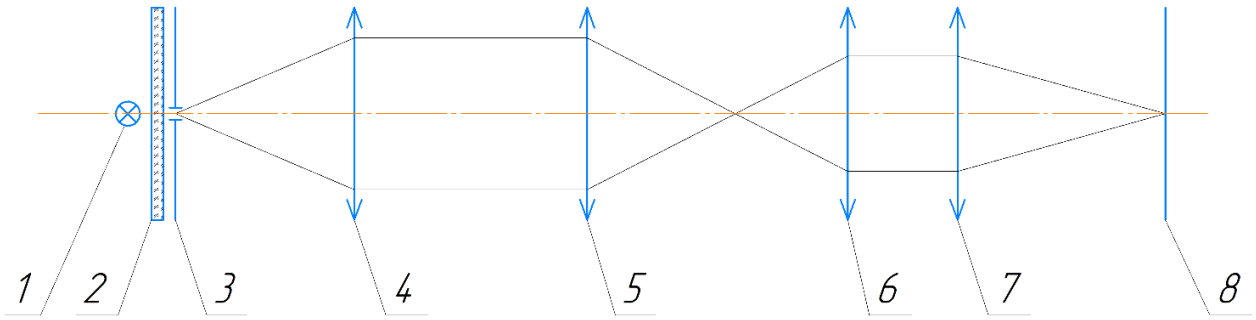


Рис. 1 – Схема установки для регистрации функции рассеяния точки: 1 – источник; 2 – светофильтр; 3 – тест-объект; 4 – зеркальный коллиматор; 5 – исследуемый объектив; 6 – микрообъектив; 7 – тубусная линза; 8 – приёмник [1]

Таким образом, целью работы является разработка программы для анализа качества оптических систем для использования на предприятии АО «ЛОМО». Задачи работы были сформулированы в соответствии с техническим заданием заказчика и содержат требования к функциям программного обеспечения. В том числе предварительная обработка изображения, вычисление функции передачи модуляции в различных сечениях, возможность учёта размера различных тест-объектов. Кроме того, необходимо определять центр зарегистрированного пятна рассеяния оптимальным методом с минимальной погрешностью, для чего было проведено следующее исследование.

Исследование методов определения центра пятна рассеяния и их модификаций

Как известно, по теореме смещения Фурье преобразования, Фурье-образ очень чувствителен к сдвигу исходной функции. Поэтому, при вычислении функции передачи модуляции как преобразование Фурье от ФРТ, полученный результат зависит от точности определения центра пятна рассеяния. Так, в процессе работы были исследованы методы определения центра пятна рассеяния, которые часто используются на практике, такие как метод максимальной интенсивности и метод центра масс [2]. Для этой цели было проведено компьютерное моделирование выборок ФРТ с различными аберрациями, поиск центра

искажённых пятен рассеяния указанными методами и определение погрешности вычисления центра. В результате были получены графики, представленные на рисунке 2, из которых видно, что при наличии несимметричной аберрации комы ни один из рассмотренных методов не способен найти правильный центр пятна рассеяния.

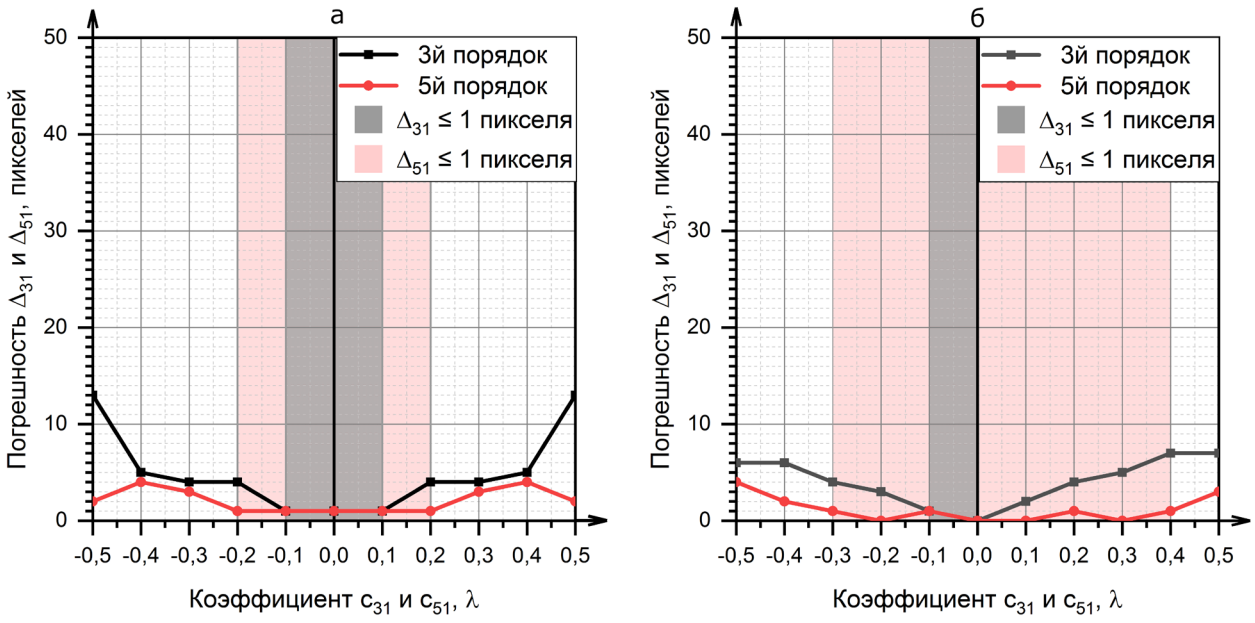


Рис. 2 – Погрешность вычисления центра ФРТ при наличии комы 3-го и 5-го порядков: а) для метода максимальной интенсивности; б) для метода центра масс [2]

Подробное рассмотрение пятна рассеяния при наличии комы и координат центра этого пятна, полученных различными способами, позволило заметить следующее. Очевидно, что центр масс заметно смещён в область вторичных колец. Кроме того, данный метод не зависит от количества пикселей с максимальной интенсивностью и обладает потенциалом для внесения различных изменений. Так, в качестве модификации метода предложено суммировать не сами значения интенсивности, а их значения, возведённые в степень q. Тем самым можно уменьшить влияние вторичных колец, то есть пикселей с небольшой интенсивностью, на положение центра.

Для определения оптимального параметра q было проведено компьютерное моделирование пятен рассеяния с различными сочетаниями аберраций комы, астигматизма и сферической аберрации третьих и пятых порядков. Затем для этих выборок определялся центр предложенным методом, и оценивалось отклонение от центра выборки функции рассеяния точки без аберраций. В результате при параметре $q = 2$ степенной метод центра масс позволяет определить центр пятна рассеяния с погрешностью не более 1 пиксела при наибольшем среднеквадратическом отклонении волнового фронта среди всех рассмотренных значений q. Соответственно, определение координат центра пятна рассеяния методом квадратичного центра масс осуществляется по следующим формулам:

$$X_c = \frac{\sum_i \sum_j I_{i,j}^2 \cdot j}{\sum_i \sum_j I_{i,j}^2},$$

$$Y_c = \frac{\sum_i \sum_j I_{i,j}^2 \cdot i}{\sum_i \sum_j I_{i,j}^2},$$

где X_c, Y_c – координаты центра области максимальной интенсивности; $I_{i,j}$ – значение интенсивности в точке с координатами $(i;j)$.

На рисунке 3 представлен график с результатами работы методов классического и квадратичного центра масс при обработке пятен рассеяния сложной формы. Видно, что предложенный метод позволяет выполнять поиск центра с заданной точностью при больших значениях аберраций.

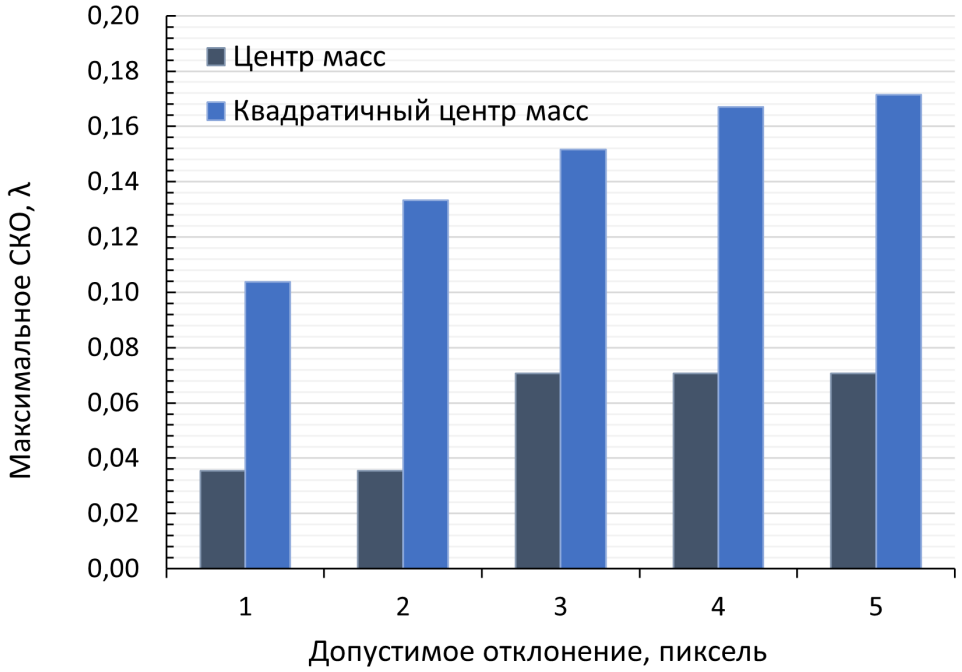


Рис. 3 – Максимальное СКО волнового фронта, при котором методы дают погрешность не более допустимого значения

Таким образом, квадратичный центр масс можно считать оптимальным методом поиска центра пятна рассеяния сложной формы. Данный метод был внедрён в разработанное программное обеспечение.

Разработка программного обеспечения

Входными данными для программного обеспечения являются зарегистрированное на установке контроля изображение тест-объекта в формате bmp, а также набор численных параметров, используемых для расчётов. В том числе параметры схемы контроля, такие как тип и размер тест-объекта, фокусное расстояние коллиматора и микрообъектива, передняя и задняя апертуры исследуемой системы, длина волны источника излучения, размер элемента матрицы приёмного устройства. Кроме того, задаются настройки вычислений, такие как опции предварительной обработки и фильтрации изображения, метод вычисления центра пятна рассеяния и способ формирования квадратной выборки для вычисления ФПМ [1]. Например, можно вырезать из исходного изображения максимально возможный по площади квадрат с учётом положения центра или задать размер квадратной выборки вручную.

Как известно, анализировать качество изображения по изображению точки можно несколькими способами. Выбор метода контроля зависит от оптической системы. Так, одной из исследуемых характеристик является концентрация энергии [3]. В интерфейсе программы на соответствующей вкладке представлена возможность вычисления концентрации энергии, которая рассчитывается как отношение суммы интенсивностей всех пикселей области заданного размера к сумме всей энергии изображения по следующим формулам:

$$U = \frac{U_R}{A} \cdot 100\%,$$

$$U_R(R) = \begin{cases} \sum_i \sum_j I_{i,j}, & \text{внутри } \Omega_\text{R} \\ 0, & \text{вне } \Omega_\text{R} \end{cases},$$

где Ω_R − круглая или квадратная область заданного размера R; A – сумма всей энергии в изображении. Расчёт размера области по заданной концентрации осуществляется методом половинного деления. В обоих случаях форма области может быть круглой или квадратной [4].

Другой важной характеристикой качества изображения является функция передачи модуляции. Она характеризует передачу контраста в зависимости от пространственной частоты предмета [5]. В интерфейсе программы на соответствующей вкладке представлена

возможность анализа ФПМ в различных сечениях. При помощи анализа двумерной функции приложение выполняет поиск сечения с минимальным контрастом на заданной частоте методом перебора с шагом 1°. Также приложение позволяет вычислить ФПМ по изображению освещённой щелевой диафрагмы.

Кроме того, реализована возможность вычисления ФПМ с учётом размера тест-объекта. Для этого рассчитывается отношение Фурье-образа зарегистрированного изображения к Фурье-образу предмета заданного размера по следующим формулам:

$$D(\nu_x) = \frac{\tilde{I}_I(\nu'_x)}{\tilde{I}(\nu_x)} = \frac{\mathrm{F}[I'^{(\eta_x)}]}{\mathrm{sinc}(w\nu_x)},$$

$$D(\nu_x, \nu_y) = \frac{\tilde{I}_I(\nu_I{}_x, \nu'_y)}{\tilde{I}(\nu_x, \nu_y)} = \frac{\mathrm{F}[I_I(\eta_x, \eta_y)]\sqrt{(2r\nu_x)^2+(2r\nu_y)^2}}{J_1(4\pi r\nu_x, 4\pi r\nu_y)},$$

где I'– изображение тест-объекта; J_1 – функция Бесселя первого порядка; w – ширина щели; r – радиус точечной диафрагмы; ν_x, ν_y – пространственные частоты; η_x, η_y – пространственные координаты. Выражение для спектра предмета получено аналитическим вычислением Фурье-образа функции распределения яркости тест-объекта.

Пересчёт реального размера предмета в канонические единицы производится в соответствии с системой координат схемы установки контроля, представленной на рисунке 1, следующим образом. Так, предметом для исследуемого объектива является промежуточное изображение после коллиматора, поэтому при пересчёте необходимо учитывать его увеличение. Кроме того, на матрицу приёмного устройства попадает увеличенное микрообъективом изображение контролируемой системы. Поэтому для правильного отображения полученной ФПМ производится пересчёт координат в соответствии с увеличением микрообъектива. Пример отображения графика функции передачи модуляции в различных сечениях представлен на рисунке 4.

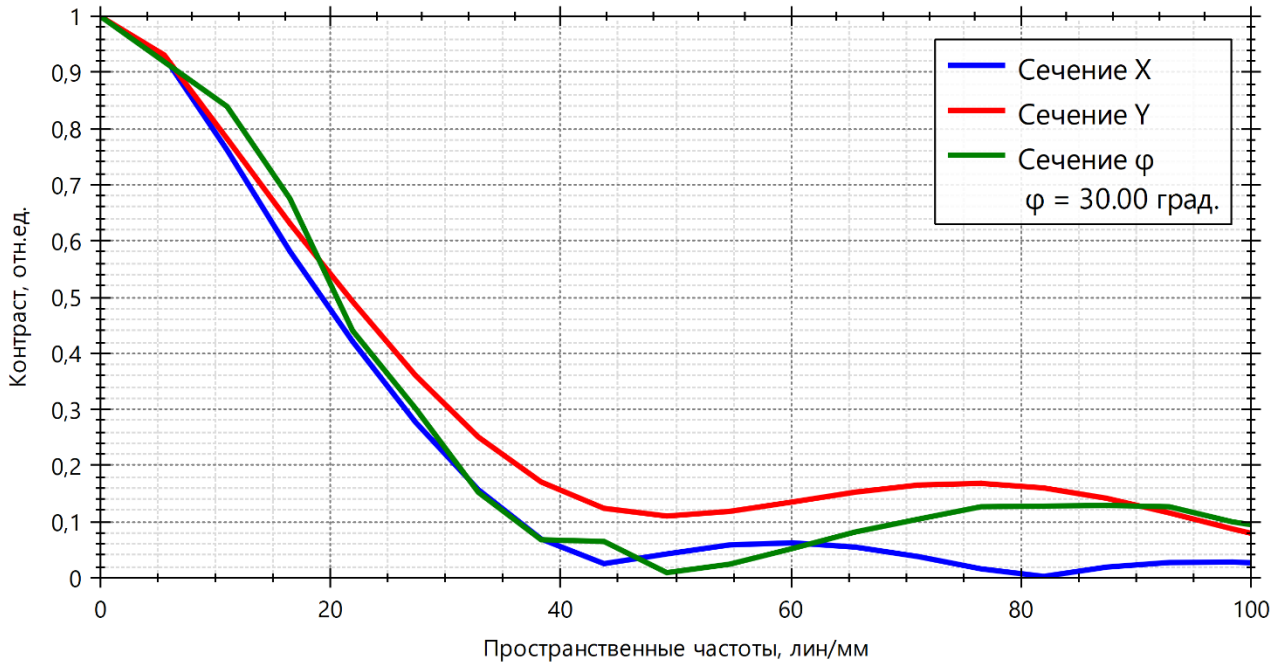


Рис. 4 – Представление графика функции передачи модуляции в интерфейсе программы [1]

Таким образом, в результате работы были реализованы все поставленные задачи. Прежде всего, было проведено исследование методов определения центра пятна рассеяния. В результате чего предложена более точная модификация метода центра масс. Наряду с исследованием выполнена разработка программного обеспечения. Программа позволяет производить детальный анализ качества контролируемой оптической системы различными методами, основываясь на обработке зарегистрированного изображения тест-объекта.

Защищаемым положением данной работы является следующее. Разработанная программа позволяет производить вычисления характеристик качества изображающей системы, таких как функция передачи модуляции и концентрация энергии, с погрешностью определения центра функции рассеяния точки методом квадратичного центра масс не более одного пиксела при наличии в системе несимметричных аберраций, в том числе комы величиной не менее 0,1λ и общем СКО волнового фронта не более 0,1λ.

В качестве дальнейших путей развития данной работы можно выделить следующие направления. Во-первых, в продолжение исследования определения центра функции рассеяния точки, можно изучить эффективность применения машинного обучения с целью более точного определения координат центра пятна рассеяния и уменьшения погрешности вычислений. Во-вторых, возможно расширение функционала программного обеспечения посредством добавления опций анализа других тест-объектов, а также повышение точности вычислений за счёт исключения влияния различных внешних влияющих факторов помимо размера тест-объекта.

Список использованных источников

1. Летова Е.Ю., Исламова Р.Р. Разработка программы для контроля качества оптической системы по зарегистрированному пятну рассеяния при помощи вычисления концентрации энергии и частотно-контрастной характеристики // Сборник тезисов докладов конгресса молодых ученых. Электронное издание. – СПб: Университет ИТМО – 2022. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://kmu.itmo.ru/digests/article/8396 (дата обращения: 14.06.2022).
2. Иванова Т.В., Летова Е.Ю., Калинкина О.С., Никифорова Д.В., Стригалев В.Е. Анализ методов определения центра пятна рассеяния в присутствии аберраций // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2021. – Т.21. – №3. – С. 334–341
3. Дрыгин Д.А., Острун А.Б. Разработка алгоритма расчёта концентрации энергии инфракрасных оптических систем с учетом влияния эффекта перетекания зарядов на матричном фотоприемном устройстве // Оптический журнал. – 2020. – Т.87. – №9. – С. 3–11.
4. Исламова Р.Р., Василевская С.А. Разработка программы определения концентрации энергии по серии зарегистрированных пятен рассеяния // Сборник тезисов докладов конгресса молодых ученых. Электронное издание. – СПб: Университет ИТМО, 2021. [Электронный ресурс]. – Режим доступа:https://kmu.itmo.ru/digests/article/7116 (дата обращения: 14.06.2022).
5. Летова Е.Ю. Разработка программы для анализа качества объектива по изображению точечного объекта // Сборник тезисов докладов конгресса молодых ученых. Электронное издание. – СПб: Университет ИТМО, 2020. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://kmu.itmo.ru/digests/article/3930 (дата обращения: 14.06.2022).

УДК 535.421

LASER DIRECT WRITING OF VOLUME DIFFRACTION PHASE ELEMENTS IN GLASS: DESIGN, FABRICATION AND TESTING

Li Chunyu

Scientific supervisor – Zakoldaev R.A., PhD, Researcher at the Institute of Laser Technologies

ccharmylee@gmail.com

Keywords

Laser direct writing, Volume phase grating, Porous glass, Diffraction efficiency, Hologram.

The development of femtosecond pulsed laser direct writing (DLW) technology offers the possibility to fabricate optical components, such as photonic chips, optical waveguides and photonic chips in optical materials [1]. Volumetric phase gratings (VPGs) are typical diffractive optical elements that have been fabricated in silicate glass [2]. Conventional VPGs consist of two glass plates sandwiched by a dichromate gelatin (DCG) film [3]. However, the degradation of the DCG material affects the diffraction efficiency, and the fabrication process of such VPGs is complicated. Therefore, we suggest the DLW technique to fabricate VPGs, which is based on laser-glass interactions that permanently modify the refractive index of the material to form a linear orbit by controlling the sample movement. This VPG not only inherits the advantages of high diffraction efficiency of conventional VPG, but also extends the lifetime of the VPG because it is fabricated in the internal structure of the material, and the DLW technique makes the fabrication process simple. We fabricated VPGs with different structures in solid and porous glasses by DLW technique and investigated the optical properties of these VPGs, such as diffraction efficiency, diffraction order, etc.

Based on the investigation of ultrashort pulse excitation direct writing micro components, the aim of this work is the LDW of stress-free volume phase gratings inside nanoporous silicate matrix and solid glass for comparison.

To accomplish the aim, the following tasks have to be solved:

1. Adjustment of the femtosecond laser system for direct laser writing step.
2. Determine the processing parameters for type I modification in nano-porous silicate matrix.
3. Prepare the pattern and fabricate the VPG in nano-porous silicate matrix.
4. Investigate optical properties of the fabricated VPG in view of efficiency, number of diffraction orders.
5. Make comparisons for the properties between solid glass sample and porous glass sample.
6. Do some simulations of diffraction gratings, such as structure and diffraction efficiency, and then compare them with the real results.

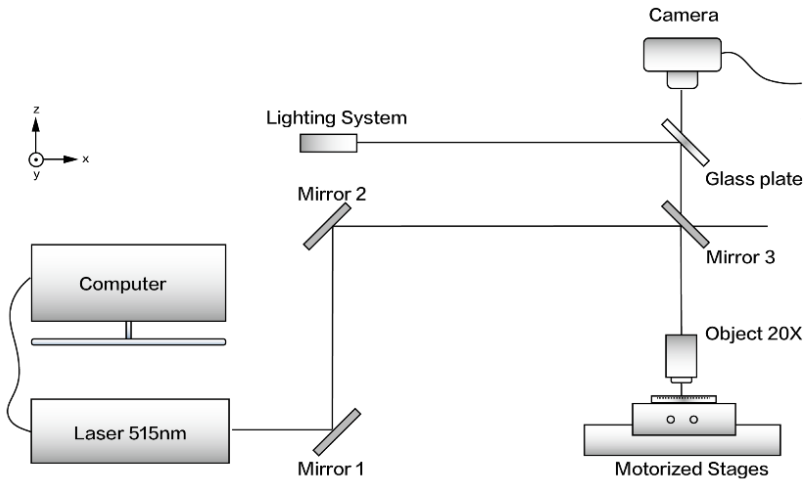


Figure. 1 – Laser directing writing setup

The setup (Fig.1) used to fabricate the VPG consists of a femtosecond pulsed laser source, mirrors for reflecting specific wavelengths, a 20x objective, and a coordinate stage. The sample is placed on the coordinate stage and the laser is focused on the sample through the 20x objective. As the coordinate table is moved, a straight line track is inscribed inside the glass material.

Four types of structures were designed as drafts to create VPG structures. They are single layer (Fig.2,a) , double layer (Fig.2,b) , cross-type I (Fig.2,c) and cross-type II (Fig.2,d) . They were fabricated inside a solid glass and when tested using 632 nm laser diffraction efficiency, it was found that the double-layer structure diffracted better than the single-layer structure and that cross-type I was higher than cross-type II.

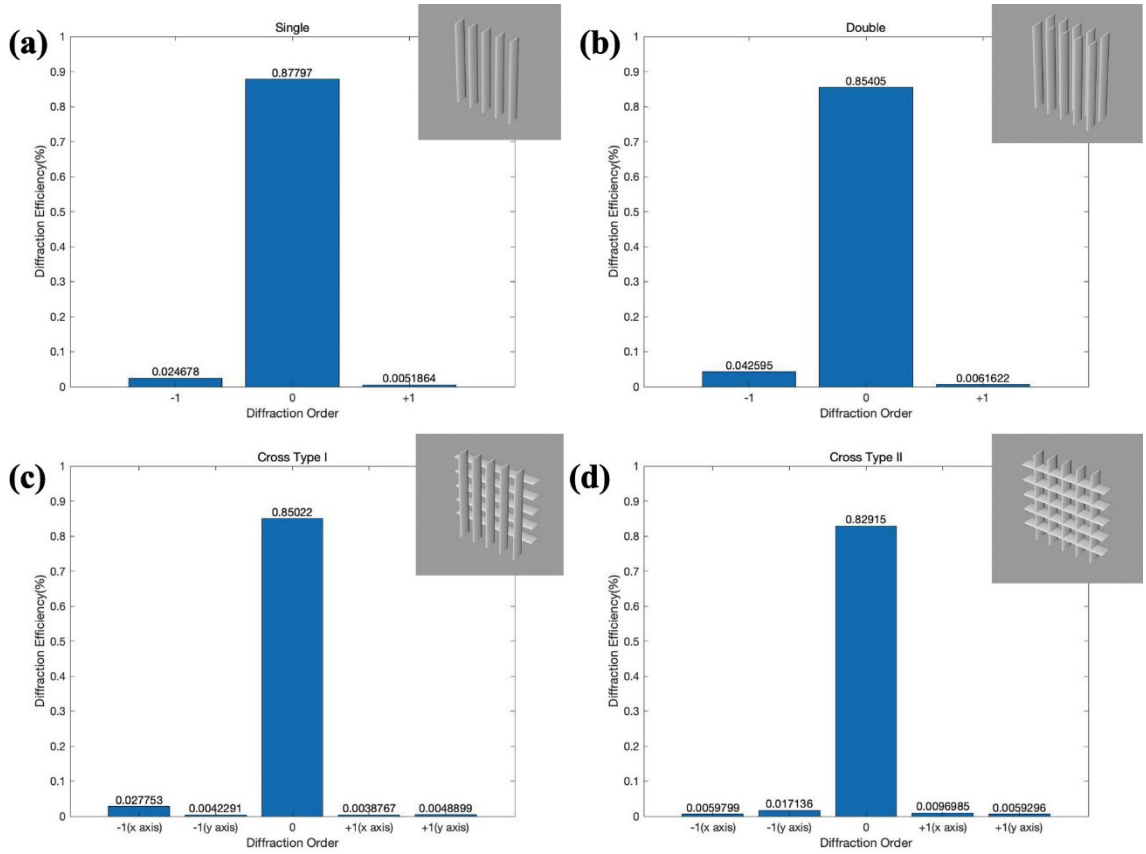


Figure. 2 – Four structures of VPG samples and their diffraction efficiency during 632 nm laser testing

We used laser parameters with pulse width 220 fs, frequency 200 KHz, scanning speed 25 mm/s, grating period 10 μm, and output laser power settings of 83 mw, 90 mw and 107.5 mw to obtain three grating structures. With the increase of laser power, the track diameter increases and the cross-section length becomes longer.

Figure. 3 – a) VPG Grating1 with 83 mw laser; b) Grating2 with 90 mw; c) Grating3 with 107.5 mw

Due to the special nature of porous materials, the traditional method of measuring refractive index changes is not applicable, so we decided to perform simulations using a rigorous coupled wave analysis (RCWA) [4], and by comparing the simulation results with the actual results (Fig.4), the

parameters used in the simulations were changed to finally determine the refractive index changes occurring in porous materials. Using the diffraction efficiency results measured at 632 nm, we obtain results that the refractive index changes for the three VPGs are: $4.49 \cdot 10^{-4}$ for grating 1, $4.61 \cdot 10^{-4}$ for grating 2, $4.68 \cdot 10^{-4}$ for grating 3.

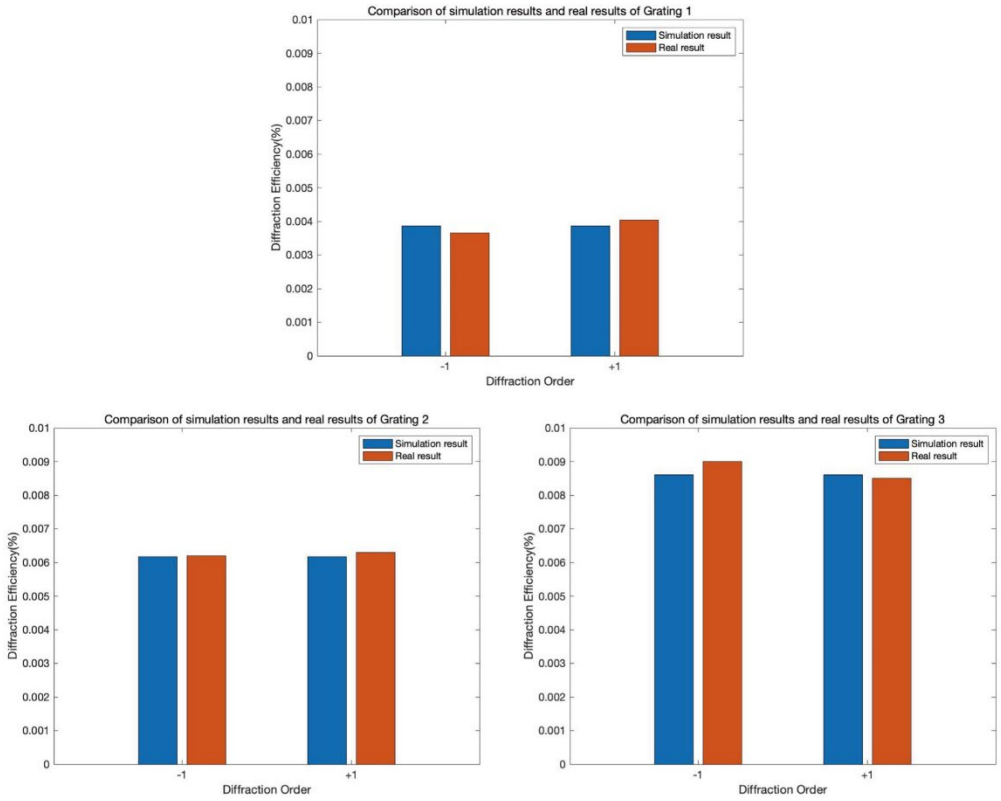


Figure. 4 – Simulation results of the three VPGs are compared with the real results

By comparing VPG samples from two different materials as shown in Figure 5, we found that the diffraction efficiency of VPG in porous silicate matrices is almost 2 times higher than that in solid glasses.

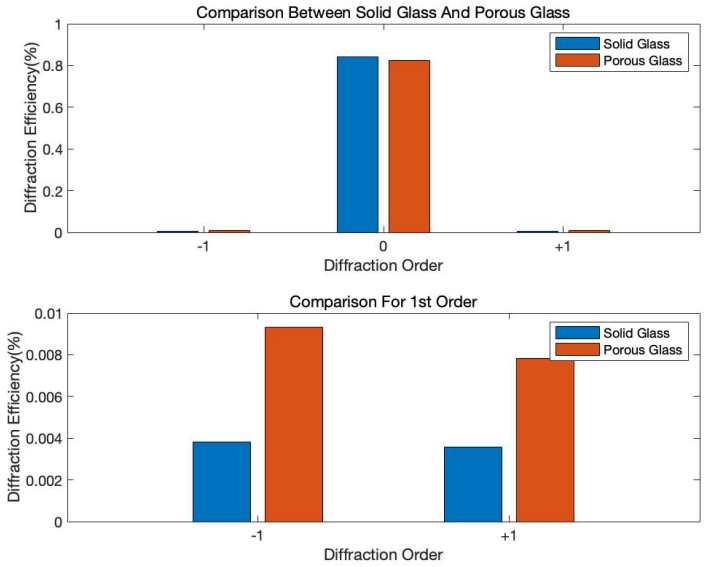


Figure. 5 – Comparison results of diffraction efficiency between solid glass VPG and porous material VPG

Interestingly, when we tested VPG in porous materials using a 1064 nm laser, we found that we could not observe diffraction when we placed the sample at 0° like Figure 6,a, but could observe diffraction when the sample was placed at 90° like Figure 6,b, which is an unusual phenomenon.

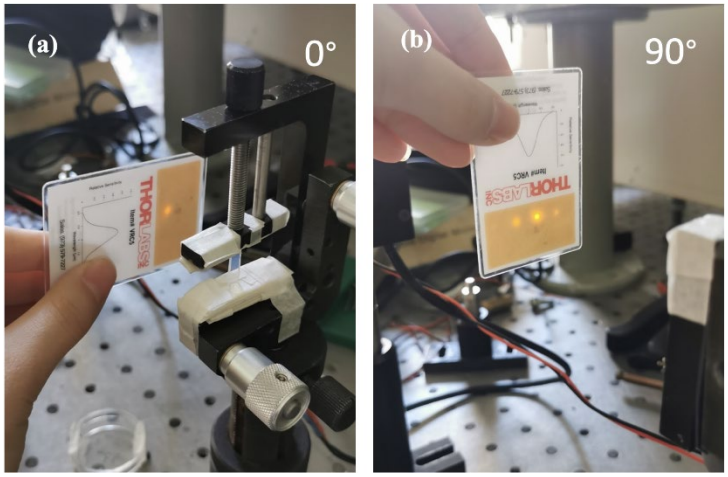


Figure. 6 – VPGs sample under 1064nm laser test

Testing with the 515 nm laser is a completely different situation, with 0° placement (Fig.7,a) having a higher diffraction efficiency and 90° placement (Fig.7,b) having a lower diffraction efficiency.

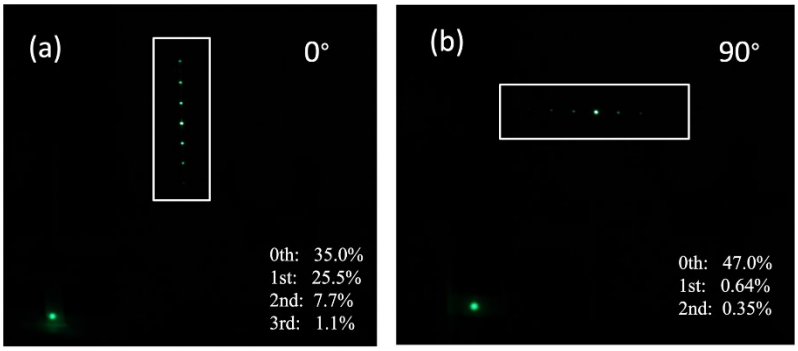


Figure. 7 – VPGs sample under 515nm laser test

When the VPG sample was irradiated with mixed light (Fig.8,a), we found that the sample reflected only green wavelength light, and under the microscope, the track of the VPG appeared green as in Figure 8,b, and on changing the observation position we found that green wavelength light was also found in the cross section of the VPG Figure 8,c.

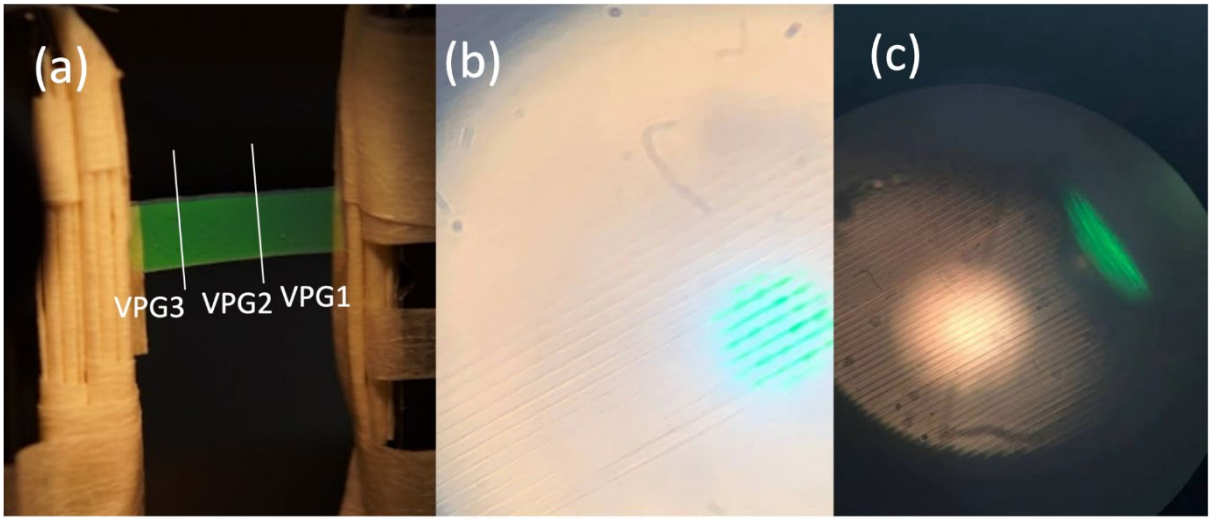


Figure. 8 – a) Sample irradiated by mixed light; b) VPG track under the microscope;
c) Cross section of VPG under the microscope

We decided to test the spectral distribution of the VPG sample and the reflectance spectra test results revealed a peak in reflection at 514 nm – 540 nm like Figure 9,a. The transmission results showed an unusual signal variation at 497 nm – 535 nm like Figure 9,b.

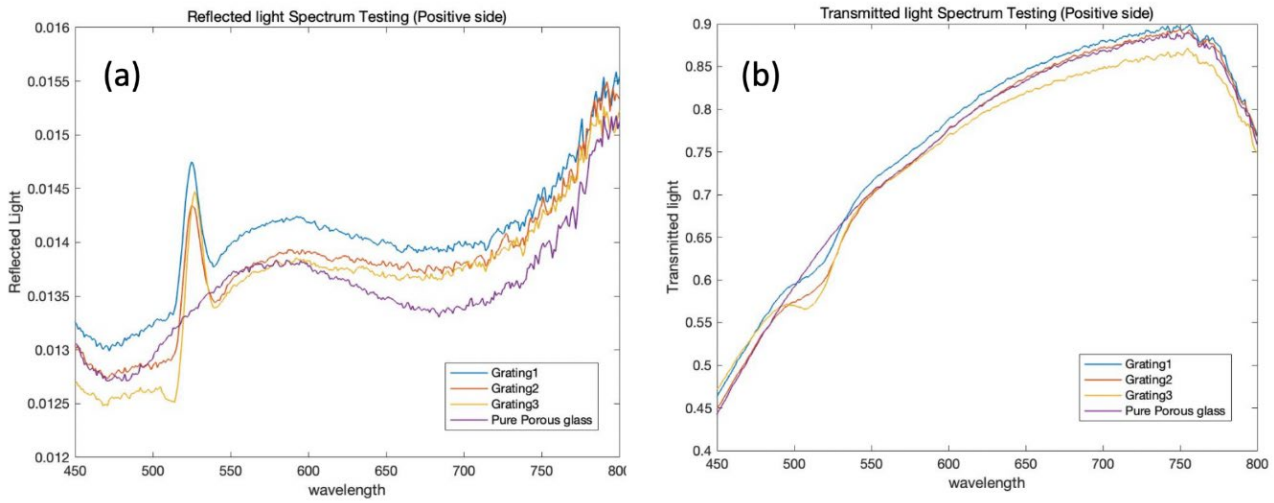


Figure. 9 – a) Reflectance spectrum of VPG; b) Transmission spectrum of VPG

Since the VPG sample reflects only green wavelength light, we decided to use the VPG sample as a screen. Using white light irradiation, we obtained the green letter T (Fig.10,a), which indicates that our VPG sample can be used to convey information.In addition, we found that the green wavelength reflected by the sample can be observed only in a specific angular range like Figure 10,b–f. We rotated the sample and found that the visible range of the green wavelength is about 80°.

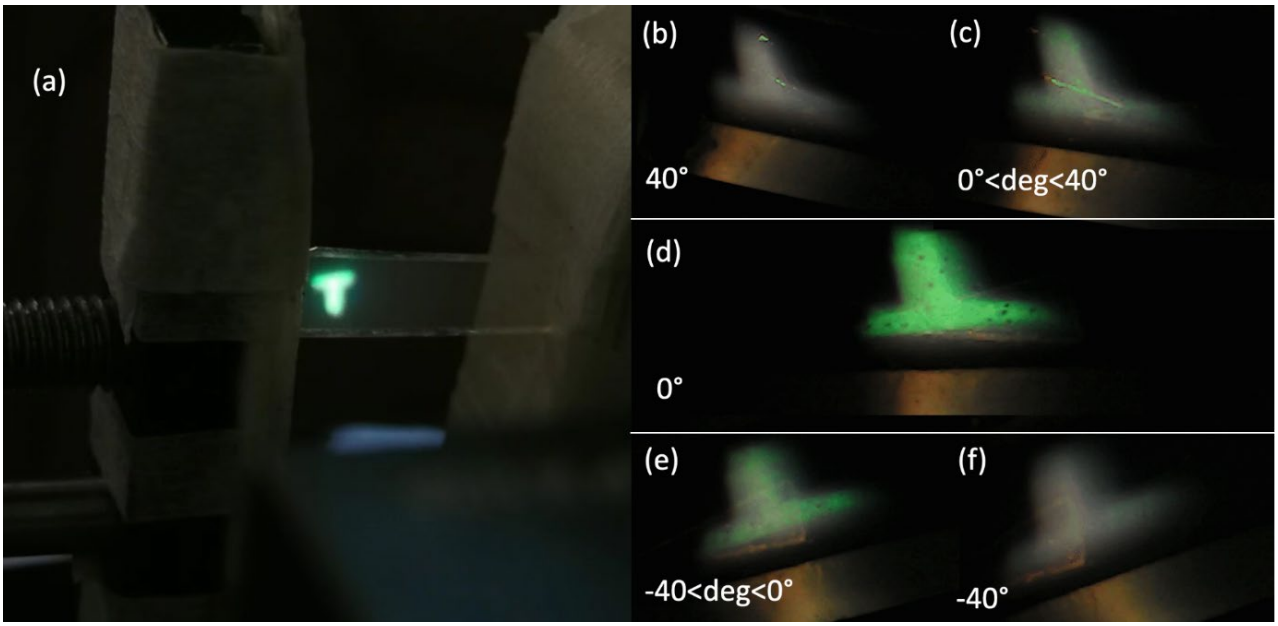


Figure. 10 – a) VPG as screen to deliver information; b-f) Observed the appearance and disappearance of green wavelengths after rotating the VPG sample

In conclusion, the diffraction efficiency of VPG with double-layer structure is higher than that of single-layer structure, being fabricated in different depths of cross-structure with different diffraction performance. Different laser parameters have different degrees put into effect on diffraction efficiency. VPG fabricated in a nanoporous matrix has a higher diffraction efficiency than that in solid glass. The application of nanoporous materials suggests new effects - such as wavelength selectivity, higher diffraction efficiency and ability to correct the refractive index contrast by the impregnation step of nanopores with various liquids. Due to the characteristic of reflecting specific wavelengths, it can be used in the future in fields such as holography as a screen to transmit information.

References

1. Lijing Z., Zakoldaev R.A., Sergeev M.M., Petrov A.B., Veiko V.P., Alodjants A.P. et al. Optical sensitivity of waveguides inscribed in nanoporous silicate framework // Nanomaterials. – 2021. – T.11. – №1. – 123 p.
2. Efimov O.M., Glebov L.B., Glebova L.N., Richardson K.C., Smirnov V.I. High-efficiency Bragg gratings in photothermorefractive glass // Applied optics. – 1999. – №38(4). – Pp. 619–627.
3. McCartney D.J., Sheat D.E., Leggatt J.S., Chamberlin G R. Volume phase gratings: reflection filter applications for 1200-1600 nm. In Computer and Optically Formed Holographic Optics // International Society for Optics and Photonics. – 1990. – V.1211. – Pp. 200–205.
4. Moharam M.G., Grann E.B., Pommet D.A., Gaylord T.K. Formulation for stable and efficient implementation of the rigorous coupled-wave analysis of binary gratings // JOSA a 12. – 1995. – №5. – Pp. 1068-1076.

УДК 546.03, 546.06

ИССЛЕДОВАНИЕ ФОТОЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ С ВРЕМЕННЫМ И СПЕКТРАЛЬНЫМ РАЗРЕШЕНИЕМ АЛЛОИДНЫХ КВАНТОВЫХ ТОЧЕК CdxZn1-xSeyS1-y/ZnS И ИХ НАНОКОМПОЗИТОВ С SPION В ЖИВЫХ КЛЕТКАХ

Матюшкина А.А.

Научный руководитель – Орлова А.О., доцент, доктор физико-математических наук, доцент, профессор факультета фотоники, главный научный сотрудник центра "Информационные оптические технологии"

anyuta.matyushkina@mail.ru

Работа выполнена в рамках проекта госзадание № 2019–1080 «Люминесцирующие нанокомпозиты с квантовыми точками для терапии и диагностики».

Ключевые слова

Кинетика фотолюминесценции, квантовые точки, суперпарамагнитные наночастицы оксида железа, нанокомпозиты, живые клетки.

Магнито-люминесцентные нанокомпозиты на основе квантовых точек (КТ) и суперпарамагнитных наночастиц оксида железа (SPION) могут найти широкое применение в биомедицине, поскольку их использование позволяет сочетать визуализацию и терапию [1].

Несмотря на огромное количество публикаций, посвященных квантовым точкам различного химического состава в связи с их биологическими и медицинскими применениями, релаксация электронного возбуждения в гибридных структурах на основе КТ при нестабильном ионном составе внутриэндосомальной среды в живых клетках остаются неисследованными. В основном это связано с тем, что обычно учитываются только характеристики стационарной фотолюминесценции (ФЛ) КТ [2]. Предполагается, что покомпонентный анализ распада ФЛ КТ позволит получить более подробную информацию о влиянии биологического окружения на квантовый выход ФЛ КТ. Это позволит получить типичные протоколы для анализа изображений с использованием КТ и для изучения стабильности гибридных структур на основе КТ в живых системах.

В данной работе детально проанализированы оптические свойства КТ и композитов КТ-SPION в диметилсульфоксиде (ДМСО). Кроме того, кинетика фотолюминесценции КТ и КТ-SPION исследуется как в растворителях, так и в клетках с использованием спектрально выбранного счета одиночных фотонов. Мы показываем, что данный подход, основанный на анализе ФЛ этой сложной системы, позволяет правильно оценить средний квантовый выход ФЛ КТ, а также четко подтвердить агрегацию КТ и целостность композитов на основе КТ в живых клетках.

Материалы и методы

В данной работе использовались квантовые точки с градиентным химическим составом, синтезированные методом высокотемпературного металлоорганического синтеза. По данным сканирующей электронной микроскопии средний размер квантовых точек составляет 6 нм (рис.1,а). Поскольку органические растворители не подходят для биологических применений, эти гидрофобные нанокристаллы были перенесены в диметилсульфоксид с использованием L-цистеина в качестве стабилизатора. Амфифильные SPION были получены в результате оригинального синтеза на основе нескольких методик. Распределение SPION по размерам, основанное на изображениях просвечивающей электронной микроскопии, показывает, что средний диаметр наночастиц составляет 8,5 нм (рис.1,б).

Нанокомпозиты КТ-SPION были сформированы путем порционного добавления SPION в раствор КТ в различных молярных соотношениях за счет координации молекул L-цистеина, прикрепленных к поверхности КТ, с поверхностными атомами железа SPION.

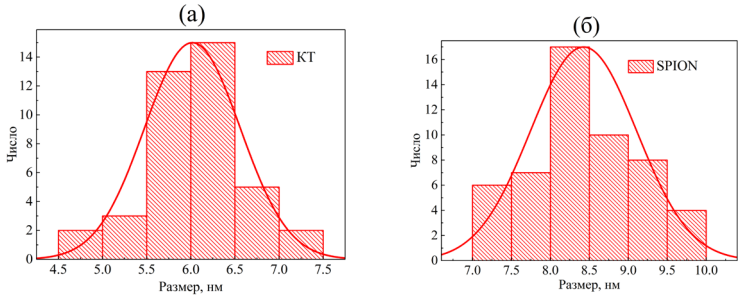


Рис. 1 – Распределения по размерам КТ (а) и SPION (б), построенные на основе данных сканирующей микроскопии

Кривые затухания ФЛ нанокомпозитов аппроксимировали следующим уравнением:

$$I = A_0 + A_1 \cdot \exp\left(-\frac{t}{\tau_1}\right) + A_2 \cdot \exp\left(-\frac{t}{\tau_2}\right) + A_3 \cdot \exp\left(-\frac{t}{\tau_3}\right), \quad (1)$$

где A_i и τ_i – амплитуды в начальный момент времени и времена затухания ФЛ i-й компоненты соответственно. Среднее время затухания ФЛ рассчитывалось по формуле:

$$\langle\tau\rangle = \frac{\sum_i A_i \tau_i^2}{\sum_i A_i \tau_i}. \quad (2)$$

Оптические свойства КТ и нанокомпозитов КТ-SPION в диметилсульфоксиде

Анализ спектров ФЛ образцов (рис.2,а) показал, что последовательное увеличение концентрации SPION в образцах сопровождается эффективным тушением люминесценции КТ. По тушению люминесценции можно предположить присутствие в образце композитов. Однако это не свидетельствует напрямую об их формировании, поскольку снижение квантового выхода люминесценции КТ может происходить в случае их агрегации, что часто наблюдается при изменении их ближайшего окружения [3].

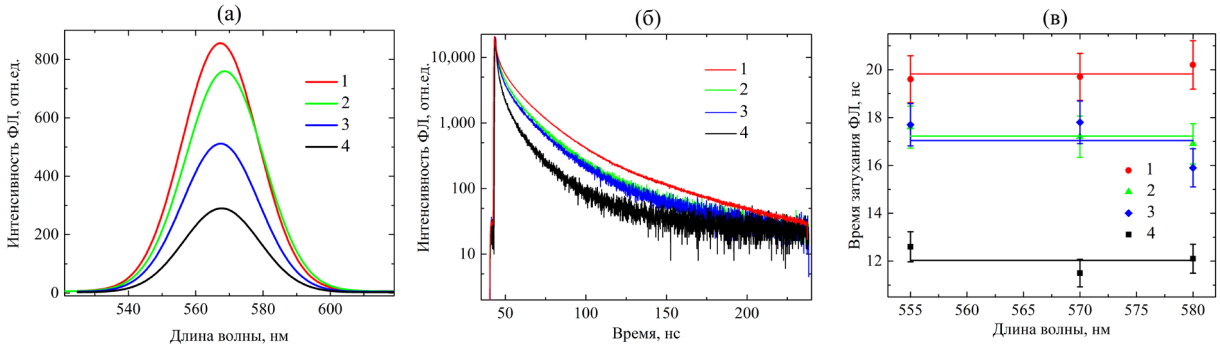


Рис. 2 – а) Спектры ФЛ образцов; длина волны возбуждения ФЛ - 515 нм; б) Кривые затухания ФЛ образцов; в) Зависимость средних времен затухания ФЛ образцов от длины волны регистрации;1-свободные КТ (красный), 2 – 4 - смесь (SPION/КТ) с n (CSPION:CKT) = 0,2 (зеленый); 0,5 (синий); 1 (черный)

Таблица 1

Времена и амплитуды затухания ФЛ КТ и нанокомпозитов КТ-SPION

Соотношение молярной концентрации ($n = C_{SPION}/C_{KT}$)	0,0	0,2	0,5	1,0
τ_1, нс	3,2 ± 0,2	2,4 ± 0,1	2,0 ± 0,1	1,4 ± 0,1
A_1, %	41,0 ± 2,0	49,0 ± 3,0	51,0 ± 3,0	61,0 ± 3,0
τ_2, нс	13,9 ± 0,7	11,7 ± 0,6	10,6 ± 0,5	7,0 ± 0,4
A_2, %	51,0 ± 3,0	42,0 ± 2,0	40,0 ± 2,0	33,0 ± 2,0
τ_3, нс	44,0 ± 2,0	34,0 ± 2,0	31,0 ± 2,0	24,0 ± 1,0
A_3, %	8,0 ± 1,0	9,0 ± 1,0	9,0 ± 1,0	6,0 ± 1,0
$\langle\tau\rangle$, нс	21,0 ± 1,0	17,9 ± 0,9	16,7 ± 0,8	11,7 ± 0,6

Поэтому была изучена кинетика ФЛ КТ при различных концентрациях SPION. Кривые затухания ФЛ (рис.2,б) аппроксимированы трехэкспоненциальной функцией (формулы (1) и (2)), характерное время ФЛ и их амплитуды представлены в таблице 1.

Из таблицы 1 видно, что увеличение концентрации SPION сопровождается симбатным уменьшением всех характерных времен затухания ФЛ, что свидетельствует о передаче энергии от КТ к SPION.

Таким образом, это подтверждает образование композитов КТ-SPION, а не спонтанную агрегацию КТ, которая обычно сопровождается резким увеличением доли фракции КТ с наименьшим временем затухания ФЛ [4]. Согласно рисунку 2,в среднее время затухания ФЛ нанокомпозитов не зависит от длины волны регистрации в пределах погрешности. Это означает отсутствие передачи энергии между КТ, т.е. свидетельствует об отсутствии их агрегации [5].

Известно, что время затухания ФЛ и квантовый выход фотолюминесценции люминофора связаны следующими формулами:

$$\varphi_i = \frac{\tau_i}{\tau_r}, \tag{3}$$

$$\tau_i = \frac{1}{k_r + k_{nr}^i}, \tag{4}$$

где φ_i – квантовый выход ФЛ люминофора, τ_i – время затухания ФЛ, – излучательное время, k_r и k^i_{nr} константы скоростей излучательной и безизлучательной релаксации. Излучательное время для разных компонент одинакова (25 нс), так как это фундаментальное свойство материала CdSe.

При формировании композитов КТ-SPION добавляются новые каналы релаксации энергии КТ, что видно по уменьшению характерных времен затухания ФЛ (табл.1). В основном это связано с передачей энергии от КТ к SPION. Скорость этих каналов есть скорость тушения КТ с SPION (k^i_Q) полученная по следующей формуле:

$$\tau_i = \frac{1}{k_r + k_{nr}^i + k_Q^i}. \tag{5}$$

Эффективность тушения каждой фракции КТ с SPION можно оценить по формуле:

$$E_Q^i = k_Q^i \cdot \tau_i. \tag{6}$$

Скорость и эффективность тушения ФЛ КТ с SPION (табл.2) возрастают с увеличением концентрации SPION, а это означает, что больше КТ связываются в композиты.

Таблица 2

Фотофизические свойства КТ и нанокомпозитов КТ-SPION

Соотношение молярной концентрации ($n = C_{SPION}/C_{КТ}$)	**0,0**	**0,2**	**0,5**	**1,0**
φ_1, %	12,8 ± 0,6	9,6 ± 0,5	8,0 ± 0,4	5,6 ± 0,3
φ_2, %	56,0 ± 3,0	47,0 ± 2,0	42,0 ± 2,0	28,0 ± 1,0
$\langle\varphi\rangle$, %	49,0 ± 2,0	40,0 ± 2,0	36,0 ± 2,0	22,0 ± 1,0
k_{nr}^1, $\cdot 10^7$ c^{-1}	27,0 ± 1,0			
k_{nr}^2, $\cdot 10^7$ c^{-1}	3,2 ± 0,2			
k_Q^1, $\cdot 10^7$ c^{-1}	-	10,4 ± 0,5	18,8 ± 0,9	40,0 ± 2,0
k_Q^2, $\cdot 10^7$ c^{-1}	-	1,4 ± 0,1,0	2,2 ± 0,1	7,1 ± 0,4
$\langle k_Q\rangle$, $\cdot 10^7$ c^{-1}	-	9,5 ± 0,5	17,4 ± 0,9	37,0 ± 2,0
E_Q^1, %	-	25,0 ± 1,0	38,0 ± 2,0	56,0 ± 3,0
E_Q^2, %	-	16,0 ± 1,0	24,0 ± 1,0	50,0 ± 3,0
$\langle E_Q\rangle$, %	-	22,0 ± 1,0	33,0 ± 2,0	54,0 ± 3,0

Вновь зарегистрированная кинетика люминесценции через 10 дней показала, что среднее время затухания люминесценции КТ в нанокомпозитах практически не меняется при хранении, что свидетельствует о стабильности люминесцентных свойств образцов.

Анализ кинетики ФЛ КТ и нанокомпозитов КТ-SPION в клетках

Широко распространенный подход к изучению ФЛ свойств КТ, инкубированных с клетками, методами стационарной люминесценции может дать ошибочный результат, поскольку интенсивность ФЛ КТ может уменьшаться по многим причинам, включая агрегацию КТ и появление новых безизлучательных каналов релаксаций. Стационарные методы не могут дать ответ, в чем именно заключается причина тушения люминесценции КТ в клетках. Однако дополнительную информацию о взаимодействии КТ с клетками можно получить, исследуя кинетику затухания ФЛ КТ.

На рисунке 3 представлена зависимость среднего времени затухания ФЛ КТ, свободных и связанных с SPION, от длины волны регистрации для разного времени инкубирования с клетками HeLa.

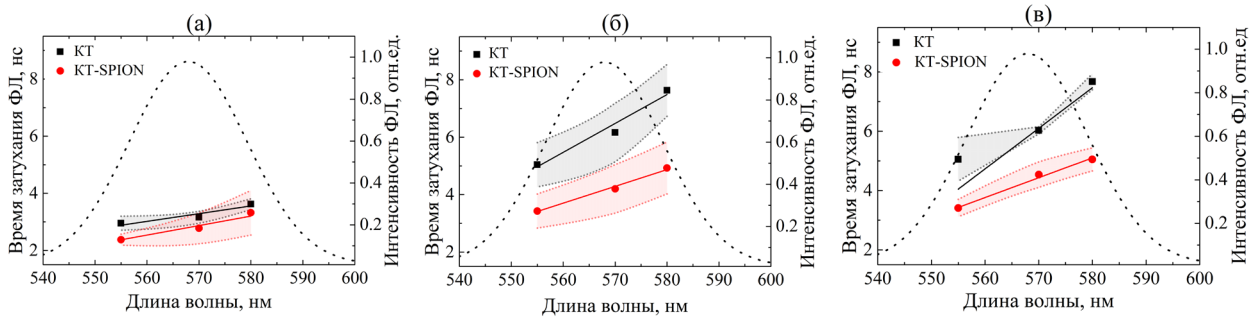


Рис. 3 – Зависимость среднего времени затухания ФЛ КТ и нанокомпозитов КТ-SPION от длины волны регистрации для 4 (а), 24 (б) и 48 (в) часов инкубирования в клетках HeLa; пунктиром показан спектр ФЛ КТ в ДМСО

Среднее время затухания ФЛ КТ в клетках заметно меньше, чем в растворе (рис.2,в и 3). Это характерно для всех образцов и объясняется появлением новых безизлучательных каналов релаксации за счет взаимодействия поверхности КТ с клеточным окружением.

На рисунке 3 видно, что для всех экспериментов наблюдается увеличение среднего времени затухания ФЛ КТ с увеличением длины волны. Это свидетельствует о передачи энергии от КТ меньшего размера к КТ большего размера и, следовательно, указывает на агрегацию КТ при их инкубировании с клетками. Эффективность процесса передачи энергии между КТ можно оценить по следующим формулам:

$$E_{FRET}^{QD-QD} = 1 - \frac{\tau_{555}}{\tau_{580}}, \quad (7)$$

$$E_{FRET}^{QD-QD} = \frac{R_0^6}{R_0^6 + R^6}, \quad (8)$$

где τ_{555} и τ_{580} – средние времена затухания ФЛ, зарегистрированные на 555 и 580 нм, R – среднее расстояние между квантовыми точками, а R_0 – радиус Фёрстера, рассчитанный по формуле:

$$R_0^6 = \frac{9000 \cdot \ln 10 \cdot \Phi^2 \cdot \varphi}{128 \cdot \pi^5 \cdot n^4 N_a} \cdot J, \quad (9)$$

где Ф – ориентационный фактор, учитывающий взаимную ориентацию переходных дипольных моментов в доноре и акцепторе (в растворе $\Phi^2 = 2/3$), φ – квантовый выход ФЛ донора энергии, n - показатель преломления растворителя, N_a – число Авогадро, J – интеграл перекрытия между спектрами люминесценции донора и спектрами поглощения акцептора.

Оценка среднего расстояния между квантовыми точками в клетках позволяет рассчитать скорость передачи энергии между КТ по следующей формуле:

$$k_{FRET}^{QD-QD} = \frac{R_0^6}{\tau_{580} \cdot R^6}. \quad (10)$$

Рассчитанные параметры представлены в таблице 3.

Таблица 3

Параметры взаимодействия КТ–КТ для свободных КТ и нанокомпозитов КТ-SPION в клетках

Время инкубирования, ч	Тип наноструктур	E_{FRET}^{QD-QD}, %	R_0, nm	R, nm	k_{FRET}^{QD-QD},·$10^7 c^{-1}$
4	КТ	18,0±1,0	4,6±0,2	5,9±0,3	6,2±0,3
	КТ-SPION	28,0±2,0		5,4±0,3	11,9±0,6
24	КТ	34,0±2,0		5,1±0,3	6,7±0,3
	КТ-SPION	30,0±2,0		5,3±0,3	8,9±0,4
48	КТ	34,0±2,0		5,1±0,3	6,7±0,3
	КТ-SPION	32,0±2,0		5,2±0,3	9,5±0,5

Из таблицы 3 видно, что эффективность FRET между соседними КТ (E_{FRET}^{QD-QD}) увеличивается со временем инкубирования из-за агрегации КТ на клеточной мембране. Эта тенденция была обнаружена и при анализе конфокальных изображений, где было видно, что все больше и больше КТ прилипают к клеточной мембране.

Кроме того, все времена инкубирования характеризуются уменьшением среднего времени затухания ФЛ при переходе от свободных КТ к композитам (рис.3). Это прямо указывает на передачу энергии от КТ к SPION и их взаимодействие в композитах. Эффективность тушения ФЛ КТ за счет взаимодействия КТ-SPION можно оценить по следующей формуле:

$$E_Q^{QD-SPION} = 1 - \frac{\tau_{QD-SPION}}{\tau_{QD}}, \qquad (11)$$

где τ_{QD} и $\tau_{QD\text{-}SPION}$ - средние времена затухания ФЛ КТ, свободных и связанных в композиты, соответственно.

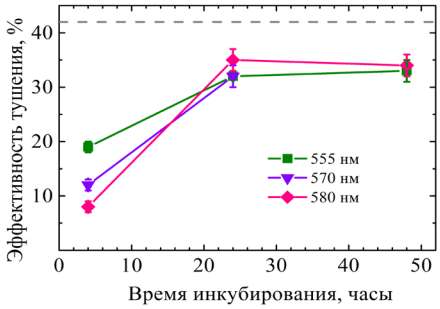


Рис. 4 – Эффективность тушения ФЛ КТ с SPION в клетках, оцененная по временам затухания ФЛ, зарегистрированных на 555, 570 и 580 нм, в зависимости от времени инкубирования; штриховая линия – эффективность тушения ФЛ в растворе

На рисунке 4 показано, что эффективность тушения ФЛ КТ в композитах КТ-SPION, построенная как функция времени инкубирования, достигает насыщения до 24 часов инкубирования независимо от длины волны. Она приближается к эффективности тушения ФЛ для этих композитов в растворе. Это подтверждает целостность композитов в клетках.

В данной работе нанокомпозиты КТ-SPION создавались для комбинированной возможности обнаружения и воздействия на клетки. Созданные композиты КТ-SPION показали достаточно высокую стабильность своих свойств. Покомпонентный анализ кинетики ФЛ КТ и нанокомпозитов КТ-SPION в клетках позволил установить, что одной из причин тушения ФЛ в клетках является их агрегация. Среднее расстояние между КТ или нанокомпозитами в агрегате при их инкубировании с клетками составляет 5,3 нм. Эффективность тушения ФЛ КТ за счет передачи энергии на SPION после 24 часов

инкубирования с клетками приближается к эффективности тушения ФЛ этих композитов в растворе. Таким образом, анализ кинетики люминесценции показал, что КТ и SPION остаются связанными в композитах при инкубировании с клетками.

Работа выполнена совместно с Институтом цитологии РАН, Санкт-Петербург, Россия, где проводились эксперименты по инкубированию образцов с клетками и их исследование.

Список использованных источников

1. Qiao J. et al. Magneto-fluorescent carbon nanotube-mediated siRNA for gastrin-releasing peptide receptor silencing in neuroblastoma // RSC advances. – 2013. – Т.3. – №14. – С. 4544–4551.
2. Wagner A.M. et al. Quantum dots in biomedical applications // Acta biomaterialia. – 2019. – Т.94. – С. 44–63.
3. Kang T. et al. Minimizing the fluorescence quenching caused by uncontrolled aggregation of CdSe/CdS core/shell quantum dots for biosensor applications // Sensors and Actuators B: Chemical. – 2016. – Т.222. – С. 871–878.
4. Peveler W.J. et al. Cucurbituril-mediated quantum dot aggregates formed by aqueous self-assembly for sensing applications // Chemical Communications. – 2019. – Т.55. – №38. – С. 5495–5498.
5. Reitinger N. et al. Radiationless energy transfer in CdSe/ZnS quantum dot aggregates embedded in PMMA // Physica status solidi (a). – 2011. – Т.208. – №3. – С. 710–714.

УДК 004.41

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ИНТЕРПРЕТАТОРОВ ЯЗЫКА PYTHON ДЛЯ СОЗДАНИЯ ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЙ

Олимпиев Н.В.

Научный руководитель – Жуков Н.Н., кандидат физико-математических наук, доцент факультета программной инженерии и компьютерной техники

nikitaolimpiev97@gmail.com

Ключевые слова

Python, интерпретатор, CPython, PyPy, Jython, фреймворк, веб-приложение.

Для веб-разработки все чаще используется один из самых популярных языков программирования Python. Рост популярности языка в последние годы обусловлен распространенностью фреймворков, ставших неотъемлемой частью веб-разработки на Python. В современном мире для конкурентоспособной реализации веб-приложения важно сделать свой продукт функциональнее и производительнее, чем у конкурентов. Решить такую задачу с наименьшими затратами ресурсов возможно с помощью смены интерпретатора языка. Но из-за растущего количества имплементаций для разработчиков на Python все более острой проблемой становится выбор подходящего варианта на основе различных критериев. Во-первых, важно выбирать наиболее эффективный интерпретатор для конкретных задач. Во-вторых, выбор интерпретатора может как кардинально улучшить, так и ухудшить производительность приложения. Поэтому важно не слепо менять интерпретатор, а формировать критерии в зависимости от приложения и используемого фреймворка, и сопоставлять их с особенностями интерпретатора. Также при исследовании интерпретаторов языка Python следует учитывать не только проблему выбора интерпретатора для разработки новых проектов, но и проблему поддержки и обновления уже эксплуатируемых приложений. При переходе на другие имплементации можно получить преимущество, например, из-за используемого стека технологий. Смена интерпретатора также потенциально может улучшить производительность приложения без доработок, но для этого необходимы исследования и ресурсы, поскольку имплементации могут существенно отличаться поведением. Заложить ресурсы для исследования и разработки может позволить не каждая компания, поэтому для таких случаев востребовано независимое комплексное тестирование интерпретаторов. Для формирования текущей картины по ситуации необходимо провести анализ известных исследований интерпретаторов языка Python, в частности проанализировать срок давности работ и полноту проведенных тестов. Для этого необходимо рассмотреть самые известные и комплексные общедоступные труды на данную тему. В работах [1,2] подробно описана методика и подход к проведению исследования. Методика работы [3] затрагивает как общие сценарии использования приложения, так и многопоточность, ввод-вывод, метапрограммирование. В работе [4] авторы приходят к выводу, что на производительность интерпретаторов большое влияние оказывает диспетчеризация байт-кода, которую можно оптимизировать. Основные методы, используемые во всех рассмотренных научных трудах, это метод бенчмаркинга [1,2,4,5], профайлинга для анализа кода и выделения малопроизводительных участков кода [2]. По результатам анализа научных источников по теме ВКР можем сделать вывод, что труды либо носят общий характер исследования [2,4,5], либо специфический [1]. В контексте веб-разработки перечисленные исследования мало полезны из-за общего характера тестов. Также выявлено, что проблема исследования интерпретаций языка Python подробно освещена лишь в зарубежных научных источниках. Большинство авторов стараются охватить как можно больше имплементаций для тестирования. Эта тенденция прослеживается во всех перечисленных выше работах. Также все сравнительные анализы интерпретаторов имеют короткий период актуальности из-за интенсивного процесса обновления интерпретаторов. Таким образом, проведенный анализ

отечественных и зарубежных научных источников по теме ВКР, позволяет выделить главный тренд в контексте работы – проблема выбора интерпретаторов Python для создания веб-приложений недостаточно полно исследована.

Для решения данной проблемы необходимо разработать методику тестирования таким образом, чтобы ее результаты могли быть практически применимы веб-разработчиками при выборе Python-интерпретаторов. Результаты данного решения позволят обеспечить оптимизацию процесса разработки и поддержки веб-приложений. Для формирования перечня тестируемых интерпретаторов сформированы следующие критерии выбора: совместимость с Django и Flask, наличие документации к интерпретатору, популярность интерпретатора, актуальность интерпретатора, совместимость интерпретатора с Python-библиотеками. Разработанные критерии связывают функциональность интерпретаторов и текущее состояние проектов по их разработке и поддержке с требованиями к интерпретации языка Python для создания веб-приложений. Они позволят выбрать интерпретаторы языка Python для проведения сравнительного анализа. Итоговый перечь выбранных интерпретаторов языка Python сформирован следующим образом:

- CPython 3.9 и CPython 2.7.2;
- Jython 2.7.2;
- PyPy для версий Python 2.7.2 и 3.9.

Ориентируясь на лучшие практики из рассмотренных выше исследований, необходимо обозначить и дополнить методы проводимого тестирования интерпретаторов для создания веб-приложений, а также разработать методику тестирования интерпретаторов. Для проводимого тестирования будут использованы результаты CPython, как де-факто основного интерпретатора языка, за точку отсчета для сравнения. Основной упор в рамках проводимого тестирования будет сделан на тестировании кода веб-приложений, созданных с помощью веб-фреймворков, а также на результатах тестирования и их пользе для веб-разработчиков. Методику необходимо разработать таким образом, чтобы выработанные методы тестирования в дальнейшем можно было масштабировать. Для проведения тестирования будет использован подход к бенчмаркингу из репозитория «web-frameworks» от The Benchmarker. По заявлению создателей цель данного проекта – выявить и попытаться измерить различия производительности основных фреймворков для самых популярных языков программирования. Для проведения тестирования взят за основу код приложений, созданных с помощью выбранных фреймворков, из репозитория. Для каждого приложения было полностью отключено логирование для уменьшения дополнительной нагрузки на тестируемую систему. Для обработки GET и POST запросов в веб-приложении объявлены функции index() и user() соответственно с пустым телом ответа. Для запуска веб-приложений будем использовать WSGI HTTP сервер Gunicorn с Meinheld в качестве типа воркера. Важно отметить, что из-за особенностей реализации Jython, а именно работы имплементации на базе Java-машины, запуск веб-приложений на языке Python следует рассматривать как запуск Java-проекта. Поскольку для запуска приложений с интерпретаторами CPython и PyPy используется сервер приложений, для запуска веб-приложения на базе Jython будет использован контейнер сервлетов Tomcat в дефолтной конфигурации. Тестирование веб-фреймворков и интерпретаторов будет проведено с помощью построения окружения на базе Docker. Тестирования прочих интерпретаторов также будет проведено на официальных образах. Для замеров производительности интерпретаторов будет использован wrk – HTTP-инструмент для бенчмаркинга. wrk – это инструмент для тестирования HTTP, способный генерировать значительную нагрузку при работе на одном многоядерном процессоре. Для каждого фреймворка и интерпретатора будет проведено по 4 замера с 1 потоком длительностью 60 секунд, каждый замер будет повторен 10 раз, после чего рассчитано среднее арифметическое результатов.

1. GET-запросы с 64 подключениями.
2. GET-запросы с 512 подключениями.
3. POST-запросы с 64 подключениями.
4. POST-запросы с 512 подключениями.

Для интерпретации и наглядного сравнения результатов полученные численные значения были визуализированы. Для этого были учтены следующие показатели:

1. Время ожидания (максимальное, минимальное, среднее).
2. Перцентили времени ожидания для исключения аномальных значений.
3. Количество запросов в секунду.
4. Количество подключений.
5. Тип HTTP-запроса.

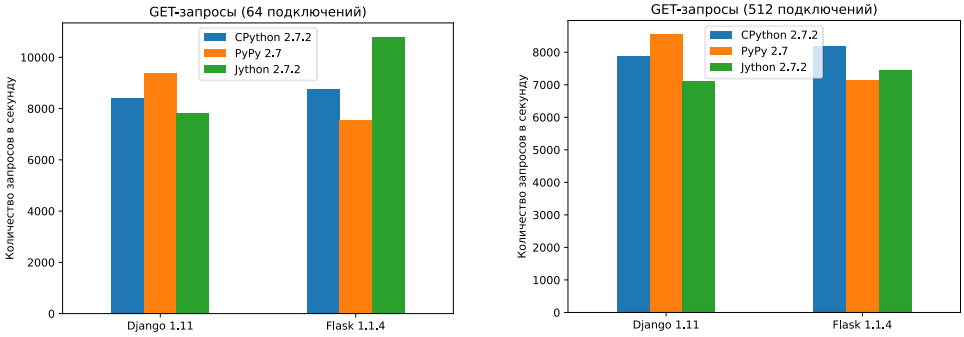


Рис. 1 – Количество запросов в секунду, GET-запросы, Python 2.7

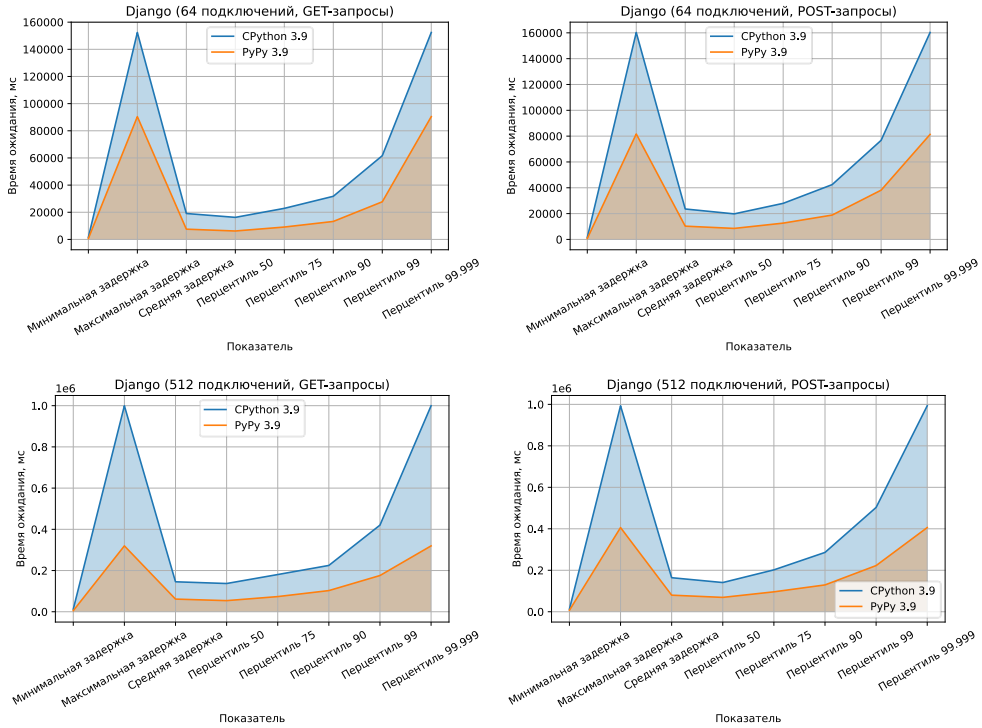


Рис. 2 – Время ожидания (latency), Django 4.0.4, Python 3.9

Для обработки и визуализации результатов используется библиотека matplotlib для Python. Примеры гистограмм для сравнения фреймворков и интерпретаторов по количеству запросов в секунду для GET-запросов представлены на рисунке 1 для Python 2.7. Для сравнения результатов по описанным выше показателям полученные гистограммы были разделены по фреймворкам, типу запроса и количеству подключений. Примеры результатов для времени ожидания для фреймворка Django 4.0.4 для версии языка Python 3.9 представлены на рисунке 2. Для данных результатов чем значения показателя меньше, тем производительность выше. Основным трендом, выделяемым по результатам сравнения интерпретаторов языка Python 3.9 по показателю времени ожидания для фреймворка Django 4.0.4, является очевидное превосходство JIT-реализации PyPy в производительности. В данном случае можно однозначно констатировать, что использование PyPy позволяет

увеличить производительность веб-приложения. Важно отметить, что PyPy имеет некоторые ограничения и неочевидные особенности реализации, которые стоит учитывать при использовании интерпретатора:

1. Работа с расширениями, написанными на Си, происходит намного медленнее базового CPython, поскольку они не поддерживаются нативно.
2. PyPy неэффективен с короткими программами и скриптами, поскольку при запуске интерпретатор совершает множество операций для оптимизации скорости работы кода. Если скрипт слишком мал, из-за накладных расходов он будет работать медленнее, чем в CPython, поэтому PyPy эффективен только с Long-Running программами. PyPy не является полностью компилируемой реализацией Python. Из-за присущего Python динамизма, код невозможно скомпилировать в двоичный файл и повторно его использовать.

Таким образом, при отсутствии у веб-приложения особенностей, связанных с ограничениями PyPy, результаты исследования позволяют сделать вывод, что PyPy – это эффективная альтернатива CPython. При этом для Flask 2.1.1 результаты сравнения производительности по показателю времени ожидания позволяют сказать, что CPython и PyPy имеют примерно одинаковый уровень производительности. Такой результат снова свидетельствует о том, что важно рассматривать конкретный используемый веб-фреймворк при выборе интерпретатора Python. Результаты были получены путем разработки методики и проведения тестирования интерпретаторов для контейнеризированных веб-приложений. Несмотря на то, что бенчмарки в достаточной степени реалистичны, нагрузка, которой подвергается сервер, гораздо однороднее той, которой подвергаются реальные серверы, в частности инструмент тестирования всегда делает одно и то же. В реальных веб-приложениях всё, как правило, выглядит иначе, например, встречаются быстрые и медленные операции. Поэтому важно отметить, что в реальных приложениях диапазон изменения значений задержек будет значительно больше. В итоге подтвердилась гипотеза из рассмотренных в первой главе исследований о том, что однозначного ответа на вопрос о наиболее производительном интерпретаторе Python нет. Эта тенденция сохраняется и при построении методики исследования вокруг синхронных веб-фреймворков.

Наиболее важным результатом анализа является описанное выше подтверждение факта зависимости производительности веб-приложения от используемого фреймворка. В результате сравнительного анализа была сформирована база знаний, для обеспечения общего интерактивного доступа к которой был выбран способ представления полученных данных как системы в виде чат-бота в мессенджере Telegram. Разрабатываемый чат-бот по выбору Python-интерпретаторов призван помочь разработчикам определиться с используемым интерпретатором. Логика работы чат-бот по своей сути представляет опрос пользователя по критериям, полученным в результате тестирования интерпретаторов. Помимо полного опроса и выдачи результатов в соответствии с разработанным алгоритмом, пользователю также предоставляется возможность увидеть все результаты по требуемому фреймворку в их графической форме и получить ссылку на полное исследование с аргументацией работы алгоритма и методологией исследования. Полная структура алгоритма работы рекомендательного чат-бота представлена на рисунке 3.

Описанный формат визуализации результатов в виде рекомендательного чат-бота обеспечивает большую доступность для пользователей за счет своей интерактивности и уникальности результатов для каждого конкретного запроса. Также данный формат является более быстрым способом получения информации, чем классические сравнительные таблицы и гистограммы за счет отсутствия лишних данных для конкретного пользователя в зависимости от его потребностей.

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы (ВКР) были исследованы проблемы выбора оптимального интерпретатора языка Python для создания веб-приложений, проведен сравнительный анализ интерпретаторов, а также обеспечена практическая применимость его результатов. В рамках первой главы был проведен анализ отечественных и зарубежных научных источников по теме ВКР, что позволило выделить главный тренд –

проблема выбора интерпретаторов Python для создания веб-приложений недостаточно полно исследована. Была поставлена задача найти решение проблемы тестирования Python-интерпретаторов в контексте веб-разработки, результаты которого позволят обеспечить оптимизацию процесса разработки и поддержки веб-приложений. Для формирования перечня тестируемых интерпретаторов были сформированы следующие критерии выбора: совместимость с Django и Flask, наличие документации к интерпретатору, популярность интерпретатора, актуальность интерпретатора, совместимость интерпретатора с Python-библиотеками. Далее были выбраны тестируемые интерпретаторы на основе разработанных критериев: CPython, Jython и PyPy. Для решения прикладной задачи выбора интерпретатора предложены следующие критерии сравнения: тип запроса, количество запросов в секунду, количество подключений и время ожидания. Практическая значимость исследования заключается в методике тестирования интерпретаторов, основанной на связи с веб-фреймворками и являющейся масштабируемой за счет использования Lua-скриптов и инструмента бенчмаркинга wrk. Также разработанная методика тестирования интерпретаторов основана на серверах приложений, контейнеризации с помощью Docker и расчетах перцентилей для исключения аномальных значений. Изменение параметров запуска выбранных инструментов позволяет получить любые дополнительные метрики для сравнения интерпретаторов, а также дополнить перечень любыми требуемыми веб-фреймворками и интерпретаторами Python. Проведено тестирование и сравнительный анализ интерпретаторов Python, по результатам которого получены графические и табличные материалы, на основе которых сформирована база знаний. В результате анализа не было выявлено однозначного победителя среди интерпретаторов. Сформированная база знаний легла в основу рекомендательного чат-бота. Выявлено, что данный способ применимости результатов является доступным для пользователя вариантом получения результатов. Рекомендательный бот показал более высокую скорость доступа к базе знаний за счет отсутствия лишних для пользователя данных. Данным способом были решены вопросы практической применимости результатов исследования. Таким образом, цель ВКР была достигнута, а в процессе ее достижения решены все поставленные задачи. Полученные результаты могут быть использованы разработчиками при выборе подходящего способа интерпретации Python для веб-приложения на основе требуемых критериев. Также разработанная методика может быть использована для проведения расширенного тестирования и сравнительного анализа имплементаций языка в связке с Python-фреймворками.

Рис. 3 – Алгоритм работы чат-бота

Список использованных источников

1. Murri R. Performance of Python runtimes on a non-numeric scientific code // European Conference on Python in Science (EuroSciPy). – 2014. – Pp. 45–50.
2. Roghult A. Benchmarking Python Interpreters: Measuring Performance of CPython, Cython, Jython and PyPy: Degree project in computer science and engineering. Sweden. – 2016. – 110 p.
3. Redondo J.M., Ortin F. A comprehensive evaluation of common python implementations // IEEE Software. – 2014. – V.32. – №4. – Pp. 76–84.
4. Cao H., Gu N., Ren K., Li Y. Performance research and optimization on CPython's interpreter // 2015 Federated Conference on Computer Science and Information Systems (FedCSIS). – 2015. – Pp. 435–441.
5. Krintz N.M.C., PengWu C.D.P. Understanding the potential of interpreter-based optimizations for Python // UCSB, Tech. Rep. Technical Report. – 2010. – Pp. 5–14.

УДК 004.93

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ РАСПОЗНАВАНИЯ ЛЮДЕЙ В РЕЖИМЕ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ ДЛЯ НИЗКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ

Петраков Д.А.

Научный руководитель – Капитонов А.А., кандидат технических наук, декан и доцент факультета инфокоммуникационных технологий

petrakov1@icloud.com

Ключевые слова

Компьютерное зрение, распознавание объектов, распознавание людей, Yolo, Open Pose.

Машинное обучение и методы распознавания объектов – это крайне популярные темы, они очень актуальны в наше время и давно применяются в повседневной жизни. Данные алгоритмы умеют определять лица, классифицировать объекты и предсказывать данные. Однако, для работы данных алгоритмов нужны компьютеры с мощными графическими процессорами, что делает возможность их применение недоступным всем.

В настоящее время большинство источников видео – это видео камеры наблюдения, они установлены повсеместно и данные с них доступны владельцам бизнесов и другим компаниям. В большинстве случаев камеры видеонаблюдения имеют специфический угол обзора что понижает точность детектирования людей на видео. Таким образом, цель данной работы – разработать систему распознавания людей в режиме реального времени для низкопроизводительных устройств. Актуальность задачи заключается в том, что на данный момент распознавание и анализ людей на видео является не полностью решенной задачей, в отличии от распознавания лиц. Точность и производительность алгоритмов все еще достаточно низка. Вместе с тем, стоит отметить, что большинство популярных алгоритмов распознавания объектов, которые используются для распознавания людей, могут работать в режиме реального времени с разной степенью точности, но для этого нужны высокопроизводительные компьютеры.

В качестве решения поставленной задачи предлагается архитектура, состоящая из 2 основных частей: модуля обучения и модуля распознавания. Предлагаемая система имеет несколько концепций, ускоряющих работу и увеличивающих точность. Прежде всего предлагается обучать модель YOLOv4 Tiny для конкретной камеры, вместо того чтобы использовать пред обученную. В нашей системе дополнительно будет использоваться детектор движения, что позволит запускать распознавание только при необходимости. Использование модели, обученной на собственных данных с конкретного места, значительно повышает точность распознавания. Для сбора и разметки данных с видео, разработан модуль обучения.

Для обучения модели необходимо собрать различные изображения с камер и разметить, где на них находятся люди. Для решения поставленной задачи предлагается архитектура изображенная на рисунке 1.

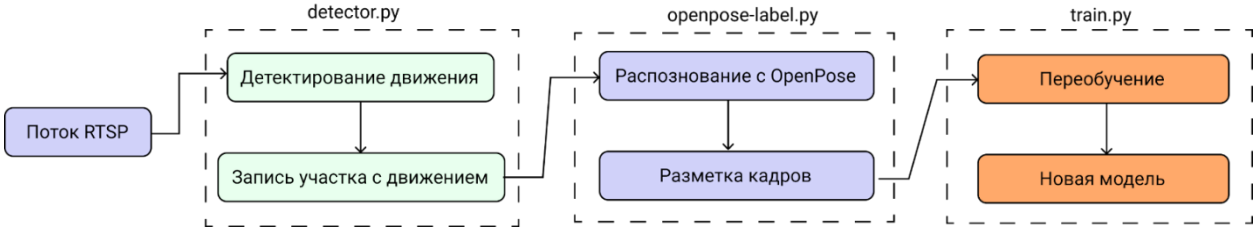


Рис. 1 – архитектура модуля обучения

Одно из условий данной системы то, что нужно работать в режиме реального времени поэтому для разработки сразу рассматривается вариант, когда видео идёт непрерывно с камеры. Следующий шаг – это обнаружения движения и запись участка с движением, для того

чтобы исключить бесполезные данные и использовать ресурсы тогда, когда они нужны, для этого следует разработать простой алгоритм, который сможет работать эффективно и быстро, не нагружая систему. После получения отрезка видео с движением, где предположительно может быть человек, оно передается в следующую функцию, где с помощью алгоритма OpenPose, должен быть обнаружен человек, и в этом случае кадр сохраняется и дополнительно записывается разметка для дальнейшего обучения. Следующим этапом является использование данных, полученных на предыдущем, а именно переобучении модели с помощью новых данных. При переобучении или первичном обучении, полученные данные делятся на архив для обучения, проверки и тестирования. Обучение модели происходит на 80% всего полученного датасета. При необходимости можно просмотреть корректность полученных изображений с разметкой, а также откорректировать ошибочно размеченные кадры. Для обучения реализуемой модели будет достаточно 100 – 150 кадров, для лучшей точности можно собрать больше. Существенным плюсом такой архитектуры является ее гибкость. При необходимости можно собрать новый массив данных и добавить в него другие классы объектов, например поделить всех найденных людей на стоячих и сидящих. В свою очередь, так как для разметки предлагается использовать алгоритм OpenPose, являющийся не классическим классификатором, а именно алгоритмом распознавания позы человека, с разметкой людей в разных позах не возникнет дополнительных проблем.

Основная задача модуля распознавания – это эффективно и быстро детектировать людей на видео с достаточной точностью и определять их количество. На рисунке 2 изображена схема работы модуля распознавания.

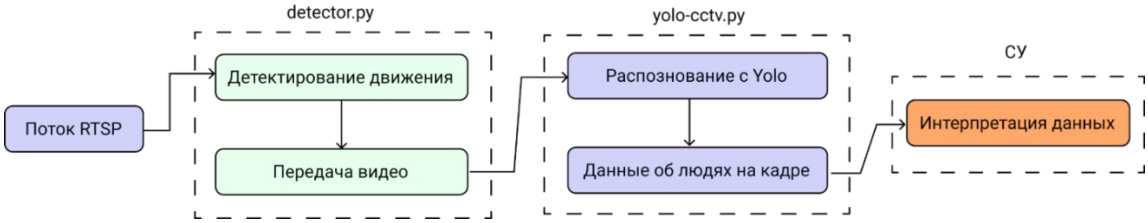


Рис. 2 – Схема архитектуры модуля распознавания

Получение видео с камеры, как и в модуле обучения происходит по протоколу RTSP. Далее поток передается в детектор, принцип работы которого аналогичен детектору в алгоритме обучения. Условия срабатывания детектора и передача видео в алгоритм распознавания YOLO, может быть настроен под конкретные задачи. Самый оптимальный и исчерпывающий вариант – это передавать все участки видео, на которых замечено движение. Таким образом, распознавания не нужно проводить для каждого кадра, и требование к производительности алгоритма распознавания снижается. Результат распознавания людей на видео может быть записан в любую СУБД или передан запросом в любое API, для дальнейшего использования и анализа.

Для работы метода YOLO потребуется файл конфигурации сети алгоритма и файл так называемых весов, который создается при обучении модели. В файл весов записываются все параметры и их значения во время обучения, по которым модель классифицирует и локализирует тот или иной объект. На выходе метод распознавания возвращает следующие параметры:

- количество обнаруженных людей;
- позицию на кадре ограничивающего прямоугольника для каждого найденного человека;
- вероятность для каждого объекта, с которой модель предполагает, что это обнаруженный человек.

Данные результаты могут быть записаны в базу данных и визуализированы в дальнейшем. В качестве примера данную систему можно интерпретировать как систему анализа траффика в заведении или на улице, и для анализа полученных данных можно просто построить график количества людей в разное время работы.

Модель Yolo-CCTV

Для оценки актуальности разработанной модели для использования в системе распознавания людей для низко производительных устройств были проведены тестовая

обработка видео и оценка точности распознавания набора изображений. Для оценки собственной обученной модели YOLO4 tiny мы сравним этот же метод, обученный на датасете Microsoft COCO, а также полноценный YOLOv4. Для сравнения были взяты 4 варианта моделей:

- YOLOv4-COCO – пред обученная модель полновесной YOLO4 размерности 606x606 на датасете Microsoft COCO;
- YOLOv4t-COCO – пред обученная модель облечённого алгоритма YOLO4 tiny размерности 512x320 на датасете Microsoft COCO;
- YOLO-cctv-512x320 – наша модель, основанная на YOLO4 tiny размерности 512x320 обученная на собранном датасете;
- YOLO-cctv- 480x288 – наша модель, основанная на YOLO4 tiny размерности 480x288 обученная на собранном датасете.

Для выявления самого оптимального варианта были выбраны следующие метрики:

- FPS – количество кадров в секунду при обработке видео, все тесты проводился на одном видео на Macbook Air M1 2020;
- mAPt@0.5 – среднее значение средней точности, полученное при обучении. Стоит отметить, что для модели обученные на COCO способны распознать 80 классов, помимо класса person;
- mAPv – среднее значение точности, на тестовом датасете с видео камер. Этот датасет составляет 10% от всего собранного датасета для обучения собственной моделей.

На таблице собраны результаты сравнения четырех алгоритмов. Замеры FPS произведены в одно время в одинаковых условиях, а mAPv был сформирован один раз и использовался во всех тестах.

Таблица

Сравнение моделей

Модель	FPS	mAPt@0.5	mAPv
YOLOv4-COCO	1.78	0.649	0.875
YOLOv4t- COCO	9.93	0.381	0.2273
YOLO-cctv- 512x320	9.53	0.7478	0.7478
YOLO-cctv- 480x288	9.96	0.7143	0.7143

Для наглядного сравнения в качестве иллюстрации работы различных алгоритмов были взяты 2 кадра с видео и размечены люди основываясь на результатах распознавания (рис.3).

Рис. 3 – Сравнение алгоритмов распознавания

Как видно из наглядного сравнения, пред обученный метод YOLOv4t- COCO крайне плохо справляется с распознаванием людей на видео с данной камеры, в то время как наша модель YOLO-cctv, обученная всего на 120 изображениях с подобных камер, показывает очень хороший результат в 74% точности при сравнимой производительности в 9.53 FPS. Пред обученная модель YOLOv4-COCO показывает крайне высокую точность при обнаружении людей на видео, но использовать ее в режиме реального времени не целесообразно, так как она выдает всего 1.78 FPS. При сравнении 2 моделей YOLO-cctv разной размерности, 480x288 и 512x320, видна корреляция, уменьшения точности и увеличения FPS при уменьшении размерности алгоритма YOLO. В данном случае, так как разница в FPS не существенная, а точность является главной метрикой эксперимента, лучшим вариантом является модель YOLO-cctv- 512x320.

Разработанная архитектура, предложенные концепции и разработанная модель распознавания объектов позволяют реализовать такую систему для решения большого спектра задач без дополнительных затрат и сложностей.

В ходе работы была обоснована актуальность темы исследования и разработки и проведен анализ и сравнение существующих методов распознавания объектов. В результате данного сравнения было выделено семейство алгоритмов YOLO как самое перспективное и эффективное. Были изучены и протестированы различные версии алгоритмов YOLO. Некоторые результаты показали, что существующие версии нельзя использовать в режиме реального времени на низко производительных устройствах, а те, что можно использовать не обладают достаточно точностью, что обосновало разработку собственного решения.

После анализа предметной области была разработана архитектура предложенной системы и описаны различные концепции, позволяющие выполнить поставленные задачи.

В ходе работы были реализованы блоки архитектуры системы, а именно разработан детектор движения, алгоритм разметки изображений для обучения алгоритмов распознавания людей на основе библиотеки OpenPose, собран и размечен датасет для обучения модели, реализован и обучен алгоритм YOLOv4-tiny, затем полученные модели были протестированы. Таким образом, разработанная система в первую очередь быстро может быть обучена под конкретное место использования, благодаря модулю обучения. Основным критерием была возможность работы системы в режиме реального времени на низко производительных устройствах без графического ядра, и полученная модель в комбинации с детектором обладает достаточной производительностью чтобы соответствовать данному критерию.

Список использованных источников

1. Redmon J., Divvala S., Girshick R., Farhadi A. You Only Look Once: Unified, Real-Time Object Detection // 2016 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). – 2016. DOI:10.1109/CVPR.2016.91.
2. Cao Z., Hidalgo G., Simon T., Wei S.-E., Sheikh Y. OpenPose: Realtime Multi-Person 2D Pose Estimation using Part Affinity Fields // 2017 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). – 2017. DOI:10.1109/CVPR.2017.143.
3. Redmon J., Farhadi A. YOLOv3: An Incremental Improvement. – 2018. ArXiv abs/1804.02767.
4. Bochkovskiy A., Wang C., Liao H.M. YOLOv4: Optimal Speed and Accuracy of Object Detection. – 2020. ArXiv, abs/2004.10934.
5. Jiang Z., Zhao L., Li S., Jia Y. Real-time object detection method based on improved YOLOv4-tiny. – 2020. ArXiv, abs/2011.04244.

УДК 544.16

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СПЕКТРАЛЬНЫХ МАРКЕРОВ ЦИТОМЕГАЛОВИРУСНОЙИНФЕКЦИИ В ПЛАЗМЕ КРОВИ ЧЕЛОВЕКА

Семыкина В.В.

Научный руководитель – Ситникова В.Е., кандидат химических наук, доцент центра химической инженерии

Научный консультант – Самуйлова Е.О., кандидат технических наук, инженер центр химической инженерии

valeria.semikina@yandex.ru, kresenka@gmail.com

Ключевые слова

ИК-спектроскопия, ЦМВ, цитомегаловирус, преобразование Фурье, статистические методы анализа, трансплантация органов.

Цитомегаловирусная инфекция (ЦМВ) продолжает оказывать огромное влияние на трансплантацию солидных органов, несмотря на значительные достижения в его диагностике, профилактике и лечении. Это может повлиять на функцию аллотрансплантата и увеличить заболеваемость и смертность пациентов за счет ряда прямых и косвенных эффектов [1]. Существует двунаправленная связь между ЦМВ и отторжением аллотрансплантата. Отторжение аллотрансплантата создает противоспалительную среду, которая может реактивировать ЦМВ, а лечение отторжения аллотрансплантата серьезно снижает способность генерировать иммунный ответ для контроля репликации вируса [2]. Отторжение аллотрансплантата тесно связано с поздним началом ЦМВ-инфекции у пациентов с ЦМВ, перенесших трансплантацию печени и почки. И наоборот, ЦМВ усиливает регуляцию антигенов, что приводит к аллореактивности и облегчает отторжениеаллотрансплантата [3].

Современные клинические методы диагностики ЦМВ включают гистопатологию, вирусную культуру, антигенемию pp65 и тестирование нуклеиновых кислот [4]. Все эти анализы требуют значительного времени и реактивов [5], поэтому разработка нового быстрого, портативного и не требующего реагентов метода диагностики цитомегаловирусной инфекции как осложнения после трансплантации могла бы принести огромную пользу в медицинской диагностике.

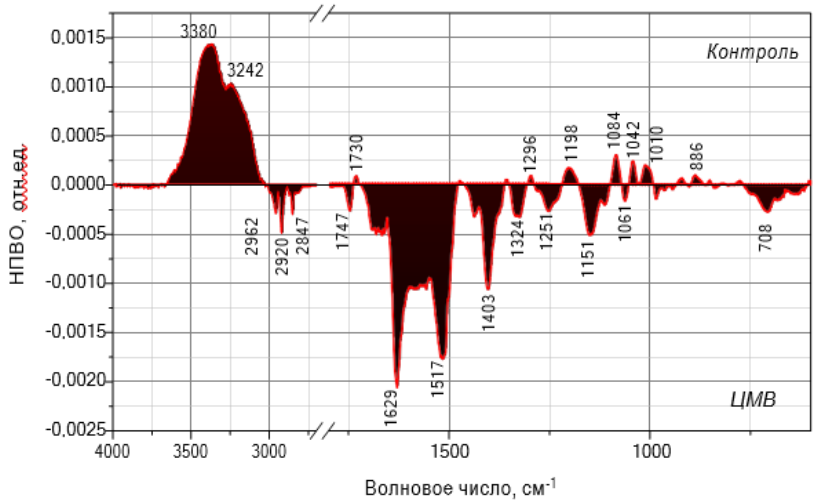


Рис. 1 – Спектр вычитания среднего спектра ЦМВ из среднего спектра контроля

Для изучения различий между средними образцами плазмы крови контроля и группы пациентов с цитомегаловирусной инфекцией (ЦМВ) был построен профиль средней разности. Интенсивность поглощения в области между 3500 и 3100 $см^{-1}$ выше нуля, интенсивность в

диапазоне 1800 – 1100 см$^{-1}$ в основном ниже нуля (рис.1). Соответственно, поглощение выше нуля характерно для контрольной группы, поглощение ниже нуля имеет больший вклад для группы с ЦМВ. Поскольку по методике образцы высушиваются на кристалле приставке НПВО до повторения спектра, то наличие в контрольной группе большего вклада поглощения воды, говорит об измененном составе плазмы крови в группе ЦМВ, и данный состав имеет больше тех компонентов, которые удерживают меньшее количество воды, например, липидных компонентов. Действительно, для группы ЦМВ наблюдается увеличенное поглощение в области 2980 – 2700 см$^{-1}$, характерное для липидов, 1740 см$^{-1}$ характерное для липидов и триглицеридов. Кроме того, для группы ЦМВ характерно большее поглощение в белковой области - ИК спектры плазмыс ЦМВ имеют больший вклад в поглощение на волновом числе 1629 см$^{-1}$, которое соответствует поглощению белка β-складчатого слоя иммуноглобулинов (Ig), большее поглощение на частотах 1610 – 1520 см$^{-1}$ можно соотнести с увеличенным содержанием фибриногена, измененным белковым составом плазмы крови и увеличенным содержанием нуклеиновых кислот (поглощение C=O цитозина и гуанина на частоте 1530 см$^{-1}$). Поглощение при 1062 см$^{-1}$, наблюдаемые в спектрах плазмы, инфицированной ЦМВ, можно отнести к модам C-C и C-O связи полисахарида N-гликана из поверхностного антигена ЦМВ. Средний спектр группы контроля в целом характеризуются повышенным поглощением на частотах 1730, 1296, 1198, 1084, 1042 и 1010 см$^{-1}$. Эти полосы поглощения могут соответствовать поглощению определенных видов фосфолипидов.

Однако отмеченные на рисунке 1 различия между средними спектрами и средними вторыми производными ИК-спектров не дают однозначного ответа о частотах, отличающих плазму крови контрольной группы от группы ЦМВ. Необходим более точный анализ сравнения двух групп ИК-спектров. Более точный ответ о межклассовом различии могут дать методы статистического анализа.

Подтвердить выбранные методом ANOVA спектральные маркеры можно при помощи метода главных компонент (рис.2).

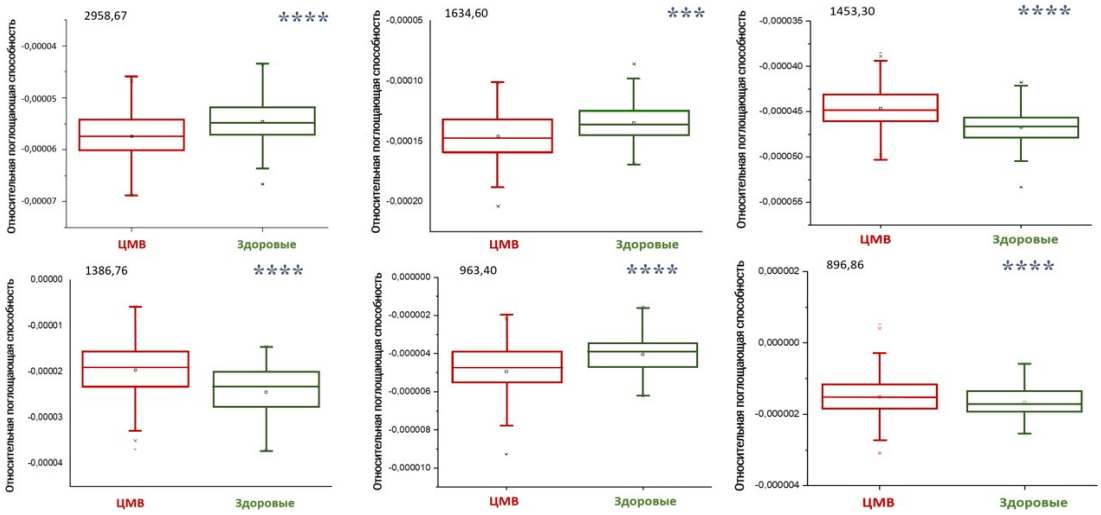


Рис. 2 – Результаты дисперсионного анализа: прямоугольные диаграммы относительного поглощения полос в исходных спектрах

Обнаружены достоверные отличия с помощью дисперсионного анализа. В группе больных наблюдается рост белков, также рост в углеродной области и области ДНК и РНК. В отличие от анализа ANOVA, метод главных компонент показывает, что данных две группы классифицируются в основном благодаря различиям в белковой области спектра. Нагрузка главной компоненты 1 (рис.3,б), показывает, что максимальный вклад в классификацию вносят в основном частоты различных конформаций белка, 1651, 1622 см$^{-1}$ бета-листовые конформации, 1654 см$^{-1}$ альфа-спиральная конформация и 1505 см$^{-1}$ поглощение фибриногена.

Как показывает матрица ошибок (рис.4) классификации ошибочно классифицированными оказываются 3 образца контрольной группы и 10 образцов группы ЦМВ, что дает общую точность модели 94% (табл.1).

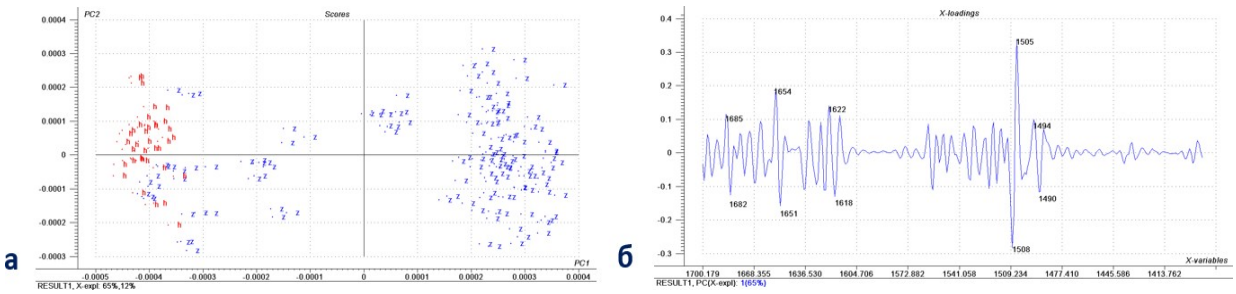


Рис. 3 – Результаты МГК анализа ИК спектров плазм крови контрольной группы (синий) и группы с ЦМВ (красный) в белковом диапазоне: а) график счетов ГК1 и ГК2; б) график нагрузок ГК1

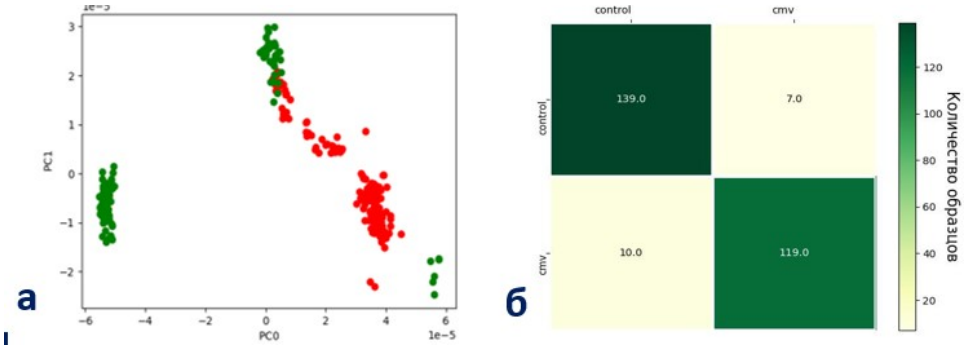


Рис. 4 – Результаты классификации PCA-LDA в белковой области спектра в диапазоне 1700 – 1390 см$^{-1}$: а) график зависимости ГК1 и ГК2, б) матрица ошибок классификации модели

Таблица 1

Метрики модели LDA-PCA в белковой области спектра

	Точность	**Чувствительность**	**f1 - оценка**	**Кол-во образцов**
ЦМВ	0,935	0,979	0,957	146
Контроль	0,975	0,922	0,948	129
Общая точность			0,953	275

Для углеводной области, график счетов первых двух главных компонент (рис.5,а) показывает, что контрольная группа и группа с ЦМВ отличаются в основном по первой главной компоненте. Исходя из графика нагрузок (рис.5,б), можно сделать вывод, что контрольная группа имеет в своих спектрах больший вклад поглощения полос 1080, 1055, 1029, 987 см$^{-1}$, а группа ЦМВ – 1089, 1045, 997 и 853 см$^{-1}$. Нагрузки первой главной компоненты соотносятся с результатами теста ANOVA, который также показывает значимые различия между группами в указанных частотах.

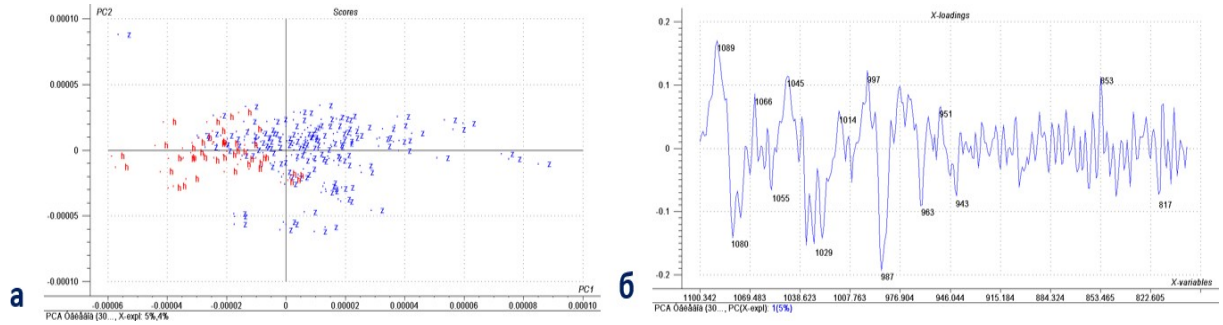


Рис. 5 – Результаты МГК анализа ИК спектров плазм крови контрольной группы (синий) и группы с ЦМВ (красный) в области поглощения углеводов: а) график счетов ГК1 и ГК2; б) график нагрузок ГК1

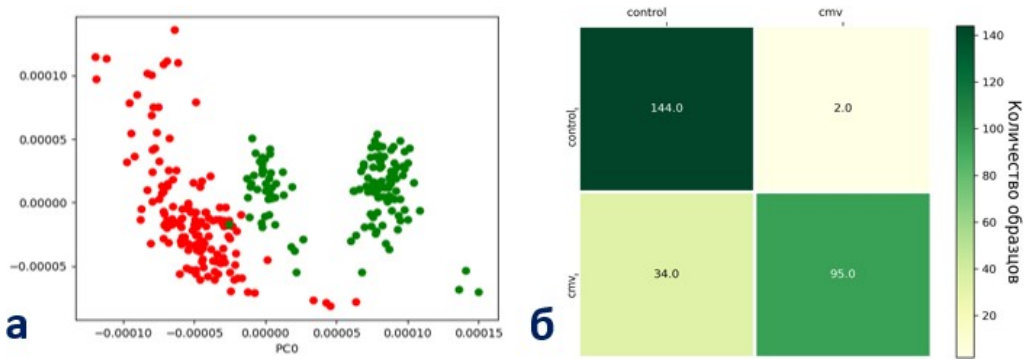


Рис. 6 – Результаты классификации PCA-LDA в углеводной области спектра в диапазоне 1130 – 890 $см^{-1}$: а) график зависимости ГК1 и ГК2, б) матрица ошибок классификации модели

Модель классифицируется в данном диапазоне ИК спектра часть образцов из набора данных плазм с ЦМВ классифицирует неверно (рис.6), но достаточно точно классифицирует контрольную группу. Общая точность модели в «углеводном» диапазоне ИК спектра составила 87% (табл.2).

Таблица 2

Метрики модели LDA-PCA в области поглощения углеводов ИК спектра

	Точность	**Чувствительность**	**f1- оценка**	**Кол-во образцов**
ЦМВ	0,809	0,986	0,889	146
Контроль	0,979	0,736	0,841	129
Общая точность			0,869	275

Чтобы оценить классификационное влияние найденных спектральных маркеров на плазмы крови пациентов с ЦМВ и контрольной группы, были проведены PLS и PCA-LDA на спектральных данных после предварительной обработки с использованием полной перекрестной проверки.

Предварительно, после первичной обработки спектральных данных они были случайным образом разделены на калибровочный набор (90%) и тестовый набор (10%). Тестовый набор, кроме указанных образцов (10 контрольных образцов, 10 ЦМВ образцов) содержал также 30 образцов больных одновременно ЦМВ и сепсисом (рис.7).

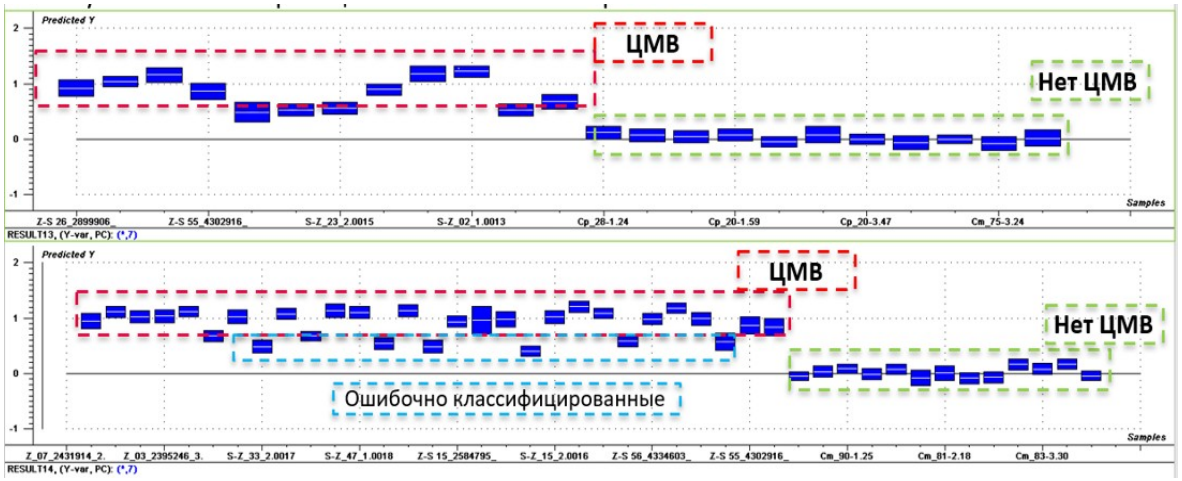


Рис. 7 – Результат предсказания модели PLS на тестовой выборке

Если считать неправильно классифицированными образцы больных доноров значение, которых < 0,5, то рассчитанная чувствительность, специфичность и точность модели равна:

Точность = 89,40%,

Чувствительность = 92,67%,

Специфичность = 84,00%.

Спектры (ЦМВ) показали интенсивную полосу, при 1629 $см^{-1}$, которая отсутствовалав спектрах контроля и относилась к маркеру белка β-складчатого слоя иммуноглобулина (Ig). Полоса при 1062 и 1030 $см^{-1}$, наблюдаемые в спектрах сыворотки, с ЦМВ, были отнесены к модам C-C и C-O связи полисахарида N-гликана из поверхностного антигена ЦМВ.

Исследованы образцы плазмы крови с цитомегаловирусной инфекцией, установлены частоты, вносящие максимальное различие между контрольной группой и группой ЦМВ, которые можно считать спектральными маркерами ЦМВ: белковая область (1700 – 1390 $см^{-1}$) и углеводная область (1130 – 800 $см^{-1}$).

НПВО-ИК-спектроскопия является мощным инструментом для изучения состава крови и выявления потенциальных маркеров заболевания, но необходимо соблюдать осторожность, чтобы гарантировать, что моделирование не будет искажено маркерами воспаления, которые могут затруднить диагностику.

Список использованных источников

1. Fishman J.A. Overview: cytomegalovirus and the herpesviruses in transplantation. Am J Transplant. – 2013. – №13(Suppl 3). – Pp. 1–8. quiz 8.
2. Boeckh M., Geballe A.P. Cytomegalovirus: pathogen, paradigm, and puzzle. J Clin Invest. – 2011. – №121. – Pp. 1673–1680.
3. Гордон К.Р., Эйвери Р.К., Абу Хассан У., Семенов М. Цитомегаловирус и другие инфекционные проблемы, связанные с трансплантацией лица: конкретные соображения, извлеченные уроки и будущие рекомендации. Пластическая реконструкция, – 2011. – №127. – Pp. 1515–1523.
4. Brennan D.C., Legendre C., Patel D., Mange K., Wiland A., McCague K., Shihab F.S. Cytomegalovirus incidence between everolimus versus mycophenolate in de novo renal transplants: pooled analysis of three clinical trials. Am J Transplant. – 2011. – №11. – Pp. 2453–2462.
5. Kwakkel-van Erp J.M., Paantjens A.W., van Kessel D.A., Grutters J.C., van den Bosch J.M., van de Graaf E.A., Otten H.G. Mannose-binding lectin deficiency linked to cytomegalovirus (CMV) reactivation and survival in lung transplantation. Clin Exp Immunol. – 2011. – №165. – Pp. 410–416.

МАГИСТРЫ

Лауреаты III степени

«Лучшую научно-исследовательскую выпускную квалификационную работу магистров Университета ИТМО»

УДК 620.3, 53.086

ИНДУЦИРОВАННОЕ СВЕТОМ И МАГНИТНЫМ ПОЛЕМ ДВИЖЕНИЕ ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫХ НАНОЧАСТИЦ ПО ДАННЫМ ЛАЗЕРНОЙ СКАНИРУЮЩЕЙ МИКРОСКОПИИ

Бородина Л.Н.

Научный руководитель – Вениаминов А.В., старший научный сотрудник, доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник центра "Информационные оптические технологии", профессор факультета фотоники

lnborodina@itmo.ru

Работа выполнена в рамках темы НИР №12444 «Люминесцирующие нанокомпозиты с квантовыми точками для терапии и диагностики».

Ключевые слова

Люминесцентная лазерная сканирующая микроскопия, магнитолюминесцирующие нанокомпозиты, диффузия, дрейф в магнитном поле, гидродинамический размер частиц, магнитный момент.

Создание и исследование новых магнитолюминесцирующих нанокомпозитов, сконструированных в виде суперпарамагнитного ядра оксида железа с люминесцирующей оболочкой, является актуальной задачей. Они активно используются для биомедицинских приложений: для биоимиджинга, тераностики, гипертермии и адресной доставки лекарств [1].

Для определения размеров нанокомпозитов используют сканирующую электронную микроскопию (СЭМ) и метод динамического рассеяния света (ДРС). Кроме этого, для исследования и измерения микроскопической подвижности систем применяют метод восстановления флуоресценции после фотообесцвечивания (Fluorescence Recovery After Photobleaching, FRAP).

В настоящей работе развивается модифицированный метод, использующий, благодаря возможностям лазерного сканирующего микроскопа, отслеживание не средней интенсивности люминесценции, как в традиционном FRAP, а характеристик её пространственного распределения [2], что позволяет избежать возможных артефактов, а также кроме диффузии измерять характеристики направленного смещения частиц, например, в магнитном или электрическом поле.

Применение разрабатываемой техники для исследования магнитолюминесцирующих нанокомпозитов позволяет не только определить основные параметры их микроскопической подвижности, рассчитать гидродинамические размеры наноструктур, но и определить скорость дрейфа частиц в магнитном поле и рассчитать значения магнитного момента, не прибегая к дополнительным методам исследования.

Целью настоящей работы является измерение характеристик диффузионной микроскопической подвижности люминесцентных нанокомпозитов с использованием модифицированного метода FRAP, реализуемого с помощью конфокальной лазерной сканирующей микроскопии. Достижение указанной цели подразумевает выполнение нескольких задач: 1) разработка экспериментальной техники, применяемой для исследования диффузии и дрейфа магнитолюминесцентных нанокристаллов в коллоидном растворе; 2) измерение коэффициента диффузии, гидродинамического радиуса нанокомпозитов, скорости их дрейфа в магнитном поле и расчёт магнитного момента нанокомпозитов.

Материалы и методы

Объектом исследования в настоящей работе является коллоидный раствор магнитолюминесцирующих нанокомпозитов с суперпарамагнитным ядром из оксида железа Fe_3O_4(SPION) и оболочками из селенида кадмия и сульфида цинка со средним гидродинамическим радиусом нанокомпозита 7 нм по данным ДРС.

Разработка и применение метода для измерения характеристик подвижности нанокомпозитов проводится с помощью конфокального лазерного сканирующего микроскопа LSM710 (Carl Zeiss, Германия).

Для создания постоянного магнитного поля используют постоянный неодимовый магнит в форме прямоугольного параллелепипеда размерами 25×14,7×5 мм; напряжённость его магнитного поля в непосредственной близости от магнита, составила 0,3 Тл, на расстоянии 2,5 мм от длинной стороны – 0,15 Тл, 5 мм – 0,07 Тл.

Люминесцентный метод исследования подвижности наночастиц и определения их гидродинамических размеров

Разрабатываемая техника исследования подвижности является развитием метода FRAP, суть которого состоит в локальном фотоиндуцированном изменении эффективности люминесценции микроскопической области образца с последующим отслеживанием изменения интенсивности люминесценции в этой области за счёт перераспределения в пространстве частиц с изменённой и исходной интенсивностью люминесценции [3].

Функционал лазерного сканирующего микроскопа позволяет развить и эффективно использовать более продуктивный подход к исследованию подвижности, основанный на релаксации фотоиндуцированной неоднородности распределения интенсивности люминесценции, анализируя не интегральную интенсивность, а её пространственное распределение.

Как микроскопический в своей основе подход, FRAP не требует большого количества материала для измерений, позволяет сочетать измерения с визуализацией и работать с пространственно неоднородными и изменяющимися во времени объектами. Метод применим к жидким растворам молекул красителей с субнанометровыми эффективными размерами, рассеяние света, которыми является критически слабым для метода ДРС, так и к частицам микронных размеров в вязких средах.

Кроме этого, настоящий метод позволяет судить об их изменении размеров структур, например, в результате образования агрегатов или разрушения системы, которое приведёт к изменению коэффициента диффузии.

Основные принципы люминесцентного метода исследования подвижности наночастиц

Для исследования подвижности частиц с помощью сканирующего лазерного луча конфокального микроскопа производится экспонирование узкой полосы образца (раствора) так, чтобы интенсивность люминесценции в ней уменьшилась примерно на 10% от исходного значения. Более глубокое обесцвечивание (изменение интенсивности люминесценции), возможно, повысило бы контраст изображения и отношение сигнал/шум, но потребовало бы длительной экспозиции, и в результате была бы потеряна информация о начальной фазе движений, а некоторые объекты могли быть разрушены.

Затем с периодичностью, задаваемой исходя из скорости изменения распределения интенсивности, производится съёмка изображений участка объекта с полосой при сканировании низкоинтенсивным лазерным излучением. В результате получается набор люминесцентных изображений участка образца. После этого для повышения отношения сигнал/шум проводится усреднение интенсивности по нескольким сотням столбцов вдоль экспонированной полосы. В результате получают одномерное распределение интенсивности вдоль координаты, перпендикулярной полосе, которое аппроксимируется с помощью функции Гаусса:

$$y(x,t)=\frac{\exp\left(-\frac{x^2}{4Dt}\right)}{2\sqrt{\pi Dt}}, \qquad (1)$$

где D – коэффициент диффузии, t – время наблюдения, x – пространственная координата; зависимая переменная y пропорциональна концентрации.

Функция (1), являясь фундаментальным решением уравнения диффузии, при условии ширины полосы, малой по сравнению со среднеквадратичным диффузионным смещением наночастиц за время наблюдения $\sqrt{\langle \Delta x^2 \rangle} = \sqrt{2Dt}$, сразу после экспонирования адекватно описывает распределение интенсивности, изменение которого связывается с диффузионным перемешиванием люминесцирующих частиц.

Для аппроксимации полученных данных с помощью программного пакета Origin удобно использовать входящую в него функцию Gauss:

$$y = y_0 + A\frac{\exp\left(-\frac{2\left(x-x_c\right)^2}{w^2}\right)}{w\sqrt{\pi/2}}. \quad (2)$$

Её параметр ширины распределения w очевидным образом связан с параметрами диффузии из уравнения (1):

$$w^2 = 8Dt, \quad (3)$$

где w – ширина, D – коэффициент диффузии, t – время наблюдения, и имеет физический смысл умноженного на четыре среднеквадратичного диффузионного смещения при одномерной диффузии.

Соответственно, коэффициент диффузии может быть определён по зависимости параметра ширины w гауссова распределения от времени, которая строится по результатам измерений пространственного распределения интенсивности люминесценции.

Коэффициент диффузии сферических частиц связан с вязкостью растворителя и радиусом частиц r формулой Стокса-Эйнштейна:

$$D = \frac{k_B T}{6\pi\eta r}, \quad (4)$$

где k_B – постоянная Больцмана, T – абсолютная температура.

В этом случае, по результатам опытов, можно определить размер частиц, зная вязкость или, наоборот, определить вязкость растворителя, измерив коэффициент диффузии частиц определенного размера, и судить об их изменении размеров, например, в результате образования агрегатов.

Применение люминесцентной техники для исследования подвижности магнитолюминесцирующих нанокомпозитов SPION/CdSe/ZnS

Разрабатываемый метод использовали для исследования диффузионной подвижности нанокомпозитов Fe_3O_4(SPION)/CdSe/ZnS в коллоидном растворе.

С помощью сканирующего лазерного луча конфокального микроскопа экспонируют узкую полоску раствора шириной 100 мкм так, чтобы интенсивность люминесценции в ней уменьшалась примерно на 10% от исходного значения. Затем получают галерею изображений (рис.1), демонстрирующих изменение пространственного распределения интенсивности во времени.

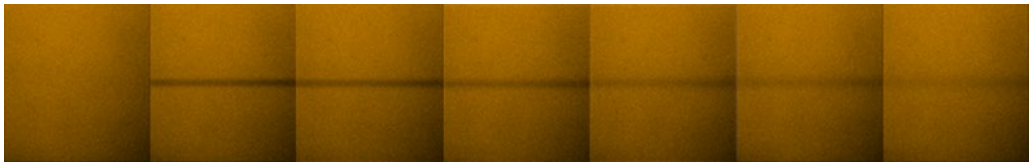


Рис. 1 – Последовательность люминесцентных изображений участка раствора нанокомпозитов, сделанных до (крайнее левое изображение) и каждые 0,97 с после экспонирования полосы. Заметно постепенное исчезновение полосы за счёт диффузионного перемешивания раствора

Математическая обработка полученных изображений включает в себя усреднение интенсивности вдоль экспонированной полосы, построение профилей интенсивности люминесценции и аппроксимацию их гауссовой функцией (2). Результат обработки нескольких изображений представлен на рисунке 2.

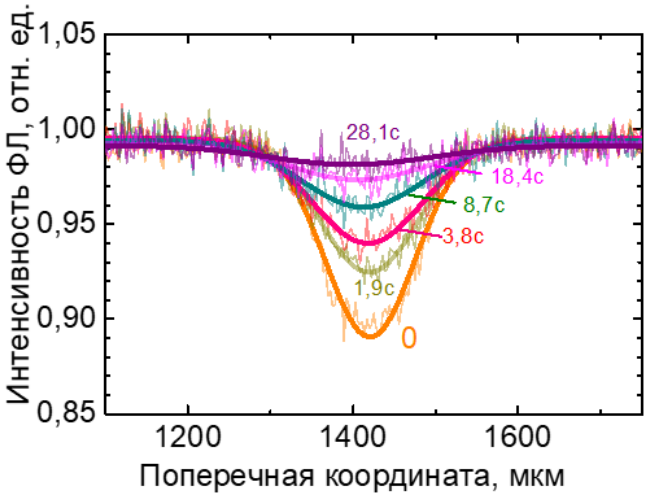


Рис. 2 – Поперечные профили интенсивности люминесценции в окрестности фото обесцвеченной полосы раствора нанокомпозитов непосредственно после экспонирования (0) и через 1,9 с, 3,8 с, 8,7 с, 18,4 с, 28,1 с после него и результаты их гауссовой аппроксимации (широкие гладкие кривые)

Затем зависимость квадрата полуширины гауссового профиля от времени (рис.3) аппроксимируется линейной функцией, наклон которой, используется для определения коэффициента диффузии нанокомпозитов D = (9 ± 1)*10^{-7} $см^2/с$. Соответствующий этому значению гидродинамический диаметр наноструктур 16 ± 2 нм, определенный по формуле Стокса-Эйнштейна, в пределах погрешности совпадает с гидродинамическим размером частиц, определенным методом ДРС.

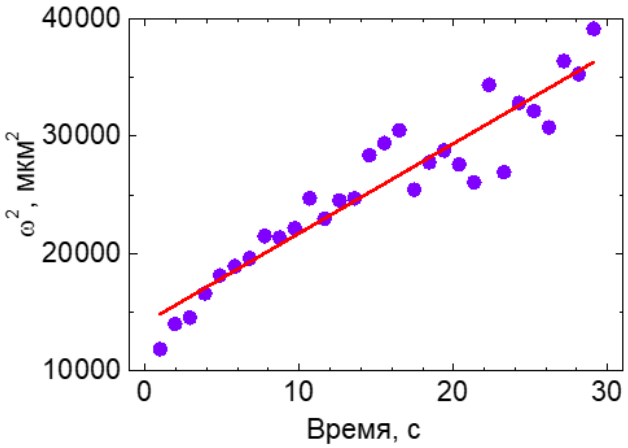


Рис. 3 – Зависимость квадрата параметра ширины гауссова профиля фото обесцвеченной полосы от времени, по данным рисунка 2, и результат её линейной аппроксимации

Определение скорости дрейфа нанокомпозитов SPION/CdSe/ZnS в магнитном поле

Для выявления влияния магнитного поля на движение магнитолюминесцирующих нанокомпозитов вплотную к кювете с раствором на одном уровне с ней помещается постоянный неодимовый магнит в виде прямоугольного параллелепипеда.

Затем экспонируется полоса раствора, находящаяся на расстоянии 2,5 мм от магнита. Напряжённость магнитного поля на таком расстоянии равна 0,15 Тл. Помимо диффузионного размытия экспонированной полоски, наблюдалось ее смещение в сторону магнита. На рисунке 4 показана соответствующая последовательность люминесцентных изображений с исчезающей и смещающейся вверх полосой.

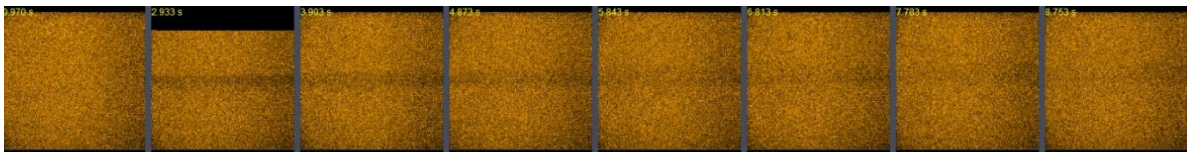


Рис. 4 – Последовательность люминесцентных изображений участка 2,8x2,8 мм коллоидного раствора нанокомпозитов в кювете толщиной 1 мм, до и после экспонирования полосы шириной 100 мкм, расположенной в поле постоянного магнита

На рисунке 5 представлены полученные в результате обработки профили интенсивности люминесценции в различные моменты времени после экспонирования, расширяющиеся и смещающиеся влево, в сторону магнита.

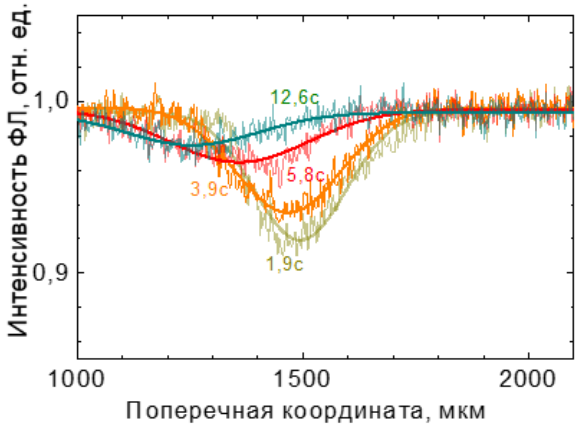


Рис. 5 – Последовательность профилей интенсивности люминесценции нанокомпозитов SPION/CdSe/ZnS, по данным рисунка 4, и результаты их гауссовой аппроксимации. Заметно смещение профилей влево – в направлении магнита

Используя зависимость координаты центра гауссова распределения (минимума интенсивности люминесценции) от времени, определяют скорость движения полоски к магниту, которая составляет 18 ± 2 мкм/с.

Результаты, полученные в серии экспериментов в присутствии постоянного магнита, свидетельствуют о том, что нанокомпозиты Fe_3O_4(SPION)/CdSe/ZnS действительно сочетают в себе люминесцентные и магнитные свойства: в неоднородном магнитном поле наблюдается движение в направлении его градиента, к магниту.

Оценка магнитного момента магнитолюминесцирующих нанокомпозитов

На основании экспериментальных данных о движении выбранной группы магнитолюминесцирующих частиц к магниту можно оценить магнитный момент нанокомпозитов, считая движение равномерным и приравнивая силу, действующую на магнитную частицу со стороны поля, с магнитной индукцией B, к силе вязкого сопротивления движению сферических частиц (силе Стокса) [4]:

$$m\frac{dB}{dx} = 6\pi r\mu V, \qquad (5)$$

где μ – вязкость, m – магнитный момент, r – гидродинамический радиус частицы, V – скорость.

Для оценки магнитного момента нанокомпозитов рассматривалась ситуация, при которой концентрация нанокомпозитов однородна по объему, выделенная область (полоска) коллоидного раствора расположена на расстоянии 2,5 мм от магнита; в этом случае можно считать, что движение определяется исключительно притяжением частиц к магниту и не учитывать обратные потоки. Величина градиента магнитного поля 20 Тл/м, скорость смещения частиц 18 ± 2 мкм/с. Тогда магнитный момент нанокомпозитов можно оценить, приравняв магнитную силу и силу Стокса, соответственно, как $5\cdot10^{-17}$ Дж/Тл, то есть $5\cdot10^{6}$ магнетонов Бора.

В настоящей работе представлены результаты исследования магнитолюминесцирующих нанокомпозитов SPION/CdSe/ZnS в коллоидном растворе с помощью модифицированного метода FRAP, основанного на наблюдении динамики пространственного профиля люминесценции, реализуемого средствами люминесцентной лазерной сканирующей микроскопии.

На основе анализа изменений пространственного распределения интенсивности люминесценции фототрансформированной полосы определен коэффициент диффузии нанокомпозитов в гексане и рассчитан их гидродинамический размер. Полученные значения соответствуют результатам других методов исследования, что подтверждает адекватность применения к коллоидному раствору нанокомпозитов модифицированной техники FRAP и указывает на отсутствие агрегации нанокомпозитов.

Обнаружено направленное движение магнитолюминесцирующих нанокомпозитов с суперпарамагнитным ядром и определена скорость этого движения в постоянном магнитном поле. По скорости этого движения магнитный момент нанокомпозитов был оценен примерно в 10^6 магнетонов Бора, что согласуется с количеством атомов железа в ядре композита.

Показано, что нанокомпозиты SPION/CdSe/ZnS действительно сочетают в себе магнитные и люминесцентные свойства и способны перемещаться в коллоидном растворе в направлении градиента постоянного магнитного поля.

Список использованных источников

1. Du G.H. et al. Fe3O4/CdSe/ZnS magnetic fluorescent bifunctional nanocomposites // Nanotechnology. – 2006. – Т.17. – №12. – С. 2850.
2. Hashlamoun K. et al. Fluorescence recovery after photobleaching: direct measurement of diffusion anisotropy // Biomechanics and Modeling in Mechanobiology. – 2020. – Т.19. – №6. – С. 2397–2412.
3. Lorén N., Hagman J., Jonasson J.K., Fluorescence recovery after photobleaching in material and life sciences: putting theory into practice // Quarterly Reviews of Biophysics. – 2015. – Т.48. – №3. – С. 323–387.
4. Barnes A.L. et al. Magnetic characterization of superparamagnetic nanoparticles pulled through model membranes // BioMagnetic Research and Technology. – 2007. – Т.5. – №1. – С. 1–10.

УДК 004.056.55

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ПОВЫШЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ПРОЦЕДУРЫ ОБМЕНА СООБЩЕНИЯМИ МЕЖДУ СУДНОМ И БЕРЕГОВЫМИ ОБЪЕКТАМИ

Веселова М.Д.

Научный руководитель – Юрин И.В., доцент, кандидат военных наук, доцент факультета безопасности информационных технологий

marina_veselova58@mail.ru

Ключевые слова

Постквантовая криптография, McElliece, код Гоппы, процедура обмена сообщениями, судно, алгоритм, безопасность.

Роль и значение информационных технологий в современной морской индустрии постоянно повышается. В настоящее время развитие IT в данной сфере особенно актуально в связи с текущим мировым положением. Теперь судно – это не просто плавучее сооружение, используемое в транспортных, промышленных, военных и других целей — это высокотехнологичный объект в открытом море, включающий в себя множество устройств, информационных систем, которые помогают человеку решить различные задачи при управлении судном. Возникновение угроз и уязвимостей в системах морской индустрии должно быть недопустимо или маловероятно, поскольку может привести к необратимым последствиям, например краже судна вместе с экипажем и перевозимым грузом, возникновению аварийной ситуации в акватории. На текущий момент в морской индустрии нет общепринятых документов, связанных с правилами обеспечения информационной безопасности, однако существующие руководящие принципы по управлению рисками кибербезопасности включают в себя рекомендации, относящиеся к высокому уровню защиты международного судоходства. В данной работе рассматривается применение IT-средств в части обмена данными в виде сообщений между гражданским судном и береговыми объектами, схема взаимодействия отображена рисунке.

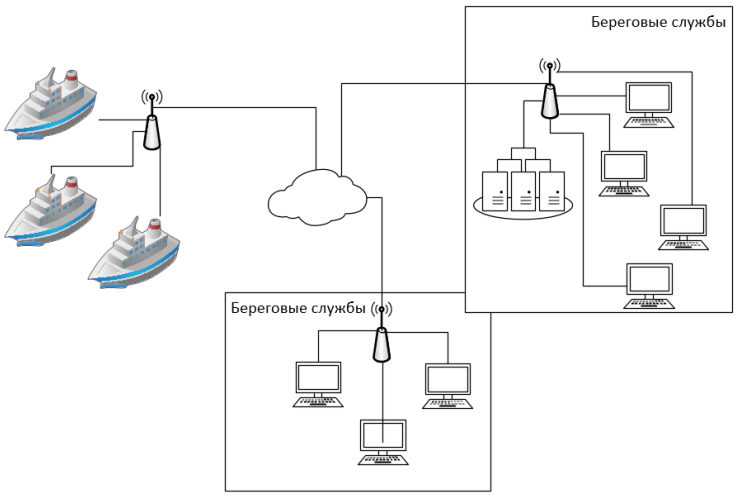


Рисунок – Общая схема взаимодействия E-Навигации

Сообщения, исходящие от судна, могут содержать информацию о судне, его позиционировании, состоянии датчиков, маршруте, по которому движется судно, а также сообщения, вводимые вручную капитаном или помощником на мостике судна. Сообщения, исходящие от береговых объектов, могут содержать рекомендованный маршрут для судна, предупреждения и тревоги об опасностях, например, зоны ограничения плавания в акватории или движение буксира, а также сообщения, вводимые вручную оператором берегового

объекта. Отправка сообщений может быть автоматической, по наступлению какого-либо события или инициирована вручную. Однако, применение информационных технологий, всегда связано с возникновением различного рода нарушений информационной безопасности, в рассматриваемой технологии риск может быть связан с появлением следующих киберугроз: получение доступа к критическим системам; кибершпионаж для получения конфиденциальных данных о судне, экипаже, грузе и пассажирах; вывод из строя ПО судна или берегового объекта за счет установки вредоносного ПО; различные фишинговые атаки; кибершпионаж с мотивом кражи судна, экипажа и/или груза; кибершпионаж с целью создания аварийной обстановки в акватории.

В настоящий момент применяется следующий стек технологий для реализации протокола обмена информацией, используется совокупность следующих подходов: транспортный уровень TCP / IP; сквозное TLS шифрование; TLS протокол; аутентификация с использованием сертификата x.509. Данный подход, несмотря на популярность использования, все же является довольно слабозащищенным, особенно для атак, основанных на алгоритме Шора, который реализуется на квантовых компьютерах и выполняет раскладывание числа на простые множители. Кроме того, злоумышленники уже собирают огромные объемы зашифрованных данных и хранят записи до тех пор, пока не смогут взломать эти ключи с помощью квантовых вычислений, поэтому важно предпринимать меры уже сейчас. Необходимо решать задачу применения постквантовой криптографии как можно быстрее, поскольку интегрирование постквантовых алгоритмов в существующие популярные протоколы может занять большое количество времени.

В данной работе предлагается рассмотреть применение постквантовой криптографии, которая относится к криптографическим алгоритмам с открытым ключом, используемым для защиты от атаки квантового компьютера. Кроме того, постквантовая криптография является наиболее преимущественным подходом, поскольку обеспечивает высокую скорость для вычислений, устойчивость к квантовым и другим атакам. Из всех разновидностей постквантовой криптографии была выбрана криптосистема с открытым ключом McElliece с кодами Гоппа. McElliece основана на сложной проблеме расшифровки неизвестного кода, исправляющего ошибки. Структурные атаки против системы, построенной на McElliece с кодами Гоппа, будут трудно реализуемы, так как количество вариаций кодов Гоппа экспоненциально увеличивается с увеличением длины кода и степенью полинома.

Суть подхода криптосистемы McElliece заключается в том, что необходимо выбрать семейство линейных кодов, которое будет обеспечивать эффективность декодирования. В качестве матрицы G предлагается порождающая матрица кода, исправляющих ошибки, в которой k-столбцов и n-строк:

$$\begin{pmatrix} g_{11}g_{12}\ldots g_{1k} \\ g_{21}g_{22}\ldots g_{2k} \\ \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \\ g_{n1}g_{n2}\ldots g_{nk} \end{pmatrix}. \qquad (1)$$

Таким образом, G – это оператор, который битовые строки длины k преобразует в битовые строки длины n:

- k – длина исходного информационного вектора;
- n – длина кодового слова;
- e – количество ошибок.

Пусть код исправляет e-ошибок, при этом предполагается, что есть полиномиальных алгоритм, который умеет декорировать этот код. К матрице G добавляется еще две матрицы:

- S – невырожденная матрица, собратимая матрица размером k×k;
- P – простая перестановочная матрица, действующая в большом пространстве G.

Далее получаем G':

$$G' = P \cdot G \cdot S, \qquad (2)$$

этот элемент является открытым ключом, а набор (G; S; P) – секретный ключ.

Параметры, наиболее подходящие для процедуры обмена сообщениями между судном и береговыми объектами, а также для оптимальной работы криптосистемы, в нескольких вариантах представлены в таблице 1. Данные в таблице были взяты из официальных документов, поданных в рамках заявки, направленной для участия в проекте NIST, в котором будут стандартизованы лучшие из предложенных алгоритмов постквантовой криптографии.

Таблица 1

Параметры для оптимальной работы криптосистемы

Параметр	Размерность (бит)	
	Вариант 1	**Вариант 2**
n	3488	4608
k	2720	3360
m	12	13
z	64	96
f(t)	$t^{12} + t^3 + 1$	$t^{13} + t^4 + t^3 + t + 1$
F(y)	$y^{64} + y^3 + y + 1$	$y^{96} + y^{10} + y^9 + y^6 + 1$

где f(t) – неприводимый многочлен степени m, а f(y) – неприводимый многочлен степени z, k вычисляется по формуле: k = n – mt.

В документе также приводится анализ производительности используемых наборов параметров. В рамках заявки рассматривалось около 40 программных реализаций на различных процессах, однако, выделяется процессор Intel x64 под управлением Windows или Linux, поддерживающий GCC компилятор. Такой выбор определяется тем, что эталонной платформой для стандартизации постквантовой криптографии NIST является Intel x64 [1].

Применение McElliece предлагается в двух вариантах. Общая часть алгоритма: первоначально один из участников процедуры обмена данными – инициатор, выполняет аутентификацию на сервисе морской облачной платформы, которая выполняется также, как и раньше при помощи сертификата X.509. Сертификат выдается пользователю при активации системы, затем при необходимости он может быть обновлен, также сертификат может быть отозван сервисом. После того, как процедура аутентификации пройдена, сервис выдает участнику процедуры открытый ключ второго участника. Первый способ включает в себя требования к ограничению передаваемых сообщений, такой подход не противоречит требованиям процедуры обмена данными, поскольку в самой системе Е-Навигации на вводимые сообщения стоит ограничение – не более 125 символов с учетом пробелов. Таким образом, получается, что для обмена сообщениями, в которых не более 125 символов, криптосистема McElliece используется полностью. Сообщение шифруется открытым ключом = G′, а получатель расшифровывает его своим закрытым ключом – набором S,G,P. Второй способ необходим для обмена информацией, размер которой превышает размер сообщения в 125 символов, т.е. этот подход необходим, например, для передачи данных о маршруте, курсе, маневрировании своего судна или получении и передачи навигационной информации, в том числе навигационных опасностей и т.д. Для такого обмена шифрование открытом ключом McElliece неприемлемо, поскольку работа по передаче и расшифровке будет трудоемкой и длительной из-за размерности ключа. Ввиду этого предлагается объединить криптосистему McElliece и алгоритм шифрования AES, таким образом, что передаваемая информация будет шифроваться ключом AES, а сам ключ будет передаваться при помощи криптосистемы McElliece, как передается сообщение в первом способе. В алгоритме AES будет использован ключ размером 256 бит.

Таким образом, чтобы выполнить алгоритм, предложенный в варианте №1 понадобится две итерации McElliece, для варианта №2 – одна итерация [2]. Количество итераций были рассчитаны следующим образом: код в системе McElliece имеет длину информационной части 524 бит, соответственно, в рамках одной итерации можно обработать 524 бита. Поскольку для сообщения, ограниченного 125 символами, при КОИ-8, вес сообщения будет равен 1000 бит – для Варианта №1, 256 бит – ключ AES-256 – для Вариант №2. Количество итераций вычислить можно следующим образом:

$$i \cdot 524 = V, \quad (4)$$

где i – количество итераций, а V – объем сообщения в бит.

Применение предложенного механизма в двух вариантах использования должно исключить в процедуре обмена информацией между судном и береговым объектом снижение скорости, поскольку классический McElliece применяется для ограниченного по размеру сообщения, однако, при этом выполняется достижение необходимой степени защиты, свойственной постквантовой криптографии.

Было выполнено исследование на эффективность двух алгоритмов и представлены результаты выполнения шифрования на определенных параметрах, которые отображены в таблице 2 [3].

Таблица 2

Сравнение криптосистем

Параметр	McElliece	RSA
Набор исходных параметров	m = 12, n = 4096, k = 3604, z = 41.	$e = 2^{16} + 1$
Публичный ключ (Кбайт)	429.5	0.5
Сложность шифрования	1025	40555
Сложность дешифрования	2311	6557176,5

Сложность в таблице 2 оценивается как количество двоичных операций, выполняемых на бит информации. Чтобы оценить производительность криптосистемы McElliece и RSA было протестировано несколько реализаций на 32-битном процессоре, исходя из данных таблицы, можно отметить, что сложность шифрования и дешифрования в McElliece отличается от RSA во множество раз. Ввиду этого RSA, несмотря на размер ключа, который добавляет McElliece криптостойкости, значительно уступает этой криптосистеме.

В рамках данной работы был предложен алгоритм, способствующий минимизации угроз при процедуре обмене данными между судном и береговыми объектами. Исследование в настоящее время обладает высокой степенью актуальности, исходя из текущего мирового положения. Поэтому в качестве дальнейшей перспективы проделанной работы предполагается внедрение разработанного алгоритма в комплекс Е-Навигации Российской Федерации, который частично уже предложен к сертификации в конце 2022 года. Также полученный алгоритм можно использовать в дальнейшем в рамках разработки беспилотных судов, судов для проекта «Арктика», над которым в настоящее время ведется активная работа в части исследования и выдвижения гипотез по его функционированию.

Список использованных источников

1. Classic McElliece: conservative code-based cryptography/. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://classic.McElliece.org/nist/McElliece-20201010.pdf (дата обращения: 02.04.2022).
2. Веселова М.Д., Юрин И.В. Разработка алгоритма повышения безопасности процедуры обмена сообщениями между судном и береговыми объектами // Сборник тезисов докладов конгресса молодых ученых. Электронное издание. – СПб: Университет ИТМО, 2022. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://kmu.itmo.ru/digests/article/8168 (дата обращения: 02.04.2022).
3. Веселова М.Д. Обеспечение информационной безопасности при процедуре обмена данными между судном и береговыми устройствами // Современная школа России. – 2022. – №4. – С. 15–16.

УДК 544.653.1

НАНОСТРУКТУРНЫЕ ЭЛЕКТРОКАТАЛИЗАТОРЫ ДЛЯ КАТОДНОГО ЭЛЕКТРООРГАНИЧЕСКОГО СИНТЕЗА

Дмитриева А.П.

Научный руководитель – Кривошапкина Е.Ф., доктор химических наук, доцент и научный сотрудник химико-биологический кластер

dmitrieva@scamt-itmo.ru

Работа выполнена в рамках темы НИР № 320096 «Разработка наноструктурированных электрокатализаторов для катодного генерирования свободных радикалов и карбанионов – реактивных интермедиатов для электроорганического синтеза».
Работа выполнена при грантовой поддержке Российского научного фонда (проект № 20–73–10165).

Ключевые слова
Электрокарбоксилирование, электрокатализаторы, наноматериалы, диоксид углерода, аминокислоты.

α -Аминокислоты (α-АК) представляют собой важнейший класс природных химических веществ с уникальной биологической активностью. α-АК имеют первостепенное значение в живых организмах, поскольку они играют главную роль в процессе синтеза пептидов. Также α-АК являются реактантами в промышленном фармацевтическом синтезе [1,2]. В связи с разнообразием приложений большое внимание уделяется разработке новых подходов к синтезу α-АК.

На сегодняшний день в литературе сообщается о нескольких стратегиях синтеза α-АК [3], однако описанные методы обычно сопровождаются применением высокотоксичных цианидов (KCN), сильных кислот и альдегидов. Электрокаталитические методы привлекательны как более экологичные альтернативы классическим подходам. Электрохимический способ синтеза α-АК представляет собой электрокарбоксилирование иминов (ЭК) с образованием целевых карбоновых кислот. В нескольких исследованиях сообщается об ЭК иминов до α-АК и дается некоторое представление о механизме. Несмотря на то, что в качестве электродных материалов для ЭК были исследованы различные металлы, существует дефицит систематических исследований активности материалов и металлических наночастиц по отношению к ЭК иминов. Кроме того, на сегодняшний день малоизучен вклад в целевой процесс конкурирующей реакции восстановления диоксида углерода.

В данной работе было изучено электрохимическое восстановление иминов в присутствии углекислого газа как метод синтеза альфа-аминокислот. А именно, было изучено влияние природы катализатора, морфологии его поверхности и рабочих параметров на эффективность и селективность электрокарбоксилирования (ЭК) N-бензилиденанилина в апротонной среде на 11 различных поликристаллических металлических поверхностях (Ag, Au, Cu, Fe, GC, Ni, Pd, Pt, Sn, Ti и Zn) и наномодифицированных Pd электродах. Электрохимические эксперименты осуществлялись с использованием потенциостата Biologic SP-300 в трехэлектродной электрохимической ячейке разделенного типа с анионобменной мембраной Fumasep FAB-PK-130 (FuelCellStore). В качестве противоэлектрода использовался углеродный стержень, электрода сравнения - серебряная проволока (Ag/Ag^+ QRE). Десять металлов были исследованы как катодные материалы в данном исследовании: Ag, Au, Pt, Pd, Cu, Ni, Ti, Zn, Fe и Sn. Раствор 0,1 M $TEABF_4$ в CH_3CN (12 мл) использовали в качестве электролита в цикловольтамперометрических (CV) экспериментах, а 0,1 M TBABr в CH_3CN (12 мл) использовался в качестве электролита в потенциостатических экспериментах. Перед каждым экспериментом католит насыщался Ar или CO_2 путем непрерывного барботирования газа со скоростью 20 мл/мин в течение 15 – 20 мин. Все реакции останавливались после

прохождения заряда 1F моль$^{-1}$. Качественный и количественный анализ продуктов реакции проводился методами газовой хроматографии (ГХ) и ядерного магнитного резонанса (ЯМР). Состав газа в свободном пространстве ячейки анализировали методом непрерывной газовой хроматографии каждые 20 мин до завершения реакции. Жидкие продукты анализировали с помощью 1H ЯМР (Bruker 300 МГц) реакционных смесей в сочетании с внутренним стандартом (ДМСО) и сравнивали с ранее опубликованными данными ЯМР.

Для понимания электрохимического превращения иминов первым этапом исследований была проведена CV (рис.1). Как правило, ЭК посредством активации веществ требует меньших энергозатрат, чем ЭК посредством активации CO_2 [4], потому первоначально было решено определить потенциальное окно, в котором активация CO_2 не происходит (рис.1,a,б).

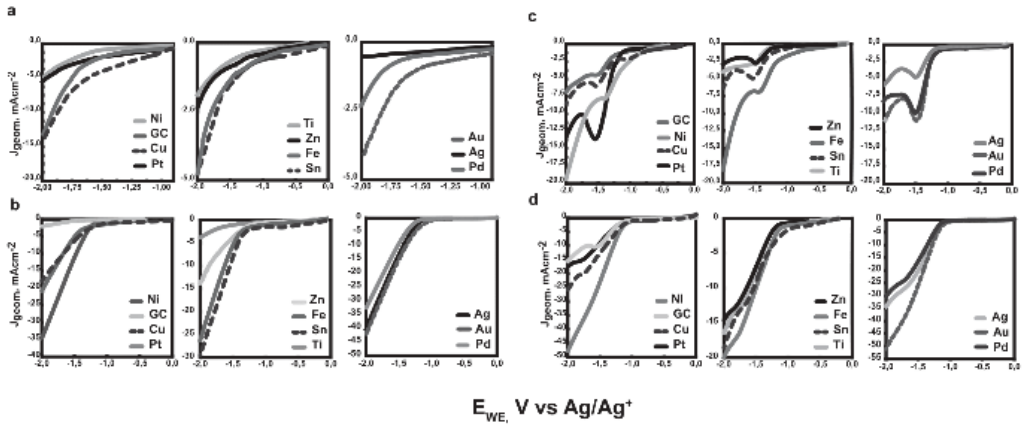


Рис. 1 – Катодные развертки CV электровосстановления N-бензилиденанилина; Все вольтамперограммы записывали при скорости развертки 100 мВ с$^{-1}$ на различных объемных металлических катодах (рабочая площадь ~0,2 см^2) в: a) насыщенном Ar; b) CO_2 - насыщенном растворе 0,1 M $TEABF_4$ в CH_3CN; c) Ar-насыщенном; d) CO_2 - насыщенном растворе 0,1 M $TEABF_4$ в CH_3CN с добавлением 25 мМ N-бензилиденанилина

Потенциалы начала реакции электровосстановления CO_2 находились в диапазоне от –1,4 В до –1,9 В, и для всех металлов не наблюдалось никаких пиков. Ag, Au и Pt показали наименьшие отрицательные начальные потенциалы (от –1,4 до –1,5 В), за ними следуют Cu, Sn, Zn и Pd (от –1,5 до –1,7 В). Ni, Pb, Fe, Ti и Al показали самые высокие энергетические потребности для прямого CO_2RR (E < –1,7 В). Существенная разница в значениях плотности тока CO_2RR наблюдалась для всех металлов в соответствии с одной и той же тенденцией (рис.1,b). Электроды Ti и GC не проявляли заметной активности CO_2RR в исследованном диапазоне потенциалов. Все металлы продемонстрировали активность CO_2RR от очень низкой до нулевой при E > –1,5 В, что делает эти потенциалы оптимальными для эффективного проведения реакции ЭК посредством активации имина с незначительным вкладом конкурирующего CO2RR. Начальные потенциалы восстановления имина сильно зависят от природы металла и составляли от –1,10 В до –1,37 В. Самые низкие потенциалы наблюдались для электрода из стеклоуглерода (–1,1 В vs Ag/Ag$^+$), Ti и Zn (–1,25 В), далее, для металлов группы 11 (Cu, Ag, Au) и Fe (–1,30 В) и группы 10 (Pd, Pt) (–1,35 В). Самый высокий потенциал начала реакции наблюдался Ni и Sn (–1,37 В). За исключением Ti, все металлические электроды показали два пика восстановления имина (рис.1,c), которые соответствуют двум основным восстановительным процессам: образование анион-радикала, и последующее восстановление анион-радикала до аниона. ЭК может протекать либо путем активации имина, либо путем активации CO_2 с получением a-аминокислоты. Для выяснения влияния присутствия CO_2 на ЭК была проведена серия CV-экспериментов по восстановлению имина рис 1c и 1d в Ar- и CO_2-насыщенном электролите (0,1 M $TEABF_4$). Таким образом, на основании наших экспериментальных данных при E < –1,5 В самые высокие скорости ЭК за счет активации CO_2 ожидаются для Ag, Cu и Pd , за которыми следуют Ni, Pt и Fe.

Помимо CV, был проведен потенциостатический электролиз N-бензилиденанилина в присутствии CO_2. Все реакции проводили при исходной концентрации имина 25 мМ с

использованием различных металлов и стеклоуглерода в качестве катодов. Потенциалы для проведения потенциостатического электролиза выбирались по положению первого пика катодной разверстки CV. Основными продуктами реакции ЭК N-бензилиденанилина являются N-бензиланилин, соль а-аминокислоты TBA-фениламинобензолацетат и чистая а-(фениламино)бензолуксусная кислота. В результате ЭК иминов на поверхностях Ag, Zn, Fe, Ti и Cu сопровождается наиболее эффективным образованием α-АК (> 90% селективность); Ni, Pt, Pd показали среднюю селективность (70 – 80%); Sn, Au, и GC (стеклоуглерод) показали худшую селективность во всей серии < 65%.

Для понимания влияния морфологии поверхности катализатора в рамках данного проекта были синтезированы Pd наноматериалы двух форм поверхности (кубические и разветвленной звездчатой формы). Активность наночастиц была определена в условиях, аналогичных условиям ранее примененных для поликристаллического Pd. Реакции ЭК на Pd материалах сопровождались повышением выхода целевых продуктов в сравнении с поликристаллическим Pd (фольгой). Наибольшую плотность тока при каждом потенциале демонстрировали разветвленные звездчатые наночастицы Pd. Результаты исследований приведены на рисунке 2.

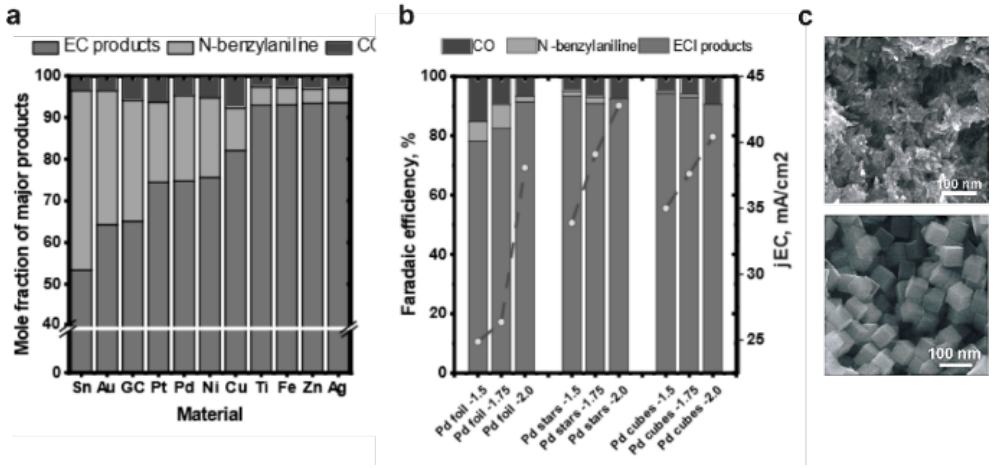


Рис. 2 – Результаты исследования: a) распределение основных продуктов реакции ЭК; b) Фарадеевские эффективности образования продуктов ЭК имина на поверхности палладиевых катализаторов; c) СЭМ-изображения наноструктурированных разветвленных звездообразных (верхнее изображение) и кубических (нижнее изображение) Pd электродных материалов соответственно

Все изученные наноматериалы показали высокую стабильность при электролизе. В отличии от Pd фольги наноматериалы демонстрируют стабильную эффективность начиная от сравнительно низкого приложенного потенциала (–1,5 В) до высокого (–2 В), эффективность же образования продуктов ЭК растет только с увеличением потенциала. Данный аспект означает, что для проведения реакции с использованием наноматериалов требуется значительно меньше энергетических затрат, что делает наноматериалы многообещающими кандидатами в качестве электрокатализаторов в перспективе масштабирования процесса.

В результате, проведено детальное исследование ЭК иминов на различных металлических электродах в ацетонитриле методом циклической вольтамперометрии. В этой работе был проверен широкий спектр электродов, чтобы выяснить влияние природы материала катода на эффективность реакции ЭК посредством метода ЯМР образцов. В результате ЭК иминов на поверхностях Ag, Zn, Fe, Ti и Cu сопровождается наиболее эффективным образованием α-аминокислоты (> 90% селективность); Cu, Ni, Pt, Pd показали среднюю селективность (70 – 80%); Sn, Au, и GC (стеклоуглерод) показали худшую селективность во всей серии < 65%. В то же время самые высокие плотности тока наблюдались на серебре, платине и палладии. Кроме того, были синтезированы и электрохимически исследованы Pd нанокатализаторы различной формы (кубы и разветвленные звездообразные наночастицы). Реакции ЭК на Pd наноматериалах сопровождались повышением выхода

целевых продуктов в сравнении с поликристаллическим Pd (фольгой). Наибольшую плотность тока при каждом потенциале демонстрировали разветвленные звездчатые наночастицы Pd. Все изученные наноматериалы показали высокую стабильность при электролизе. На основании обширных экспериментальных результатов был предложен подробный механизм образования α-АК на поверхности металлических электродов.

Исследования с использованием метода ЯМР-спектроскопии проведены в Инжиниринговом центре СПбГТИ(ТУ). Личная благодарность за помощь в проведении ЯМР-анализа образцов Кривчуну Максиму Николаевичу.

Список использованных источников

1. Li C.H. et al. Electrogenerated-bases promoted electrochemical synthesis of N-bromoamino acids from imines and carbon dioxide // Tetrahedron. – 2014. – V.70. – №10. – Pp. 1855–1860.
2. Fan X. et al. Visible light-promoted CO_2 fixation with imines to synthesize diaryl α-amino acids // Nature communications. – 2018. – V.9. – №1. – Pp. 1–8.
3. He G. et al. Syntheses and transformations of α-amino acids via palladium-catalyzed auxiliary-directed sp3 C–H functionalization // Accounts of Chemical Research. – 2016. – V.49. – №4. – Pp. 635–645.
4. Medvedev J.J. et al. Relative activity of metal cathodes towards electroorganic coupling of CO_2 with benzylic halides // Electrochimica Acta. – 2021. – V.387. – Pp. 138528.

УДК 001

РАЗРАБОТКА БИБЛИОТЕКИ ПРИЕМА-ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ ПО ПРОТОКОЛУ UART ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ ТЕПЛОВЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИЙ ГИРОСКОП

Журавлев Д.Д.

Научный руководитель – Шарков И.А., кандидат технических наук, ассистент института "Высшая инженерно-техническая школа", научный сотрудник научно-исследовательского центра световодной фотоники

gddno@inbox.ru, isharkov@itmo.ru

Ключевые слова

Разработка библиотеки, Arduino, протокол UART, гироскоп, внутренний диаметр, температурные воздействия.

Волоконно-оптический гироскоп (ВОГ) является датчиком угловой скорости интерферометрического типа, основанным на эффекте Саньяка. Суть эффекта состоит в возникновении фазового сдвига встречных световых волн во вращающемся кольцевом интерферометре. На рисунке 1 представлена минимальная оптическая схема волоконно-оптического гироскопа.

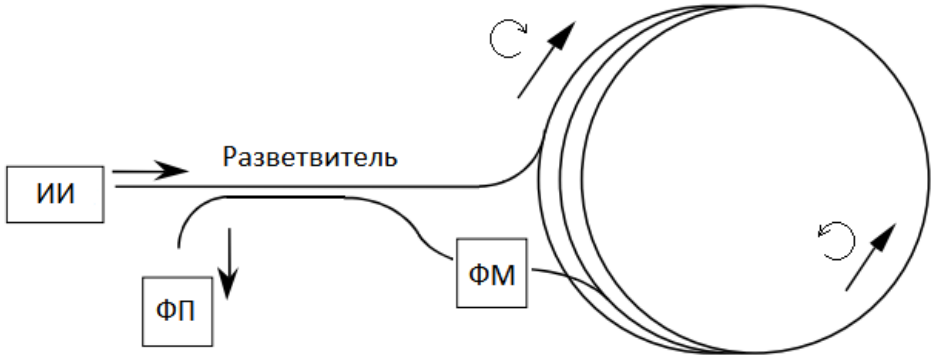


Рис. 1 – Схема волоконно-оптического гироскопа в минимальной конфигурации

Чувствительным элемент ВОГ является волоконно-оптический контур, данный элемент подвержен влиянию нестационарной температуры окружающей среды. В результате чего появляется температурная ошибка. Таким образом, рабочая точка интерферометра зависит от времени, в условиях изменяющейся температуры, следовательно, будет наблюдаться так называемый «дрейф нуля». Дрейф нуля ВОГ, обусловленный тепловыми процессами в волоконно-оптическом контуре, можно разделить на две основные части – дрейф, вызванный эффектом Шупе, и дрейф, вызванный эластооптическим эффектом [1,2].

Ряд современных научно-технических источников указывает на возможность использования компьютерного конечно-элементного моделирования для сокращения времени разработки чувствительного контура в волоконно-оптических гироскопах и для предсказания результирующей тепловой ошибки. Для использования такой конечно-элементной модели необходима ее экспериментальная проверка. Настоящая работа направлена на создание стенда для проведения необходимой верификации конечно-элементной модели. Сотрудниками НИЦ СФ было проведено компьютерное конечно-элементное моделирование, в ходе данного моделирования фрагмент волоконно-оптического контура, представленного на рисунке 2 нагрели на 10°С в течении 10 мин. В результате чего были получены два результата. На рисунке 3, представлен первый результат преобладание величины эластооптического эффекта в формировании дрейфа нуля.

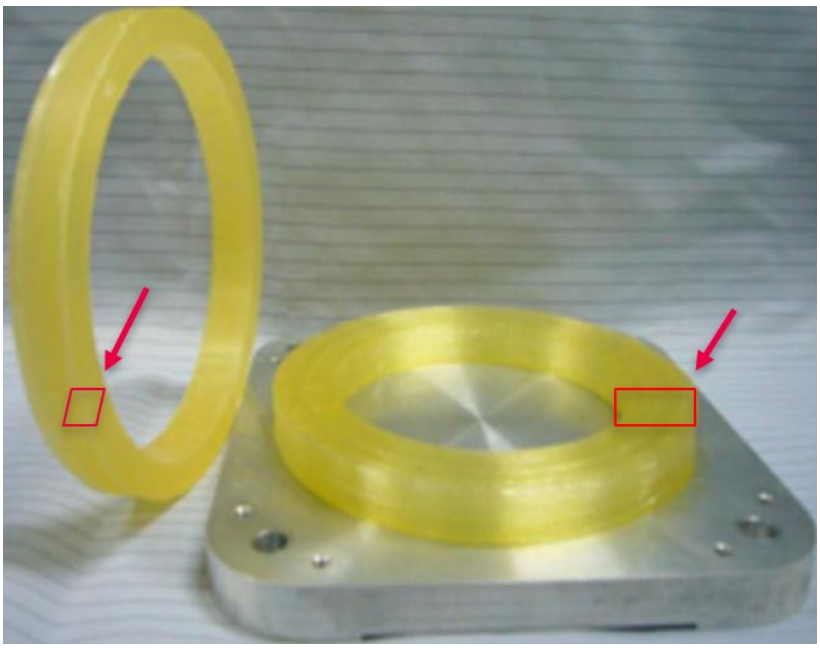


Рис. 2 – Демонстрация отмоделированного фрагмента ВОК

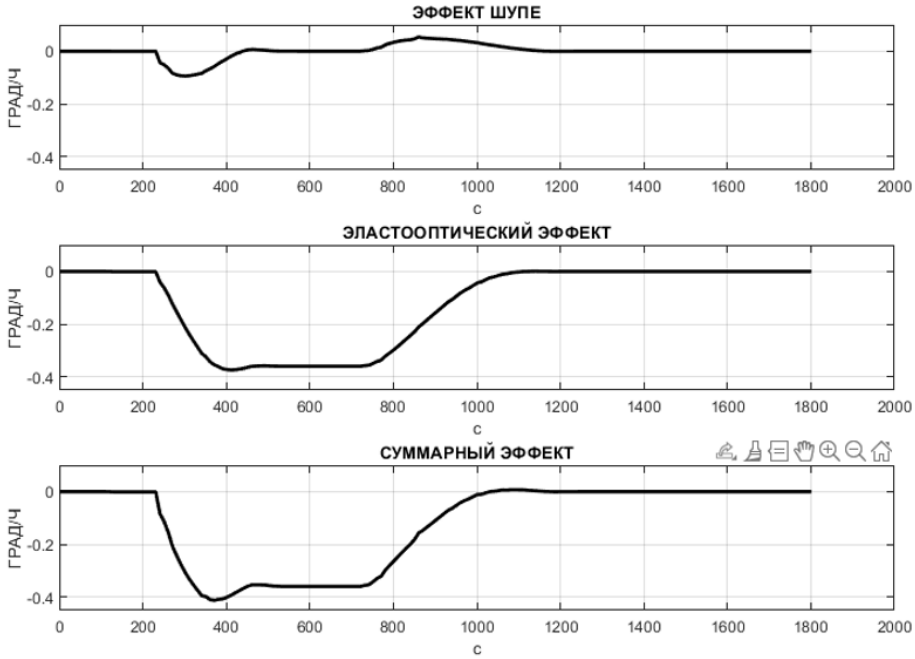


Рис. 3 - Дрейф нуля ВОК для эффекта Шупе (сверху), эластооптического эффекта (посередине) и суммарный (снизу)

Следует отметить преобладание в реферируемых научных публикациях материалов, касающихся первого из эффектов. Касательно эластооптического эффекта приводимой информации меньше, однако на взгляд ряда авторов [1,2], совпадающий с изложенным в настоящей работе, этот эффект оказывает большее влияние на общий тепловой дрейф нуля в волоконном гироскопе.

Также на рисунке 4 представлен второй результат компьютерного конечно-элементного моделирования. Это уменьшение внутреннего диаметра ВОК. Как видно на рисунке справа есть шкала, соответствия расширения цвету. Так темно-синему цвету соответствует деформация в 20 мкм, а темно-красному деформация в 40 мкм. При этом синий цвет соответствует изменению внутреннего диаметра ВОК, а красный внешнему диаметру ВОК.

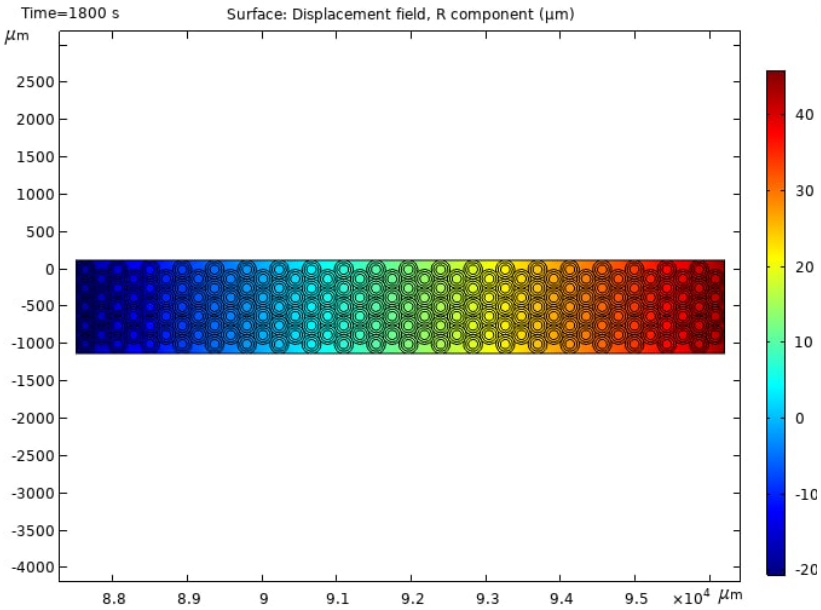


Рис. 4 – Моделирование теплового воздействия на ВОК в программе COMSOL Multiphysics

Таким образом, для подтверждения результатов моделирования, было принято решение разработать стенд для проведения необходимой верификации конечно-элементной модели, полученной сотрудниками НИЦ СФ.

Основной задачей было изготовить измерительный прибор тензометра. Общую схему которого можно видеть на рисунке 5.

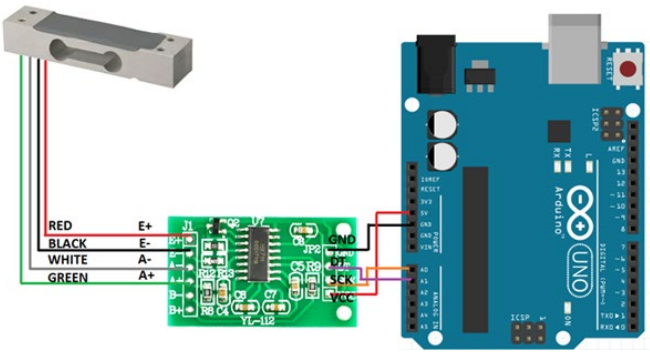


Рис. 5 – Схема устройства тензометра как измерительного прибора

Для функционирования данного измерительного прибора, была разработана библиотека приема-передачи данных по протоколу UART. Данная библиотека была написана на высокоуровневом языке программирования C++, в среде разработке Arduino IDE.

Для решения поставленной задачи необходимо было изготовить измерительный механизм, таким образом, было разработано решение представленной на рисунке 6.

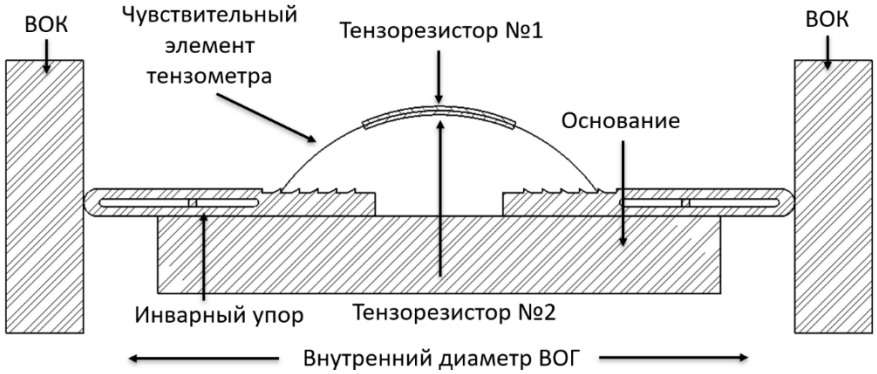


Рис. 6 – Схема устройства измерительного механизма

Как видно из рисунка 6, разработанный измерительный механизм устанавливается внутрь волоконно-оптического контура (ВОК). Измерительный механизм состоит из основания, чувствительного элемента тензометра (тонкая металлическая пластинка, на обеих сторонах которой приклеены тензорезисторы), инварных упоров (низкий коэффициент теплового расширения). Так, чувствительный элемент тензометра устанавливается в шип-контакт инварного упора, обеспечивая тем сам минимальное давление на инварные упоры на внутреннею сторону ВОК. Тем самым из-за изменения внутреннего диаметра ВОК меняется и давление, оказываемое на чувствительный элемент ВОК, что ведет к изменению сопротивления тензометров, что отражается на показаниях тензометра. Данный измерительный механизм корректно функционирует, если он находится в стационарных температурных условиях. Таким образом, была разработана система охлаждения, представленная на рисунке 7, она необходима для обеспечения термостабильности чувствительного элемента тензометра.

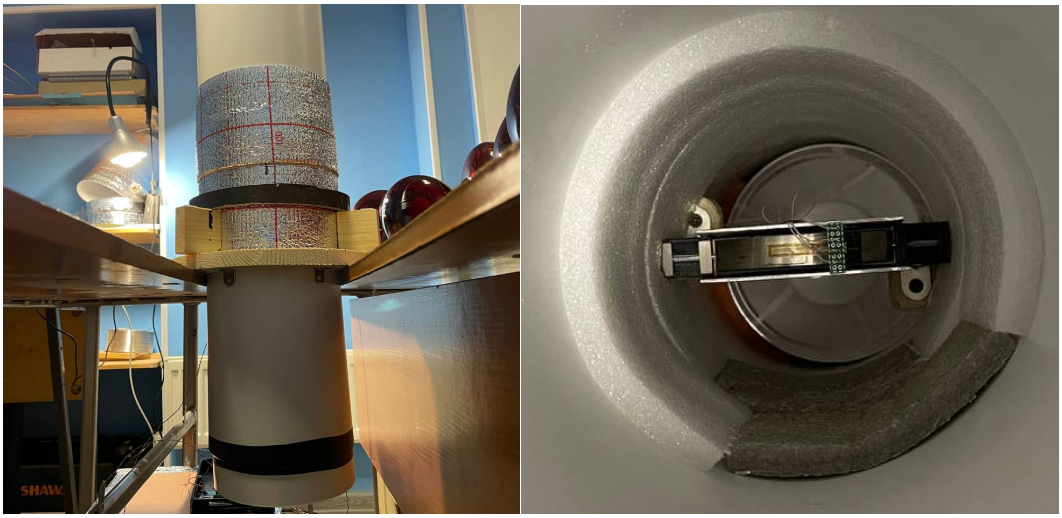


Рис. 7 – Система охлаждения

Данная система состоит из пластиковой трубы диаметром 160 мм, вентилятора мощностью 23 Вт и теплоизоляции.

В рамках этой работы нагрев испытуемого образца осуществлялся инфракрасными лампами мощностью 250 Вт каждая в количестве восьми штук.

Общий вид конечного измерительного стенда представлен на рисунке 8, данный рисунок иллюстрирует процесс верификации системы измерения на стальном кольце (12Х18Н10Т).

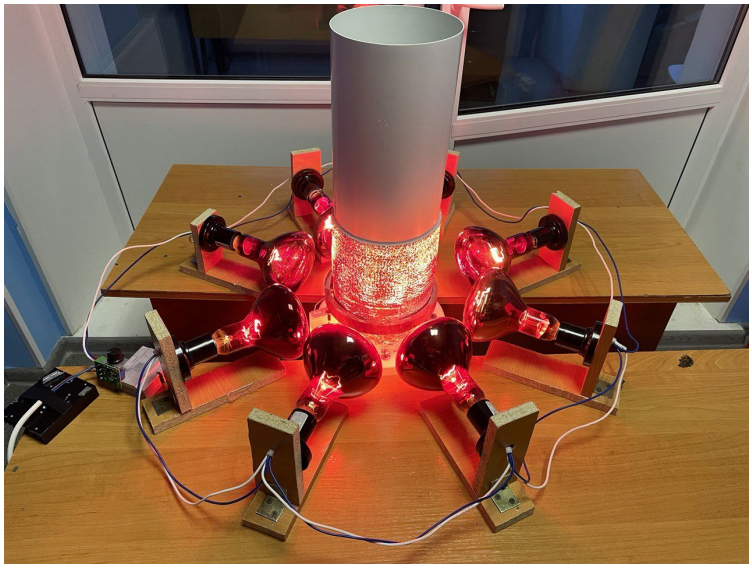


Рис. 8 – Общий вид разработанной системы измерения внутреннего диаметра волоконно-оптического контура при верификации на стальном кольце (12Х18Н10Т)

Так, в процессе верификации были проведены три опыта, в результате был получены данные зависимости деформации от температуры стального кольца, представленные на рисунке 9.

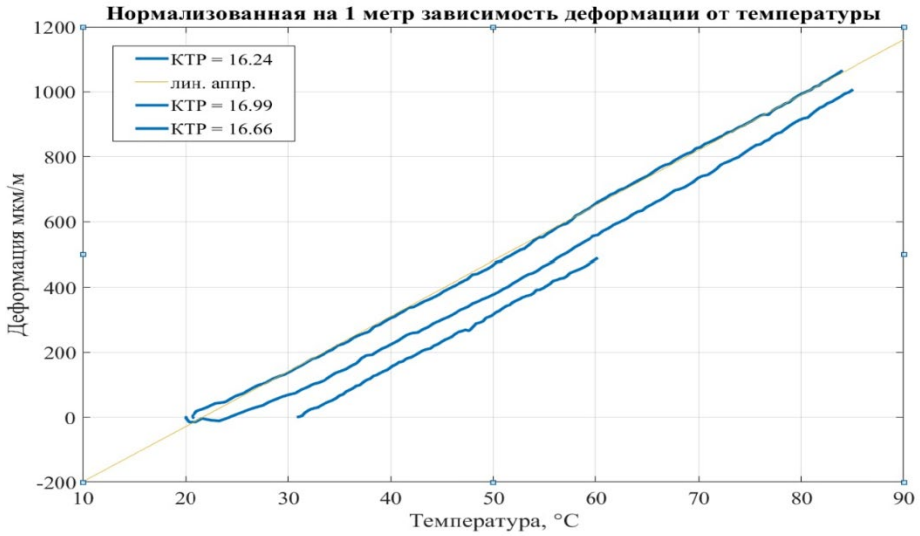


Рис. 9 – Верификации с использованием стального контура (12Х18Н10Т)

Так, проведя расчет углового коэффициента каждого из экспериментов и рассчитав средний:

$$К_{ср}=\frac{К_{ср1}+К_{ср2}+К_{ср3}}{3}=16{,}63.$$

При этом опорный угловой коэффициент $К_{оп}=16{,}6$. Так погрешность составила:

$$\triangle=\frac{К_{ср}-К_{оп}}{К_{ср}}100\%=0{,}18\%.$$

Результатом данной выпускной квалификационной работы стала изготовленная термостабильная система измерения внутреннего диаметра волоконно-оптического контура при изменении температуры окружающей среды, в основе которой лежит разработанная библиотека приема-передачи данных по протоколу UART. В дальнейшем планируется провести исследования с использованием волоконно-оптического контура.

Список использованных источников

1. Schadt F. Physikalische Modellierung und Analyse thermisch und mechanisch bedingter Messabweichungen in faseroptischen Rotationssensoren. – 2012. – 129 p.
2. Serdar Ogut, Berk Osunluk, Ekmel Ozbay, Modeling of thermal sensitivity of a fiber optic gyroscope coil with practical quadrupole winding // Proc. SPIE 10208, Fiber Optic Sensors and Applications XIV, 1020806 (27 April 2017). DOI:10.1117/12.2258030.

УДК 338.4

РАЗРАБОТКА ПРОЕКТА ПО ОРГАНИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЧИСТЫХ УПАКОВОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Канунникова К.И.

Научный руководитель – Павлова Е.А., доцент, кандидат экономических наук, доцент факультета технологического менеджмента и инноваций

ri_kri@mail.ru

Ключевые слова

Экология, окружающая среда, эко-упаковка, Санкт-Петербург, потребители, упаковочные материалы, пластик, рынок доставки готовой еды, биоразлагаемые материалы.

Санкт-Петербург занимает двенадцатое место из 85 в «Национальном экологическом рейтинге регионов России» (по итогам зимы 2021–2022 гг.), но, несмотря на это, в городе есть ряд серьезных проблем, которые связаны с загрязнением окружающей среды [1].

Насущными экологическими проблемами города является: загрязнение воздуха и воды, загрязнение почвенного покрова, наличие большого количество свалок твердых бытовых отходов, состояние зеленых насаждений, шумовое загрязнение. Проблема твердых бытовых отходов является одной из центральных экологических проблем Санкт-Петербурга в настоящее время.

Одним из самых распространенных и опасных видов отходов является пластик. Распространение пластикового загрязнения связано с невысокой (доступной) ценой и долговечностью самого материала. Пластик оказывает негативное влияние на человека, животных, окружающую среду и океан.

Упаковочные материалы в виде пластика являются наиболее значимым компонентом ТКО, который наносит значительный вред окружающей среде, но в настоящее время уже существуют более безопасные материалы, способные заменить вредный пластик, в частности: компостируемая и биоразлагаемая упаковка, а также упаковка из переработанного пластика. Развитие рынка упаковочных материалов происходит за счет таких факторов, как: импортозамещение, развитие рынка доставки готовой еды, стремление населения к здоровому образу жизни, разумному потреблению.

Глобальные производственные мощности по производству биопластиков планируется увеличить с 2,4 млн тонн в 2021 году до 7,5 млн. тонн в 2026 году. Азия является главным производственным центром по производству биопластиков. Рынок биоразлагаемой упаковки в России составляет 6,5 тыс. тонн, а объем рынка в 2019 году оценивается в 38 млрд. руб. [2]. В структуре рынка доминирует отечественная продукция – 86,3%. Российские производители в основном заинтересованы в компостируемых биопластиках и пластиках с биодобавками. Дальнейший рост рынка биоразлагаемой упаковки обусловлен двумя основными факторами: экологический и пандемия COVID-19.

Рис. 1 – Карта позиционирования конкурентов (составлен автором)

Российский рынок экологически чистых упаковочных материалов характеризуется небольшим количеством производителей. Проведя конкурентный анализ, было выявлено, что наиболее конкурентным преимуществом, исходя из критериев цена и скорость разложения материала (являются наиболее значимыми параметрами в анализе), обладают компании: «GEOVITA», «Ecovilka» и «1Earth» (рис.1). Также, исходя из проведенного конкурентного анализа, можно выделить ключевые преимущества для производителя экологически чистых упаковочных материалов: цена, используемый материал в производстве, скорость разложения материала, простота утилизации.

Конечным потребителем экологически чистых упаковочных материалов являются обычные граждане, поэтому с целью выявления потенциальных клиентов был проведен опрос жителей Санкт-Петербурга, который показал, что у большинства потребителей не сформировалось эко сознание: выбирать товары с эко-маркировкой готова лишь малая часть опрошенных, следовательно, для внедрения экологической упаковки необходимо, чтобы продавцы предлагали экологичные товары, тогда потребители будут повсеместно приобретать такие товары и ненужно доводить до сознания каждого из них о вреде пластиковой упаковки. Таким образом, потенциальными потребителями экологически чистых упаковочных материалов выступают предприятия общественного питания г. Санкт-Петербурга. На основании проведенного анализа были определены основные клиенты: «Теремок», «2 Берега», «Ollis», «Dostaевский», «Марчеллис», «Шоколадница», «Frank», «Italiani», «Vlavaше». Плановый объем продаж за год составит 12 605 120 чел./упаковки. Канал распределения продукта до конечного потребителя выглядит следующим образом: продукт – предприятия общественного питания – агрегаторы – конечный потребитель (рис.2).

Рис. 2 – Канал распределения продукта до конечного потребителя (составлен автором)

Рис. 3 – Логотип предприятия «ЭкоДело» (разработан автором)

В рамках проекта предполагается открытие предприятия «ЭкоДело», основным видом деятельности которого выступает производство экологически чистых упаковочных материалов. На рисунке 3 представлен логотип предприятия.

Основной ассортимент продукции – упаковка навынос для предприятий общественного питания, в частности:

- ланч-бокс S (19 гр.), размер 145x145x80;
- ланч-бокс M (30 гр.), размер 206x203x85;
- лан-бокс L (45 гр.), размер 232x228x85.

Ланч-боксы будут реализовываться предприятиям общественного питания г. Санкт-Петербурга, которые осуществляют доставку своей продукции или сотрудничают с агрегаторами доставки готовой еды. На рисунке 4 представлен ассортимент продукции «ЭкоДело».

Рис. 4 – Продукция ООО «ЭкоДело»

Биоразлагаемая эко-упаковка будет изготавливаться из кукурузного крахмала – это абсолютно натуральный продукт, полученный из растительного сырья. Он служит основой для полимерной пленки, из которой изготавливают эко-упаковку. В сырье вводят добавки растительного происхождения, которые придают изделию прочность и гибкость. Выбор основного сырья объясняется тем, что оно обладает следующими преимуществами.

1. Безопасность использования и биоразлагаемость компонентов: в составе продукции отсутствуют вредные и токсичные вещества, такие как бисфенол А, которые оказывают негативное влияние на здоровье человека, также продукция из кукурузного крахмала полностью разлагается в почве, не нанося вред природной среде.
2. Изделия из кукурузного крахмала выдерживает экстремально высокие (+120°) и низкие (-20°) температурные режимы.
3. Более длительный срок хранения пищевых продуктов, по сравнению с аналогами из традиционного пластика, который достигается за счет особых свойств натурального природного материала.
4. Удобство использования и транспортировки готовой еды.
2. Продукция жиро- и водонепроницаема.
3. Короткий период разложения продукции из кукурузного крахмала (в среднем 6 месяцев), также данный материал не требует переработки, что значительно упрощает процесс утилизации.

Все вышеперечисленное предопределило выбор сырья для изготовления эко-упаковки.

Для производства экологичной упаковки из кукурузного крахмала используется следующие компоненты (состав):

- кукурузный крахмал – 72% является основным компонентом;
- пищевые добавки – 20% (пектин, моноглицерид) безвредные для человека;
- полипропилен в гранулах – 8% от общего объема.

Важно отметить, что в составе биоразлагаемой упаковки из кукурузного крахмала в небольшом количестве содержится полипропилен, но он в таком объеме не опасен – это обосновано тем, что после распада натуральной половины элементов, пластик уже не содержит тех соединений, которые бы мешали ему разложиться, в итоге он становится биоразлагаемым материалом.

Организационно-правовая форма «ЭкоДело» – общество с ограниченной ответственностью (ООО). Учредитель – физическое лицо Канунникова К.И., 100% доли в уставном капитале. Существенным преимуществом ООО является относительно простой способ регистрации, ограниченный размер предпринимательского риска, возможность расширения бизнеса, наибольшая информационная «закрытость», удобное привлечение инвесторов. Налоговая система, под которую попадает деятельность ООО «ЭкоДело» – упрощенная, вариант уплаты налога: налоговая база «доход», ставка налога – 6%. Выбранная система обусловлена тем, что у предприятия менее 100 сотрудников и планируемый годовой доход не превысит 150 млн. руб.

Организационная структура управления ООО «ЭкоДело» характеризуется как линейная. Все работники подчиняются непосредственно линейному менеджеру, что объясняется малой штатной численностью персонала. Для внедрения проекта в штат потребуется нанять следующих специалистов: директор (1 чел.), технолог (1 чел.), бригадир цеха (1 чел.), рабочий цеха (3 чел.), менеджер по продажам (1 чел.), уборщица (1 чел.).

За один рабочий день, исходя из продолжительности рабочей смены (8 часов) и производительности оборудования (1 920 ед. продукции/час), будет произведено:

- ланч-бокс S – 3 072 ед. продукции;
- ланч-бокс M – 9 216 ед. продукции;
- ланч-бокс L – 3 072 ед. продукции.

Всего за год планируется выпуск 4 592 640 ед. продукции.

Производственное помещение ООО «ЭкоДело» будет располагаться в Невском районе г. Санкт-Петербурга по ул. Фарфоровская д. 6 (станция метро Ломоносовская). Площадь арендуемого помещения – 350 м^2. Арендная плата 580 руб./м^2 за месяц. Полная стоимость аренды за месяц составит 203 000 руб. Отдельно оплачиваются: коммунальные платежи; электроэнергия, согласно показаниям приборов учета; интернет-провайдер.

Также для осуществления деятельности необходимо закупить оборудование. Основным цеховым оборудованием будет являться автоматическая линия WN90-80 для производства биоразлагаемых ланч-боксов для еды (производство КНР). Данное высокотехнологичное оборудование представляет собой линию, позволяющую совершить весь производственный цикл: с момента подачи сырья до изготовления высококачественного изделия.

Затраты на приобретение основных фондов составят 3 162 592 руб., в том числе цеховое оборудования – 2 989 388 руб., административные 173 204 руб. Годовая сумма амортизационных отчислений составит 336 865 руб.

Для открытия предприятия необходимы финансовые ресурсы в размере 3 266 592 руб. Финансирование будет осуществляться за счет собственных средств учредителя (100%).

Общая сумма текущих затрат, получаемая сложением постоянных и переменных расходов, за месяц составит 874 369,9 руб., за год 10 492 438,7 руб.

Так как «ЭкоДело» в своей деятельности будет ориентироваться исключительно на рынок B2B, то продвижение продукции целесообразно строить по двум направлениям: непосредственный контакт с потенциальными клиентами (представительские расходы) и реклама на различных сайтах в сети Интернет.

Формирование цены осуществлялось методом ориентации на конкурентов. Суть его заключается в анализе рынка и ценовой политике конкурентов, на основании которого устанавливается оптимальная стоимость, которая будет обеспечивать конкурентное преимущество. В соответствии со стратегией ценообразования будет установлена цена на 20% ниже, чем у конкурентов (табл.1).

Таблица 1

Цена продукции

Вид продукции	Средняя цена конкурентов, руб.	Цена ООО «ЭкоДело», руб.
Ланч-бокс S	14,08	11,2
Ланч-бокс M	25,1	20
Ланч-бокс L	32,94	26,4

Для оценки рисков проекта был проведен анализ чувствительности для определения влияния изменения исходных параметров проекта (выручка, переменные и постоянные расходы, капитальные вложения) на его конечные характеристики, в качестве которого используется показатель NPV – чистая приведенная стоимость. На рисунке 5 представлен график чувствительности проекта к изменениям.

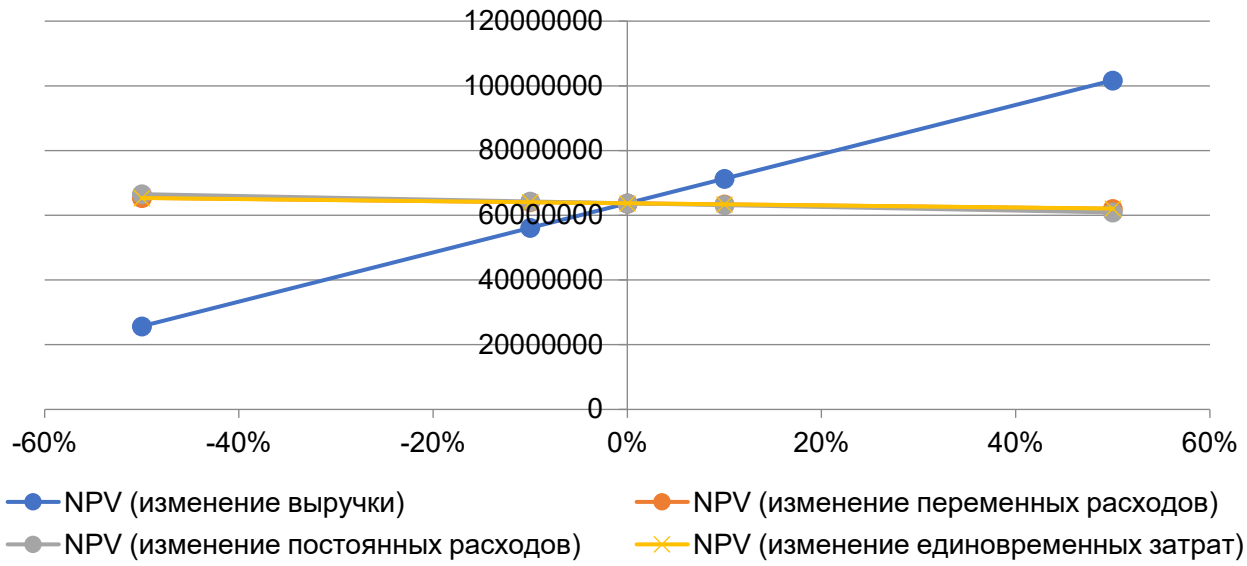


Рис. 5 – Анализ чувствительности проекта от изменения NPV по параметрам

Результаты анализа чувствительности показали, что, так как продукт (ланч-боксы) является высокорентабельным, то наибольшую угрозу для проекта представляет риск снижения выручки (сказывается резкий наклон кривой на графике), а наименьшую угрозу в равной степени представляют риски повышения переменных и постоянных затрат, а также капитальных вложений. «ЭкоДело» несет в полном объеме риск наличия убытков в плане снижения объемов продаж, что является следствием невысокой доли производственных издержек, то есть наибольший риск потери части прибыли заключается в недостижении планового объема реализации.

В таблице 2 сведены рассчитанные показатели инвестиционной привлекательности проекта.

Таблица 2

Показатели эффективности проекта в 2023 году

Показатель	Нормативное значение	Фактическое значение
Чистая приведенная стоимость (NPV)	NPV > 0	63 702 119,93 руб.
Внутренняя норма доходности (IRR)	IRR > r	151,91%
Не дисконтированный срок окупаемости (PP)	PP > горизонта расчета	0,5 мес.
Норма прибыли (ARR)	ARR > 0	190%
Индекс доходности (PI)	PI > 1	20,5
Рентабельность продаж (R)	R > 0	83%

По результатам расчетов экономической эффективности проекта можно сделать следующие выводы:

- чистая приведенная стоимость показывает превышение дисконтированных денежных потоков над инвестициями на 63 702 119,93 руб.;
- срок окупаемости проекта составляет менее одного месяца (такой быстрый срок объясняется высокой рентабельностью продукции, при низких затратах и постоянным спросом);
- индекс доходности больше 1, это показывает, что с одного рубля вложенных инвестиций, проект приносит 20,5 рублей;
- внутренняя норма доходности (151,91%) превышает ставку дисконтирования (19%), это говорит, что у проекта есть значительный запас прочности;
- рентабельность продаж оценивается в 83%, что показывает прибыльность деятельности, то есть с одного рубля выручки предприятие получает 0,83 руб. прибыли от продаж.

Таким образом, рассчитав показатели экономической эффективности проекта по организации производства биоразлагаемой упаковки из кукурузного крахмала, можно сделать вывод, что он является эффективным и может быть принят ко внедрению.

Список использованных источников

1. Национальный экологический рейтинг. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://greenpatrol.ru/ru/stranica-dlya-obshchego-reytinga/ekologicheskiy-reyting-subektov-rf?tid=449 (дата обращения: 28.04.2022).
2. Канунникова К.И. Современное состояние рынка производства экологически чистой упаковки // Альманах научных работ молодых ученых Университета ИТМО – 2021. – Т.5. – Ч.1. – С. 219–222.
3. Минко И.С. Бизнес-планирование инновационных проектов: Учебное пособие. – Санкт-Петербург: НИУ ИТМО; ИХиБТ, 2014. – 171 с.

УДК 625.31

РАЗРАБОТКА МЕТОДА ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ В СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ РОБОТАМИ НА СФЕРИЧЕСКОМ ОСНОВАНИИ

Карташова М.В.

Научный руководитель – Поляков Н.А., кандидат технических наук, доцент факультета систем управления и робототехники, ведущий научный сотрудник научно-производственного центра "Прецизионная электромеханика"

fawntiog@gmail.com

Ключевые слова

Управление роботом, мобильные роботы, линейные системы управления с обратной связью, синтез систем управления, управление движением, планирование движения.

Исследования, связанные с управлением динамически-стабильными объектами, сегодня крайне популярны в робототехнике. Класс роботов на сферическом основании, как объект исследования, выделяется в этой области, благодаря маневренности и устойчивости к возмущающим воздействиям. Такие роботы могут найти применение в качестве ассистентов человека во многих сферах жизни - начиная от настольного робота-органайзера, и заканчивая более сложными конструкциями высотой в человеческий рост, пригодными для работы в медицинских учреждениях или на производстве.

Многие зарубежные университеты к настоящему времени представили свои работы по изучению данного класса роботов. Наиболее известны результаты Швейцарского федерального института технологий и Университета Тохоку Гакуин, где были проведены исследования стабильности разработанных ими прототипов роботов, балансирующих на сферическом основании.

Наиболее совершенный в техническом отношении робот на сферическом основании был выпущен в Университете Карнеги Меллона. Эта работа известна под названием робота-ассистента BallBot’a [1]. В Университете ИТМО проводились исследования, посвященные синтезу алгоритмов обеспечения устойчивости динамически стабильных роботов на сферическом основании.

Однако, практически все разработчики и исследователи систем на сферическом основании ставили задачу поддержания равновесия робота без дополнительной полезной нагрузки. Так, например, несмотря на то, что технически наиболее совершенный робот на сферическом основании BallBot был снабжен манипуляторами-руками, он не был предназначен для самостоятельного переноса каких-либо грузов.

Таким образом, можно заключить, что на сегодняшний день для роботов на сферическом основании нет типовых решений для выбора параметров конструкции, исходя из требований к нагрузке. Исследования влияния параметров нагрузки (масса, момент инерции, центр тяжести) на параметры системы управления и разработка полноценной масштабной модели робота на сферическом основании могли бы дать основу для синтеза типовой аппаратной платформы. Это, в свою очередь, открывает возможности для перехода на более совершенный уровень разработки роботов на сферическом основании и алгоритмов управления ими, в том числе алгоритмов управления группой роботов, где преимущества роботов на сферическом основании раскрываются наилучшим образом благодаря особенностям их конструкции.

Решение задачи балансировки с вариативной нагрузкой, а также методика выбора оптимального привода систематизирует разработку аппаратной платформы роботов на сферическом основании. При этом, поскольку решения такой задачи РФ в настоящее время не предложено, публикация результатов данного исследования в открытых репозиториях будет востребована научным и инженерным сообществом.

Сформулированная задача сводится к созданию математической модели для верификации сохранения равновесия робота на основе таких параметров как расстояние между центрами масс, момент инерции балансирующего груза, масса и радиус сферического основания при балансировке; необходимо продемонстрировать преимущество динамической стабильности такой конструкции и продемонстрировать устойчивость к внешним возмущающим воздействиям; необходимо провести оценку требований к приводу на основе проведенных экспериментов.

В рамках данной задачи требуется:

1. Разработать математическую модель робота на сферическом основании, с учетом массогабаритных параметров грузомакета.
2. Разработать методику синтеза параметров регуляторов системы управления робота на сферическом основании в пакете программ Matlab/Simulink.
3. Провести оценку требований к системе электропривода по моменту, который приложен к поверхности сферического колеса, исходя из результатов предыдущих исследований.

Движение по сферическому колесу, а точнее балансирование на нем, представляет собой усложненный вариант функционирования обратного маятника. Его балансирующее положение возможно благодаря линейному перемещением основания.

Итак, система представляет собой совокупность линейно движущегося тела и тела, вращающегося вокруг некоторой оси. Упрощенная модель представляет собой жесткую полую сферу с определенным радиусом и массой в качестве основания, и цилиндр, балансирующий на ней, имитирующий балансирующую часть робота. Рисунок 1 демонстрирует схематичное изображение такой конструкции в координатной плоскости xz. Управляющими воздействиями являются вращательные моменты Torque_x и Torque_y, которые подаются на расположенные ортогонально вращающиеся ролики, вращающие сферическое основание (на рисунке 1 не указаны).

С помощью уравнений движения такого сложного объекта была создана математическая модель будущего робота.

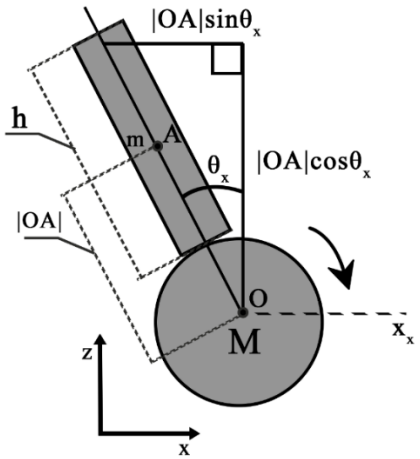


Рис. 1 – Упрощенная модель робота на сферическом основании, используемая для вывода уравнений движения

Обычно, при создании такого класса роботов, задаются только статические начальные условия, которые на слайде обозначены нулевым индексом. Вариативная нагрузка может быть характеризована переменными составляющими начальных условий dm, dL, dJ. В рамках данного анализа было проведено исследование работы системы с переменной массы балансирующего груза.

Так как полученная система уравнений является нелинейной, содержит тригонометрические составляющие, для упрощения синтеза системы управления она была линеаризована [2].

При проектировании системы целесообразно использовать модальный метод управления [3]. В этом случае линейный регулятор, используемый для управления роботом,

представляет собой регулятор состояния. Метод построения регулятора состояния основан на создании матрицы обратной связи, которая формирует управляющее воздействие таким образом, чтобы погрешность движения по координате x сводилась к нулю. Однако этот тип контроллера позволяет управлять только свободным движением объекта. Для управления вынужденным перемещением необходимо усовершенствовать регулятор состояния до регулятора состояния с внутренней моделью, которая будет учитывать внешние воздействия.

Когда необходимо переместить объект, заданием является конечная координата на плоскости. И система управления воспринимает расстояние между начальным и конечным положениями как ошибку. В реальной системе момент, развиваемый электроприводом, ограничен, что выражается в ограниченном быстродействии системы.

Для таких условий работы существуют формирователи траектории [4]: они позволяют объекту не воспринимать конечную и начальную координаты отдельно друг от друга, а связывают их некой траекторией. Реализация траекторного движения осуществляется путем наложения ограничений движения по максимально допустимым скорости и ускорению, что позволяет обеспечить робастность системы с электромагнитным преобразователем на основе выбора электрической машины.

На рисунке 2 представлена зависимость максимального крутящего момента от массы [5]. Как видно из графиков, в замкнутой системе управления с увеличением массы крутящий момент увеличивается пропорционально. Такая зависимость говорит о том, что при вариации массы нагрузка на привод будет меняться линейно.

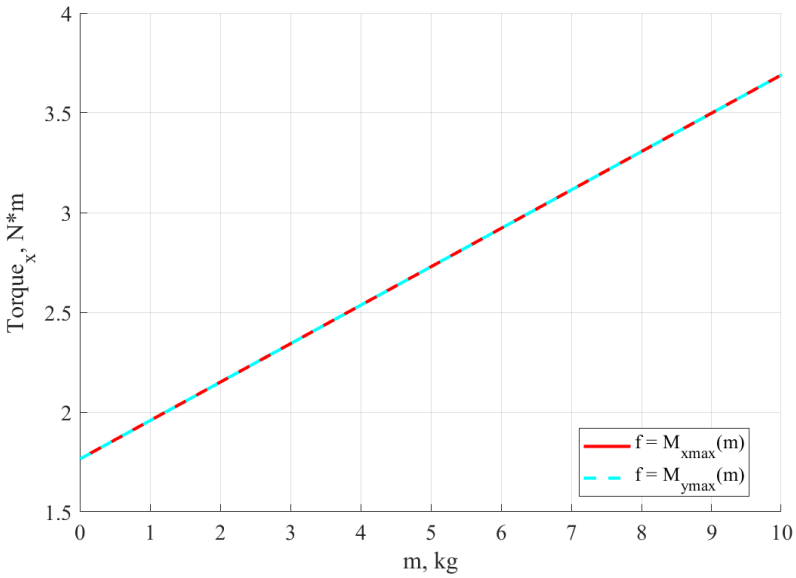


Рис. 2 – Зависимость максимального крутящего момента от массы

Как уже было замечено ранее, одним из пунктов, упрощающих разработку динамически стабильных роботов такого класса, является создание методики выбора оптимального привода.

В данной работе будут освещены скоростные и моментные требования к приводу. А характеристики привода, в свою очередь, будут необходимы для дальнейшего аналитического расчета коэффициентов регулятора, а также для разработки аппаратной части системы питания.

Скоростной параметр представлен максимальной допустимой линейной скоростью основания, заданной настройками задатчика траектории системы управления.

Номинальный вращательный момент оценивается на основе имитационного моделирования при условии движения с постоянной скоростью и нагрузкой в виде грузомакета. Под максимальным моментом подразумевается момент, необходимый для разгона системы до установившегося значения максимальной скорости при номинальной нагрузке, этот параметр также позволяет задать уровень токоограничения, который

закладывается в контур тока системы управления. В результатах для дальнейших исследований масса нагрузки была ограничена до 1,5 кг и исходя из этого были определены требования к приводу.

Созданная ранее модель дает представление о габаритах конструкции и позволяет обеспечить динамическую устойчивость робота при траекторном движении, определить максимальный вращательный момент и линейную скорость сферического основания.

Можно модифицировать данную модель путем введения механической связи между сферическим основанием и роликами, на которые будет передаваться вращательное движение с вала двигателя. Таким образом, вращательный момент вала двигателя должен учитывать коэффициент редукции при передаче момента «ролик-основание» (передаточное число) и коэффициент трения «ролик-основание». В полученной модели можно корректно определить требования по скорости и вращательному моменту к двигателю. Как итог, была создана формула для пересчета момента двигателя, исходя из таких параметров как коэффициент редукции «ролик-сферическое основание», коэффициенты динамического и статического трения и коэффициента упругости между роликами.

На рисунке 3 представлены результаты моделирования, которые отражают требования по максимальному моменту для привода. Моделирование проводилось при коэффициенте редукции $k_{ред} = r_rolik/R = 0{,}25$ (о.е.), коэффициенте упругости $k_{упр} = 1000$ (Н·м), коэффициенте статического трения $k_{ст\ тр} = 0{,}05$ (о.е.). Максимальный вращательный момент основания составляет $M_{sph\ max} = 0{,}31$(Н·м), а максимальный вращательный момент ролика – $M_{rolik\ max} = 0{,}095$(Н·м).

Номинальный момент, необходимый для поддержания нужной скорости в течение длительного периода, в четыре раза меньше максимального.

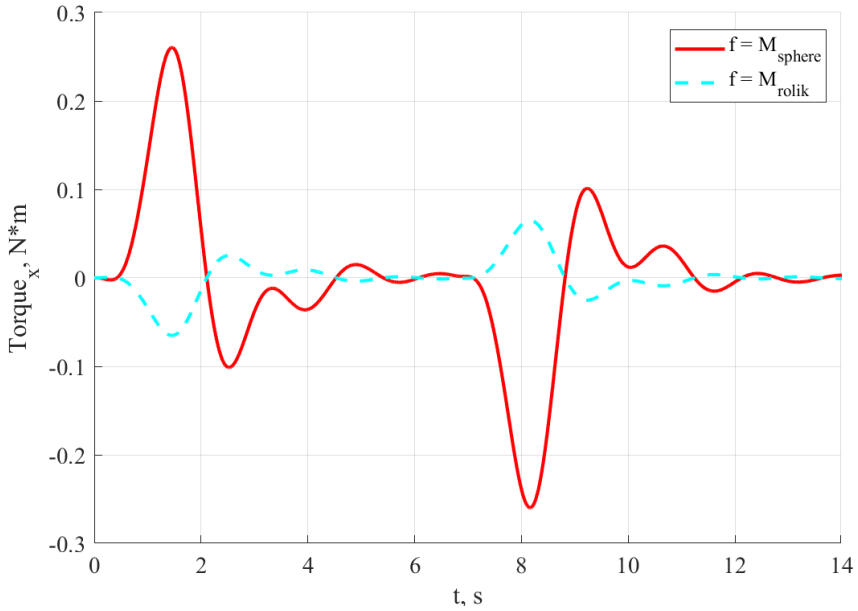


Рис. 3 – График зависимости вращательного момента сферического основания и ролика при траекторном движении

На рисунке 4 представлены результаты моделирования, которые отражают требования по скорости для привода. Как уже было указано ранее, ограничения по скорости в задатчике траектории входят в контур регулирования положения и влияют на параметры выходных величин, но не являются предельными значениями для них.

Моделирование проводилось при коэффициенте редукции $k_{ред} = R/r_rolik = 4$ (о.е.) и шаге моделирования $t_{step} = 10^{-4}$, а следовательно, частоте обработки обратной связи 1 кГц. Максимальная линейная скорость основания составляет $v_{sph\ max} = 0{,}98$(об/с), а максимальная линейная скорость ролика – $v_{rolik\ max} = 3{,}87$ (об/с).

Результаты моделирования подтвердили работоспособность данной системы с обратными связями по положению и скорости с частотой дискретизации 1 кГц.

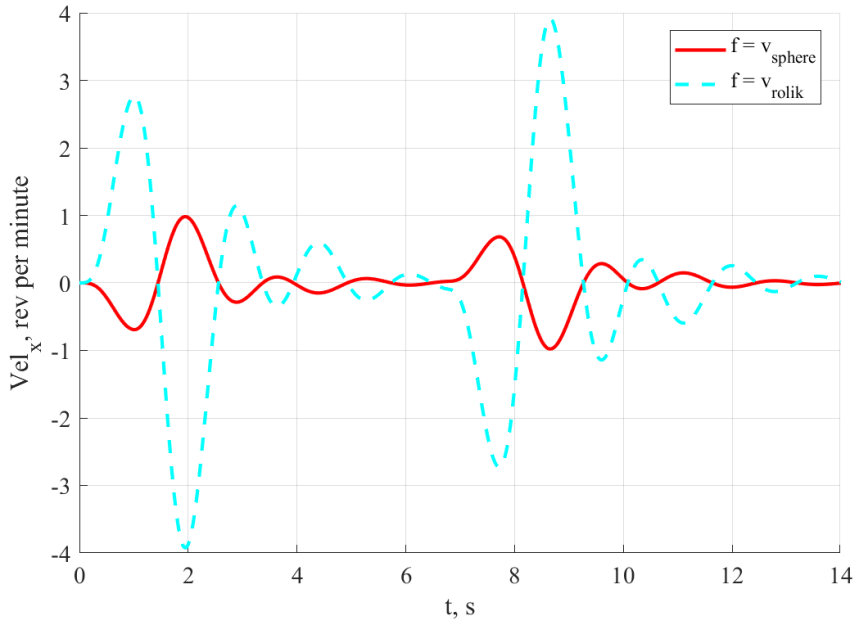


Рис. 4 – График зависимости линейной скорости сферического основания и ролика при траекторном движении

На основе полученных данных был выбран привод GM3506 Brushless Gimbal Motor, который можно считать подходящим в данных условиях. Стоит заметить, что он удовлетворяет параметрам системы в отношении требований по моменту при условии, что коэффициентом редукции не меньше 4. Выбранный двигатель также снабжен энкодером, который планируется использовать в дальнейшем как датчик положения. Он рассчитан на частоту 11,2 кГц, а следовательно, для работы на заданной скорости энкодер удовлетворяет требованиям системы.

Практическая новизна приведенных исследований состоит в синтезе математической модели, которой достаточно для того, чтобы экспериментальным путем определить требования к приводу, исходя из определенных параметров нагрузки. В частности, был сделан вывод о том, что при увеличении массы грузомакета увеличивается максимальный момент, вращающий основание, а следовательно, будет нужен более мощный привод. Также были проведены исследования влияния периодических импульсных возмущающих воздействий на систему: объект сохраняет устойчивость, что свидетельствует о высокой робастности системы. Был проведен тест отработки траекторного движения; он демонстрирует наличие перерегулирования в реальной системе, что скорее всего является последствием упрощения реальных нелинейных уравнений движения и невозможностью комплексного регулирования ограничителей в контуре положения.

В дальнейшем задача балансирования с грузом может быть рассмотрена как задача переноса большого тяжелого объекта сложной формы и с произвольным центром масс. Эту задачу можно решить путем использования группы роботов.

Исследования влияния параметров нагрузки (масса, момент инерции, центр тяжести) на параметры системы управления робота могли бы стать основой для создания типовых решений для выбора параметров конструкции исходя из требований к нагрузке. Таким образом, решение задачи балансировки с вариативной нагрузкой, а также методика выбора оптимального привода систематизирует разработку аппаратной платформы роботов на сферическом основании. Результаты проекта позволят создать научную основу для перспективных технологий, имитационные модели роботов на сферическом основании с грузомакетом могут быть использованы для разработки новых методов групповой робототехники, в частности управления группой роботов с применением роевого интеллекта, мультиагентных систем и др.

Список использованных источников

1. Lauwers T.B., Kantor G.A., Hollis R.L. A Dynamically Stable Single-Wheeled Mobile Robot with Inverse Mouse-Ball Drive // Proceedings 2006 IEEE International Conference on Robotics and Automation. – 2006 – Pp. 2884-2889.
2. Brunton S.L., Kutz J.N. Data-Driven Science and Engineering: Machine Learning, Dynamical Systems, and Control – Cambridge University Press, 2017 – P.192-197.
3. Григорьев В.В., Журавлёва Н.В., Лукьянова Г.В., Сергеев К.А. Синтез систем автоматического управления методом модального управления – С-Пб: СПбГУ ИТМО. – 2007. – С. 19-53.
4. Lovlin S., Abdullin A., Tsvetkova M., Mamatov A. Real-Time Optimal Trajectory Planning for Precision Tracking Systems with Dynamic Constraints // 26th International Workshop on Electric Drives: Improvement in Efficiency of Electric Drives (IWED). – 2019. – Pp.1-6.
5. Kartashova M.V., Poliakov N.A., Moiseenkova E.D. Dynamic Stability Analysis of Robots on Spherical Base with Variable Load Mass // 29th International Workshop on Electric Drives: Advances in Power Electronics for Electric Drives, IWED 2022. – 2022. – 6 p.

УДК 004.94

РАЗРАБОТКА МЕТОДА ОЦЕНКИ ПОТЕНЦИАЛА РАЗВИТИЯ УЛИЦ

Погостина А.С.

Научный руководитель – Митягин С.А., кандидат технических наук, директор Института дизайна и урбанистки, старший научный сотрудник национального центра когнитивных разработок, старший научный сотрудник исследовательского центра в сфере искусственного интеллекта "Сильный искусственный интеллект в промышленности"

annapogostina@gmail.com

Ключевые слова

Улица, специализация улицы, жизнеспособность улицы, качество городской среды, пространственный анализ.

Улица аккумулирует значительную часть городской активности. В пространстве улицы осуществляются большинство функций города: экономическая (занятость, торговля), социальная (взаимодействие горожан, культурные мероприятия) и другие. На современном этапе развития урбанистической мысли трансформация любого элемента городской среды считается неотделимой от остальной её структуры, таким образом, модификации подразумевают комплексное исследование состояния пространства. При этом, естественно, что изменения могут быть как точечными, связанными с конкретным объектом или участком, а могут касаться целиком той или иной инфраструктуры города, например, системой обеспечения беспроводным Интернетом. Улица является одним из проявлений свойств городского пространства, и, следовательно, её развитие подчиняется нормам для единого города.

Отталкиваясь от вышеперечисленного, теоретический обзор, заложенный в данное исследование, был направлен на рассмотрение улицы как одновременно самостоятельного пространства, так и неотделимой части городской среды. В первую очередь были проанализированы характеристики элементов уличного пространства, выявленных на основании функций улицы. Далее были исследованы различные подходы к оценке качества городской среды. На основании этого анализа получилось, во-первых, определить присутствие улицы или её отдельных элементов в методах, направленных на изучение состояния города, и, во-вторых, резюмировать, какие компоненты городской среды принимаются за базовые в оценке качества городской среды, которая находит отражение и на уровне улицы; к ним относятся экология, безопасность, транспорт, экономика и социальная среда (например, [1]).

Улица, с одной стороны, рассматривается как основа для формирования у горожан и гостей города «чувства места» [2], а с другой стороны, как центр аккумуляции благ, что отсылает к понятию «Жизнеспособность», которое стоит определять как способность улицы удовлетворять и поддерживать активные процессы пользователей в её пределах [3]. Динамическое целевое развитие связано скорее с развитием источников экономических благ, и поэтому были проанализированы соответствующие методы оценки жизнеспособности. Подобные методы используют различные проявления компонентов городской среды, перечисленных выше. Например, плотность объектов торговли или оценку комфорта нахождения на улице [4].

Развитие улицы через изменение её элементов обладает актуальностью для большинства современных городов, ввиду распространенной проблемы неравномерного роста городских территорий, приводящего к моноцентричности [5]. Таким образом, проявляется необходимость в универсальном инструменте выявления улиц, допускающих размещение новых активностей. Подобный инструмент должен быть. Следуя современным требованиям к подобным инструментам, ставится условие автоматизированности и использования открытых данных.

На основании этих принципов и теоретического исследования, был разработан метод оценки потенциала развития улиц.

Метод можно условно разделить на два блока:

– расчет Развитости сферы торговли и услуг улицы — показателя зрелости самого динамичного компонента городской среды;
– формирование Специализации улицы — профиля улицы, характеризующего её текущее функциональное назначение.

Системный подход к описанию разработанного метода может быть представлен следующей диаграммой классов (рис.1):

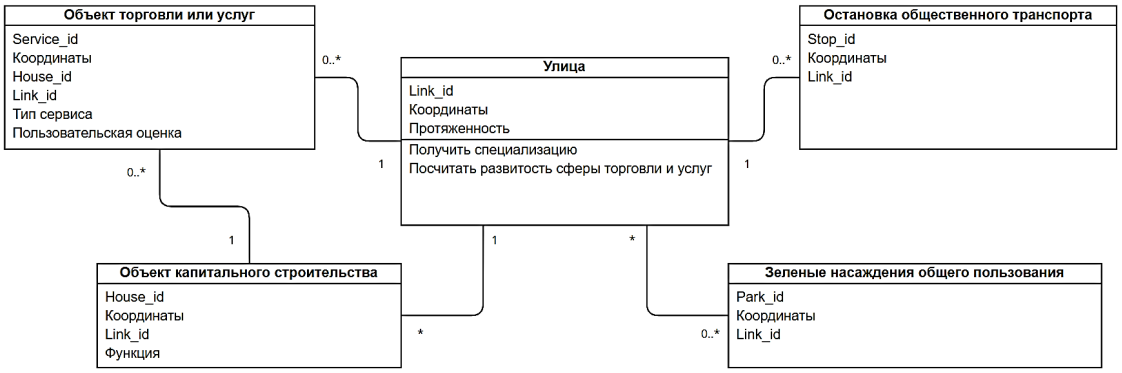


Рис. 1 – Диаграмма классов системы оценки потенциала развития улицы

Главной сущностью или классом является «Улица», которая связана со всеми остальными классами. К основному классу также относятся методы по оценке развитости сферы услуг и формированию специализации улицы.

Метод состоит из следующих этапов:

1. Сбор данных.

В рамках первого этапа необходимые наборы данных выгружаются из открытых источников. Перечень представлен в таблице 1.

Таблица 1

Необходимые наборы данных для реализации метода оценки потенциала развития улиц

Набор данных	Параметры	Отклик	Источник данных
УДС	Местоположение	Географические координаты	OSM
	Протяженность	Число	Расчет
Здания	Местоположение	Географические координаты	OSM
	Функция	Класс	
Сервисы	Местоположение	Географические координаты	Яндекс.Карты
	Вид	Класс	
	Оценка	Число	
ЗНОП	Местоположение	Географические координаты	OSM
Остановки ОТ	Местоположение	Географические координаты	OSM

2. Предварительная обработка данных.

Предварительная обработка данных состоит из обогащения данных и их пространственного соединения.

Каждому виду торговли и услуг присваивается ранг, которым будет определяться значение улицы в торговом секторе. Ранжирование производится на основе Теории центральных мест Вальтера Кристаллера [6]. Предлагается деление на три уровня, где I ранг – это крупные центральные места, обслуживающие большую территорию, а III ранг – это мелкие центральные места, удовлетворяющие потребности значительного числа людей на небольшой территории (табл.2).

Таблица 4

Ранжирование типов сервисов на примере тестирования метода

Ранг	Объект торговли и услуг
I	Ресторан, банкетный зал, кинотеатр, торговый центр, музей, театр
II	Кафе, фаст-фуд, бар, пиццерия, суши, доставка еды, банк, салон красоты, магазин одежды, магазин товаров для творчества, магазин товаров для животных, канцелярские товары
III	Кофейня, столовая, булочная, продовольственные товары, бытовые товары

Далее у набора данных по зданиям, выгруженным, например, из Open Street Map, переклассифицируются функции в четыре группы: общественно-деловая, производственно-складская, жилая и коммерческая функции.

Пространственное соединение производится путем добавления буфера линейным объектам улиц и последующего координирования всех наборов данных по уникальному идентификатору улиц.

3. Расчет показателей.

Расчет Развитости сферы торговли и услуг предполагает расчет четырех показателей, их нормализацию и расчет интегрального показателя M (от англ. «maturity). Формулы представлены ниже (1–6):

$$V = \frac{n_{tl}}{N_t}, \quad (1)$$

где V (от англ. «variety») – многообразие сервисов; n_{tl} – количество уникальных типов сервисов, представленных на улице (линке); N_t – количество уникальных типов сервисов, заявленных в анализируемом пространстве.

$$Q = \frac{\Sigma_{rl}}{n_{sl}}, \quad (2)$$

где Q (от англ. «quality») – качество сферы услуг улицы; Σrl – сумма оценок объектов торговли и услуг, расположенных в пределах улицы (линка); n_{sl} - количество торговых объектов, расположенных в пределах улицы (линка).

$$D = \left(\frac{n_{sl}}{l}\right) * 100, \quad (3)$$

где D (от англ. «density») – Плотность сферы услуг; n_{sl} – количество торговых объектов, расположенных в пределах улицы (линка); l – протяженность улицы (линка) в метрах.

$$S = \frac{n_{sl}}{n_{hl}}, \quad (4)$$

где S (от англ. «saturation») – Насыщенность сферы услуг; n_{sl} – количество торговых объектов, расположенных в пределах улицы (линка); n_{hl} – количество ОКС, расположенных в пределах улицы (линка).

$$x_{norm} = \frac{x - x_{min}}{x_{max} - x_{min}}, \quad (5)$$

$$M = \frac{1}{3}V_{norm} + \frac{1}{6}D_{norm} + \frac{1}{6}S_{norm} + \frac{1}{3}Q_{norm}. \quad (6)$$

Специализация формируется из совокупности стандартных кодовых значений, которые раскрывают роль улицы в городе (примеры кодовых значений представлены на рисунке 3).

Разработанный метод был протестирован на территории Василеостровского района Санкт-Петербурга. Данные были получены из Open Street Map и Яндекс-карты (для сервисов).

Результаты оценки развитости сферы торговли и услуг улиц на заданной территории представлены на картосхеме ниже (рис.2). Становится понятно, что торговое пространство неоднородно: очевидных кластеров не наблюдается, за исключением территорий вокруг станций метро. При этом наиболее высокие оценки зафиксированы в местах скопления людей (например, крупный жилой комплекс на улице Флагманской).

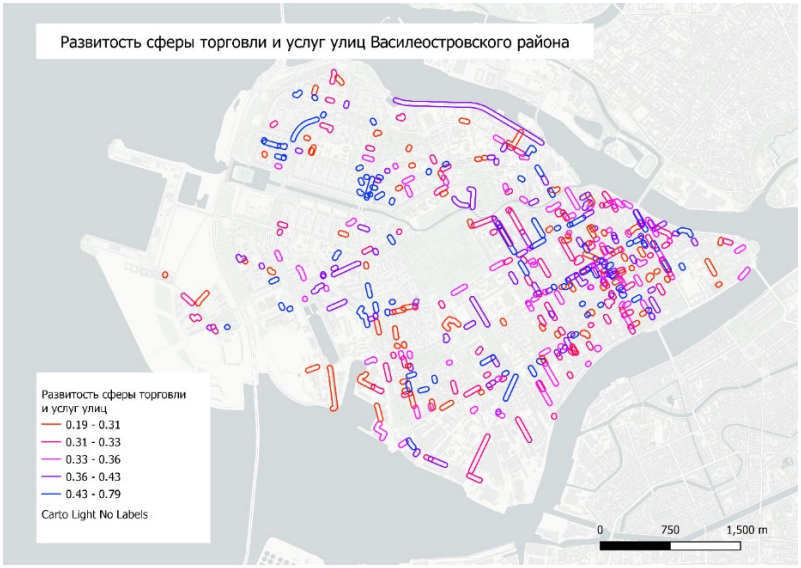


Рис. 2 – Картосхема улиц Василеостровского района, выделенных цветом по интегральному показателю Развитость сферы торговли и услуг

Наиболее частые комбинации списков специализаций улиц Василеостровского района представлены на графике и на картосхеме ниже (рис.3 и 4). Было выявлено, что наиболее распространены линки со зданиями общественно-делового назначения, не обладающими другими спецификациями. А если в пределах линка находятся торговые объекты – это в основном сферы услуг II ранга среднего и высокого качества обслуживания, расположенная в жилой застройке.

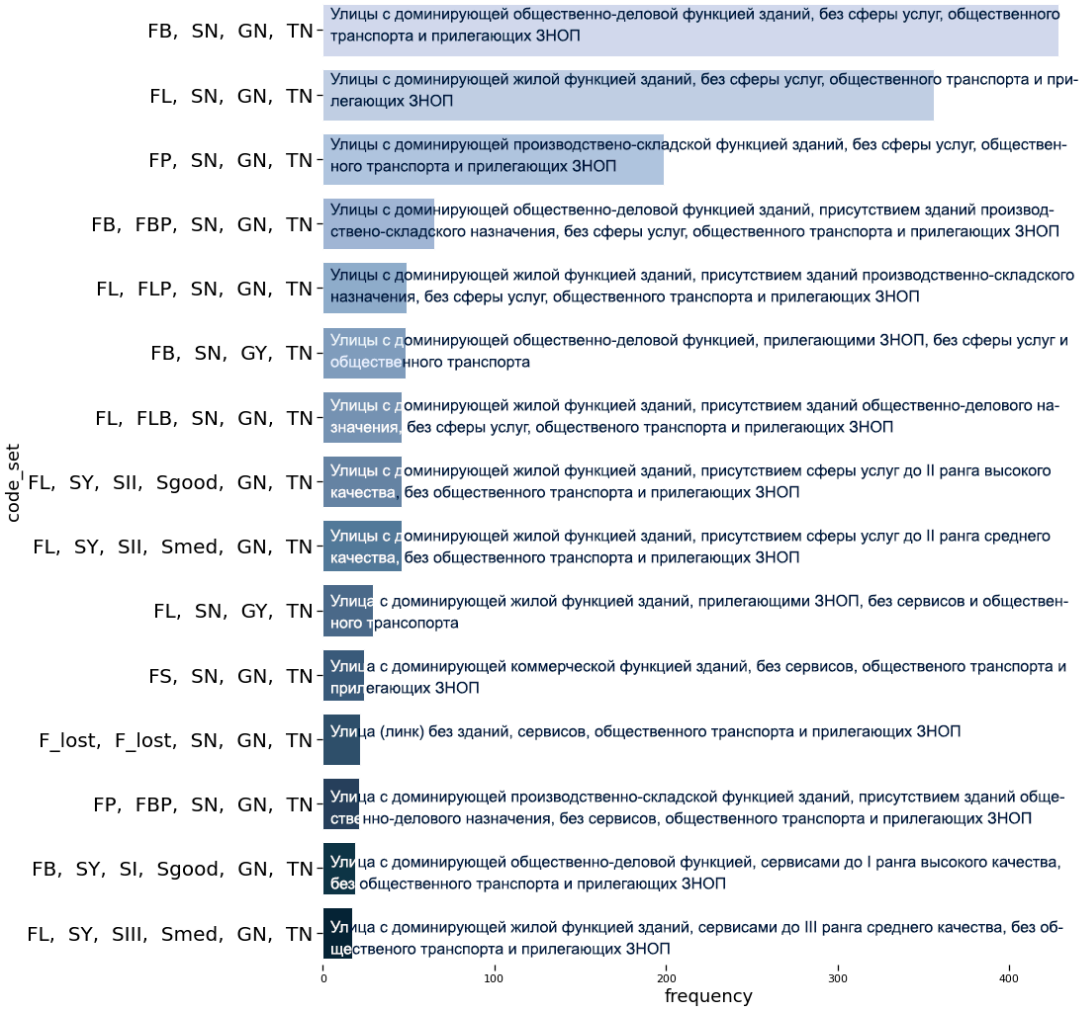


Рис. 3 – 15 наиболее частотных специализаций улиц Василеостровского района

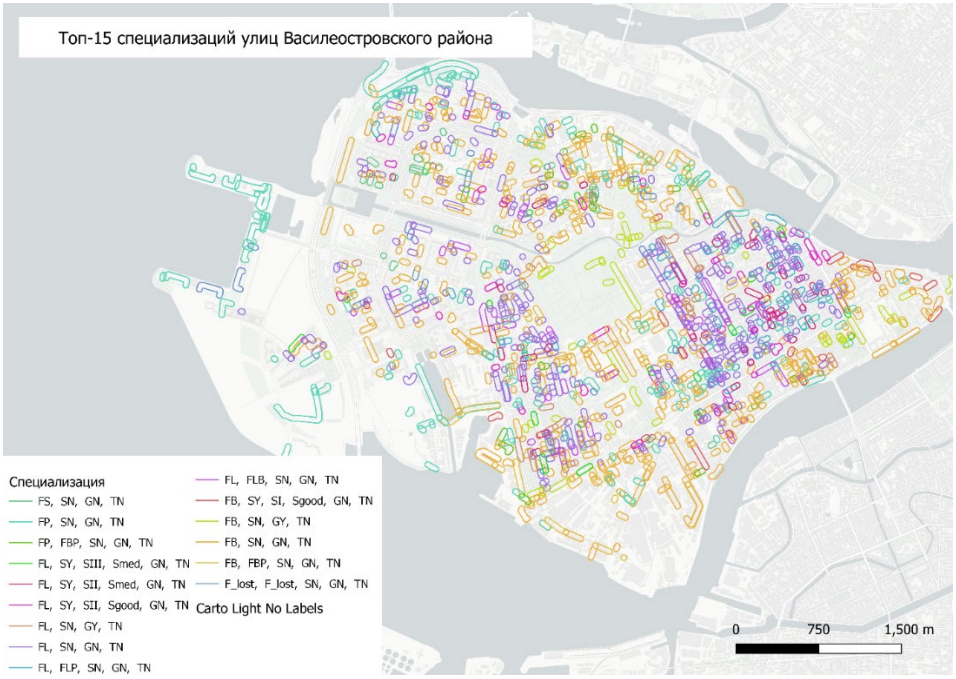


Рис. 4 – Картосхема улиц Василеостровского района, соответствующим 15 наиболее частотным специализациям

Помимо перечисленного, на основании специализаций могут формироваться разнообразные выводы о профиле улиц анализируемой территории. Списки специализаций выступают как самостоятельные идентификаторы и как инструменты сортировки при анализе графов. На основании полученных комбинаций можно выявлять потенциальные участки для развития. Например, специализация [FL, SN, GN, TN] может являться основанием для размещения объектов торговли и услуг (особенно II и III рангов для обеспечения жителями соответствующими товарами).

Тестирование метода определения развития улиц на территории Василеостровского района Санкт-Петербурга было произведено главным образом с целью оценить разработанный метод: выявить его сильные и слабые стороны, определить направления по его улучшению. Полученные результаты позволяют утверждать, что метод является пригодным аналитическим инструментом. Алгоритм охватывает широкий набор сущностей уличного пространства, он выступает не только как самостоятельный метод, но и создает предпосылки для более глубокого анализа компонентов, привлекающих внимание по результатам подсчетов потенциала развития улиц.

Вторичный метод определения специализации выступает как удобный инструмент классификации городского пространства. Помимо комплексности, очевидными достоинствами разработанного метода является универсальность и автоматизированность: алгоритм может быть применен на любой городской территории с помощью единой функции на вычислительной технике.

Основной проблемой разработанного метода стоит считать качество данных. Во-первых, наборы, выгруженные из OpenStreetMap наполнены «шумами», что привело к несопоставимой разнице между изначальным датафреймом и итоговым. Во-вторых, УДС была изначально «разрезана» на произвольные участки, отличающиеся по протяженности. Из-за этого параметры разработанного метода могут стать причиной несправедливой оценки фактической улицы, например, в части специализации. В-третьих, получение данных по объектам торговли и услуг сопряжено с трудностями. В рамках тестирования они были выгружены из портала Яндекс Карты, однако, для коммерческого применения алгоритма данный способ не доступен.

Решениями перечисленных выше слабых сторон метода может стать дополнение алгоритма инструментами очистки сырых данных от «шумов», методами нивелирования пространственного неравенства линейных объектов, а также учета соседних участков при

определении специализации. Последнее позволит повысить точность при формировании профиля улицы, оно может быть реализовано как новая группа кодов специализации.

Наконец, тестирование было ограничено 24 типами объектов сферы торговли и услуг, однако, при использовании метода будет справедливо расширить перечень, что также поспособствует повышению точности результатов.

Список использованных источников:

1. Об утверждении методики формирования индекса качества городской среды. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 23 марта 2019 года №510-р, 2020.
2. تركي & Al-Obeidy, Musaab & Shamsuddin, Shuhana. (2014). Enter titlePhysical Appearance and its Roles in Influencing Sense of Place to Commercial Streets in Mosul City Center. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.researchgate.net/publication/281969402_Place_Attachment_in_Relation_to_Urban_Street_Vitality (дата обращения: 02.06.2022).
3. Montgomery J. Making a city: Urbanity, vitality and urban design // J. Urban Des. – 1998. – №3. – Pp. 93–116.
4. Jin X., Long Y., Sun W., Lu Y., Yang X., Tang J. Evaluating cities' vitality and identifying ghost cities in China with emerging geographical data // Cities. – 2017. – V.63. – Pp. 98–109. DOI: 10.1016/j.cities.2017.01.002.
5. Yue Y., Zhuang Y., Yeh A.G.O., Xie J., Ma C., Li Q. Measurements of POI-based mixed use and their relationships with neighbourhood vibrancy // Int. J. Geogr. Inf. Sci. – 2017. – №31. – Pp. 658–675.
6. Christaller B.J.W. Central Places in Southern Germany. Translated by Carlisle W. Baskin // Annals of the Association of American Geographers. – 1966. – V.73. – №1. – 230 p. DOI: 10.1111/j.1467-8306.1983.tb01395.x.

УДК 004.422.833

ОСОБЕННОСТИ РАЗРАБОТКИ МОБИЛЬНЫХ ПРИЛОЖЕНИЙ ДЛЯ УСТРОЙСТВ ПОД УПРАВЛЕНИЕМ ОС IOS С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ BLUETOOTH LOW ENERGY

Скрутелев Е.С.[1,2]

Научный руководитель – Горлушкина Н.Н.[2], доцент, кандидат технических наук, доцент факультета инфокоммуникационных технологий

1 – ООО «Эмлид системс»

2 – Университет ИТМО

ecinn@itmo.ru

Ключевые слова

Разработка, Bluetooth, Bluetooth Low Energy, BLE, iOS, мобильная разработка, мобильные устройства, Swift, CoreBluetooth.

Bluetooth разрабатывался как технология связи ближнего диапазона, цель которой заключается в замене проводов в таких технологических устройствах, как компьютерные мыши, персональные компьютеры, мобильные устройства связи и не только. В современном мире каждый из нас сталкивался с использованием технологии Bluetooth, в смартфонах, автомобилях и аудио оборудовании.

На текущий момент существуют два типа устройств [1], поддерживающих протокол Bluetooth (рис.1):

- с помощью Bluetooth Classic (BR/EDR) можно использовать беспроводные громкоговорители, автомобильные информационные системы и наушники,
- Bluetooth Low Energy (BLE) — это беспроводной стандарт с низким энергопотреблением, появившийся в версии стандарта Bluetooth 4.0. Его используют в приложениях, чувствительных к энергопотреблению (например, на батарейном питании) или на устройствах, передающих небольшие объемы данных с большими перерывами между передачами (например, различные сенсоры параметров окружающей среды или управляющие устройства, такие как беспроводные выключатели).

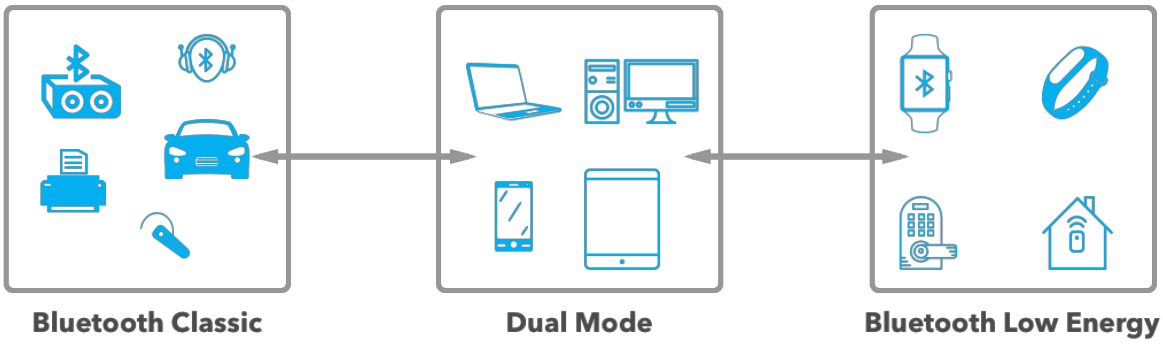


Рис. 1 – Типы Bluetooth-устройств

Оба типа устройств несовместимы, даже в случае выпуска одним брендом или с одной спецификацией. Из-за этого устройства с поддержкой протокола Bluetooth Classic не могут напрямую связываться с устройствами, использующими протокол Bluetooth Low Energy. Как следствие, некоторые устройства изготавливаются с модулями двух технологий, что обеспечивает поддержку обоих типов соединения (так называемые Dual mode Bluetooth устройства). Это позволяет таким устройствам обмениваться информацией с другими устройствами без учета типа протокола:

- официальный стандарт Bluetooth сочетает оба типа Bluetooth (Classic и BLE), что иногда затрудняет поиск документации, специфичной для BLE,

- в версии 4.0 спецификации Bluetooth, релиз которой произошел в 2010 году, BLE был введен в качестве стандарта,
- по ошибке BLE иногда называют bluetooth Smart, TLE или Bluetooth 4.0. Это ошибка, потому что эта версия включает оба типа беспроводных соединений,
- работа обоих стандартов проводится в частотном диапазоне – 2.4 ГГц, ISM-диапазон.

В связи с тем, что во многих приложениях Интернета Вещей (Internet Of Things) используются небольшие датчики, Bluetooth Low Energy приобрел статус наиболее часто используемого протокола связи (относительно Bluetooth Classic) в приложениях Интернета Вещей [2]. В декабре 2016 года компания Bluetooth Special Interest Group (SIG), регулирующая развитие стандарта беспроводной связи, выпустила новую версию протокола BT 5.0. В этой версии большая часть улучшений и нового функционала была предназначена для стандарта BLE, а не для Bluetooth Classic [3].

Существует также под протокол BLE, называемый Bluetooth Mesh. Протокол был выпущен в июне 2017 года, и для его работы необходимо полное использование BLE (программное обеспечение с использованием других программ или аппаратных средств). Однако Bluetooth Mesh не является частью основной спецификации Bluetooth.

Подводя краткие итоги, можно составить небольшую диаграмму, отображающую прогресс технологии Bluetooth Low Energy от его появления и до текущего момента (рис.2).

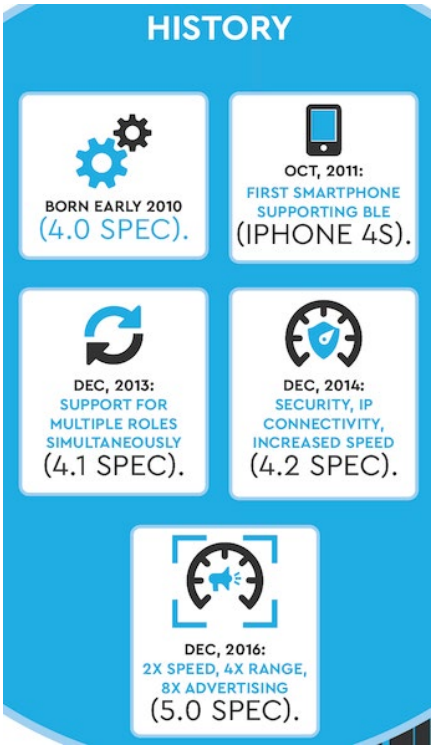


Рис. 2 – История Bluetooth Low Energy

Целью исследования является изучение способов реализации внедрения и применения технологии Bluetooth Low Energy в мобильном приложении под управлением операционной системы iOS.

Методика исследования. Для реализации цели исследования использовались методы аналитики программной документации, системный подход, метод анализа и синтеза.

Полученные результаты. В результате исследования, авторами получена информация об основных способах реализации рассматриваемой технологии внутри мобильных приложений под управлением операционной системы iOS. Полученные результаты были успешно применены и реализованы в мобильном приложении «ReachView 3» и доступны для ознакомления через магазин приложений «AppStore».

Технические особенности протокола Bluetooth Low Energy:

- используемый диапазон частот: 2.400 – 2.4835 ГГц,

- характеристикой диапазона частот является наличие 40 каналов, разделенных по 2 МГЦ каждый,
- начиная с BT версии 5.0 предельно допустимая скорость передачи информации по каналу составляет 2 Мбит/с,
- физическое окружение и используемый режим передачи данных напрямую влияют на расстояние, допустимое для использования технологией. Характерная дальность передачи данных составляет от 10 до 30,
- затраты на энергопотребление могут меняться в широком диапазоне. На это влияет реализация устройства, параметры протокола, а также используемого чипа. Характерное потребление энергии в среднем не превышает 15 мА,
- безопасность передачи данных зависит от устройства и реализации приложения, которое использует технологи. Технология не берет на себя ответственности за обеспечение безопасности и сохранности данных,
- при проведении операций, проводимых с использованием шифрования, используется алгоритм aes-ccm, длина ключа которого составляет 128 бит,
- основная цель использования технологии BLE заключается в передаче данных с использованием канала с низкой пропускной способностью. При передачи больших объемов данных наблюдается увеличение потребления электроэнергии, что сводит к нулю преимущество использования технологии,
- все спецификации BT, в том числе BLE, имеют обратную совместимость. Несмотря на это, стоит учитывать, что при этом будут существенно ограничены возможности технологии для более ранних версий [4,5].

Сравнение технологий Bluetooth Classic и Bluetooth Low Energy: следует отметить наличие существенной разницы между Bluetooth Classic и Bluetooth Low Energy с точки зрения технической спецификации, реализации и типов приложений, для которых они предназначены (табл.1).

Таблица 1

Сравнение Bluetooth Low Energy и Bluetooth Classic

	Bluetooth Low Energy	**Bluetooth Classic**
Способ применения	Применяется в сенсорах, различных системах управления устройствами, а также в приложениях, которые не требуют передачи больших объемов данных	Применяется в потоковых приложениях (аудио трансляции, передачи файлов)
Способ обнаружения устройства	Быстрое обнаружение и установка соединения обусловленное использованием трех каналов	Обнаружение происходит на 32 каналах
Оптимизация энергопотребление	Используется в устройствах с низким энергопотреблением, а также в устройствах с большим интервалом передачи данных	Не применим для устройств с низким энергопотреблением, но предоставляет большую скорость передачи данных
Количество используемых радиоканалов	Применяется 40 радиоканалов	Применяется 79 радиоканалов

Возможности технологии Bluetooth Low Energy:

- уменьшенное энергопотребление. Для сравнения, с другими технологиями передачи данных BLE потребляет значительно меньше электроэнергии. Эта задача решается благодаря глубокой оптимизации протокола, отключению передатчика при первой необходимости и передаче малых объемов данных на низкой скорости,
- бесплатный доступ к официальным спецификациям. Для получения доступа к спецификациям других протоколов вам необходимо стать членом официальной группы

или консорциума. Получить статус члена можно за солидную сумму (от 7500 до 35 000 долларов США). При использовании BLE, спецификация для основных версий (4.0–4.2, 5.0) доступна для загрузки с сайта Bluetooth абсолютно бесплатно,

- большое количество поддерживаемых устройств,
- низкая цена модулей и чипсетов относительно других технологий.

Ограничения технологии Bluetooth Low Energy: пропускная способность. Скорость передачи данных по каналу напрямую влияет на пропускную способность технологии, ограничивая ее. Зависит от применяемой версии протокола BT, для версии 4.2 и более старых наиболее характерна предельно допустимая скорость передачи данных в 1 Мбит/с. Начиная с версии протокола 5.0, на пропускную способность влияет режим Physical Layer, при котором она может варьироваться в диапазоне от 1 Мбит/с (как в более ранних версиях протокола) до 2 Мбит/с. Помимо этого, существуют ограничения пропускной способности, связанные с дальностью передачи данных. При высокой дальности технология ограничена, значения скорости находятся в пределах от 125 кбит/с до 500 кбит/с.

Скорость передачи данных для пользователя будет зависеть от таких факторов как:

- промежутки между пакетами данных: для спецификации определен зазор, составляющий 150 микросекунд, между передачей данных, что является требованием спецификации. Передача данных не может быть осуществлена в указанный промежуток времени,
- служебная информация внутри пакета: в пакетах данных содержатся системные данные, которые обрабатываются на низких уровнях приложений. Служебная информация не используется приложением, но учитывается в процессе передачи данных,
- требование на передачу служебной информации периферийным устройством: в соответствии со спецификацией, технологии обязана ожидать ответа от подключенного устройства на каждый передаваемый пакет данных. При отсутствии необходимой для передачи данных информации генерируется пустой пакет данных,
- переотправка пакетов данных: при возникновении ситуации, при которой пакет данных был утерян или имеет место возникновение помех от периферийных устройств, утраченные или поврежденные пакеты данных отправляются повторно,
- дальность передачи.

Диапазон действия технологии сильно ограничен, в связи с тем, что технологии BLE была спроектирована и разработана с учетом применения на коротких расстояниях. На дальность передачи данных могут оказывать влияние следующие факторы:

- при передаче данных на частоте 2.4 ГГц (диапазон ISM) на дальность передачи данных могут оказывать влияние металлические предметы, органика (включая тела людей), жидкости и стены,
- на дальность передачи данных также могут влиять направленность и коэффициент усиления антенны,
- в некоторых случаях, на характеристики антенны могут оказывать влияние материалы корпуса устройства,
- положение устройства, от которого зависит ориентация антенны также могут влиять на качество и дальность передачи данных,
- редко на дальность передачи данных может оказывать влияние необходимость поддержания шлюза интернет-соединения.

CoreBluetooth. Нативный фреймворк CoreBluetooth был добавлен компанией Apple в iOS 5. По своей сути, фреймворк представляет из себя обертку, над внутренней реализацией протоколов BLE, так как данные протоколы сложны сами по себе и предоставление прямого доступа для работы с ним могут вызывать непредсказуемые последствия. Для работы с технологией BLE используется класс «CBCentralManager». По своей сути он является менеджером, со своим делегатом и очередью, на которой он будет работать [7].

При начале работы с менеджером вызывается метод «centralManagerDidUpdateState», благодаря которому мы можем получить ответ от аппаратной части, содержащий информацию о состоянии Bluetooth на устройстве.

Теперь, когда менеджер уже запущен и имеется информация о состоянии Bluetooth, нужно запустить сканирование окружения для обнаружения устройств в зоне доступа. Для этого применяется метод «scanForPeripheralsWithServices», принимающий в качестве одного из атрибутов массив с CBUUID, представляющий из себя массив с уникальными идентификаторами атрибутов, которые используются в BLE. Он используется в качестве фильтра, чтобы найти устройства только с конкретным набором UID.

Однако, если в качестве аргумента передать nil будут показаны все устройства вокруг.

Для остановки работы сканера используется метод «stopScan». Поиск необходимо останавливать, так как иначе он будет продолжать работать, что негативно скажется на состоянии заряда аккумулятора пользователя.

При всех обнаружениях нового устройства делегат менеджера будет вызывать функцию «didDiscoverPeripheral». Функция будет возвращать нам найденное устройство, информацию о нем, а также относительный уровень сигнала RSSI в децибелах.

Одним из важных моментов является то, что всегда должна существовать сильная ссылка на обнаруженное устройство, так как без нее система отбросит его, сочтя неиспользуемым.

Для подключения к обнаруженному устройству необходимо использовать метод «connectPeripheral», в качестве аргумента выступает обнаруженное устройство. По окончанию работы с устройством, метод «cancelPeripheralConnection» произведет отключение от устройства. При подключении или разрыве соединения, делегат сообщит о произошедших изменениях.

В процессе исследования были обнаружены следующие особенности. Протокол Bluetooth предполагает использование таймаута на подключение, однако внутри операционной системы это не учитывается. iOS будет вызывать метод подключения к периферийному устройству до тех пор, пока не будет вызван метод разрыва соединения. Этот процесс может занимать продолжительное количество времени, поэтому необходимо ограничить его во времени, и при возникновении ошибки уведомить пользователя о том, что что-то пошло не так.

При подключении к периферийному устройству программе становятся доступны сервисы и характеристики этого устройства. При работе с устройством следует помнить о том, что методы периферийного устройства будут работать на том же потоке, что был определен при инициализации менеджера.

Заключительным моментом при работе с периферийными устройствами является то, что Apple не предоставляет прямого доступа к внутреннему API – iBeacons, использование которого позволило бы знать, насколько близко девайс находится к Bluetooth устройству. Для решения этой проблемы необходимо сохранять получаемый стек с метками даты и уровнем сигнала RSSI каждого сообщения, полученного в методе «dicoverPeripheral». Как правило, чем выше уровень сигнала, тем ближе устройство. Определить, находится ли устройство в доступном диапазоне или нет – достаточно сложно, так как само понятие достаточно гибкое. Можно использовать средневзвешенное значение сигнала.

В результате проведенного исследования, были выделены особенности реализации и внедрения технологии Bluetooth Low Energy в мобильные приложения под управлением операционной системы iOS. Рассмотренный вариант реализации технологии является универсальным и может быть применен для разработки любого приложения в рамках указанной платформы. Помимо этого, авторами были выделены особенности и недостатки рассматриваемой технологии, а также были найдены факторы, которые следует учитывать при внедрении технологии Bluetooth Low Energy в проект. Результаты работы авторов были внедрены в мобильное приложение «ReachView 3» для платформы iOS и доступны для ознакомления (рис.3).

Рис.3 – QR-код для ознакомления с приложением

Список использованных источников

1. Mohammad Afaneh. Intro to the Bluetooth Low Energy. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.novelbits.io/introduction-to-bluetooth-low-energy-book/ (дата обращения: 22.05.2022).
2. Jingcheng Zhang, Anna Larmo. Smart places with Bluetooth low energy mesh. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.ericsson.com/en/blog/2016/9/smart-places-with-bluetooth-low-energy-mesh (дата обращения: 22.05.2022).
3. Анна Ионова, Обзор протоколов беспроводной связи для Интернета Вещей. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://iot.ru/promyshlennost/obzor-protokolov-besprovodnoy-svyazi-dlya-interneta-veshchey (дата обращения: 22.05.2022).
4. Bluetooth Core Specification version 5.0 feature enhancements. [Электронный ресурс] /. – Электронная документация – Режим доступа: https://www.bluetooth.com/bluetooth-resources/bluetooth-5-go-faster-go-further/ (дата обращения: 22.05.2022).
5. Kevin Townsend, Carles Cufi, Akiba, Robert Davidson. Getting started with Bluetooth Low Energy. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.oreilly.com/library/view/getting-started-with/9781491900550/ch01.html (дата обращения: 22.05.2022).
6. Bob Proctor. Bluetooth vs. Bluetooth Low Energy: What the differences? [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.link-labs.com/blog/bluetooth-vs-bluetooth-low-energy
7. About core Bluetooth. [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://developer.apple.com/library/archive/documentation/NetworkingInternetWeb/Conceptual/CoreBluetooth_concepts/AboutCoreBluetooth/Introduction.html (дата обращения: 22.05.2022).

УДК 004.891.2

РАЗРАБОТКА МЕТОДА КЛАССИФИКАЦИИ ПРИЗНАКОВ ОБЪЕКТОВ ПО МАЛЫМ ОБУЧАЮЩИМ ВЫБОРКАМ ОПТИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Сметанин А.А.

Научный руководитель – Духанов А.В., доцент, доктор технических наук, доцент факультета цифровых трансформаций, ведущий научный сотрудник исследовательского центра в сфере искусственного интеллекта "Сильный искусственный интеллект в промышленности", начальник отдела образовательной деятельности

artem_smetanin@niuitmo

Работа выполнена в рамках темы НИР №621311 «Разработка технологии формирования моделей машинного обучения малого объёма в целях распознавания признаков на изображениях с высокой точностью при сверхмалых выборках данных».

Ключевые слова

Классификация, малая обучающая выборка, сиамские сети, квантизация.

Высокоточные модели распознавания широко используются в современном мире. Они есть в различных сферах нашей жизни, начиная от разблокировки телефона, заканчивая системой распознавания дефектов деталей и готовой продукции на заводах. Однако для обучения высокоточных моделей требуется большое количество размеченных изображений. При этом подготовка таких изображений зачастую является очень трудоемким и дорогостоящим процессом. Существует множество методов машинного обучения для распознавания признаков по фотографиям (оптическим изображениям) объектов. Но среди них не так много методов, которые стабильно работают для небольших обучающих наборов (менее 50 изображений на один класс). Методы и результаты предыдущих исследований, показанные в [1,2] легли в основу настоящей работы. Также, стоит заметить, что растет потребность решения задач классификации с помощью современных мобильных устройств, камеры которых незначительно уступают классическим фотоаппаратам. Перенос соответствующих моделей машинного обучения могу потребовать специальных процедур для ускорения вычислений и снижения объема используемой памяти. Поэтому настоящее исследование имеет высокий уровень научной актуальности и практического спроса.

1. Описание предыдущих и смежных исследований.

Стратегии обучения one-short-learning, показанные авторами в [4], показали свою эффективность при обучении сетей на малом наборе данных. Сиамские сети — это один из частых случаев подхода one-short-learning. Авторы [1,2] показали, что такой подход позволяет избежать переобучения и достичь улучшения точности для различных архитектур сетей. Для обучения сиамских сетей в [3], был показан подход обучения сети FaceNet с использованием функции потерь Triplet Loss. Такой подход показал эффективность обучения сетей по тройкам изображений и существенное повышение точности классификации.

Для более выгодного обучения для различных наборов данных применяют подход Transfer Learning (перенос обучения) [7,8]. Одним из важных факторов является выбор архитектуры трансферной сети и набора, на котором эта сеть была обучена. В [1] показана эффективность данного подхода в задаче определения признаков болезней растений по фотографиям их поверхностей, с использованием глубоких нейросетевых архитектур предварительно обученных на наборе данных ImageNet.

2. Метод формирования сжатых моделей машинного обучения для высокоточной классификации объектов по признакам, идентифицируемым по оптическим изображениям.

Основной задачей эксперимента является разработка метода, способного работать в условиях малой обучающей выборки. В работе [4] была показана эффективность метода переноса обучения. За основу трансферной сети экстрактора нами была выбрана архитектура MobileNetV2, которая отлично подходит под дальнейшее использование на модели на мобильных и веб платформах [6]. Также, чтобы избежать переобучения и улучшить точность классификации, был применен подход сиамских сетей со специальной функцией ошибки Triplet Loss [3] (далее – «триплет сеть»). Для классификации векторов, полученных в результате прохода изображения через сеть-экстрактор, использовалось два вида классификаторов: K-ближайших соседей (KNN) и многослойный персептрон (MLP). На рисунке 1 (схема «A») представлен процесс обучения сетей близнецов, а на схеме «B» представлен процесс получения выходов сети при помощи одной из обученных сетей близнецов, и процесс классификации объекта по средствам многослойного персептрона (MLP).

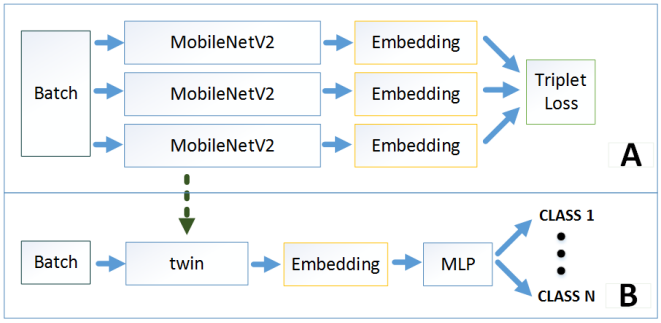


Рис. 1 – Описательная схема метода формирования моделей машинного обучения

3. Экспериментальное исследование эффективности разработанного метода.

Эксперименты проводились для различных наборов данных, содержащие изображения объектов разных типов: листья растений, цветы, объекты мусора (табл.1).

Таблица 1

Описание наборов данных

Название	Количество изображений	Количество классов	Краткое описание
PDD	611	15	Фотографии здоровых и больных листьев растений
Flower Recongnition	4242	5	Фотографии цветов из открытых источников
Small flower recongition	250	5	Укороченная версия набора Flower Recognition
Garbage	20000	28	Фотографии объектов мусора на ленте

Результаты проведенных экспериментов приведены в таблице 2.

Таблица 2

Результаты проведенных экспериментов с применением различных методов обучения

Методы	Точность
Сверточная нейронная сеть с пятью слоями	65 %
Перенос обучения	90%
Сиамская сеть	93%
Триплет сеть с классификатором KNN	96%
Триплет сеть с классификатором MLP	98%

Точность измерена для 100 различных изображений классов набора данных PDD из интернета. Можно заметить, что при использовании обычной сверточной сети не получается достичь высокой точности. Однако, с последовательным применением методов переноса обучения, сиамской сети и триплет сети с различными классификаторами удалось достичь

значительного прироста точности модели. Лучшие результаты показала триплет сеть с классификатором MLP. Эффективность данного подхода была доказана на других наборах данных. Результаты эксперимента представлены в таблице 3.

Таблица 3

Результаты экспериментов с помощью предложенного метода на разных наборах данных

Datasets	Accuracy
Flower	96.3 %
Small Flower	90 %
Garbage	93 %
PDD	98 %

Результаты для набора данных PDD показаны в матрице ошибок на рисунке 2, а также показано значения метрик precision (точность), recall (полнота) и F мера (рис.3).

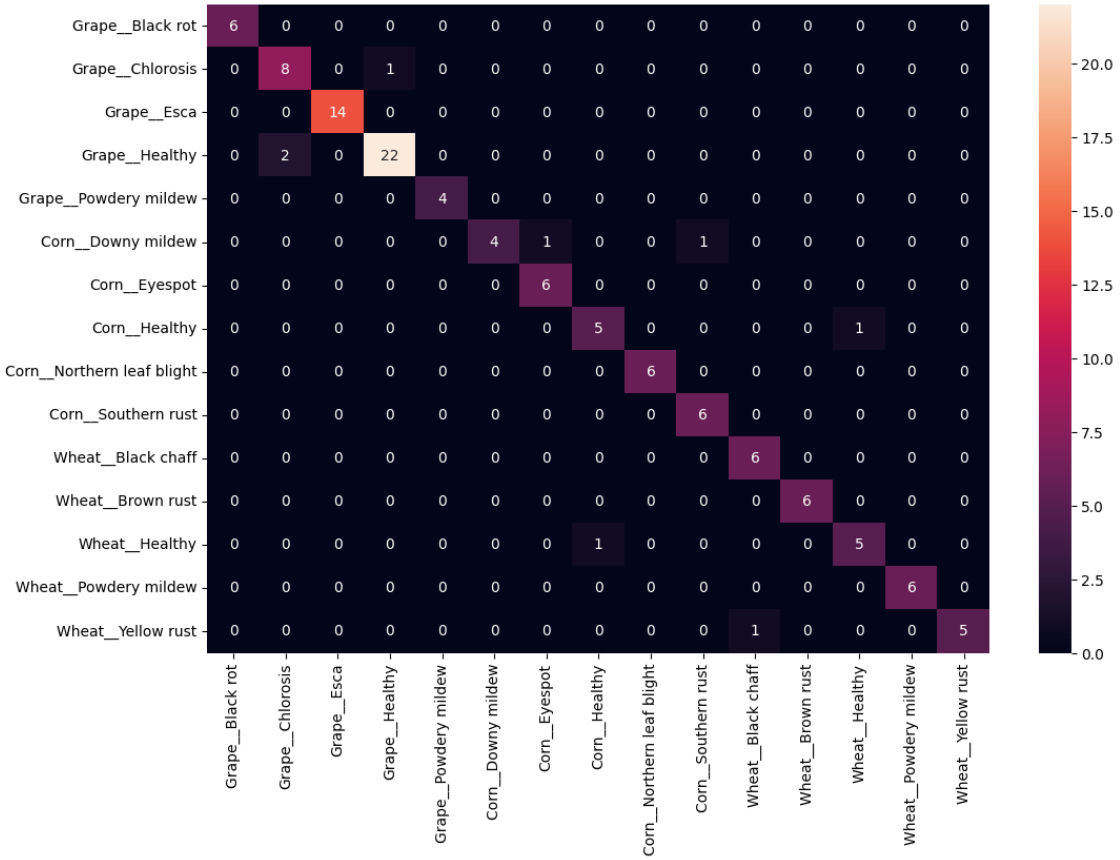


Рис. 2 – Матрица ошибок для тестового набора данных PDD

Category	precision	recall	f1-score
Corn Downy mildew	1.0	1.0	1.0
Corn Eyespot	0.82	0.88	0.86
Corn Healthy	1.0	1.0	1.0
Corn Northern leaf blight	0.96	0.92	0.94
Corn Southern rust	1.0	1.0	1.0
Cotton Alternaria leaf blight	1.0	0.66	0.8
Cotton Healthy	0.85	1.0	0.92
Cotton Nutrient deficiency	0.83	0.83	0.83
Cotton Powdery mildew	1.0	1.0	1.0
Cotton Verticillium wilt	0.857	1.0	0.92
Grape Black rot	0.87	1.0	0.94
Grape Chlorosis	1.0	1.0	1.0
Grape Esca	0.89	0.89	0.89
Grape Healthy	1.0	1.0	1.0
Grape Powdery mildew	1.0	0.84	0.92

Рис. 3 – Основные метрики машинного обучения для тестового набора данных PDD

Для оптимизации модели при использовании ее на мобильных и веб платформах были опробованы и реализованы методы статической и динамической квантизации. Результаты экспериментов представлены в таблице 4.

Таблица 4

Показатели качества работы сжатых моделей на разных наборах данных

Метрики	Исходная модель	Динамическая квантизация	Статическая квантизация
Точность для набора PDD	98%	98%	98%
Точность для набора Flower Recognition	96.3%	94.2%	96.4%
Точность для small Flower Recognition	90%	88%	87%
Точность для набора Garbage	93%	90%	94%
Время прохода 100 изображений, сек	14.2	14.2	2.6
Размер модели, МБ	18.6	13.2	7.6

Метод статического квантования показал наилучшее результаты. Время прохода изображений через сеть сократилось более чем в четыре раза, а размер модели уменьшился более чем в два раза относительно исходной, при этом точность распознавания изменилась не более чем на 2 – 3%.

4. Опытные образцы программного обеспечения

Для проверки и демонстрации работы сетей были реализованы опытные образцы программного обеспечения: приложение для платформы Android и чат-бот для Telegram. Пользователь загружает фотографию через интерфейс приложения и на выходе получает топ-предсказания выходов сети – наименования объектов, начиная от класса, имеющего максимальную вероятность. На рисунке 4 представлены скриншоты из приложений.

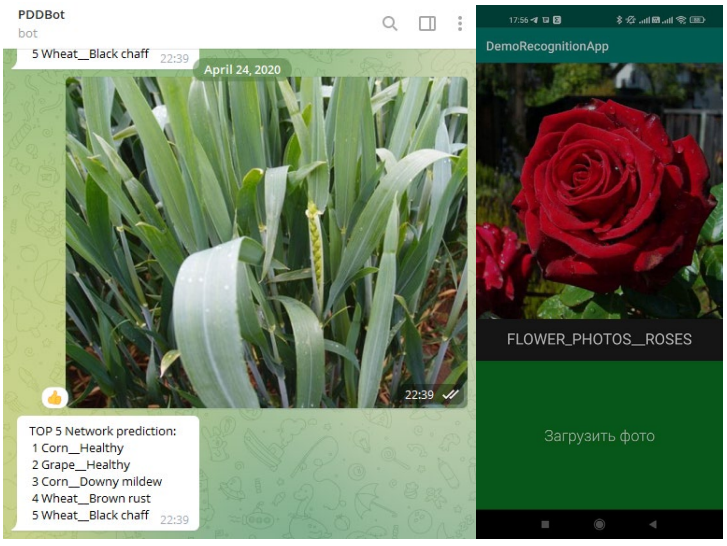


Рис. 4 – Интерфейсы опытных образцов программного обеспечения: слева – чат-бот для Телеграмм, справа – приложение для платформы Android.

В ходе работы был разработан и протестирован метод высокоточного распознавания признаков объектов по их оптическим изображениям с применением глубокого обучения на основе выборок малых объемов. Метод основан на сверточных нейронных сетях с применением методов переноса обучения, сиамских сетей с трехчленной функцией ошибки, а также с использованием многослойного перцептрона. Квантизация (сжатие) моделей машинного обучения позволило с несущественной потерей точности (не более трех процентов

при достигнутой величине более 90%) перенести процесс распознавания признаков объектов на мобильные устройства. При прочих равных условиях отмечено четырехкратное ускорение расчетов при двухкратном снижении размеров моделей машинного обучения.

Список использованных источников

1. Goncharov P., Uzhinskiy A., Ososkov G., Nechaevskiy A., Zudikhina J. Deep Siamese Networks for Plant Disease Detection // EPJ Web of Conferences. – EDP Sciences. – 2020. – V.226. – P. 03010.
2. Uzhinskiy A., Ososkov G., Goncharov P., Nechaevskiy A., Smetanin A., Oneshot learning with triplet loss for vegetation classification tasks. Computer Optics – 2021. – №45(4). – Pp. 608–614. DOI: 10.18287/2412–6179-CO-856.
3. Schroff F., Kalenichenko D., Philbin J. Facenet: A unified embedding for face recognition and clustering //Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition. – 2015. – Pp. 815-823.
4. Koch G., Zemel R., Salakhutdinov R. Siamese neural networks for one-shot image recognition // ICML deep learning workshop. – 2015. – V.2. – 8 p.
5. He K. et al. Deep residual learning for image recognition // Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition. – 2016. – Pp. 770–778.
6. Sandler M. et al. Mobilenetv2: Inverted residuals and linear bottlenecks // Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition. – 2018. – Pp. 4510–4520.
7. Torrey L., Shavlik J. Transfer learning // Handbook of research on machine learning applications and trends: algorithms, methods, and techniques. – IGI Global. – 2010. – Pp. 242–264.
8. He K. et al. Deep residual learning for image recognition // Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition. – 2016. – Pp. 770–778.

УДК 664.8/.9

ИССЛЕДОВАНИЕ И ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ МЯСНОГО ПРОДУКТА С ЗАЩИТНЫМ ПЛЕНКООБРАЗУЮЩИМ ПОКРЫТИЕМ НА ОСНОВЕ ХИТОЗАНА

Столбова Е.С.

Научный руководитель – Бройко Ю.В., кандидат технических наук, старший преподаватель факультета биотехнологий

elena.stolbowa-elena2016@yandex.ru, yuliyabroyko@mail.ru

Ключевые слова

Защитные пленкообразующие покрытия, хитозан, мясной продукт, пролонгирование срока годности, микробиологические показатели безопасности.

В настоящее время политика государства в области питания направлена на обеспечение продовольственной безопасности. Отечественными и зарубежными исследователями ведутся разработки новых технологий в области сохранения качества продуктов питания в процессе долгого хранения. Одним из таких методов является разработка новых видов упаковки. Применение защитных пленкообразующих покрытий на основе экологически безопасных компонентов обеспечивают сохраняемость продуктов питания длительное время. Кроме того, актуальным является разработка мясных продуктов с моделированным компонентным составом.

В связи с этим, целью работы является разработка и обоснование технологии мясного продукта, обогащенного пищевыми волокнами, с защитным плёнкообразующим покрытием на основе хитозана.

Объектами исследования были выбраны:

— сырье для производства защитных пленкообразующих покрытий:
- хитозан пищевой водо- и кислоторастворимый с молекулярной массой 200 кДа, степенью деацетилирования 83%, произведенный ООО «Биопрогресс» согласно ТУ 9289-067-00472124-03;
- метилцеллюлоза по ГОСТ 33310 – 2015;
- уксусная кислота концентрацией 99,8% по ГОСТ 61–75 (СТ СЭВ 5375-85);
- желатин пищевой по ГОСТ 11293–89. Желатин. Технические условия;

— составы пленкооразующих покрытий на основе хитозана:
- хитозан кислоторастворимый: желатин в соотношении 1:1 (растворитель – 1,5% раствор уксусной кислоты);
- хитозан кислоторастворимый: метилцеллюлоза в соотношении 1:1 (растворитель – 1,5% раствор уксусной кислоты);
- хитозан водорастворимый: желатин в соотношении 1:1 (растворитель – вода);
- хитозан водорастворимый: метилцеллюлоза в соотношении 1:1 (растворитель – вода);

— мясной продукт, на который наносили разработанные растворы пленкообразующих покрытий – колбаски «Чевапчичи».

Для оценки качества растворов пленкообразующих покрытий исследовали вязкость растворов, краевой угол смачиваемости пленки с продуктом.

Показатели вязкости определяли на ротационном вискозиметре. Условиями для проведения эксперимента является температура +20°С, скорость сдвига 300 $с^{-1}$, время поведения эксперимента 60 секунд. Результаты исследований представлены в таблице 1.

Таблица 1

Показатели вязкости растворов защитных пленкообразующих растворов на основе хитозана

Образец раствора пленкообразующего покрытия	Вязкость, Па·с
Хитозан $_{к-р}$ + желатин	0,031
Хитозан $_{к-р}$ + метилцеллюлоза	0,212
Хитозан $_{в-р}$ + желатин	0,007
Хитозан $_{в-р}$ + метилцеллюлоза	0,087

Для обеспечения оптимальных условий хранения продукта раствор для покрытия должен равномерно распределяться по продукту, и после этого образовывать пленку, которая обладает достаточной адгезией, когезией и сохраняемостью. Эффективность съедобных пленок зависит в первую очередь от контроля свойств смачиваемости, то есть угла контакта, поверхностной энергии, поверхностного натяжения, а также сил адгезии и когезии [1,2]. По результатам проведенных исследований установлено, что растворы пленок, в состав которых входит желатин, лучше смачивают поверхность и краевой угол смачиваемости равен 180º.

В состав разрабатываемого мясного продукта, обогащенного пищевыми волокнами – колбасок «Чевапчичи» включены: мясо индейки, пшеничная клетчатка, орегано, лук репчатый, паприка, куркума, чеснок, соевый соус. Рецептура продукта приведена в таблице 2.

Таблица 2

Рецептура колбасок «Чевапчичи»

Наименование компонента	Количество в 100 г продукта
Мясо индейки	75,00
Лук репчатый	14,40
Орегано	6,50
Соевый соус	3,00
Чеснок	1,20
Паприка красная	0,07
Куркума	0,06
Пшеничная клетчатка	0,03

Рассчитана пищевая и биологическая ценность колбасок «Чевапчичи». Пищевая ценность разработанного продукта представлена в таблице 3.

Таблица 3

Пищевая ценность колбасок «Чевапчичи»

Наименование продукта	Содержание в 100 г продукта, г			Энергетическая ценность 100г продукта, ккал/кДж
	белки	жиры	углеводы	
Колбаски «Чевапчичи»	18,6	17	2,6	238 / 993

Определено, что содержание пищевых волокон в разработанном мясном продукте составляет 18,7% от рекомендуемого суточного потребления. Одна порция колбасок «Чевапчичи» (250 г) удовлетворяет суточную потребность взрослого человека в Se на 60,7%; P – 60,1%; K – 56,3%; Na – 49,1%; Cu – 37,5%; Mn – 36,3%; Zn – 35,4%; Fe – 28,8%; Mg – 22,9%; Ca – 12,6%; витаминов B_6 – 87,5%; B_{12} – 75%; PP – 75%; B_5 – 45%; K – 40%; C – 33,6%; B_4 – 22,1%; B_9 – 20,8%; B_1 – 16,7%; E – 5%.

Обоснование срока годности мясного продукта, обогащенного пищевыми волокнами, с защитным пленкообразующим покрытием проводили на основе результатов органолептической оценки, а также микробиологического анализа исследуемых образцов.

В работе проведено исследование органолептических показателей качества разработанных колбасок «Чевапчичи» с пленкообразующими покрытиями, которые хранили в течение 3, 7, 9 и 11 суток при температуре 3 ± 1 ºС, прошедших термическую обработку. Для

проведения данного исследования были изготовлены образцы колбасок, на которые наносили растворы покрытий методом распыления. Расход раствора защитного покрытия составил 1,7 мл на 100 г.

По результатам исследования составлены профили сенсорных характеристик исследуемых образцов, которые отражены на рисунках 1–4.

Рис. 1 – Профилограмма №1 Образцы колбасок «Чевапчичи» с пленкообразующим покрытием (хранение 3 сут)

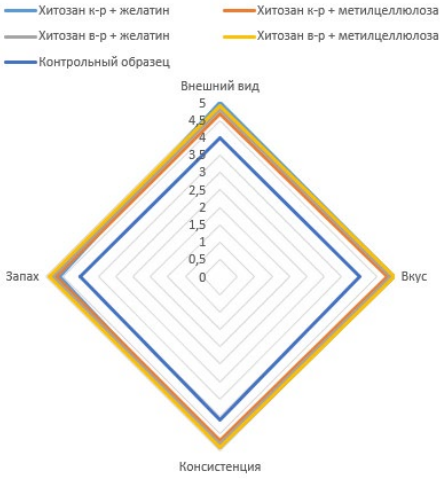


Рис. 2 – Профилограмма №2 Образцы колбасок «Чевапчичи» с пленкообразующим покрытием (хранение 7 сут)

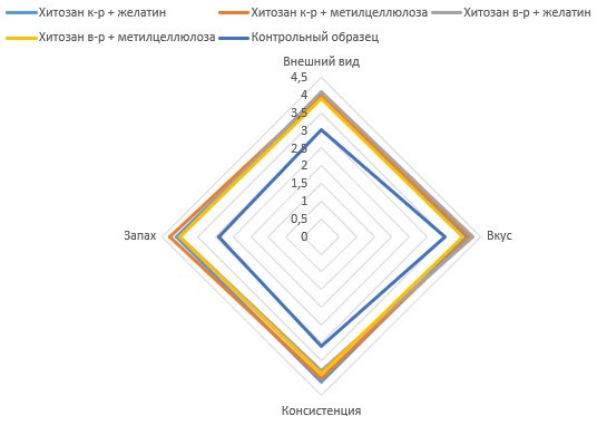


Рис. 3 – Профилограмма № 3 Образцы колбасок «Чевапчичи» с пленкообразующим покрытием (хранение 9 сут)

Рис. 4 – Профилограмма № 4 Образцы колбасок «Чевапчичи» с пленкообразующим покрытием (хранение 11 сут)

Определено, что нанесение растворов защитных пленкообразующих покрытий практически не влияет на изменение органолептических характеристик продукта.

Образцы, обработанные растворами покрытий, отличаются более выраженным вкусом, ароматом и приятным внешним видом. У контрольных образцов отмечено ухудшение данных показателей.

На 9 и 11 сутки отмечено ухудшение органолептических характеристик образцов. На 11 сутки появились видимые признаки недоброкачественности продукта: ослизнение, бледно-серый цвет, кислый запах.

По результатам исследований установлено, что образцы, обработанные растворами защитных покрытий, на основе кислоторастворимого хитозана с желатином получили наивысшие оценки.

Обоснование срока годности продукта проводили на основании результатов микробиологического анализа исследуемых образцов продукта, обработанных защитными пленкообразующими покрытиями. Результаты представлены в таблице 4.

Таблица 4

Микробиологические показатели колбасок «Чевапчичи», с защитным пленкообразующим покрытием в процессе хранения t = 3 ± 1 ºС

Срок хранения образцов, дни	КМАФАнМ, КОЕ/г, не более $1*10^3$, ТР ТС 034/2011 [3]				
	Контроль	Хитозан$_{к-р}$ + желатин	Хитозан$_{к-р}$ + метилцеллюлоза	Хитозан$_{в-р}$ + желатин	Хитозан$_{в-р}$ + метилцеллюлоза
1	$1,0*10^2$	$1,0*10^2$	$1,0*10^2$	$1,0*10^2$	$1,0*10^2$
3	$3,0*10^2$	$1,3*10^2$	$1,0*10^2$	$3,0*10^2$	$2,0*10^2$
5	$1,0*10^3$	$2,0*10^2$	$1,5*10^2$	$8,0*10^2$	$3,0*10^2$
7	-	$7,0*10^2$	$3,0*10^2$	$1,3*10^3$	$1,0*10^3$
8	-	$1,0*10^3$	$4,5*10^2$	-	-
9	-	-	$1,0*10^3$	-	-

На рисунке 5 представлен график развития КМАФАнМ на исследуемых образцах колбасок «Чевапчичи», обработанных составами защитных пленкообразующих покрытий на основе хитозана, а также на контрольном образце без покрытия.

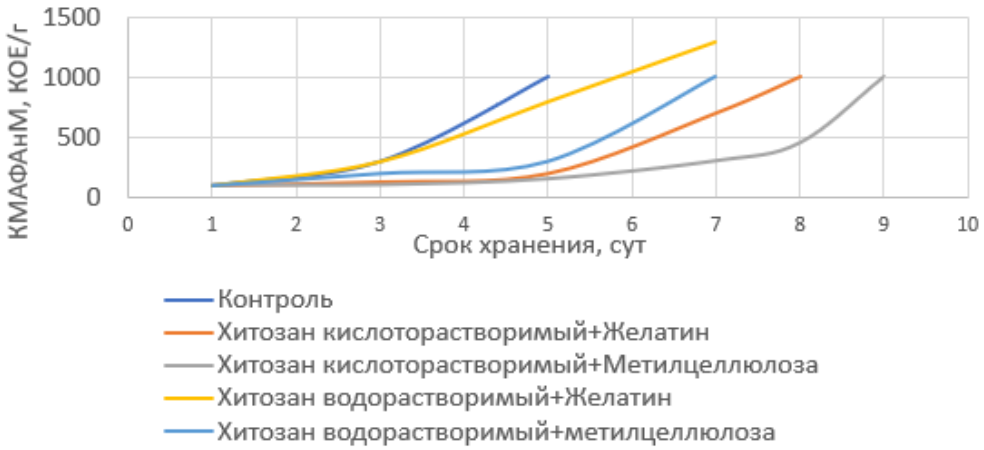


Рис. 5 – График развития КМАФАнМ на образцах мясного продукта

На основании полученных данных был произведен расчет удельной скорости роста микрофлоры мясного продукта. Рассчитана удельная скорость роста микрофлоры колбасок «Чевапчичи» по формуле (1):

$$\mu = \frac{1}{\tau}\ln\frac{N}{N_0}, \quad (1)$$

где μ – удельная скорость роста микрофлоры продукта, сут$^{-1}$; N_0 – начальное количество микроорганизмов; N – конечное количество микроорганизмов.

Результаты расчетов представлены в таблице 5.

Таблица 5

Результаты расчета удельной скорости роста микрофлоры колбасок «Чевапчичи»

Удельная скорость роста микрофлоры (μ), сут$^{-1}$	Контрольный образец без покрытия	Колбаски «Чевапчичи» с защитным пленкообразующим покрытием на основе кислоторастворимого хитозана с		Колбаски «Чевапчичи» с защитным пленкообразующим покрытием на основе водорастворимого хитозана с	
		желатином	метилцеллюлозой	желатином	метилцеллюлозой
	0,46	0,29	0,26	0,37	0,33

Микробиологические показатели безопасности образцов мясного продукта, которые хранили в течение 9 суток при температуре 3 ± 1°С соответствует нормам, определенным в ТР ТС 034/2011. Анализ результатов микробиологических показателей показал значительное увеличение продолжительности хранения образцов, обработанных исследуемыми составами

покрытий. Показано, что применение пленкообразующего покрытия на основе кислоторастворимого хитозана увеличивает срок годности колбасок «Чевапчичи» в 1,8 раза при температуре хранения (3 ± 1)°С и составляет 9 сут, на основе водорастворимого хитозана – в 1,4 раза и составляет 7 сут.

Определено, что покрытия качественно не изменяют органолептические показатели исследуемых образцов. В технологии колбасок «Чевапчичи», обогащенных пищевыми волокнами, для пролонгирования срока годности при температуре хранения (3 ± 1)°С рекомендованы составы защитных пленкообразующих покрытий на основе кислоторастворимого хитозана : метилцеллюлозы : уксусной кислоты в соотношении 3:1:3, а также на основе водорастворимого хитозана : желатина : уксусной кислоты в соотношении 3:1:3 соответственно.

Список используемых источников

1. Zhong Y., Cavender G., Zhao Y. Investigation of different coating application methods on the performance of edible coatings on Mozzarella cheese // LWT - Food Science and Technology. – 2014. – №56. – С. 1–8.
2. Basiak E., Lenart A., Debeaufort F. Effect of starch type on the physico-chemical properties of edible films // International Journal of Biological Macromolecules. – 2017. – V.98. – Pp. 348–356.
3. ТР ТС 034/2011 Технический регламент Таможенного союза "О безопасности мяса и мясной продукции".

УДК 004.055

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКИХ ИНТЕРФЕЙСОВ СИСТЕМ «УМНЫЙ ДОМ»

Файзрахманов Р.Р.

Научный руководитель – Платунов А.Е., профессор, доктор технических наук, профессор факультета программной инженерии и компьютерной техники, инженер, лаборатории квантовых коммуникаций

renatf87@gmail.com

Ключевые слова

Умный дом, Smart Home, автоматизация, пользовательский интерфейс, человеко-машинный интерфейс, Home Assistant, голосовой ассистент, Алиса, Telegram, чат-бот, ГОСТ Р 55236.3–2012.

В последние годы, в связи с активным развитием Интернета вещей[1], всё больше людей испытывают потребность в управлении умными устройствами, в том числе у себя дома [1]. В то же время растёт количество, сложность данных устройств и систем. В связи с этим, существует необходимость в достаточно простом и удобном управлении сложными системами умного дома с помощью пользовательских интерфейсов. Существуют публикации, изучающие пользовательские интерфейсы для управления системами умного дома [2]. При этом больше исследований данной темы применительно к домам престарелых, больницам и специализированным учреждениям [3,4]. Тем не менее нет четкого метода для оценки и сравнения интерфейсов между собой. В данной работе производится анализ существующих пользовательских интерфейсов систем умный дом. Рассматривается метод для их сравнения. Производится практическое испытание данного метода с участием заинтересованных лиц. В заключении анализируются полученные результаты.

Человеко-машинный интерфейс (ЧМИ), также известный как пользовательский интерфейс, англ. Human Machine Interface (HMI) является средством взаимодействия и обмена информацией между системой и пользователем. В ходе практической работы над ВКР были разработаны различные пользовательские интерфейсы умного дома, перечисленные в таблице 1. Под разработкой, в данном случае, подразумевается использование готовых программ для управления умным домом, но с установкой, настройкой внешнего вида и используемых устройств, конфигурацией, организацией удалённого подключения и созданием сценариев для разработанной системы умного дома, описываемой ниже.

В данной работе также была проанализирована деятельность системных интеграторов. Выделены сегменты рынка систем умный дом, в которых их услуги наиболее востребованы. Также были установлены контакты с интеграторами в Санкт-Петербурге. Получены данные о видах услуг, перечне используемого оборудования, стоимости услуг.

Для разработки и сопоставления пользовательских интерфейсов умного дома на практике была создана основа – непосредственно сама система «Умный дом». На лабораторных работах по Архитектуре вычислительных систем и Организации вычислительных процессов в качестве проекта было выбрано проектирование системы умного дома. Данная тема была выбрана совместно с научным руководителем и применительно к отоплению частного дома в связи с её высокой актуальностью в системах умного дома. Вначале были изучены существующие на рынке решения. В частности, современные системы отопления в частном доме и их компоненты. Далее были описаны требования к системе, составлено предварительное Техническое задание, предложены макеты пользовательского

[1] Интернет вещей (англ. internet of things, IoT) — концепция сети передачи данных между физическими объектами («вещами»), оснащёнными встроенными средствами и технологиями для взаимодействия друг с другом или с внешней средой.

интерфейса. Всё это позволило плавно перейти к этапу проектирования системы отопления «Умный дом». Был разработан план системы (рис.1).

Таблица 1

Разработанные пользовательские интерфейсы умного дома

Название	Вид интерфейса	Платформа	Используемые программы	Особенности
Веб-интерфейс Home Assistant	Графический	ПК (Linux, Windows), одноплатные ПК, смартфоны	Home Assistant	Управление с помощью графического интерфейса в браузере
Мобильное приложение Home Assistant	Графический	Устройства на Android и iOS	Home Assistant (mobile companion)	Управление с помощью нажатий в приложении
Чат-бот Telegram	Графический	ПК (браузер или приложение), устройства на Android и iOS	Home Assistant, Telegram (desktop или mobile)	Управление с помощью нажатий в приложении или текстовые команды
Мобильное приложение «Дом с Алисой»	Графический	ПК (веб-интерфейс в браузере), мобильное приложение, Яндекс.ТВ	Home Assistant, Дом с Алисой	Управление с помощью нажатий в приложении
Голосовой ассистент Алиса для умного дома	Голосовой	Яндекс Станция, мобильное приложение, Яндекс.ТВ, приложения для умных устройств	Home Assistant, Дом с Алисой, ассистент Алиса	Управление с помощью голосовых команд к Алисе

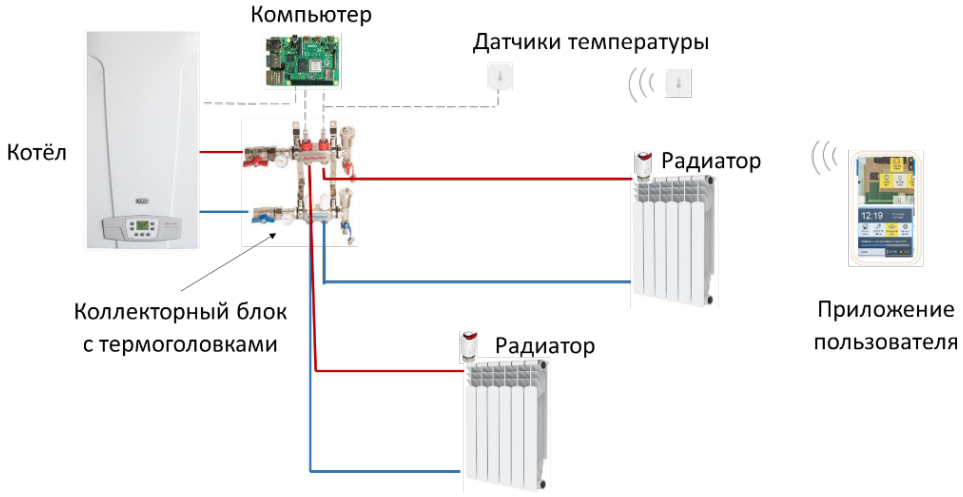


Рис. 1 – План системы управления отоплением

После определения узлов системы было необходимо определить логику работы системы. В этом помогло проектирование в среде Eclipse Capella. Был создан проект и описаны его различные уровни. После сопоставления и обсуждения с преподавателем курса по Основам вычислительных процессов различных вариантов реализации системы был выбран текущий вариант (описывается ниже).

Компоненты рассматриваемой системы

Сервер умного дома:

1. Одноплатный компьютер или программируемый логический контроллер (ПЛК) в качестве физического сервера (Raspberry Pi 3B+).

2. Программный сервер умного дома (Home Assistant).

Подключаемые к серверу модули:

1. Датчики температуры (DS18B20).
2. Модуль для управления котлом (реле – Songle 5B).
3. Сервоприводы, имитирующие настоящие сервоприводы радиаторов или коллекторного блока (MG90S и S90).

Смартфон:

1. Мобильное приложение (Home Assistant, Дом с Алисой, Телеграм).
2. Датчики смартфона (Xiaomi Mi 8 - температура, местоположение, давление).

Терминал управления:

1. Мобильное приложение (Home Assistant).
2. Экран (телевизор или монитор).
3. Приставка на базе ОС Android (Ugoos X4 Pro).
4. Пульт (аэромышь) со встроенным микрофоном (Ugoos Air mouse).
5. Датчики приставки (температура, местоположение).
6. Приложение голосового помощника (Google Assistant).

Программное обеспечение Home Assistant

В качестве программного сервера умного дома выбран Home Assistant. Это open-source проект, написанный на Python. Во время практики в весеннем семестре 2021 года было проведено сравнительное исследование разных систем управления умным домом и по итогам выбран Home Assistant. Среди его плюсов - большое количество пользователей по всему миру, относительная простота добавления устройств, лаконичный интерфейс, широкие возможности автоматизации и создания пользовательских интерфейсов (рис.2). В системе Home Assistant автоматические действия (пользовательские сценарии) называются «Автоматизациями».

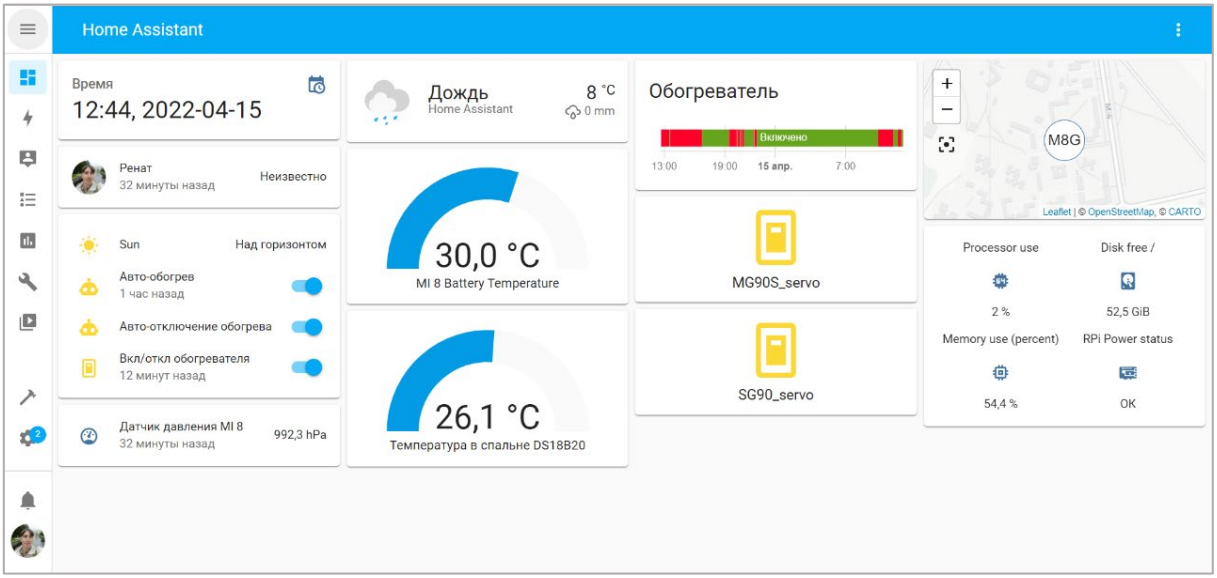


Рис. 2 – Веб-интерфейс программы Home Assistant

Существует официальное мобильное приложение Home Assistant для iOS и Android. Home Assistant изначально имеет свой веб-интерфейс для управления с помощью компьютера. Но для удобства использования и доступа к датчикам смартфона будет полезно мобильное приложение.

Для работы с графическим интерфейсом Home Assistant предлагает широкие возможности. Это добавление различных виджетов, иконок, картинок с анимированными кнопками и индикаторами, графики. Возможность выбора разных цветов, стилей. Конфигурация осуществляется с помощью графических инструментов или текста (кода).

Чат-бот Telegram

Чат-бот – программа, выполняющая роль виртуального помощника. Для разработки и использования чат-бота была выбрана платформа Telegram. Отмечается стремительный рост количества пользователей данным сервисом сообщений (мессенджером) в последние месяцы. Это особенно связано с блокировкой компании META на территории России. В META входят такие соцсети как Facebook, Instagram, WhatsApp. При этом WhatsApp остался доступен и занимает большую часть аудитории. При сравнении чат-ботов WhatsApp с чат-ботами Telegram, существует значительный разрыв в их доступности. Так как Telegram API является проектом с открытым исходным кодом, а боты для WhatsApp в основном разрабатываются официальными или дочерними компаниями WhatsApp. Разработанный чат-бот Telegram обладает следующим функционалом: получение сообщения о состоянии датчиков при включении системы или по запросу; отправка команд текстом, с помощью специальной клавиатуры, с помощью выбора в кнопке Меню; включение/отключение сценариев отопления и другие функции.

Мобильное приложение «Дом с Алисой»

В качестве голосового ассистента выбрана Алиса от компании Яндекс по нескольким причинам. Это российская разработка и не подпадает под зарубежные санкции, наложенные на многие аппаратные и программные продукты на данный момент. Также это наиболее популярный и востребованный ассистент в России по состоянию на 2021 год. Алиса встроена в приложение для управления умным домом «Дом с Алисой» с расширенной функциональностью для управления умными устройствами.

Голосовой ассистент Алиса

Следующим этапом в работе стала реализация функционала голосового интерфейса. Последовательность действий на данном этапе:

1. Организован удаленный доступ к серверу умного дома по защищённому протоколу HTTPS.
2. Создан «навык»[2] для Алисы на платформе «Яндекс. Диалоги».
3. В приложение «Дом с Алисой» интегрированы устройства из Home Assistant.
4. Созданы сценарии управления умного дома в приложении «Дом с Алисой».
5. Настроен пользовательский интерфейс Home Assistant для наглядного отображения действий Алисы в системе.
6. Продублированы сценарии управления отоплением созданные в Home Assistant в приложении «Дом с Алисой» для сравнения функционала.

Методология сравнения пользовательских интерфейсов

Для выбора методологии сравнения пользовательских интерфейсов были использованы различные источники: научные публикации, тематические статьи, видеоматериалы, международные и российские стандарты. В исследовании «Сравнение социального робота, экранного и голосового интерфейсов для управления умным домом», а также в «Предпочтения и удобство использования сервисов и элементов умного дома» в качестве источника информации для сравнения интерфейсов используется анкетирование пользователей [2,4]. В международных стандартах ISO для оценки удобства и пригодности использования продуктов (как физических, так и программных) также используется анкетирование среди потенциальных пользователей [5]. Основываясь на приведенных выше исследованиях и стандартах ISO, в качестве методологии сравнения пользовательских интерфейсов умного дома в данной работе было выбрано анкетирование пользователей. Сравнение пользовательских интерфейсов проводилось с использованием стандартов ГОСТ Р 55236.2–2012/ISO/TS 20282-2:2006, ГОСТ Р 55236.3-2012/ISO/PAS 20282-3:2007 и ГОСТ Р ИСО 9241-11-2010.

[2] Навык – это дополнительная функция, которую могут создавать сторонние разработчики. Данные навыки доступны пользователям на всех платформах, где работает Алиса.

Испытание интерфейсов

В исследовании приняли участие люди в возрасте 23–30 лет, мужчины и женщины различных профессий и опытом использования информационных технологий. При этом абсолютное большинство участников прежде не имело опыта взаимодействия с интерфейсами умного дома. На основании исследования данная категория респондентов является заинтересованной в отношении использования устройств и сервисов умного дома [1].

Для оценки интерфейсов были использованы следующие определенные в стандарте ГОСТ Р показатели:

A. Успешное выполнение задачи (да «+» или нет «–»).

B. Время выполнения задачи (в секундах).

C. Оценка удовлетворенности пользователя (по шкале от 1 до 5).

Во время испытания каждый из участников подключался к системе управления умным домом, описанной выше. Данная система работала локально (на Raspberry Pi), подключение происходило через интернет из мест пребывания участников. Связь с участниками происходила в реальном времени посредством сервисов видеосвязи. Участникам были выданы анкеты с краткими инструкциями и списком действий. Пользователи заполняли их самостоятельно по мере выполнения задач. Взаимодействие с интерфейсами происходило через собственные персональные компьютеры и смартфоны участников, что приближает испытание к реальным условиям. После прохождения тестирования (испытаний) участниками были заполнены анкеты по каждому из интерфейсов. После чего данные результаты были обобщены и объединены в сводную таблицу 2.

Таблица 2

Результаты испытаний пользовательских интерфейсов

Интерфейс	Успешное выполнение задачи, %	Время выполнения задачи, сек	Оценка удовлетворенности пользователя, балл
Веб-интерфейс Home Assistant	94,84%	82,6	4,67
Мобильное приложение Home Assistant	93,92%	39,2	4,67
Чат-бот Telegram	71,07%	17,8	3,98
Мобильное приложение «Дом с Алисой»	97,50%	325,0	4,58
Голосовой ассистент Алиса в приложении «Дом с Алисой»	94,44%	27,0	4,33

Сопоставление пользовательских интерфейсов

Далее была проведена экспоненциальная нормировка полученных результатов (каждого показателя в отдельности). После чего результаты были занесены в сводную таблицу и по ним построена гистограмма с накоплением (рис.3).

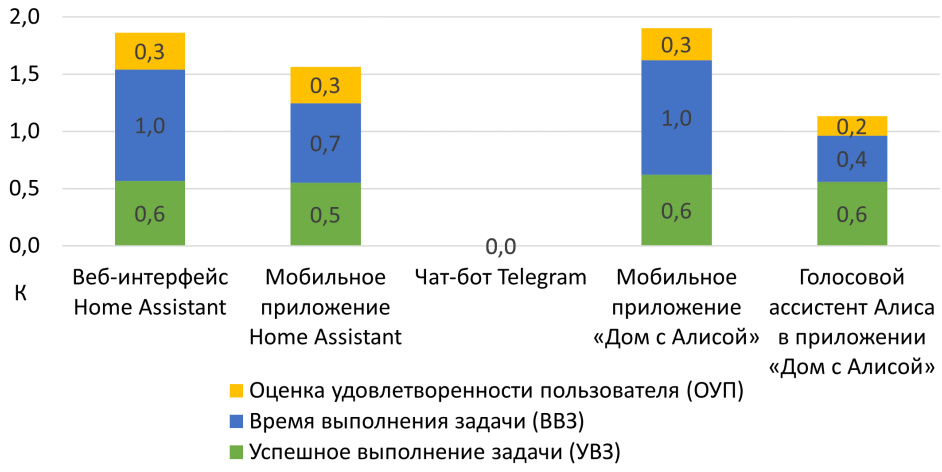


Рис. 3 – Совокупная оценка интерфейсов

При этом показателям Успешное выполнение задачи (УВЗ) и Оценка удовлетворенности пользователя (ОУП) был присвоен вес равный 2. У Времени выполнения задачи (ВВЗ) вес равен 1. Целевая функция для полученных после нормировки результатов выглядит следующим образом:

$$Суммарная\ оценка\ К = УВЗ*2 + ВВЗ + ОУП*2.$$

В итоге данного сопоставления самым удобным для управления стал интерфейс мобильного приложения «Дом с Алисой» с минимальным отрывом от веб-интерфейса Home Assistant.

По итогам проведённого в данной работе исследования было выявлено, что графические интерфейсы управления умным домом являются наиболее удобными для управления. Лаконичность, простота интерфейса увеличивает удобство управления. При этом сенсорный ввод на дисплее делает интерфейсы ещё более удобными. Голосовой интерфейс подходит для управления умным домом, но недостаточно информативен в плане обратной связи. Чат-бот уступает в удобстве, но является функциональными и по времени выполнения задач превосходит другие сравниваемые интерфейсы. Для построения сложных комплексных систем умный дом необходимо участие специалистов – системных интеграторов либо самостоятельнее глубокое изучение технологий.

Список использованных источников

1. Включить по Wi-Fi. Какие устройства для «умного дома» есть у россиян? [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://iom.anketolog.ru/2022/01/24/umnyj-dom-2022 (дата обращения: 10.05.22).
2. Luria M., Hoffman G., Zuckerman O. Comparing Social Robot, Screen and Voice Interfaces for Smart-Home Control // CHI: Conference on Human Factors in Computing Systems. Conference Paper. – 2017. – Pp. 580–628.
3. Govind J.S., Woll A. A Collaborative Change Experiment: Telecare as a Means for Delivery of Home Care Services // International Conference of Design, User Experience, and Usability. Conference Paper. – 2014. – Pp. 141–151.
4. Seo E., Bae S., Choi H., Choi D. Preference and usability of Smart-Home services and items - A Focus on the Smart-Home living-lab // Journal of Asian Architecture and Building Engineering. – 2021. – V.20. – №6. – Pp. 650–662.
5. ГОСТ Р 55236.2–2012/ISO/TS 20282-2:2006. Эргономика изделий повседневного использования. Часть 2. Метод испытаний изделий с интуитивно понятным управлением. – Введен 01.12.2013. – М.: Стандартинформ, 2019. – 28 с.

УДК 504.064

ИССЛЕДОВАНИЕ ОПЫТА ВНЕДРЕНИЯ ПРЕДИКТИВНЫХ СИСТЕМ КОНТРОЛЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ВЫБРОСОВ

Фахртдинова С.З.

Научный руководитель – Кустиков Ю.А., кандидат технических наук, доцент

sabinafaxry@itmo.ru

Ключевые слова

Предиктивная система контроля выбросов, автоматическая система контроля, охрана окружающей среды, промышленные выбросы, парниковые газы.

Промышленные выбросы представляют серьезную угрозу для природных экосистем и здоровья человека как на глобальном, так и на региональном уровне. На сегодняшний день стандарты с требованиями по соблюдению нормативов воздействия человека на экологию при производстве установлены рядом отдельных законов, таких как Федеральный закон (ФЗ) № 96 «Об охране атмосферного воздуха», № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды» и др. Вопросами охраны окружающей среды занимаются органы Министерства природных ресурсов и экологии РФ: Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, Федеральная служба по надзору в сфере природопользования, Федеральное агентство водных ресурсов, Федеральное агентство лесных ресурсов, Федеральное агентство по недропользованию.

В июле 2014 года в российской промышленной и экологической политике произошло серьезное изменение - был принят федеральный закон №219-ФЗ «О внесении изменений в федеральный закон "Об охране окружающей среды», который сформировал базу перехода на наилучшие доступные технологии (НДТ) и требовал разработки информационно-технических справочников (ИТС) таких технологий: их цель — обеспечить контроль соответствия конкретных производств НДТ.

В ИТС НДТ 22.1–2021 «Общие принципы производственного экологического контроля и его метрологического обеспечения» в разделе 3 «Принципы наилучшей практики производственного экологического контроля и его метрологического обеспечения» представлены основные методы контроля промышленных выбросов:

- прямые измерения,
- косвенные параметры,
- коэффициенты выбросов,
- метод материального баланса,
- предиктивные методы.

Предиктивные системы контроля выбросов (ПСКВ) могут применяться в качестве альтернативы инструментальному контролю в обоснованных случаях. Можно сказать, что данные системы являются результатом перехода к четвертой промышленной революции (Индустрия 4.0), воплощая в себе такие передовые технологии, как аналитика на основе больших данных с использованием искусственного интеллекта, облачные вычисления и моделирование.

Данный тип систем мониторинга распространен в США, Нидерландах, Великобритании, Германии и Китае, в частности, благодаря существующей в этих странах нормативной базе по внедрению, применению и метрологическому обеспечению ПСКВ. В России подобная нормативная база для предиктивных методов контроля отсутствует, следовательно, ПСКВ не получили широкого распространения на территории Российской Федерации.

Целью данной работы является разработка предложений по применению предиктивных систем для контроля выбросов загрязняющих веществ стационарных источников выбросов.

Объектом исследования являются системы мониторинга выбросов загрязняющих веществ в окружающую среду. Предметом исследования являются предиктивные системы контроля выбросов загрязняющих веществ.

К задачам работы относится:

- анализ актуальности автоматического контроля выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух;
- анализ нормативно-технических документов, регламентирующих требования к измерениям загрязняющих веществ в выбросах в РФ;
- исследование систем автоматического контроля выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух;
- получение экспертного мнения производителей ПСКВ;
- анализ мирового опыта применения ПСКВ;
- исследование существующих нормативных документов по ПСКВ;
- изучение области применения ПСКВ и особенностей их эксплуатации;
- анализ эксплуатационных характеристик ПСКВ.

По данным Росприроднадзора, суммарные выбросы загрязняющих атмосферу веществ стационарными и передвижными источниками в России в последнее десятилетие имеют тенденцию к снижению (рис.1) [1]. В 2019 г. общая масса выброшенных загрязняющих атмосферу веществ составила 22735 тысяч тонн, а в 2020 г. – 22228 тысяч тонн. Линия тренда на графике указывает на снижение выбросов стационарными источниками в атмосферу.

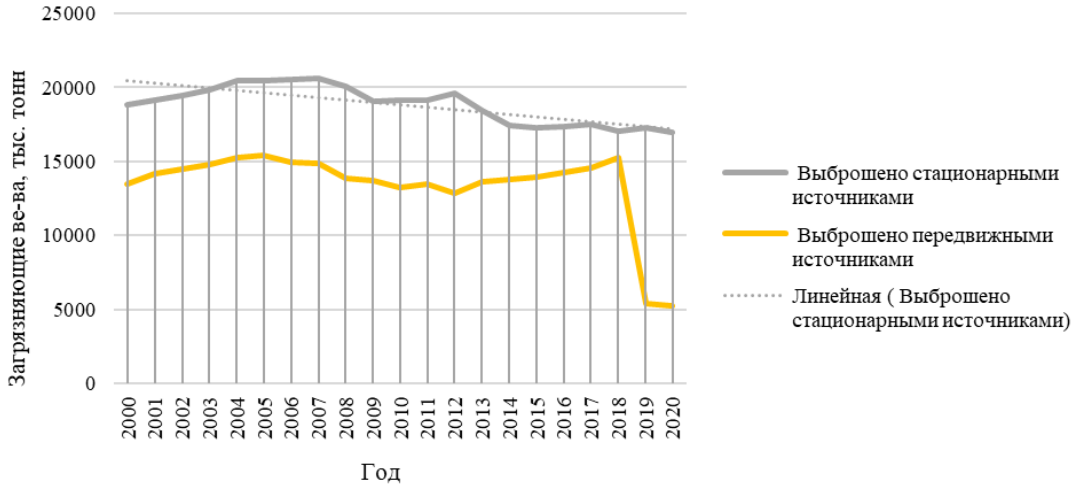


Рис. 1 – Выбросы загрязняющих веществ в атмосферу стационарными и передвижными источниками (тыс. т/год)

Газы, удерживающие тепло в атмосфере и нагревающие планету, называются парниковыми газами. Основные газы, ответственные за парниковый эффект – это CO_2, метан (CH_4), N_2O и водяной пар (все они встречаются в природе), а также синтетические фторсодержащие газы – гидрофторуглероды (ГФУ), перфторуглероды (ПФУ), гексафторид серы (SF_6) и трифторид азота (NF_3). Они образуются в атмосфере в результате антропогенной деятельности. Парниковые газы имеют разные химические свойства и могут удаляться из атмосферы естественными процессами с течением времени.

По данным Росприроднадзора в 2019 году выбросы промышленных парниковых газов достигли 237,40 миллионов тонн CO_2-эквивалента в год, основными источниками данных выбросов явились металлургия и химическая промышленность. Подобная ситуация складывается не только в России, но и во всем мире. На рисунке 2 представлены данные Международного энергетического агентства по выбросам парниковых газов на душу населения в мире на 2018 г. Россия с показателем 17,8 тонн CO_2-эквивалента на человека занимает второе место, уступая США. Страны Европейского Союза (ЕС) приближены к показателю 8, а усредненное значение по миру – 6 тонн CO_2-эквивалента на человека.

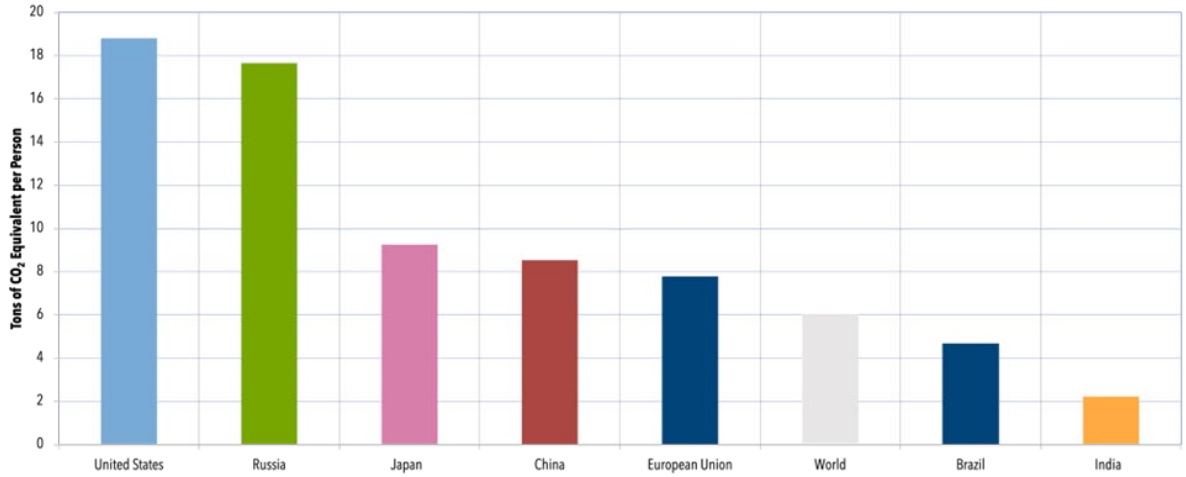


Рис. 2 – Выбросы парниковых газов на душу населения, 2018 г. [2]

По данным Агентства по охране окружающей среды США (United States Environmental Protection Agency, USEPA) составлен график прогноза выбросов парниковых газов в мире к 2040 г. (рис.3). По данному графику можно отметить тенденцию к уменьшению выбросов парниковых газов у США, ЕС и Японии. Некоторые страны (Китай, Индия) по прогнозам к 2040 г. увеличат свои выбросы парниковых газов, а Россия остается на относительном плато по выбросам.

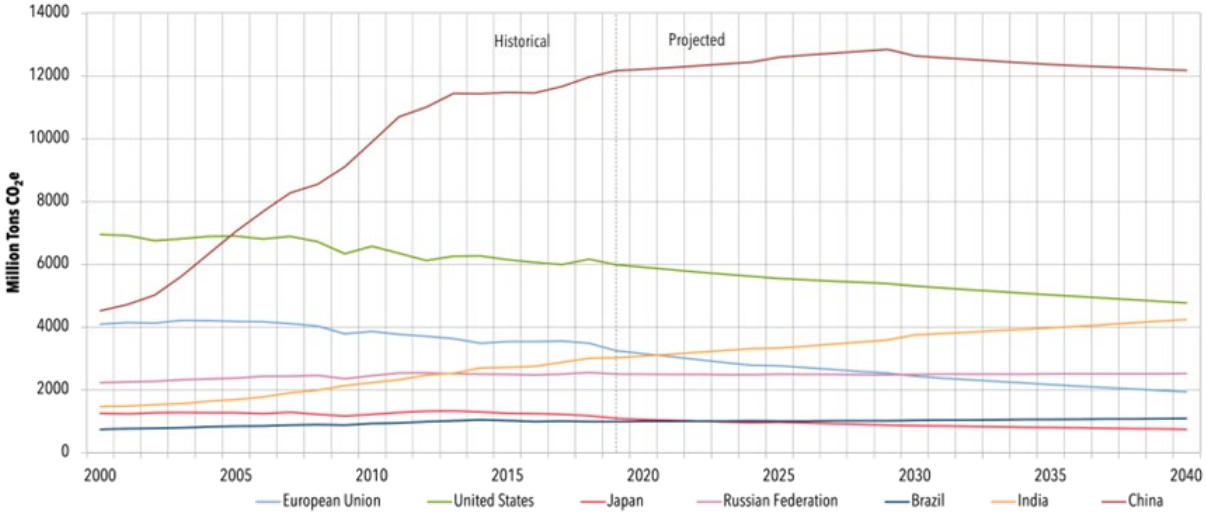


Рис. 3 – Выбросы парниковых газов в странах, 2000–2040 гг. [3]

С целью контроля показателей эмиссий разработаны три решения для мониторинга выбросов:

1. Периодические измерения объема выбросов.
2. Автоматическая система непрерывного контроля выбросов (АСНКВ).
3. ПСКВ.

Средства автоматического контроля выбросов загрязняющих веществ призваны облегчать мониторинг окружающей среды и минимизировать участие человека в данном процессе. Объем рынка ПСКВ в 2020 году составил 2,6 млрд долларов США. Ожидается, что глобальный рынок ПСКВ достигнет почти 3,91 млрд долларов США в 2027 году.

Региональный анализ рынка ПСКВ показал, что Северная Америка может стать крупнейшим рынком данных систем в течение прогнозируемого периода. США стимулирует спрос на ПСКВ в нефтегазовой области, что отражено в статистике: в 2018 году на долю американского рынка пришлось 91,0% рынка предиктивных систем. Рынок предиктивных систем в Европе будет расти благодаря строгим правилам, установленным европейскими странами для решения проблемы изменения климата. Кроме того, некоторые страны, такие

как Нидерланды, Дания и Франция, разработали свои собственные руководящие принципы для ПСКВ. Ожидается, что Азиатско-Тихоокеанский рынок будет неуклонно расти благодаря растущему числу угольных электростанций в этом регионе.

Стандарты, применяемые в США по разработке, внедрению, применению и обеспечению качества этих систем, представлены в Своде Федеральных нормативных актов, разделе 40 «Охрана окружающей среды», части 60 «Стандарты функциональной способности для новых стационарных источников» и части 75 «Непрерывный мониторинг выбросов». В ЕС соответствующий стандарт имеет название CEN/TS 17198:2018 «Выбросы из стационарных источников - Системы прогнозирования выбросов - Применимость, исполнение и обеспечение качества». Стандарты в ходе работы над ВКР были переведены с языков оригинала (английский и немецкий) и подробно рассмотрены в работе, особое внимание уделялось принципам метрологического обеспечения.

В рамках данной работы при анализе вопроса применения ПСКВ загрязняющих веществ был реализован экспертный метод исследования. На двух языках (русском и английском) создана анкета, которая была направлена производителям систем непрерывного мониторинга промышленных выбросов: ABB, CMC Solutions, Hint Global, Technology Edge, Advantech Sensor, Durag Group, Weel & Sandvig, General Electric, Siemens, Parker, Sick, Emerson, Метран, Enviro Technologies, HORIBA, Acoem Ecotech, OPSIS, ENCO, ENVILYSE, ECM ECO Monitoring, AAVOS, Sequopro, KULL INSTRUMENTS, Referans Çevre Teknolojileri, Trace Environmental Systems, Future АСНКВ, Thermo Fisher Scientific, Baker Hughes Company. Перечень респондентов состоял не только из ключевых игроков рынка этих систем, но и из малых производителей. Наиболее продуктивное общение состоялось с ABB, CMC Solutions, Hint Global, Technology Edge, Durag Group и Siemens. В рамках исследования областей применения ПСКВ компанией Durag ICP, совместным российско-германским предприятием, входящим в группу компаний DURAG Group, было предложено посетить производство систем мониторинга, находящееся в городе Москве, и провести беседу с техническим и генеральным директорами касательно актуальности ПСКВ и их будущего на территории РФ. Также состоялась ZOOM-встреча с президентом компании CMC Solutions, который помимо экспертного знания в исследуемой области передал информативно ценные документы, касающиеся ПСКВ. Все ответы были собраны и проанализированы.

В качестве предложений по применению предиктивных систем для контроля выбросов загрязняющих веществ были выделены несколько аспектов.

1. Конкретизация области применения ПСКВ. Анализ результатов показал, что ПСКВ могут применяться в качестве альтернативы инструментальному контролю в обоснованных случаях, например, при отсутствии технической возможности оснащения определенных стационарных источников (например, гранбашни при производстве минеральных удобрений), а также на некоторых предприятиях (например, угольных разрезах), оснащение системами которых невозможно. Данные системы могут применяться на газотурбинных и угольных электростанциях, на установках каталитического крекинга, синтеза метанола, установках производства серы, печах пиролиза, стекловаренных печах.
2. Конкретизация прогнозируемых предиктивными системами параметров. Данные системы способны прогнозировать выбросы NO_x, SO_2, CO, CO_2, углеводородов и окисляющих компонентов (O_2). В таблице 2 по источникам выбросов указано, какие выбросы могут быть спрогнозированы ПСКВ.
3. Конкретизация метода для разработки математической модели процесса с целью прогнозирования выбросов в ПСКВ. Статистическая гибридная модель, в отличие от более сложных эмпирических систем, таких как нейронная сеть и метод первых принципов, может быть разработана для любого заданного процесса без дополнительных уточнений о лежащей в основе процесса химии горения или о средствах контроля загрязнения. Система использует архивные данные, собранные во время нормальной работы, а также во время пусков, остановок или переходных состояний для точного прогнозирования выбросов.

При этом точность системы полностью зависит от диапазона и качества исходных данных в обучающем наборе данных. Система является детерминированной в том смысле, что заданный набор входных данных (переменные процесса или их отсутствие) вместе с заданным фиксированным набором обучающих данных будет давать один результат для каждого прогнозируемого значения. Модель уникальна тем, что может быть разработана неспециализированным персоналом, который не знаком с процессом, устройствами контроля загрязнения или методологией, используемой в модели. Заказчики и сторонние консультанты могут обновлять модель без поддержки персонала производителя.

4. Конкретизация способов метрологического обеспечения ПСКВ. Большинство респондентов при ответе на вопрос о метрологическом обеспечении ссылались на Техническую спецификацию 16 (PS-16) в Своде федеральных нормативных актов США. В данном документе за метрологическое обеспечение и достижение качества результатов отвечают несколько процедур, как правило с применением АСНКВ.

В ходе работы все эксперты подтвердили актуальность вопроса применения ПСКВ в мире, не ставя под сомнение их перспективное будущее. В РФ на данный момент отсутствует нормативная база, регламентирующая разработку, внедрение и применение ПСКВ. Без этой документации ПСКВ не могут применяться на территории РФ и это явно тормозит их развитие. В разработке, по словам экспертов, заинтересованы регулирующие органы – Минприроды и Минпромторг, которые уже изъявили свою государственную волю. Разработанные предложения могут быть полезны в ходе анализа возможных решений при формировании законодательной основы ПСКВ. Представленные в настоящий момент документы касательно ПСКВ могут быть дополнены и расширены с помощью данных предложений. Проделанная работа в данной ВКР может внести вклад в будущее развитие предиктивных систем мониторинга на территории РФ. По оценкам экспертов, опрошенных в работе с помощью анкетного листа, данная сфера является актуальной для области разработки систем мониторинга, будучи воплощением технологий Индустрии 4.0 – новой промышленной революции, в которой оказался современный мир.

В работе проведен анализ актуальности автоматического контроля выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух. Приведена статистика Росприроднадзора по объемам выбросов загрязняющих веществ от стационарных источников различных областей промышленности. По графикам видно, что выбросы загрязняющих веществ, включая парниковые газы, в России являются одной из главных проблем в области охраны окружающей среды.

Выделены основные нормативно-технические документы, регламентирующие требования к измерениям загрязняющих веществ в выбросах в РФ. В работе рассмотрены автоматическая измерительная и предиктивная системы непрерывного контроля выбросов, которые подверглись сравнению по таким критериям, как стоимость, время на запуск, профилактическое обслуживание и т.д. Несмотря на то, что эксплуатация ПСКВ не требует применения калибровочных газов, для обеспечения периодического контроля метрологических характеристик данных систем необходимо использование автоматических измерительных систем контроля АСНКВ, включая затраты на их установку и эксплуатацию.

Рассмотрен мировой рынок данных систем контроля, выделены активные регионы и ключевые игроки. Прогноз развития рынка предиктивных систем до 2027 года показывает, что применение данных систем актуально и их рынок будет расти со среднегодовым темпом роста 6%.

В рамках исследования существующих нормативных документов по ПСКВ были рассмотрены американские и европейские стандарты. В США работу ПСКВ регламентирует Свод федеральных нормативных актов, раздел 40, часть 60 и часть 75, а в ЕС – стандарт CEN/TS 17198:2018. Данные стандарты были переведены и детально рассмотрены, особое внимание уделялось метрологическому обеспечению данных систем и процедурам контроля качества их работы.

На данный момент в нормативной базе РФ отсутствуют документы, регламентирующие работу ПСКВ. Предполагается, что для успешного внедрения и применения данных систем контроля выбросов в России необходимо создать законодательную и нормативную базу и тем самым определить область их применения, установить правила создания и применения, а также разработать технические требования к данным системам и методы их метрологического обеспечения.

Анализ существующих литературных источников помог выделить сферы применения ПСКВ загрязняющих веществ. Приведены европейские справочники наилучших доступных технологий, в которых рекомендовано использование ПСКВ для мониторинга эмиссий. Информация о данных системах приведена в российском ИТС НДТ 22.1–2021 «Общие принципы производственного экологического контроля и его метрологического обеспечения».

В работе реализован экспериментальный метод исследования. Получено экспертное мнение таких участников рынка ПСКВ, как ABB, CMC Solutions, Hint Global, Technology Edge, Durag Group и Siemens. Ответы респондентов собраны и проанализированы. В ходе работы было совершено посещение производства предиктивных систем Durag ICP, где было получено экспертное мнение технического и генерального директоров компании по вопросу возможности применения ПСКВ на территории РФ.

Итогом работы стали предложения по применению предиктивных систем для контроля выбросов загрязняющих веществ стационарных источников выбросов, которые касаются области применения данных систем, прогнозируемых ими параметрами, метода разработки математической модели для прогнозирования и способов метрологического обеспечения данной системы.

Список использованных источников

1. РОСПРИРОДНАДЗОР: Статистическая отчетность. [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://rpn.gov.ru/open-service/analytic-data/statistic-reports/production-consumption-waste/ (дата обращения: 27.05.2022).
2. Center for Climate and Energy Solutions: Global Emissions. [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://www.c2es.org/content/international-emissions/ (дата обращения: 27.05.2022).
3. Global Mitigation of Non-CO_2 Greenhouse Gases. [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://www.epa.gov/global-mitigation-non-co2-greenhouse-gases/global-non-co2-ghg-emissions-1990-2030 (дата обращения: 27.05.2022).

Бюллетень аннотаций ВКР выпускников Университета ИТМО

Часть 1

Редакционно-издательский отдел Университета ИТМО
Зав. РИО Н.Ф. Гусарова
Дизайн обложки Н.О. Терещенко
Вёрстка К.Д. Бутылкина
Подписано к печати 10.02.2023
Заказ № 4689 от 10.02.2023