УНИВЕРСИТЕТ ИТМО

АННОТИРОВАННЫЙ СБОРНИК
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ ВЫПУСКНЫХ КВАЛИФИКАЦИОННЫХ РАБОТ

МАГИСТРОВ

2019

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

УНИВЕРСИТЕТ ИТМО

Аннотированный сборник научно-исследовательских выпускных квалификационных работ среди магистров Университета ИТМО

Сборник трудов

Санкт-Петербург

2019

Аннотированный сборник научно-исследовательских выпускных квалификационных работ среди магистров Университета ИТМО / под ред. д.т.н., профессора В.О. Никифорова. Сборник трудов. – СПб.: Университет ИТМО, 2019. – 478 с.

В сборнике представлены лучшие научно-исследовательские выпускные квалификационные работы магистров Университета ИТМО.

Материалы публикуются с целью развития творческого потенциала дипломированных специалистов, их навыков научно-исследовательской работы, стимулирования участия студентов в научных исследованиях, усиления роли научно-исследовательской работы в повышении качества подготовки специалистов с высшим образованием, формирования резерва для кадров высшей квалификации.

УНИВЕРСИТЕТ ИТМО

Университет ИТМО – ведущий вуз России в области информационных и фотонных технологий, один из немногих российских вузов, получивших в 2009 году статус национального исследовательского университета. С 2013 года Университет ИТМО – участник программы повышения конкурентоспособности российских университетов среди ведущих мировых научно-образовательных центров, известной как проект «5 в 100». Цель Университета ИТМО – становление исследовательского университета мирового уровня, предпринимательского по типу, ориентированного на интернационализацию всех направлений деятельности.

© Университет ИТМО, 2019

© Авторы, 2019

ВВЕДЕНИЕ

«Аннотированный сборник научно-исследовательских выпускных квалификационных работ среди магистров Университета ИТМО» опубликован по результатам конкурса на лучшую научно-исследовательскую выпускную квалификационную работу (НИВКР) среди магистров Университета ИТМО.

На Конкурсе оценивается умение студента проводить самостоятельную творческую исследовательскую работу, профессиональная зрелость выпускника и его способность решать реальные научно-технические задачи. Конкурс проводятся в целях совершенствования системы подготовки кадров высшей квалификации, в рамках реализации программы развития вуза, как Национального исследовательского университета на 2009–2019 годы.

Первый этап Конкурса проводился на выпускающих факультетах университета. На защите Государственная экзаменационная комиссия (ГЭК) рекомендует и определяет лучшие НИВКР по каждому из направлений подготовки выпускников для участия в Конкурсе. По итогам работы ГЭК были окончательно определены 74 лучших НИВКР на12 факультетах.

Второй этап Конкурса проводился на мегафакультетах университета. По итогам представленных факультетами работ, директорами мегафакультетов был проведен анализ ВКР магистров и определены победители Конкурса на мегафакультетах. В итоге на мегафакультетах состоялось 5 Конкурсов на «Лучшую НИВКР».

Третий завершающий этап Конкурса проводил Научно-технический совет (НТС) университета. Работы победителей второго этапа Конкурса были рассмотрены на заседании НТС. По итогам которого были определены «Лучшие НИВКР» представленные в университете за 2019 год.

Статистические данные участия магистров в Конкурсе

Этап	Название конкурса	Приняло участие	Победители
I	Конкурс факультетов	74	74
II	Конкурс мегафакультетов	74	25
III	Конкурс университета	25	10

По итогам Конкурса среди магистров было определено 10 победителей на «Лучшую НИВКР университета» и 25 лауреатов, которые стали победителями Конкурсов проведенных на мегафакультетах.

Общее количество магистров, участвовавших в конкурсе на «Лучшую научно-исследовательскую выпускную квалификационную работу», составило 74 человека.

Организационную работу по Конкурсам проводили следующие структурные подразделения Университета ИТМО: Департамент научных исследований и разработок, Центр студенческой науки.

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;
- доклады по данной тематике на научных конференциях, семинарах, конкурсах, выставках и олимпиадах всех уровней (международных, всероссийских, региональных);
- награды, полученные на всероссийских, региональных и городских конкурсах, наличие патентов, наличие 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;
- служебная записка, подписанная секретарем ГЭК;
- краткое изложение ВКР в форме статьи от 4 до 6 страниц.

Итоги Конкурса были подведены на заседании НТС университета и оформлены приказом ректора Университета ИТМО № 2037-уч от 13.08.2019 года.

ПОБЕДИТЕЛИ КОНКУРСА НА «ЛУЧШУЮ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКУЮ ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ СРЕДИ МАГИСТРОВ УНИВЕРСИТЕТА ИТМО»

Бурцев Даниил Сергеевич
Год рождения: 1984
Университет ИТМО,
факультет технологического менеджмента и инноваций,
студент группы №U4114,
направление подготовки: 27.04.05 – Инноватика,
e-mail: forest1641@gmail.com
Макарченко Марина Арнольдовна
Год рождения: 1968
Университет ИТМО,
факультет технологического менеджмента и инноваций,
д.э.н., доцент,
e-mail: mamakarchenko@corp.ifmo.ru

УДК 334.024

РАЗРАБОТКА МЕХАНИЗМОВ УСИЛЕНИЯ ИНТЕГРАЦИИ НАУЧНЫХ УЧРЕЖДЕНИЙ В НАЦИОНАЛЬНУЮ ИННОВАЦИОННУЮ СИСТЕМУ

Д.С. Бурцев

Научный руководитель – д.э.н., доцент **М.А. Макарченко**

Университет ИТМО

Работа выполнена в рамках темы НИР № 618279 «Методы и инструменты инновационной и предпринимательской деятельности в условиях цифровой экономики».

Аннотация
При рассмотрении понятия НИС были выявлены особенности существующих подходов к его пониманию и предложено уточненное определение. На основе построенной модели создания инноваций в научных учреждениях были предложены критерии оценки эффективности инновационной деятельности, а также разработана методика оценки интеграции научных учреждений. Был проведен анализ использования цифровых каналов коммуникации научными учреждениями. На основе полученных результатов были разработаны рекомендации по повышению инновационной активности научных учреждений.
Ключевые слова
Национальная инновационная система, инновационная деятельность, научные учреждения, цифровые каналы коммуникации, интеграция.

Актуальность исследования обоснована наличием системных проблем российской науки. К ним относятся, например: дефицит квалифицированных кадров, отсутствие взаимодействия с бизнесом, неактуальные приоритеты исследований, устаревшая материально-техническая база, организационно-административные проблемы, недостаток финансирования и другие. На сегодняшний день исследованиями и разработками в РФ занимаются НИИ различной ведомственной принадлежности, а также ВУЗы. Из-за низкого уровня коммуникаций этих элементов подсистемы генерации знаний НИС с элементами других подсистем, особенно частным бизнесом,

востребованность этих разработок невысока и инвестировать в них приходится государству [1]. В связи с этим целью работы явилась разработка механизмов усиления интеграции научных учреждений в НИС

При рассмотрении понятия НИС были выявлены особенности существующих подходов к его пониманию и предложено уточненное определение [2]. Национальная инновационная система - это открытая динамическая система, включающая с одной стороны социальные, правовые и финансовые институты, с другой взаимодействующие с ними субъекты экономической деятельности (организации генерирующие знания, объекты инновационной инфраструктуры, инновационные предприятия), действующая в национальном (региональном) и международном масштабах для обеспечения коммерциализации знания.

При анализе особенности функционирования НИС в Российской Федерации по сравнению с зарубежными странами было выяснено, что на данный момент эта система относится скорее к смешанному типу и обладает свойствами как евроатлантической, так и альтернативной модели [3]. В результате исследования роли научных учреждений в инновационной деятельности России, можно выделить несколько препятствий на пути интеграции научных учреждений в инновационное пространство, а именно низкий уровень квалификации сотрудников в области исследований и разработок и управления ею и коммуникационный барьер между научным сообществом, бизнесом и государством. Отдельно следует отметить, что генерация знаний как в научных, так и образовательных учреждениях имеет свои преимущества и недостатки, в связи с этим для производства востребованных результатов интеллектуальной деятельности необходимо усиливать взаимодействия этих форм, а не отдавать предпочтение какой-то одной из них.

В ходе построения модели процесса создания инноваций в научных учреждениях были выделены четыре ключевых этапа производства инновационной продукции в научных учреждениях (рис. 1). К ним относятся выполнение НИР, ее экспертиза, раскрытие РИД и коммерциализация. На каждом этапе есть недостатки, а следовательно, путем их устранения можно повысить эффективность инновационной деятельности научной организации и усилить ее интеграцию в НИС. К таким недостаткам относятся, например, отсутствие экспертизы технического задания и результатов выполнения НИР представителями промышленности и субъектов инновационной инфраструктуры, низкая мотивация в раскрытии и коммерциализации РИД со стороны исследователя и др. В связи с этим для повышения интеграции в НИС научным учреждением необходима разработка рекомендаций по экспертизе качества промежуточных результатов НИР и закрепления их положений в ТЗ, проводить оценку коммерциализации, охраноспособности и промышленного применения РИД, повышать компетенции научного персонала и применять меры по стимулированию участия исследователей в инновационной деятельности.

При анализе подходов к определению уровня интеграции университетов в НИС [4, 5] можно выявить два основных недостатка, которые не позволяют использовать существующие подходы для оценки интеграции в НИС научных учреждений:

1) отсутствие связи между блоками, характеризующими различные направления деятельности и в следствии невозможность оценить эффективность процесса на различных этапах инновационной деятельности;

2) использование в качестве основных критериев показателей интеллектуального, материально-технического и кадрового потенциала вместо оценки результативности инновационной деятельности;

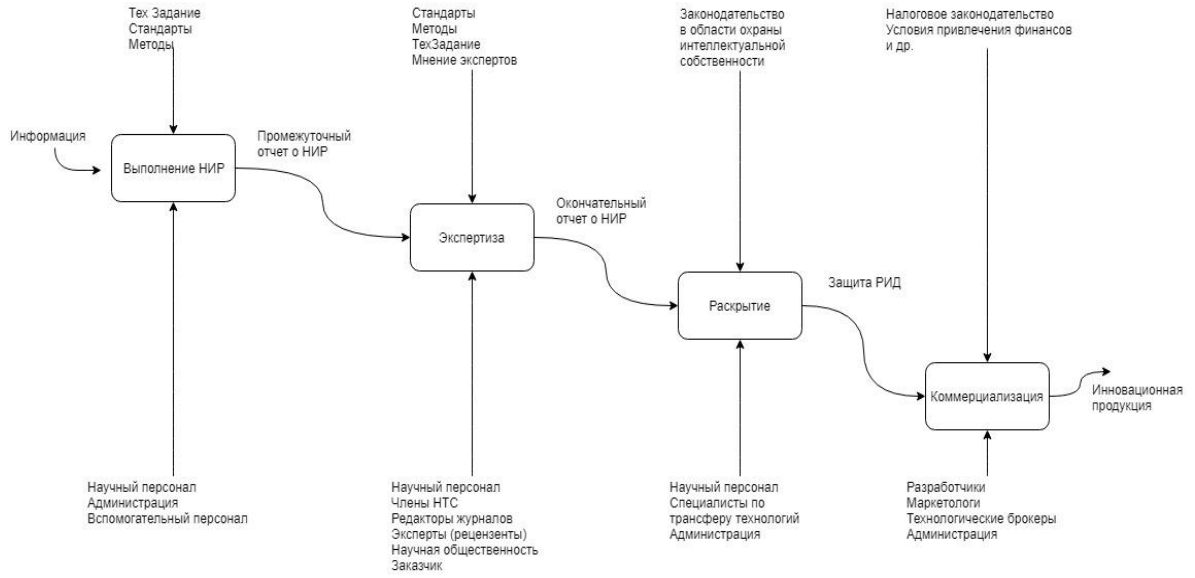


Рисунок 1. Основные этапы (результаты, участники и нормативы) необходимые для получения научного знания и его трансформации в инновационную продукцию

На основе построенной модели инновационного процесса были выявлены критерии оценки эффективности научной и инновационной деятельности, а также разработана методика оценки интеграции научных учреждений в НИС на основе результативности отдельных этапов:

1) Этап выполнения НИР - доля НИОКР с техническим заданием, подвергнутым экспертизе представителями промышленности и инновационной сферы;

2) Этап экспертизы НИР - доля НИОКР по результатам, которых сделаны доклады на конференциях и опубликованы статьи в журналах;

3) Этап раскрытия РИД - доля НИОКР, результаты которых прошли процедуру раскрытия и получили правовую защиту;

4) Этап коммерциализации РИД - доля защищенных РИД, использованных для создания хозяйственных обществ, реализации лицензий или выполнения поддерживающих НИОКР.

Из-за высокой инертности и закрытости исследовательских организаций у потенциальных партнеров не всегда есть возможность оценить инновационный потенциала научного учреждения и предложить сотрудничество в целях коммерциализации разработок. Так, по результатам наших исследований открытости цифровых каналов 108 научных учреждений Санкт-Петербурга выяснилось, что только 44% научных учреждений размещают на официальных сайтах информацию о тематике исследований, 42% предоставляют информацию о научных публикациях и только 17% упоминают о полученных патентах. При этом обратная связь значительно затруднена и может осуществляться, в основном, только через административный персонал. Только 36% научных учреждений дает возможность через сайт организации получить контакты руководителей научных подразделений и лишь 10% исследовательских организаций размещают в свободном доступе контактные данные сотрудников научных подразделений.

Анализ использование цифровых каналов коммуникации научными учреждениями позволил выявить их интеграционный потенциал, показал, на сколько организации готовы сотрудничать с другими субъектами инновационной деятельности:

1) Наименее интегрированными в информационное пространство сети Интернет по сравнению с другими группами оказались частные научные учреждения. Однако они

являются наиболее активными по предоставлению информации об инновационной продукции;

2) академические институты более открыты в предоставлении информации о сотрудниках, вакансиях, научных результатах и публикациях, а также более охотно предоставляют контакты для общения с работниками научных подразделений;

3) отраслевые, напротив, в этих моментах более закрыты, но свободнее размещают информацию о полученных патентах, предоставляемых услугах и разработанной инновационной продукции, а также более активны в социальных сетях.

В данной работе был проведен корреляционный анализ между открытостью цифровых каналов коммуникации научных организаций и инновационной активностью. Из таблицы можно увидеть, что распространение информации о результатах НИОКР имеет положительную корреляцию с патентной активностью, сведений о деятельности сотрудников и их научных интересов с публикационной активностью, а контактных данных сотрудников с коммерциализацией РИД.

Таблица

Результаты корреляционного анализа между уровнем использования цифровых каналов коммуникации и показателями инновационной активности научных учреждений

Вид информации для распространения, которой используется цифровые каналы коммуникации	Значение коэффициента корреляции по видам инновационной активности ($r_{0.05}$=0.24)		
	Патентная активность	Публикационная активность	Количество МИП
Контакты для обратной связи с научными сотрудниками	0,07	0,13	0,28
Результаты НИОКР и ИД	0,28	0,09	0,09
Деятельность сотрудников и вакансии	0,09	0,31	0,07
Активность в социальных сетях	-0,06	0,04	-0,06

На основе полученных результатов были разработаны рекомендации по повышению инновационной активности научных учреждений (на примере ФБУ "Санкт-Петербургский НИИ лесного хозяйства"):

1) Привлечь в НТС независимых представителей промышленности и инновационной сферы для осуществления экспертизы инновационного потенциала НИР на этапе разработки ТЗ, организовать институт независимой НИР на этапе разработки ТЗ. Необходимо наладить сотрудничество с хозяйствующими субъектами, органами власти, университетами, субъектами инновационной инфраструктуры;

2) разработать систему мотивации с целью повышения качества публикаций. Необходимо публиковать результаты НИР в изданиях более высокого статуса, для чего можно ввести меры материального стимулирования. Повышение качества публикаций и уровень их цитирования также возможно повысить за счет привлечения к работе над НИР и совместных публикаций с учеными из других российских и зарубежных научных учреждений;

3) стимулировать уровень раскрытия РИД и соответственно их защиты. Для этого в ТЗ необходимо включать патентоспособные результаты. Кроме того, необходимо повысить грамотность научного персонала в этом вопросе, например, организовать обучения на курсах повышения квалификации. Необходимо мотивировать автора

разработки на раскрытия, включая его в долю правообладания патентом или свидетельством о защите РИД;

4) активизировать работу по созданию МИП. Необходимо провести обучения персонала и другие мероприятия по стимулированию инновационной деятельности. Повысить активность работы с субъектами инновационной инфраструктуры. Привлечь более молодых и активных исследователей путем создания базовых кафедр и рабочих мест для прохождения практики.

Литература

1. Яныкина Н.О. Мониторинг эффективности инновационной деятельности университетов России. М., РВК, 2016. – 130 с.
2. Бурцев Д.С. Развитие теоретических подходов к определению сущности и функций понятия национальной инновационной системы // Инновации и инвестиции. 2018. № 12. С. 19–22.
3. Бурцев Д.С. Особенности различных моделей национальных инновационных систем // Экономика и бизнес: теория и практика. 2018. Т. 1. № 12. С. 57–61
4. Булыга Р.П., Ветрова И.Ф., Королев О.Г. и др. Совершенствование оценки эффективности деятельности подведомственных Правительству Российской Федерации образовательных и научных учреждений. – Научная библиотека. 2014. 160 с.
5. Силакова Л.В., Петропавлова Г.П. Разработка методики оценки уровня интеграции университета в национальную инновационную систему // Экономика и предпринимательство. 2016. Т. 11. № 1. С. 85–91.

Вовк Илья Александрович
Год рождения: 1995
Университет ИТМО,
факультет фотоники и оптоинформатики,
студент группы № V4235,
направление подготовки: 12.04.03 – Фотоника и оптоинформатика,
e-mail: ilia.a.vovk@gmail.com
Рухленко Иван Дмитриевич
Год рождения: 1980
Университет ИТМО,
Центр "Информационные оптические технологии",
д.ф.-м.н.
e-mail: rukhlenko.ivan@gmail.com

УДК 538.9

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭКСИТОННЫХ ЭФФЕКТОВ В ДВУМЕРНЫХ СУПЕРКРИСТАЛЛАХ ИЗ ПЕРОВСКИТНЫХ КВАНТОВЫХ ТОЧЕК

И.А. Вовк

Научный руководитель – д.ф.-м.н. **И.Д. Рухленко**

Университет ИТМО

Работа выполнена в рамках тем НИР № 418226 «Моделирование электрооптических свойств суперкристаллов из перовскитных квантовых точек» и № 380182 «Разработка суперструктур на основе нанокристаллов с симметрией перовскита для источников света с хаотической генерацией фотонов».

Аннотация
В работе проведено квантово-механическое исследование экситонов Френкеля в суперкристаллах из перовскитных квантовых точек с квадратной решёткой Браве и проанализирована оптическая активность хиральных димеров из перовскитных квантовых точек. Полученные результаты могут оказаться полезными для проектирования высокопроизводительных устройств на основе сверхструктур их перовскитных квантовых точек с контролируемыми оптическими свойствами.
Ключевые слова
Свинцово-галогенидные перовскиты, суперструктуры из квантовых точек, экситоны френкеля, электрическая проводимость, взаимодействие света с веществом, хиральность.

В течение последних нескольких лет наблюдается растущий интерес к свинцово-галогенидным перовскитам и наностуктурам на их основе, которые показали себя многообещающим материалом для различных устройств оптоэлектроники и нанофотоники. В центре внимания находятся квантовые точки (КТ) из свинцово-галогенидных перовскитов, которые демонстрируют такие удивительные преимущества, как яркая узкополосная фотолюминесценция с квантовым выходом вплоть до 100% [1], перестраиваемая во всей видимой области спектра, толерантность к дефектам и аномально высокая скорость излучательной релаксации [2]. Недавно было теоретически

и экспериментально показано, что перовскитные КТ с катионами цезия являются первым неорганическим полупроводниковым материалов, у которого имеется светлый излучающий триплет [3], что проливает свет на происхождение уникальных свойств этих нанокристаллов.

Фундаментальные исследования, направленные на создание новых упорядоченных наноразмерных суперструктур с уникальными электрическими и оптическими свойствами, весьма актуальны для физики квантоворазмерных систем, поскольку могут привести к созданию и усовершенствованию устройств нанофотоники с заданной функциональностью. Для проектирования оптоэлектронных устройств первостепенный интерес представляют плотноупакованные упорядоченные массивы КТ. В таких структурах, называемых суперкристаллами, взаимодействие КТ друг с другом приводит к возникновению коллективных откликов на внешнее световое излучение [4]. Исключительная гибкость дизайна суперкристаллов, обусловленная возможностью задать размер, форму и состав отдельных КТ, а также изменять их расположение и пространственную ориентацию, существенно расширяет потенциал применения свинцово-галогенидных перовскитов для проектирования оптоэлектронных устройств с заданной функциональностью.

Хотя суперкристаллы из перовскитных КТ активно исследуются, теоретической модели, способной описывать и предсказывать их свойства, до сих пор развито не было. В данной работе мы разрабатываем квантово-механическую теорию экситонов Френкеля в перовскитных суперкристаллах с квадратной решёткой Браве. Используя теорию молекулярных кристаллов [5], мы моделируем двумерный суперкристалл из одинаково ориентированных КТ из свинцово-галогенидных перовскитов с квадратной сверхрешёткой. В приближении жёстко закреплённых КТ гамильтониан такого суперкристалла имеет вид $\widehat{H} = \sum_{\mathrm{n}} \widehat{H}_{\mathrm{n}} + \sum'_{\mathrm{n,m}} \left(\widehat{V}_{\mathrm{n,m}}/2\right)$, где n и m — целочисленные векторы решётки суперкристалла, $\widehat{H}_{\mathrm{n}}$ — гамильтониан отдельной КТ, расположенной в n-й элементарной ячейке суперкристалла, и $\widehat{V}_{\mathrm{n,m}}$ — оператор взаимодействия между n-й и m-й КТ. Здесь штрих у знака суммы означает, что при суммировании опускаются слагаемые с $\mathrm{n} = \mathrm{m}$. Положение n-й КТ задаётся радиус-вектором $\mathrm{r_n} = a\mathrm{n} = a\left(n_x, n_y, 0\right)$, где a — период сверхрешётки.

Состояния отдельной КТ описываются волновыми функциями электрон–дырочных пар φ^l_{n}, удовлетворяющими уравнению Шредингера $\widehat{H}_{\mathrm{n}}\varphi^l_{\mathrm{n}} = W_l^0\varphi^l_{\mathrm{n}}$, где W_l^0 — энергии соответствующих состояний. Волновые функции нормированы согласно условию $\int \varphi^{l*}_{\mathrm{n}}\varphi^{l'}_{\mathrm{n}'}\mathrm{d}\tau = \delta_{\mathrm{nn}'}\delta_{ll'}$, где δ_{ij} — символ Кронекера, а интегрирование производится по всему пространству. Ограничимся рассмотрением дипольно-разрешённых переходов из основного (электрон–дырочный вакуум) в первые три возбуждённых состояния, соответствующих светлому триплету одиночных КТ из свинцово-галогенидных перовскитов, с близкими (или равными) значениями энергии. Эти переходы характеризуются энергиями возбуждения $\Delta_r = W_r^0 - W_0^0$ и дипольными моментами $\mathrm{d}_r = d\mathrm{e}_r$, где e_r — орт координатной оси r и $r = x, y, z$.

Принимая во внимание кулоновский характер взаимодействия между отдельными КТ, мы рассматриваем распространение энергии в суперкристалле как движение квантов коллективных возбуждений суперкристалла, называемых экситонами Френкеля или просто экситонами. Состояния суперкристалла, соответствующие возбуждению одного экситона с квазиимпульсом q в зоне s, вследствие трансляционной симметрии могут быть представлены в виде $\Phi_{\mathrm{q}s} = \sqrt{N^{-1}}\sum_{\mathrm{n},r} a^s_r(\mathrm{q})e^{i\mathrm{q}\mathrm{r_n}}\varphi^r_{\mathrm{n}}\prod_{\mathrm{m}\neq\mathrm{n}}\varphi^0_{\mathrm{m}}$, где N — число элементарных ячеек в суперкристалле. Волновые функции $\Phi_{\mathrm{q}s}$ нормированы так, что $\sum_r |a^s_r(\mathrm{q})|^2 = 1$.

Поскольку в двумерном суперкристалле запрещён перенос энергии между КТ, соответствующий кулоновскому взаимодействию диполя d_z с диполем, лежащим в плоскости суперкристалла, одна из зон (назовём её W_z) будет отвечать переносу возбуждённого состояния с энергией Δ_z независимо от других возбуждённых состояний. Две другие зоны мы обозначим как W_+ и W_- (зона W_+ располагается над зоной W_- по шкале энергий).

Вырождение состояний r КТ зависит от симметрии кристаллической решётки материала, из которого она сделана. У перовскитов обычно встречаются три сингонии: орторомбическая (D_{2h}), тетрагональная (D_{4h}) и кубическая (O_h). При кубической симметрии $\Delta_x = \Delta_y = \Delta_z$, а при орторомбической — $\Delta_x \neq \Delta_y \neq \Delta_z$. В случае тетрагональной симметрии вырождены два состояния, при этом невырожденным остаётся нижний уровень энергии [3]. В зависимости от симметрии КТ и ориентации её дипольных моментов в узле квадратной сверхрешётки симметрия суперкристалла может описываться одной из двух двумерных точечных групп: C_{2v} или C_{4v}. При этом симметрия C_{4v} достигается тогда, когда равны энергии переходов, дипольные моменты которых лежат в плоскости суперкристалла. Для того чтобы различать суперкристаллы с нетождественными ориентациями КТ, введём у обозначений симметрии КТ верхние индексы, указывающие направления в суперкристалле, соответствующие дипольным переходам с меньшей энергией. При этом для КТ с орторомбической симметрией необходимо указать два таких направления. Мы не будем делать различия между суперкристаллами, которые отличаются только знаком величины $\Delta_y - \Delta_x$, поскольку они должны обладать одинаковыми физическими свойствами с точностью до отражения в плоскостях, определяемых уравнениями $y = \pm x$.

На рис. 1 приведена дисперсия энергетических зон для шести возможных конфигураций суперкристалла. В случае O_h зоны W_+ и W_- соприкасаются в точках Γ и M. Понижение симметрии кристаллической решётки КТ по сравнению с O_h приводит, кроме случая D_{4h}^z, к понижению симметрии суперкристалла с C_{4v} до C_{2v} и изменению формы зон $W_\pm$. Поскольку величина расщепления, которая становится отличной от нуля, $\Delta_y - \Delta_x \neq 0$, входит в условие сильной связи, множество точек q_0 смещаются в обратном пространстве по направлению к точке X. При этом находившаяся в центре зоны Бриллюэна точка вырождения расщепляется на две, расположенные симметрично относительно точки Γ на линиях симметрии Δ. Одновременно с этим четыре точки вырождения, находившиеся в углах первой зоны Бриллюэна, смещаются вдоль линии симметрии Z. На графиках видно, что наиболее существенно зоны $W_\pm$ изменяются на линии симметрии Σ, и в случае $D_{2h}^{x,z}$ уже практически повторяют друг друга, что связано с нарушением условия выполнения сильной связи в этой области, как это описано выше. Форма зоны W_z не зависит от симметрии суперкристалла, однако при изменении симметрии кристаллической решётки КТ эта зона сдвигается относительно зон W_+ и W_-.

Затем, рассматривая суперкристалл с малыми линейными размерами, представляющий собой квадратный массив КТ размером $(2M+1)\times(2M+1)$, мы вычисляем эффективные массы распространяющихся в них экситонов. Для удобства мы будем использовать отношение $d^2M/(\varepsilon a\hbar^2)$ в качестве единиц измерения компонент тензора обратной эффективной массы $m_{s,ij}^{-1} = \hbar^{-2}\partial_{q_iq_j}^2 W_s$. В этих единицах z-поляризованные экситоны характеризуются отрицательной скалярной обратной эффективной массой $m_z^{-1} = -2A$, где $A = 2\,\mathrm{arsinh}\,1$. Экситоны зон $W_\pm$ имеют тензорные обратные эффективные массы, вид которых зависит от симметрии суперкристалла. В случае симметрии C_{2v} суперкристалла тензор обратной эффективной массы является диагональным и даётся выражением $m_{\pm,ij}^{-1} = \left[A \pm (-1)^{\delta_{iy}} B\,\mathrm{sign}\left(\Delta_x - \Delta_y\right)\right]\delta_{ij}$, где $B =$

$3A - 2\sqrt{2}$. В случае симметрии C_{4v} суперкристалла компоненты тензора являются анизотропными.

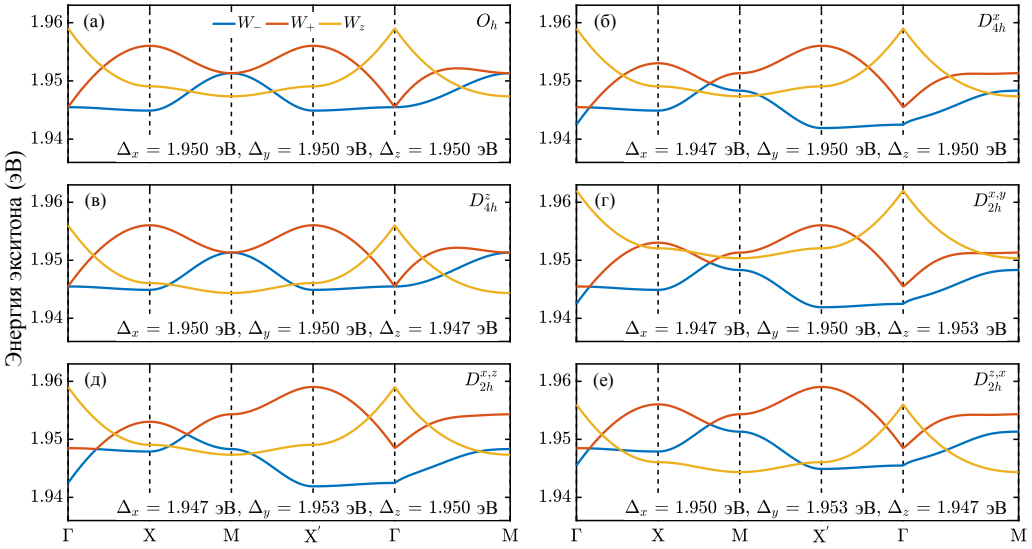


Рис. 1. Энергетические зоны экситонов в двумерных суперкристаллах из CsPbI3 КТ различных конфигураций. Показаны конфигурации: (а) O_h, (б) D^x_{4h}, (в) D^z_{4h}, (г) $D^{x,y}_{2h}$, (д) $D^{x,z}_{2h}$, и (е) $D^{z,x}_{2h}$. Материальные параметры: $d = 52$ Д, $\varepsilon = 5$ и $a = 7$ нм. Значения энергий возбуждения, использованные при моделировании, указаны внизу каждого графика. Точка X соответствует $\mathrm{q} = (\pi/a)\mathrm{e}_x$, а X′ — $\mathrm{q} = (\pi/a)\mathrm{e}_y$

При освещении двумерного суперкристалла внешним монохроматическим электромагнитным полем с напряжённостью E в нём возникает электрический ток, плотность которого j при пренебрежении нелинейными эффектами связана с электрическим полем соотношением $j_i = \sum_j \sigma_{ij} E_j$. Знание состояний экситонов, как показано в работе [5], позволяет вычислить тензор проводимости σ_{ij}. Из анализа симметрии суперкристалла видно, что при падении света с волновым вектором $\mathbf{k}$ на суперкристалл в нём возбуждаются только экситоны $W_\pm$ с квазиимпульсом $\mathrm{q} = (k_x, k_y, 0)$, причём данные две моды соответствуют двум собственным значениям двумерного тензора проводимости.

Поскольку в случае суперкристаллов характерный размер a увеличивается по крайней мере на два порядка по сравнению с обычными кристаллами, эффекты пространственной дисперсии, которые обычно в оптике кристаллов являются слабыми и определяются малым характерным параметром a/λ, у суперкристаллов являются более выраженными. Как показывает анализ проводимости перовскитного суперкристалла при низких температурах, при падении на суперкристалл световой волны, вектор напряженности электрического поля которой перпендикулярен плоскости падения (TE-волны), будет возбуждаться только мода W_-, а при падении волны, вектор напряженности электрического поля которой лежит в плоскости падения (TM-волны), — только мода W_+. Напротив, у суперкристаллов с более низкой симметрией $j_i \approx \sigma^i E_i$ одинаково для TE и TM поляризаций.

Далее мы рассматриваем димер, составленный из двух перовскитных КТ. Пусть КТ развёрнуты друг относительно друга на угол φ, что делает этот димер хиральным. Мы будем обозначать основное состояние n-й QD, как $|n0\rangle$, а её возбуждённое состояние α, характеризуемое энергией E_α, как $|n\alpha\rangle$. Диполь–дипольное взаимодействие между КТ приводит к возникновению шести возбуждённых молекулярных состояний димера $|\mu\rangle$,

каждое из которых можно представить в виде линейной комбинации $|\mu\rangle = \sum_{n,\alpha} c_{n\alpha}^{(\mu)} |n\alpha\rangle$.

Пусть обе КТ имеют тетрагональную симметрию кристаллической решётки с энергиями перехода, равными $E_x = E + 2\delta$ и $E_y = E_z = E$. Будем предполагать, что дипольные моменты перехода имеют приблизительно одинаковые абсолютные значения d. Расчёт спектра кругового дихроизма $\mathrm{CD}(\omega)$ перовскитного димера показывает, что оптически активными являются только четыре молекулярных состояния димера, а если КТ имеют кубическую симметрию и нет расщепления между x- и y-состояниями, то перовскитный димер не обладает оптической активностью вовсе.

Анализ показывает, что вращательные силы обратно пропорциональны расщеплению уровней энергии димера, которое, в свою очередь, уменьшается с ростом расстояния между КТ. Это означает, что вращательные силы отличны от нуля даже при $\eta = d^2/(\varepsilon a^3) = 0$, когда КТ вообще не взаимодействуют. Однако при удалении КТ друг от друга энергетические уровни становятся попарно вырожденными. Поскольку эти пары уровней характеризуются вращательными силами противоположных знаков и одинаковым абсолютным значением, общий отклик кругового дихроизма исчезает на большом расстоянии между КТ. В результате отклик кругового дихроизма димера достигает своего максимального значения для некоторой ненулевой силы связи.

На рис. 2 показаны рассчитанные спектры кругового дихроизма димера для трёх разных значений расстояния между КТ. Эти спектры были рассчитаны в предположении, что спектральные линии имеют форму лоренциана с полной шириной на половине максимума, равной $\delta/4$. В соответствии со сказанным выше, общий хиральный отклик димера действительно имеет максимум для промежуточного значения нормированного расстояния $\tilde{a} = (\delta/\eta)^{1/3} \approx 1$, когда сила связи сопоставима с расстройкой уровней КТ. Как на больших, так и на меньших расстояниях сигнал кругового дихроизма уменьшается, потому что либо вращательная сила становится меньше, либо пики противоположного знака начинают перекрываться в спектрах и взаимно ослаблять друг друга. Следует отметить, что хотя значения величины кругового дихроизма примерно одинаковы для $\tilde{a} = 2$ и $\tilde{a} = 0{,}75$, положения пиков существенно различаются.

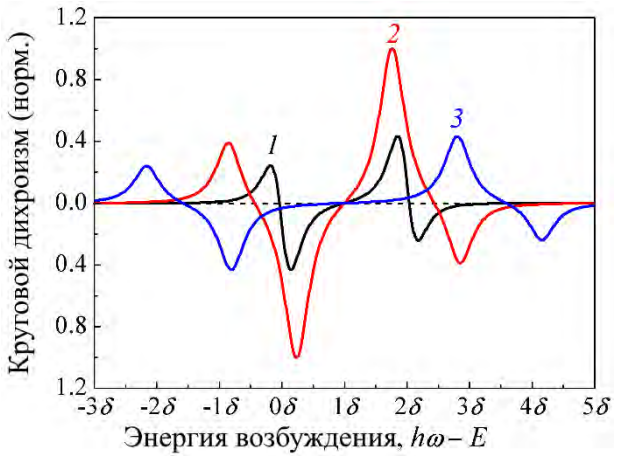


Рис. 2. Нормированный спектр кругового дихроизма димера из перовскитных КТ с углом поворота $\varphi = \pi/4$ и нормированным расстоянием (1) $\tilde{a} = 2$, (2) $\tilde{a} = 1$ и (3) $\tilde{a} = 0{,}75$

Суммарный отклик кругового дихроизма имеет максимум для некоторого промежуточного угла около $\pm\pi/4$, где как силы вращения, так и расщепление между уровнями энергии имеют ненулевые значения. Таким образом, два условия для максимизации хиропической активности димера составляют $\varphi \approx \pm\pi/4$ и $\eta \approx \delta$.

В работе была развита квантово-механическая теория экситонов Френкеля в перовскитных суперкристаллах с квадратной решёткой Браве и проанализирована оптическая активность хиральных димеров из перовскитных КТ. Было показано, что:

1. перовскитные суперкристаллы имеют три экситонные моды, одна из которых поляризована перпендикулярно плоскости суперкристалла, а две другие — в плоскости;
2. в суперкристаллах конечных размеров эффективные массы экситонов прямо пропорциональны периоду сверхрешетки и обратно пропорциональны числу КТ вдоль края суперкристалла и квадрату дипольного момента перехода;
3. каждому собственному значению тензора проводимости суперкристаллов соответствует один тип экситонов; энергетическое расщепление экситонных пиков в спектре проводимости суперкристалла составляет около нескольких мэВ;
4. круговой дихроизм димера из перовскитных КТ достигает своего максимального значения, если расстояние между КТ соответствует силе связи, сопоставимой с расщеплением уровней энергии КТ.

Литература

1. Liu F., Zhang Y., Ding C. et al. Highly Luminescent Phase-Stable CsPbI3 Perovskite Quantum Dots Achieving Near 100% Absolute Photoluminescence Quantum Yield // ACS Nano. 2017. Vol. 11, № 10. P. 10373–10383.
2. Akkerman Q.A., Rainò G., Kovalenko M.V. et al. Genesis, Challenges and Opportunities for Colloidal Lead Halide Perovskite Nanocrystals // Nat. Mater. 2018. Vol. 17. P. 394–405.
3. Becker M.A., Vaxenburg R., Nedelcu G. et al. Bright Triplet Excitons in Caesium Lead Halide Perovskites // Nature. 2018. Vol. 553, № 7687. P. 189–193.
4. Baimuratov A.S., Shlykov A.I., Zhu W. et al. Excitons in Gyrotropic Quantum-Dot Supercrystals // Opt. Lett. 2017. Vol. 42, № 13. P. 2423–2426.
5. Agranovich V.M., Ginzburg V.L. Crystal Optics with Spatial Dispersion, and Excitons. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 1984. Vol. 42.

Вычужанин Павел Витальевич
Год рождения: 1995
Университет ИТМО,
Институт дизайна и урбанистики,
студент группы № С4217с,
направление подготовки: 01.04.02 – Прикладная математика и информатика,
e-mail: pavel.vychuzhanin@gmail.com
Калюжная Анна Владимировна
Год рождения: 1990
Университет ИТМО,
Институт дизайна и урбанистики,
к.т.н.,
e-mail: kalyuzhnaya.ann@gmail.com

УДК 004.021

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПОДДЕРЖКИ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА КОМПЬЮТЕРНЫХ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ

П.В. Вычужанин

Научный руководитель – к.т.н. **А.В. Калюжная**

Университет ИТМО

Работа выполнена в рамках темы НИР № 618265 «Интеллектуальные методы и технологии поддержки жизненного цикла цифровых образов природных и социальных систем».

Аннотация
В настоящее время имеется высокий спрос на достоверные долгосрочные и краткосрочные прогнозы климата не только для исследовательских, но и для ряда практических задач. Однако, для проведения экспериментов по комплексному моделированию погодных условий необходимо использовать множество разнородных предметных высокопроизводительных моделей, что, в свою очередь, требует вовлечения эксперта не только на стадии непосредственного запуска моделей, но и на этапах оценки целостности, качества, исправления возможных дефектов в результатах, а также калибровки моделей под имеющиеся наблюдения. В рамках работы была разработана технология поддержки жизненного цикла гидрометеорологических моделей, которая позволяет автоматизировать частично или полностью перечисленные процессы моделирования, для которых требуются экспертные знания. Отдельные элементы технологии были успешно апробированы на ряде практических задач, в частности, при оценке качества и целостности результатов моделирования Арктики за 1965 по 2015 год, а также при калибровке модели ветрового волнения SWAN для региона Карского моря.

Современный подход к моделированию окружающей среды и, в частности, гидрометеорологических условий, представляет собой комплексный процесс, включающий в себя использование различных методов и технологий. Разработка и,

непосредственно, использование гидрометеорологических моделей требует различных знаний и навыков, лежащих далеко за пределами предметной области.

Однако, вследствие разнообразия моделей и команд разработки, использование нескольких реализаций в ходе комплексного моделирования требует знания специфики моделей:

– Модели используют разные форматы данных, которые отличаются внутренним строением и предоставляемым интерфейсом, а также разные формы представления входных и выходных файлов (например, пространственно-временную размерность).

– Модели требовательны к специфике вычислительной среды, в которой они могут быть развернуты (различные версии библиотек и компиляторов, типы аппаратного обеспечения).

– Модели различаются интерфейсами запуска и конфигурации модельных и системных параметров.

На практике это означает, что для каждой используемой реализации модели имеется свой набор инструкций по настройке, запуску и обработке входных и выходных файлов, и многие из прикладных задач необходимо автоматизировать пользователям самостоятельно.

Таким образом, было бы полезно иметь гибкую систему, позволяющую проводить следить за состоянием расчетов на каждом этапе моделирования в автоматическом режиме, которая позволит значительно сократить временные и вычислительные издержки гидрометеорологического моделирования.

В рамках данной работы предложена интеллектуальная технология поддержки жизненного цикла компьютерной гидрометеорологической модели, в рамках которой возможно проводить процесс моделирования, а также поддерживать высокое качество результатов в автоматическом режиме без привлечения эксперта.

Существует достаточно большое число различных технологий поддержки комплексного моделирования, которые, безусловно, позволяют эффективно организовать процессы в рамках гидрометеорологического моделирования, начиная от контроля качества наблюдаемых данных, заканчивая эффективным хранением и пост-обработкой результатов. [1–4]. Однако, в подобных системах предполагается, что первоначально настраивать сценарии моделирования, а также принимать решения при возникновении внештатных ситуациях будет пользователь-эксперт в предметной области.

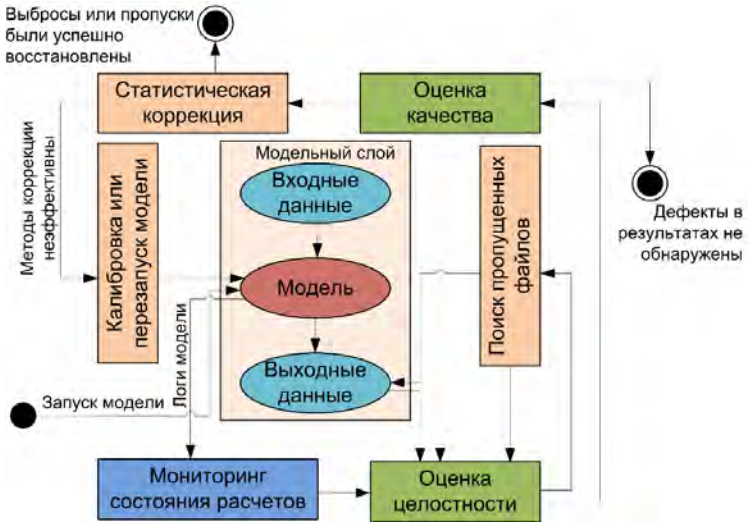


Рис. 1. Жизненный цикл гидрометеорологической модели

Таким образом, предполагается, что модели были заранее настроены корректно и функционируют в рамках всей системы без значимых аппаратных или программных сбоев.

Для решения проблемы управления процессами моделирования, в работе предлагается рассмотреть жизненный цикл гидрометеорологических моделей с точки зрения действий эксперта, который он совершает в ходе анализа результатов моделирования. Общая схема жизненного цикла представлена на рис. 1.

Первоначально эксперт производит запуск модели с некоторой конфигурацией (набором начальных, граничных условий и параметров модели). После того, как расчеты были завершены (успешно либо произошел непредвиденный сбой), необходимо оценить целостность и качества результатов моделирования.

Результаты считаются целостными если в них не были обнаружены пропущенные, поврежденные файлы или серии файлов. В противном случае производится поиск оригинальных файлов в местах, где потенциально они могут быть.

Если на вычислительном узле не удалось найти оригиналы, для восстановления пропущенных или поврежденных файлов необходимо применять методы восстановления данных. Для таких случаев могут быть использованы различные методы интерполяции (для одиночных пропусков), так и интеллектуальные методы восстановления данных, например, на основе машинного обучения [5].

Однако, при наличии значительных пропусков или повреждений методы восстановления вносят ощутимую ошибку в результаты, и в таких случаях необходимо пересчитать пропущенный фрагмент данных, повторно запустив модель с предыдущей конфигурацией.

При отсутствии пропусков или поврежденных файлов, результаты нельзя считать достоверными без дополнительного анализа качества результатов, поскольку полученные прогнозы могут совершенно не соответствовать действительности.

Чаще всего, прогнозы получаются недостоверными, если пользователь выбрал неподходящие граничные или начальные условия, либо ошибся в ходе настройки параметров модели. Для диагностики подобных дефектов в результатах зачастую требуется привлечь эксперта в области гидрометеорологического моделирования, который способен провести комплексную оценку достоверности результатов, используя различные статистические методы, а также опираясь на собственные предметные знания. Стоит отметить, что данный этап в моделировании является одним из наиболее дорогим и требует больших временных затрат. Несмотря на то, что к настоящему времени научное сообщество обозначило достаточно много различных подходов к оценке качества результатов моделирования, в том числе и для задач гидрометеорологии, для большинства случаев приходится разрабатывать новые решения, а также привлекать эксперта из определенной предметной области. Таким образом, вопрос о том, можно ли заменить эксперта для данных задач какими-либо интеллектуальными методами, является достаточно актуальным.

С точки зрения жизненного цикла модели, результатом оценки качества должно быть значение критерия или набора критериев, по которому можно с некоторой долей ошибки определить, являются ли результаты достоверными или нет. При отрицательном результате можно сделать вывод о том, что весь набор расчетных данных являются не корректными и требуют пересчета с другими параметрами модели.

Подходы к оценке качества расчетов можно разделить на 3 группы:

– Сопоставление результатов расчетов с эталонными результатами на основе измерений.

– Косвенная оценка качества расчетов режимных характеристик гидрометеорологических процессов, включая экстремальные значения.

– Экспертная оценка воспроизведения моделями известных географических и климатических закономерностей.

Здесь стоит отметить, что первые два подхода могут быть эффективны только при наличии имеющихся наблюдений, таким образом, для полноценной оценки качества прогнозов необходимо привлекать эксперта в области гидрометеорологического моделирования. Однако, данный этап является достаточно дорогим, и, таким образом, в рамках технологии жизненного цикла гидрометеорологической модели, были разработаны специальные методы интеллектуальной автоматизированной оценки качества результатов, который был описан авторами в работе [6].

Обычно, результаты моделирования океана представлены климатологическим переменным полем в конкретной модельной системе координат океанической сетки. Чаще всего, эксперт способен легко различать аномальное и нормальное поведения океана. С другой стороны, автоматическое обнаружение аномалий является сложной задачей, поскольку некорректные поля имеют разную форму для разных переменных.

Проблема обнаружения аномалий может быть сформулирована с позиции задачи распознавания образов. В частности, требуется искать аномальные образы в изображениях результатов моделирования океана с уменьшенным экспертным контролем. Автоматическое распознавание образов является классической задачей машинного обучения, которая может быть решена методами обучения с учителем или без.

В аномальных расчетных данных моделирования океана артефакты могут иметь разную природу, и поэтому они могут проявляться в различных формах. Таким образом, определения класса аномалий неизвестно в большинстве случаев. Корректное поведение океанических переменных для заданного региона могут быть определены, в основном, только экспертом. Методы обучения с учителем требуют не только экспертного времени для ручной разметки, но и наличия относительно большого набора данных, содержащего оба класса – с нормальным и аномальным поведением.

В общем случае, для обучения сложных моделей распознавания образов требуется большой набор размеченных изображений. Например, набор MNIST [7], который считается одним из стандартных наборов для задач распознавания образов, содержит около 70000 примеров. В случае с Арктикой проблематично создать тренировочный набор данных с сопоставимым количеством изображений. Учитывая эти ограничения, становится ясным, что обучение сверточной нейронной сети (CNN) на полноразмерных изображениях не применимо в данной задаче. В качестве возможного решения проблемы предлагается разбиение изображений на подобласти равных размеров, из которых в дальнейшем возможно составить набор для обучения. В рамках данного подхода также возможно учитывать пространственную зависимость, которая является ключевой в распознавании аномалий льда.

На рис. 2 показан полный процесс обнаружения аномалий, который может быть описан как последовательная проверка корректности каждой подобласти при помощи CNN, обученной на корректных изображениях Арктики. Корректность интерпретируется как оценка схожести подобласти с аномалией.

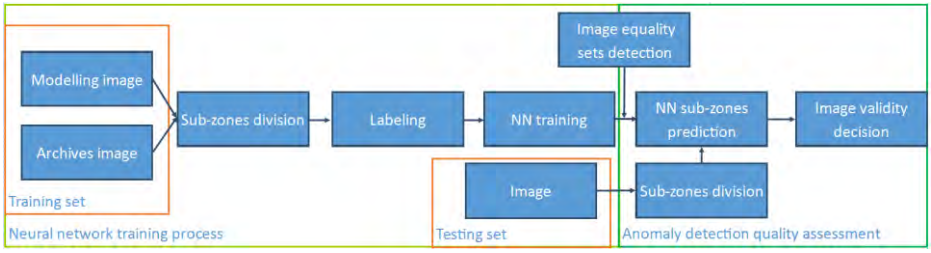


Рис. 2. Схема процесса обнаружения аномалий

Основываясь на таких оценках для каждой подобласти, можно сделать вывод о всем изображении: можно ли отнести данное изображение к классу аномального или нет.

Одной из трудностью в обнаружении аномалий в изображениях морского льда заключается в том, что географическое расположение скоплений льда так же важно, как и его числовые характеристики. Таким образом, признаки морского льда Арктического региона имеют характерную пространственную зависимость. Также следует учитывать сезонность льда: изображения для разных месяцев будут значительно отличаться. В качества эталонных данных о сплоченности льда были использованы данные, предоставленные OSI SAF с 1980 по 2015 год [8]. Предлагаемое решение обнаружения аномалий в изображениях льда включает в себя разбиение изображений концентрации льда на отдельные подобласти, и затем использовать полученные данные для обучения сверточной нейронной сети.

Для того, чтобы учесть пространственную зависимость морского льда, каждая отдельная подобласть, представляющая собой один пример, был помечен соответствующим порядковым номером, стартовый отчет для которых ведется с правого верхнего угла (см. верхние числа на рис. 3). Стоит отметить, что при таком подходе процедура разметки занимает незначительное время, и ее возможно проводить в автоматическом режиме. Таким образом, CNN, обученная на корректных изображениях льда для каждой подобласти показывает: к какой из корректных подобластей она ближе всего. Основываясь на оценках для каждого квадрата, становится возможным проверить все изображение льда и отметить его как аномальное или нет.

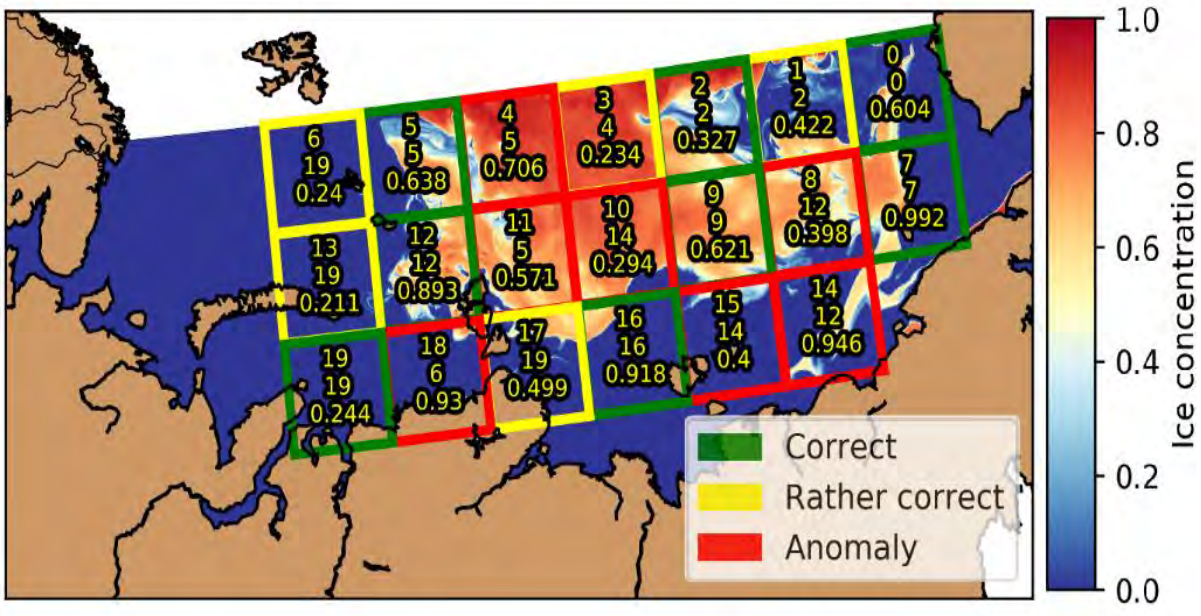


Рис. 3. Результаты обнаружения аномалий в изображениях концентрации льда

В соответствии с жизненным циклом модели, после оценки качества и целостности результатов, возможен негативный исход: либо в результатах были обнаружены значительные аномалии, либо размер пропуска в данных превышает допустимую точность интерполяции. На рис. 4 представлена подробная схема работы технологии динамической поддержки качества результатов моделирования.

В общем случае основной принцип работы предложенной технологии заключается в использовании «дешевых» подходов для исправления возможных дефектов в результатах до допустимого значения ошибки методов.

Рис. 4. Технология динамической поддержки высокогокачества результатов моделирования

Однако, при значительных дефектах единственным решением является повторый расчет модели для дефектного временного промежутка, причем, в некоторых случаях, при других параметрах модели. На этом этапе поднимается вопрос о калибровке гидрометеорологической модели под определенные условия экспериментов.

В рамках работы было проведено экспериментальное исследование для оценки практической эффективности предложенного робастного метода калибровки. Конфигурация модели SWAN для Карского моря была выбрана в качестве примера для исследования из-за ценности этого региона для промышленного развития на шельфе и чрезвычайно низкой плотности датчиков в областях, представляющих интерес.

В качестве базового решения задачи калибровки модели был выбран широко известный алгоритм многокритериальной оптимизации SPEA2 [9]. С точки зрения эволюционных алгоритмов, в нашем случае каждый индивид соответствует генотипу, представленному в качестве набора значений параметров модели, а фенотипом (значения целевой функции) являются ошибки прогнозирования модели, соответствующими этим параметрам.

В качестве примера была взята задача калибровки конфигурации модели SWAN для региона Карского моря. В качестве целевой переменной было взято значение высоты волны. Кроме того, были проанализированы результаты в девяти репрезентативных точках, чтобы учесть возможную пространственную изменчивость оптимального решения.

В целом, для большинства из сценариев прирост составил не менее 10% по сравнению со стандартными параметрами модели.

В рамках работы была предложена и разработана интеллектуальная технология управления жизненным циклом компьютерной гидрометеорологической модели, которая позволяет валидировать результаты экспериментов, а также поддерживать высокое качество прогнозов в автоматическом режиме, без привлечения эксперта в области гидрометеорологии. Технология включает в себя следующие модули и подходы, которые были реализованы в ходе магистерской работы:

– Программный компонент автоматической оценки целостности результатов моделирования.

– Подходы к интеллектуальной оценке качества результатов моделирования на основе сверточных нейронных сетей.

– Подход к автоматической калибровке параметров гидрометеорологической модели на основе многокритериального эволюционного алгоритма.

Разработанные подходы по отдельности были успешно протестированы на реальных результатах моделирования, а также на ряде синтетических сценариях.

Литература

1. Mbogo G.K., Rakitin S.V., Visheratin A. High-performance meteorological data processing framework for real-time analysis and visualization // Procedia Computer Science. 2017.
2. Golubev K. и др. Floodvision: A Tool for Fast and Comfortable Scenario-Based Visual Analysis of a Large Climate Datasets // Procedia Computer Science. 2017.
3. Kalyuzhnaya A.V. и др. Towards a scenario-based solution for extreme metocean event simulation applying urgent computing // Futur. Gener. Comput. Syst. 2018.
4. Knyazkov K. V. и др. CLAVIRE: e-Science infrastructure for data-driven computing // J. Comput. Sci. 2012.
5. Araya-Lopez J.L., Nikitin N.O., Kaluzhnaya A.V. Case-adaptive ensemble technique for met-ocean data restoration // Procedia Computer Science. 2018. Т. 136. С. 311–320.
6. Vychuzhanin P., Hvatov A., Kalyuzhnaya A.V. Anomalies Detection in Metocean Simulation Results Using Convolutional Neural Networks //Procedia Computer Science. 2018. Т. 136. С. 321-330.
7. Yann L., Corinna C., Chris B. MNIST handwritten digit database [Электронный ресурс] // New York University. 2018.
8. Schulz J. и др. Operational climate monitoring from space: The EUMETSAT satellite application facility on climate monitoring (CM-SAF) // Atmos. Chem. Phys. 2009.
9. Laumanns M. SPEA2 - The Strength Pareto Evolutionary Algorithm 2 // ETH Zürich. 2002.

Каканов Михаил Александрович
Год рождения: 1994
Университет ИТМО
факультет систем управления и робототехники,
студент группы R4234,
направление подготовки: 27.04.03 – системный анализ и управление
(управление мобильными киберфизическими системами),
e-mail: m.a.kakanov@itmo.ru
Пыркин Антон Александрович
Университет ИТМО,
факультет систем управления и робототехники,
д.т.н., профессор,
e-mail: pyrkin@itmo.ru

УДК 681.5.015

РАЗРАБОТКА РОБАСТНОГО АЛГОРИТМА УПРАВЛЕНИЯ С АНТИВИНДАП-КОРРЕКЦИЕЙ ДЛЯ МОБИЛЬНЫХ КИБЕРФИЗИЧЕСКИХ СИСТЕМ

М.А. Каканов

Научный руководитель – д.т.н., профессор **А.А. Пыркин**

Университет ИТМО

Работа выполнена в рамках темы НИР №718546 «Управление киберфизическими системами»

Аннотация
Работа посвящена разработке робастного алгоритма управления с антивиндап-коррекцией выходом мобильных киберфизических систем при наличии ограничений на сигналы управления и неучтенной асимптотически устойчивой динамики, а также в условиях влияния внешних возмущающих воздействий.
Ключевые слова
Киберфизические системы, робастное управление, интегральное насыщение, антивиндап-коррекция, неучтенная динамика.

Введение

В прикладных исследованиях теории управления в последнее время большой интерес представляет класс киберфизических систем. Такие системы используют вычислительные и коммуникационные алгоритмы, глубоко внедренные в физические процессы и тесно взаимодействующие с ними, что позволяет эффективно расширять возможности физических систем [1]. Они состоят из множества «умных» устройств, связанных между собой в единую сеть и способных самостоятельно адаптироваться к внешним изменениям без вмешательства человека.

Существует множество областей применения мобильных киберфизических систем, включая, например, производство и транспорт. В рамках транспортных мобильных киберфизических систем можно рассматривать наводные суда и беспилотные летательные аппараты (например, квадрокоптеры). Эти объекты

представляют собой многомерные механические системы, на которые оказывают влияние внешние возмущающие воздействия (например, ветровой снос, волновая качка, течение). Стоит отметить, что параметры таких объектов часто неизвестны или известны частично, в силу чего замкнутая система с разработанным регулятором должна характеризоваться свойством робастности по отношению к параметрической неопределенности.

При разработке алгоритмов управления киберфизическими системами, необходимо принимать во внимание ограничения аппаратных возможностей реальных технических систем. Исполнительные устройства, которые отрабатывают сигнал управления в физическом мире, всегда ограничены по уровню входного сигнала. Общие примеры таких пределов: пределы отклонения в приводах воздушных судов; пределы напряжения тока в электрических приводах; пределы пропускной способности и скорости в гидравлических приводах. Несмотря на то, что такие пределы ограничивают в основном производительность системы, частью которой они являются, их необходимо учитывать надлежащим образом, иначе возможно возникновение непредвиденного поведения системы. Например, насыщение управляющих сигналов при наличии интегральной компоненты в структуре регулятора приводит к появлению эффекта интегрального насыщения (integral windup), вследствие чего в системе могут увеличиться время переходного процесса, значение перерегулирования, а также могут появиться автоколебания и даже потеря устойчивости [2].

Постановка задачи

Рассмотрим систему вида:

$$\dot{x} = Ax + Bu + Rw, \tag{1}$$

$$y = Cx + Qw, \tag{2}$$

где $x \in \mathbb{R}^n$ – вектор состояния, $u \in \mathbb{R}^m$ — управляющий сигнал, $w \in \mathbb{R}^{n_w}$ – вектор возмущающих воздействий, $y \in \mathbb{R}^p$ — вектор выходных переменных, A, B, C, Q, R – матрицы соответствующих размерностей.

Вектор возмущающих воздействий рассматривается как линейное состояние системы

$$\dot{w} = S(\varrho)w, \tag{3}$$

где ϱ – вектор неизвестных параметров, S — матрица соответствующей размерности.

Управляющий сигнал u удовлетворяет условию насыщения

$$u = \mathrm{sat}(\upsilon) = \begin{cases} u_{max} & \text{при} \quad \upsilon \geq u_{max}, \\ u & \text{при} \quad u_{min} < \upsilon < u_{max}, \\ u_{min} & \text{при} \quad \upsilon \leq u_{min}, \end{cases} \tag{4}$$

где u_{min} и u_{max} — пределы насыщения по входу, υ — управляющий сигнал, генерируемый номинальным линейным регулятором.

Примем ряд допущений

Допущение 1. Объект $\dot{x} = Ax + Bu + Rw$, (1) и (2) минимально-фазовый (нуль-динамика устойчива).

Допущение 2. Относительная степень объекта (1) и (2) $\rho \geq 1$ известна.

Допущение 3. Вектор ϱ – генератора возмущений (19) известен.

Допущение 4. Возмущающее воздействие ограничено $w \in \mathcal{L}_\infty$, причем

номинальный управляющий сигнал u_0 необходимый для компенсации такого возмущения в установившемся режиме удовлетворяет неравенству $u_{min} \le |u_0| \le u_{max}$.

Допущение 5. Многоканальный объект управления возможно декомпозировать.

Целью управления является обеспечение асимптотической устойчивости в условиях влияния внешнего возмущения с компенсацией интегрального насыщения при ограничениях на входное воздействие, используя измерения исключительно выходной переменной y: $\lim\limits_{t\to\infty} y(t) = 0$.

Синтез регулятора

Исходя из предположения о возможности декомпозировать многоканальный объект управления, рассмотрим одноканальный объект в пространстве состояний в отсутствии внешних возмущений ($w = 0, m = 1$):

$$\dot{x} = Ax + bu, \tag{5}$$

$$y = c^T x. \tag{6}$$

Преобразуем объект управления (5), (6) для выделения устойчивой нуль динамики к модели:

$$\begin{bmatrix} \dot{z_1} \\ \dot{z_2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} \\ A_{21} & A_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} z_1 \\ z_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ b_2 \end{bmatrix} u, \tag{7}$$

$$y = [0 \quad c_2^T] \begin{bmatrix} z_1 \\ z_2 \end{bmatrix}, \tag{8}$$

где A_{11} гурвицева в силу допущения 1, вектора b_2 и c_2 имеют вид:

$b_2^T = [0 \quad \cdots \quad 0 \quad b_0]$, $c_2^T = [1 \quad 0 \quad \cdots \quad 0]$.

На основе векторно-матричной модификации метода «последовательного компенсатора» [3] выберем закон управления:

$$u = -\kappa(c_k^T \xi + y), \tag{9}$$

$$\dot{\xi} = A_q \xi + b_q y, \tag{10}$$

где $\kappa > 0$, матрица A_q и вектора b_q, c_k имеют вид:

$$A_q = \begin{bmatrix} -q_\rho \sigma & 1 & 0 & \dots & 0 \\ -q_{\rho-1}\sigma^2 & 0 & 1 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ -q_2 \sigma^{\rho-1} & 0 & 0 & \dots & 1 \\ -q_1 \sigma^\rho & 0 & 0 & \dots & 0 \end{bmatrix}, \quad b_q = \begin{bmatrix} q_\rho \sigma \\ q_{\rho-1}\sigma^2 \\ \vdots \\ q_2 \sigma^{\rho-1} \\ q_1 \sigma^\rho \end{bmatrix}, \quad c_k = \begin{bmatrix} k_1 \\ k_2 \\ \vdots \\ k_{\rho-1} \\ k_\rho \end{bmatrix}, \tag{11}$$

где $\sigma > 0$ и q_i $(i = \overline{1, \rho})$ выбраны из условия гурвицевости системы (10), k_i $(i = \overline{1, \rho})$ – параметры управления, рассчитываемые для обеспечения желаемого быстродействия в системе.

Предложенный регулятор обеспечивает устойчивость замкнутой системы при наличии сигнальной и параметрической неопределенности. Рассмотрим случай наличия неучтенной асимптотически устойчивой динамики. Объект (7), (8) перепишем в виде:

$$\begin{bmatrix} \dot{z_1} \\ \dot{z_2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} \\ A_{21} & A_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} z_1 \\ z_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ b_2 \end{bmatrix} \bar{u}, \quad (12)$$

$$y = [0 \quad c_2^T] \begin{bmatrix} z_1 \\ z_2 \end{bmatrix}, \quad (13)$$

$$\dot{z_3} = \mu^{-1}(A_{33} z_3 + b_3 u), \quad (14)$$

$$\bar{u} = c_3^T z_3, \quad (15)$$

где A_{33} – гурвицева матрица, μ – маленькое число, которое определяет скорость сходимости неучтенной динамики.

Для замкнутой системы (12)-(15) с законом управления (9)-(10) выполним процедуру перехода к новому базису:

$$\chi = z_2 - \xi, \quad (16)$$

$$\varrho = z_3 + \kappa c_3 \left(c_q^T + c_2^T\right) z_2. \quad (17)$$

Тогда замкнутая система примет вид:

$$\begin{bmatrix} \dot{z_1} \\ \dot{z_2} \\ \dot{\varrho} \\ \dot{\chi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} & 0 & 0 \\ A_{21} & A_{22} - \kappa b_2 \bar{c}^T & b_2 c_3^T & 0 \\ \kappa c_3 \bar{c}^T A_{21} & \kappa c_3 \bar{c}^T (A_{22} - \kappa b_2 \bar{c}^T) & \mu^{-1} A_{33} + \kappa c_3 \bar{c}^T b_2 c_3^T & \mu^{-1} \kappa b_3 c_q^T \\ A_{21} & A_{22} - I_0 - \kappa b_2 \bar{c}^T & b_2 c_3^T & A_q \end{bmatrix} \begin{bmatrix} z_1 \\ z_2 \\ \varrho \\ \chi \end{bmatrix}, \quad (18)$$

где $\bar{c}^T = c_q^T + c_2^T$, I_0 — верхне-сдвиговая матрица.

В результате двух замен координат мы получили замкнутую систему такого вида, что Гурвицевость всей матрицы состояний представлена в явном виде. Все диагональные блоки, начиная от A_{11} до матрицы состояний целиком устойчивы за счет коэффициентов μ, κ, σ.

Настройка предложенных алгоритмов выполняется путем произвольного варьирования параметров σ и κ, что является достаточно комфортным для реализации расчет алгоритмов. Так, может быть решена задача обеспечения гарантированного быстродействия замкнутой системы не менее заданного путем настройки вектора-строки c_k. Введем дополнительное допущение:

Допущение 6. Матрица A и векторы b и c объекта (5) и (6) рассматриваются в виде:

$$A = A_0 + \Delta A, \quad b = b_0 + \Delta b \quad c^T = [1 \quad 0 \quad \ldots \quad 0],$$

где A_0 и b_0 – известные номинальные параметры, ΔA и Δb – ограниченная параметрическая неопределенность.

Задача обеспечения времени переходного процесса не более заданного эквивалентна задаче обеспечения степени устойчивости не менее рассчитанного:

$$\alpha \geq \frac{3}{\tau^*}. \quad (19)$$

Запишем модель замкнутой системы, объединяя объект (5), (6) с законом

управления (9), (10), и введем новую переменную $\chi = \iota c^T x - \xi$, где $\iota = [1 \quad 0 \quad \dots \quad 0]^T$:

$$\dot{x} = Ax, \tag{20}$$

$$y = c^T x, \tag{21}$$

где

$$A = \begin{bmatrix} A - b(1 + c_k^T \iota)c^T & bc_k^T \\ \iota c^T (A - b(1 + c_k^T \iota)c^T & \iota c^T b c_k^T + A_q \end{bmatrix}, \quad x = \begin{bmatrix} x \\ \chi \end{bmatrix}, \quad c = \begin{bmatrix} c \\ 0 \end{bmatrix}.$$

С учетом Допущения 6 (20) примет вид:

$$\dot{x} = (A_0 + \Delta A)x, \tag{22}$$

где

$$A_0 = \begin{bmatrix} A_0 - b_0(1 + c_k^T \iota)c^T & b_0 c_k^T \\ \iota c^T (A_0 - b_0(1 + c_k^T \iota)c^T) & \iota c^T b_0 c_k^T + A_q \end{bmatrix}, \quad \Delta A = \begin{bmatrix} \Delta A - \Delta b(1 + c_k^T \iota)c^T & \Delta b c_k^T \\ \iota c^T (\Delta A - \Delta b(1 + c_k^T \iota)c^T & \iota c^T \Delta b c_k^T \end{bmatrix}.$$

Выполним параметризацию матрицы A_0 модели (22):

$$A_0 = \bar{A} + \bar{b} c_k^T \bar{c}^T, \tag{23}$$

где

$$\bar{A} = \begin{bmatrix} A_0 - b_0 c^T & 0 \\ \iota c^T (A_0 - b_0 c^T) & A_q \end{bmatrix}, \quad \bar{b} = \begin{bmatrix} b_0 \\ \iota c^T b_0 \end{bmatrix}, \quad \bar{c}^T = [-\iota c^T \quad I]. \tag{24}$$

Причем $\Delta A = 0$, тогда для стабилизации объекта со степенью устойчивости не менее заданной α^* (19) достаточно существование положительно определенной симметричной матрицы $P = P^T > 0$, удовлетворяющей матричному неравенству Ляпунова:

$$A_0^T P + P A_0 + 2\alpha^* P < 0. \tag{25}$$

Подставив (23) в (25) и представив в канонической форме, получим:

$$M + N^T c_k L + L^T c_k^T N < 0, \tag{26}$$

где $M = \bar{A}^T P + P\bar{A} + 2\alpha^* P$, $N = \bar{c}^T$, $L = \bar{b}^T P$.

Задача расчета вектора параметров управления c_k для обеспечения степени устойчивости не менее α^* сводится к поиску взаимообратных матриц P и R, удовлетворяющих условиям:

$$W_{\bar{c}^T}^T (\bar{A}^T P + P\bar{A} + 2\alpha^* P) W_{\bar{c}^T} < 0, \tag{27}$$

$$W_{\bar{b}^T}^T (R\bar{A}^T + \bar{A}R + 2\alpha^* R) W_{\bar{b}^T} < 0, \tag{28}$$

$$P > 0, \quad R > 0, \tag{29}$$

$$PR = I, \tag{30}$$

где столбцы матриц W_N и W_L образуют базисы ядер N и L, соответственно, при этом $W_L = P^{-1}W_{\bar{b}^T} = RW_{\bar{b}^T}$, где $R > 0$, столбцы матрицы $W_{\bar{b}^T}$ образуют базис ядра $\bar{b}^T$, $W_{\bar{c}^T} = W_N$, I – единичная матрица.

Проанализируем робастность алгоритма при $\Delta A \neq 0$. Исследуем устойчивость системы (22) с помощью кандидат-функции Ляпунова $V = x^T Px$. Продифференцировав ее получим:

$$\dot{V} = -2\left(\alpha^* - \|\Delta A\|\frac{\lambda_{max}\{P\}}{\lambda_{min}\{P\}}\right)V, \tag{31}$$

что при $\beta = \alpha^* - \|\Delta A\|\frac{\lambda_{max}\{P\}}{\lambda_{min}\{P\}} > 0$ эквивалентно выполнению неравенства $(A_0 + \Delta A)^T P + P(A_0 + \Delta A) + 3\beta P < 0$.

Используя алгоритм поиска взаимообратных матриц, описанный в [4], и определив оптимальное значение матрицы P, удовлетворяющее условиям (27)-(30), можем записать, что при $\|\Delta A\| < \alpha^*\frac{\lambda_{max}\{P\}}{\lambda_{min}\{P\}}$ справедливо $\dot{V} \leq -2\beta V$, откуда следует экспоненциальная устойчивость системы.

В случае, когда параметры объекта неизвестны, для применения Допущения 6 параметры могут быть идентифицированы. В диссертационной работе приводится сравнительный анализ трех алгоритмов идентификации: градиентный алгоритм, его модификация расширенным фильтром Калмана, а также методом динамического расширения регрессора (ДРР). Метод ДРР показал наилучшие показатели качества сходимости процессов оценивания в сравнении с другими. Так, процессы проходят более гладко и с более высокой скоростью сходимости к реальному значениям. Кроме того, ДРР показал более низкие требования к выполнению условия неисчезающего возбуждения.

Вернемся к случаю наличия внешних возмущающих воздействий ($w \neq 0$). Объект управления рассмотрим в виде:

$$\dot{x} = Ax + bu + Rw, \tag{32}$$

$$y = c^T x. \tag{33}$$

Дополним алгоритм управления внутренней моделью для компенсации детерминированного возмущения. Также, рассмотрим аппаратные ограничения на входные воздействия и для компенсации виндап эффекта, возникающего на интеграторе внутренней модели дополним закон управления контуром антивиндап-коррекции. Выберем закон управления вида:

$$\upsilon = -\kappa(c_k^T\xi + y) - \gamma\eta, \tag{34}$$

$$\dot{\xi} = A_q\xi + b_q y, \tag{35}$$

$$\dot{\eta} = \kappa(c_k^T\xi + y) + \nu\varkappa(\upsilon), \tag{36}$$

$$\varkappa(\upsilon) = \upsilon - \text{sat}(\upsilon), \tag{37}$$

где $\varkappa(\upsilon)$ — нелинейный сигнал антивиндап-коррекции, $\kappa > 0$, $\gamma > 0$, $\nu > 0$, матрица A_q

и швектора b_q, c_k имеют вид (11).

Объединяя объект (35), (36) с законом управления (37)-(40), и переходя к новым координатам $\chi = z_2 - \xi$, и $\zeta = (b_2^T b_w)^{-1} b_2^T z_2 + \eta$ получим матрицу состояния объекта А вида

$$A = \begin{bmatrix} A_{11} & 0 & A_{12} & 0 \\ \overline{b_2}^T A_{21} & -\gamma & \overline{b_2}^T (A_{22} + \gamma I) & 0 \\ A_{21} & -b_2\gamma & A_{22} - \kappa b_2 (c_k^T + c_2^T) + \gamma b_2 \overline{b_2}^T & \kappa b_2 c_K^T \\ A_{21} & -b_2\gamma & A_{22} - I_0 - \kappa b_2 (c_k^T + c_2^T) + \gamma b_2 \overline{b_2}^T & A_q + \kappa b_2 c_k^T \end{bmatrix}, \quad (38)$$

где можно показать, что в силу Допущения 1 первый блок, состоящий из матрицы A_{11} гурвицев. Следующий блок гурвицев, поскольку выбор $\gamma > 0$ обеспечит смещение спектра блока влево от мнимой оси. Далее, можно показать, что существует такое число κ^*, что для $\forall \kappa \geq \kappa^*$ следующий блок будет гурвицев, т.к. от κ зависит только блочный элемент $A_{22} - \kappa b_2 (c_k^T + c_2^T) + \gamma b_2 \overline{b_2}^T$, поэтому увеличение этого параметра не окажет влияния на оставшиеся блочные элементы. В силу структуры матрицы A_q аналогично можно показать, что матрица A гурвицева. Параметр σ, совместно с вектором c_k определяющим устойчивую динамику A_q, а значит и блока $A_q + \kappa b_2 c_k^T$. Так как в других блочных элементов этого параметра не содержится, его увеличение будет способствовать смещению матрицы A влево от мнимой оси.

Таким образом, в силу выбора параметров γ, κ, σ в системе можно добиться гурвицевости всех диагональных блочных элементов матрицы A, откуда следует гурвицевость всей матрицы в целом.

Применение алгоритма к киберфизическим системам

Верификация предложенного алгоритма управления была проведена посредством моделирования приложений к классу мобильных киберфизических систем. Были решены задачи стабилизации волновой качки надводного судна при помощи гиростабилизатора, удержания заданного положения надводным судном и квадрокоптером, а также задача независимого управления звеньями манипуляционного робота с вращательными сочленениями.

В рамках аннотированной статьи ограничимся одним примером, рассмотрим задачу удержания заданной конфигурации манипуляционным роботом. Управление звеньями будем рассматривать независимым. Рассмотрим модель управления пятизвенным манипулятором KUKA Youbot Arm. Параметры модели примем неизвестными. Исходя из общепринятой концепции управления роботом манипулятором построим трехконтурный регулятор по координате $\boldsymbol{q}$, скорости $\dot{\boldsymbol{q}}$ и току i с параметрами:

$$\sigma_{(\cdot)} = 30, \qquad \kappa_{(\cdot)} = 10, \qquad \nu_{(\cdot)} = 1, \qquad \gamma_{(\cdot)} = 1,$$

с учетом ограничений на управляющие сигналы:

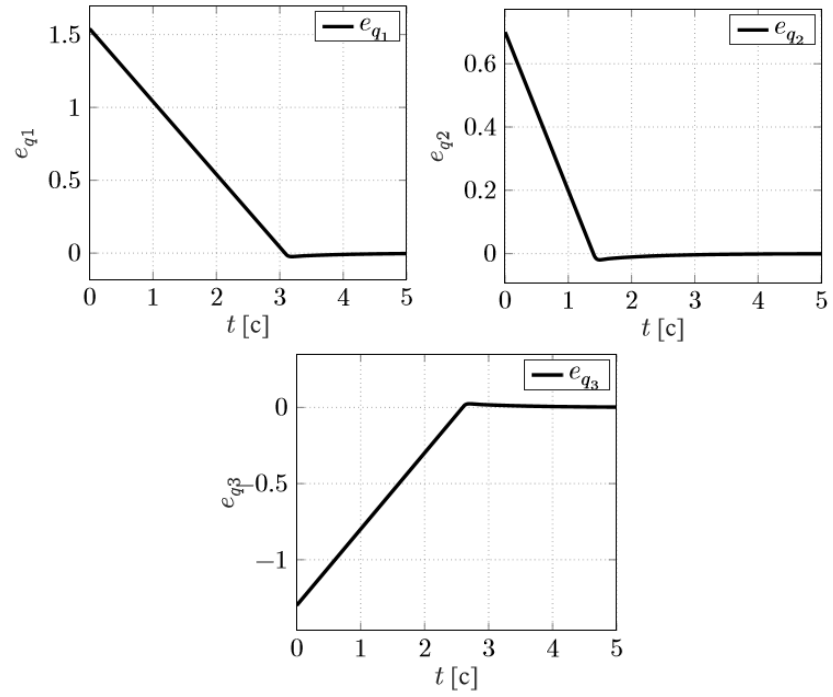
$$u_{\min,q_{(\cdot)}} = -u_{\max,q_{(\cdot)}} = u_{\min,i_{(\cdot)}} = -u_{\max,i_{(\cdot)}} - 0.5,$$

$$u_{\min,\dot{q}_{(\cdot)}} = -u_{\max,\dot{q}_{(\cdot)}} = -2,$$

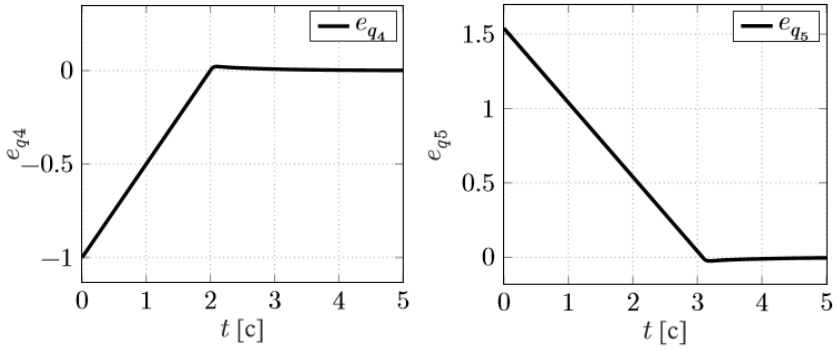
Результаты моделирования представлены на рис. 1.

Предложенный алгоритм упрощает процедуру настройки регуляторов. В

классическом подходе применяют П-регулятор по ошибке и ПИ-регуляторы по скорости и току, где параметры необходимо настраивать независимо для каждого контура управления. В рассмотренной реализации для всех контуров были выбраны одни параметры на все контура.



(а) Первое звено (б) Второе звено (в) Третье звено



(г) Четвертое звено (д) Пятое звено

Рисунок 1. Ошибка регулирования по координате $\boldsymbol{q}_{(\cdot)}$

Заключение

В рамках работы был разработан робастный алгоритм управления с антивиндап-коррекцией выходом мобильных киберфизических систем при наличии ограничений на сигналы управления и неучтенной асимптотически устойчивой динамики, а также в условиях влияния внешних возмущающих воздействий. Кроме того, был предложен алгоритм настройки предложенного алгоритма при помощи инструментария линейных матричных неравенств, с целью обеспечения гарантированного быстродействия не менее заданного.

В качестве направления дальнейших исследований может быть реализована интеграция всех описанных приложений (мобильный робот, квадрокоптер, манипулятор) в единую киберфизическую сеть, для согласованного выполнения некой общей задачи. Интерес вызывают задачи: децентрализация управления, организация

различных топологий сети, обеспечение двустороннего обмена информацией между такими узлами сети, усложнение сценариев функционирования на базе автоматической коммуникации роботов друг с другом.

Литература

1. Characterization, analysis, and recommendations for exploiting the opportunities of cyber-physical systems / M. Törngren [и др.] // Cyber-Physical Systems. Elsevier, 2017. С. 3-14.
2. Stability and stabilization of linear systems with saturating actuators / S. Tarbouriech [и др.]. Springer Science & Business Media, 2011.
3. Бобцов А.А. Робастное управление по выходу линейной системой с неопределенными коэффициентами // Автоматика и телемеханика. 2002. №11. С. 108-117.
4. Баландин Д.В., Коган М.М. Синтез регуляторов на основе решения линейных матричных неравенств и алгоритма поиска взаимообратных матриц // Автомат. и телемех. 2005. №1. С. 82–99.

Мартынчук Илья Геннадьевич
Год рождения: 1995
Университет ИТМО,
факультет программной инженерии и компьютерной техники,
студент группы Р4200,
направление подготовки: 09.04.01 – Информатика и вычислительная техника,
e-mail: mt4.ilja@gmail.com
Алиев Тауфик Измайлович
Год рождения: 1945
Университет ИТМО,
факультет программной инженерии и компьютерной техники,
д.т.н., профессор,
e-mail: aliev@cs.ifmo.ru

УДК 004.75

АНАЛИЗ НЕСТАЦИОНАРНЫХ ПРОЦЕССОВ В ОБЛАЧНЫХ СИСТЕМАХ

И.Г. Мартынчук

Научный руководитель – профессор, д.т.н. **Т.И. Алиев**

Университет ИТМО

Работа выполнена в рамках темы НИР № 619296 «Разработка методов создания и внедрения киберфизических систем».

Аннотация
Основным недостатком алгоритмов автоматического масштабирования, используемых в современных облачных платформах, является отсутствие возможности прогнозирования нагрузочных процессов на систему. В работе предложено аналитическое представление нестационарных распределений и их композиции. Полученные аналитические модели могут быть использованы при проектировании облачных систем и их управлении с помощью сервисов автоматического масштабирования. Кроме того, исследовано влияние нестационарности нагрузочных процессов на характеристики функционирования облачных систем.
Ключевые слова
Облачные вычисления, нестационарные процессы, теория массового обслуживания, автоматическое масштабирование, имитационное моделирование.

В настоящее время широко распространены вычисления в облачных системах, которые предоставляют широкий спектр решаемых задач при малом времени обработки пользовательских запросов. Примерами таких систем могут служить различные интернет-сервисы преобразования форматов изображений и медиа файлов, сервисы для выполнения математических расчетов и сервисы для коллективной работы с офисными документами. Ввиду того, что облачные системы, как правило, имеют веб-интерфейс, для работы с ними не требуется иметь специализированное программное обеспечение, поэтому постоянно увеличивается число их пользователей и возрастает суммарная нагрузка на них.

Отличительной особенностью облачных систем является возможность динамического изменения виртуальной инфраструктуры в соответствии с загрузкой вычислительных ресурсов [1]. За этот процесс отвечает сервис автоматического масштабирования. В процессе работы были проанализированы алгоритмы, использующиеся в наиболее популярных облачных платформах. В результате проведенного анализа сделан вывод, что во всех рассмотренных решениях сервис автоматического масштабирования принимает решения о добавлении или исключении узлов из инфраструктуры только на основе данных о мгновенной загрузке. Таким образом, отсутствует возможность прогнозирования нагрузочных процессов на систему.

В теории массового обслуживания вычислительные системы в большинстве случаев представляются в виде систем с очередями. Входящий поток запросов в систему задается с помощью некоторого распределения. Одним из важнейших параметров потока поступающих заявок является интенсивность. Однако при моделировании и расчете характеристик функционирования систем используется ряд допущений, основным из которых является предположение о стационарности параметров распределений и, соответственно, неизменной интенсивности входящих потоков во времени. Процессы в реальных системах не обладают постоянной интенсивностью, таким образом, можно поставить под вопрос адекватность результатов моделирования, полученных с использованием стационарных распределений.

Целью работы являлось обеспечение возможности прогнозирования нестационарной нагрузки облачных систем с помощью аналитических моделей.

Для достижения поставленной цели был определен следующий ряд задач:

1. Выполнить анализ и классификацию процессов, протекающих в реальных системах.
2. Разработать аналитическую модель нестационарных распределений и их композиции.
3. Выявить влияние нестационарности нагрузочных процессов на характеристики функционирования облачных систем.

Для определения характера нагрузочных процессов, протекающих в реальных системах, в работе проанализирована нагрузка на сетевое оборудование крупных систем обмена данными. Данные сервисы представляют из себя наивысший уровень иерархии сети Интернет и предназначены для высокоскоростного обмена данными между географически распределенными регионами. Если обратиться к графику сетевой активности крупнейшей в России точки обмена данными MSK-IX (рис. 1), видно, что интенсивность сетевой нагрузки не обладает свойством стационарности, то есть меняется со временем, а также имеет ярко выраженный синусоидальный характер изменения [2].

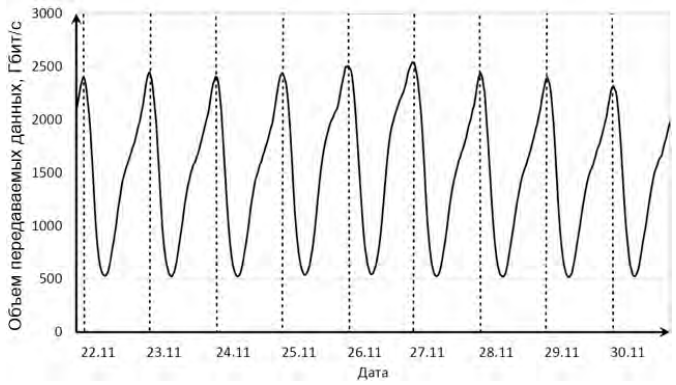


Рис. 1. Суммарный транзитный трафик через узлы MSK-IX за неделю

Процесс поступления пользовательских запросов к крупным облачным приложениям представляет из себя совокупность некоторого числа потоков. Такие потоки могут отличаться не только интенсивностью, но и периодичностью из-за различного географического положения пользователей. Это затрудняет решение задачи проектирования облачной системы. Поэтому возникает необходимость разработки способа описания и моделирования нагрузочных процессов, не обладающих свойством стационарности и представляющими из себя совокупность нескольких потоков с различными параметрами. Таким образом, наличие адекватной модели таких систем с учетом нестационарности нагрузки, обеспечит возможность проектирования и управления облачными системами, а также позволит оптимизировать распределение нагрузки и количество вычислительных узлов.

Нестационарные процессы имеют низкую степень теоретической проработанности с точки зрения аналитических методов теории массового обслуживания. Для обеспечения возможности анализа и исследования процессов, протекающих в реальных системах, предложена следующая классификация нестационарных процессов в зависимости от характера задающего распределения и от природы нестационарного процесса.

По задающим распределениям:

– с изменяющимися параметрами закона распределения;

– с изменяющимся законом распределения, но постоянными значениями параметров;

– с изменяющимися как законом распределения, так и значениями его параметров.

По природе изменений:

– периодические;

– апериодические;

– хаотические.

В соответствии с предложенной классификацией и представленным ранее графиком сетевой активности (рис. 1), можно сделать вывод, что процессы, определяющие нагрузку на облачные вычислительные системы, относятся к классу периодических нестационарных процессов, ввиду естественной периодичности нагрузки, создаваемой реальными пользователями таких систем.

В работе предложено аналитическое представление нестационарных распределений с помощью описания функции плотности распределения и зависимости параметра распределения от времени.

Пусть два нестационарных процесса заданы нестационарными распределениями $f(x,t)$ и $g(x,t)$, тогда:

$$\begin{cases} f(x,t) = a(\lambda_f(t), x) \\ \lambda_f(t) = c(t) \end{cases}, \quad (1)$$

$$\begin{cases} g(x,t) = b(\lambda_g(t), x) \\ \lambda_g(t) = d(t) \end{cases}, \quad (2)$$

$$\begin{cases} sum(x,t) = a(\lambda_f(t), x) \otimes b(\lambda_g(t), x) \\ \lambda_{sum}(t) = c(t) + d(t) \end{cases}, \quad (3)$$

$$\begin{cases} comp(x,t) = (a(\lambda_f(t), x) + b(\lambda_g(t), x))/2 \\ \lambda_{comp}(t) = c(t) + d(t) \end{cases}. \quad (4)$$

Для вычисления суммы этих процессов, представляющей из себя их последовательное сложение, функцию плотности распределения $sum(x,t)$ можно вычислить как свёртку исходных плотностей распределения, а для вычисления их композиции плотность распределения $comp(x,t)$ можно рассчитать как взвешенную смесь с равными весами.

В обоих случаях, результирующая функция изменения параметра распределения может быть определена как сумма исходных. При этом, средняя и максимальная интенсивность потока заявок может быть найдена как сумма соответствующих значений. Адекватность полученных аналитических моделей проверена в ходе многочисленных имитационных экспериментов [3].

Полученные модели могут быть применены при проектировании и управлении облачными системами.

В настоящее время часто встречающейся задачей является перенос приложений и ресурсов с физических серверов в облачные окружения. Например, пусть имеется два приложения, одно из которых развернуто поверх облачной инфраструктуры, а второе функционирует на физическом узле. В случае переноса приложения 2 в облачное окружение приложения 1 важно определить, справится ли текущая вычислительная инфраструктура облачной системы с возросшей нагрузкой. Применяя предложенные в работе аналитические модели, а также существующие методы получения функции изменения параметра и аппроксимации вероятностных распределений, можно получить модель результирующего нагрузочного процесса и оценить загруженность вычислительных ресурсов облачной системы в условиях повышения нагрузки [4, 5].

Для оценки адекватности использования стационарных распределений и выявления влияния нестационарности нагрузочных процессов на характеристики функционирования облачных систем, в ходе работы разработана имитационная модель облачной системы с динамическим перераспределением ресурсов в среде AnyLogic Professional 7.0.2. Модель состоит из двух приложений с раздельными накопителями. В один момент времени к каждому прибору может поступать поток заявок от не более, чем одного приложения. Сервис автоматического масштабирования реализован в соответствии с проанализированными алгоритмами реальных облачных систем. Изменение количества вычислительных ресурсов осуществляется в зависимости от установленных порогов суммарной загрузки узлов по приложениям. По достижению верхнего порога происходит добавление приборов испытывающему высокую нагрузку приложению, а по достижению нижнего порога осуществляется исключение мало нагруженных узлов.

Для наглядности рассмотрены результаты экспериментов с синусоидальными интенсивностями. Эксперимент проводился в два этапа. В первом случае на вход каждому приложению подавалась нестационарная нагрузка с синусоидальной интенсивность и противоположными фазами. Во втором случае подавалась стационарная нагрузка с интенсивностью, равной средней интенсивности синусоидальной нагрузки из первого этапа эксперимента.

По результатам моделирования, представленным на рис. 2 и в таблице, выявлено, что нестационарность приводит к отличию результатов в среднем на 2500%. Следовательно, использование стационарных распределений не позволяет адекватно оценить характеристики функционирования облачных систем в условиях нестационарной нагрузки.

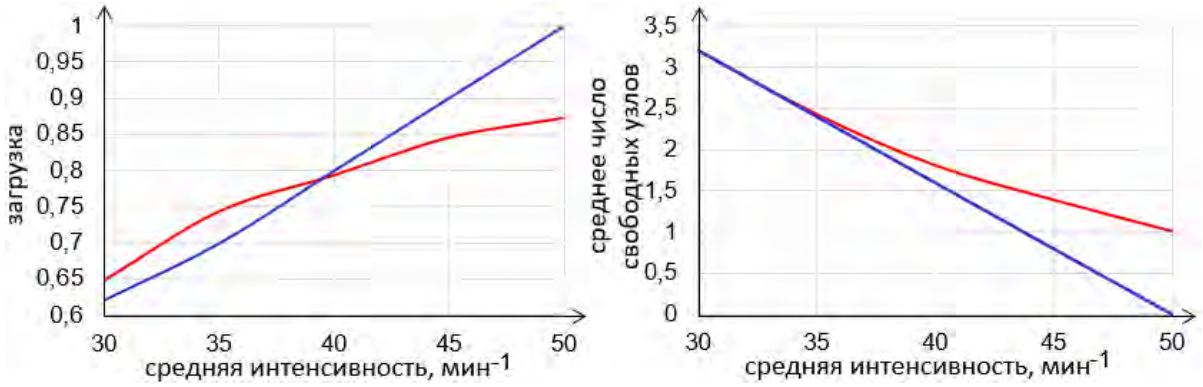


Рис. 2. Результаты имитационных экспериментов:
синий график – стационарный поток, красный – нестационарный

Таблица

Результаты имитационных экспериментов

B	$T_{ам}$	Нестационарный поток			Стационарный поток		
		l	w	π	l	w	π
30	5	1,342 ± 0,03	0,045 ± 0,002	0	0,658 ± 0,005	0,022 ± 0,001	0
35	5	77,311 ± 5,5	2,217 ± 0,1	0,004	1,006 ± 0,007	0,029 ± 0,001	0
40	5	217,53 ± 8,87	5,614 ± 0,12	0,032 ± 0,001	2,391 ± 0,008	0,06 ± 0,003	0
45	5	357,366 ± 10,2	8,64 ± 0,32	0,082 ± 0,002	7,123 ± 0,01	0,158 ± 0,004	0
50	5	495,358 ± 11,1	11,309 ± 0,41	0,125 ± 0,003	512,602 ± 5,28	10,266 ± 0,02	0,001
30	1	1,014 ± 0,01	0,034 ± 0,001	0	1,186 ± 0,01	0,04 ± 0,004	0
35	1	3,992 ± 3,2	0,114 ± 0,09	0	1,544 ± 0,014	0,044 ± 0,004	0
40	1	112,627 ± 8,6	2,82 ± 0,12	0,002	5,08 ± 0,021	0,127 ± 0,008	0
45	1	314,362 ± 9,9	7,252 ± 0,29	0,037 ± 0,001	37,77 ± 0,15	0,839 ± 0,1	0,001
50	1	491,159 ± 10,2	10,462 ± 0,40	0,061 ± 0,001	523,183 ± 7,22	10,479 ± 0,075	0,002

В процессе проведения экспериментов отмечено заметное влияние периода автоматического масштабирования на характеристики системы. В случае нестационарной нагрузки наблюдается снижение длины очереди, время ожидания и вероятности потерь. Это можно объяснить улучшением реакции системы на возрастание нагрузки и снижением количества отказов. В случае стационарного потока зависимость обратная. Данный результат объясняется снижением точности расчета загрузки вычислительных узлов и повышением ложных срабатываний алгоритма автоматического масштабирования. Под ложным срабатыванием понимается последовательное включение и отключение вычислительного узла в следствии кратковременного превышения пороговых значений загрузки по приложению.

В результате работы выполнен анализ процессов, протекающих в реальных системах. По результатам анализа предложена классификация нестационарных процессов. В соответствии с предложенной классификацией определено, что процессы, определяющие нагрузку на облачные системы, относятся к классу периодических нестационарных процессов. Предложено аналитическое представление нестационарных распределений и их композиции. Полученные аналитические модели могут быть использованы при проектировании облачных систем и их управлении с помощью сервисов автоматического масштабирования. Разработана имитационная модель облачной системы с двумя приложениями и сервисом автоматического масштабирования. По результатам моделирования выявлено, что использование нестационарных распределений приводит к отличию результатов в среднем на 2500%.

Период автоматического масштабирования напрямую влияет на характеристики функционирования системы как в случае стационарности нагрузки, так и при использовании нестационарных распределений.

Литература

1. Portnoy Matthew. Virtualization Essentials. 2nd ed. New York: Wiley/Sybex, 2016. 336 p.
2. Акционерное общество «Центр взаимодействия компьютерных сетей «МСК-IX» (АО «ЦВКС «МСК-IX»). Суммарный трафик участников, передаваемый через MSK-IX. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.msk-ix.ru/traffic/ (дата обращения: 07.02.2018).
3. Zhmylev S.A., Martynchuk I.G., Kireev V.I., Aliev T.I. Analytical methods of nonstationary processes modeling // CEUR Workshop Proceedings. 2019. – Vol. 2344.
4. Жмылёв С.А., Мартынчук И.Г., Киреев В.Ю., Алиев Т.И. Оценка длины периода нестационарных процессов в облачных системах // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. 2018. Т. 61. № 8. С. 645–651.
5. Алиев Т.И. Трехмоментная аппроксимация вероятностных распределений в моделях массового обслуживания // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2014. № 2(90). С. 107–110.

Павлов Кирилл Владимирович
Год рождения: 1995
Университет ИТМО,
факультет фотоники и оптоинформатики, студент группы V4230,
направление подготовки: 12.04.02 – Оптотехника,
e-mail: kirill.pavlov@icloud.com
Лебедев Вячеслав Федорович
Год рождения: 1957
Университет ИТМО,
факультет фотоники и оптоинформатики,
кандидат технических наук,
e-mail: lebedev@oi.ifmo.ru

УДК 621.373.826, 546.26-162

АНАЛИЗ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА МАТЕРИАЛОВ ФОТОНИКИ МЕТОДОМ ЛАЗЕРНО-ИСКРОВОЙ ЭМИССИОННОЙ СПЕКТРОСКОПИИ

К.В. Павлов

Научный руководитель – к.т.н. **В.Ф. Лебедев**

Университет ИТМО

Работа выполнена в рамках темы НИР № 617032 «Разработка новых материалов для фотоники».

Аннотация
В работе рассмотрено применение метода лазерно-искровой эмиссионной спектроскопии для анализа химического(примесного) состава нового материала фотоники – HPHT-алмазов. Продемонстрирована возможность распознавания алмазов и их кристаллографических ориентаций как по первым лазерным импульсам, так и на основании различий в процессе лазерно-индуцированной графитизации поверхности образца. Предложена компактная ЛИЭС-система на основе лазера с самообращением волнового фронта, позволяющая проводить измерения на дистанциях до 12.5 метров.
Ключевые слова
Фотоника, лазерная техника, анализ химического состава, лазерно-искровая эмиссионная спектроскопия, HPHT-алмаз, лазерно-индуцированная графитизация, самообращение волнового фронта, ЛИЭС-система.

В настоящее время лазерно-искровая эмиссионная спектроскопия (ЛИЭС) является методом, используемым в широком спектре задач – от промышленных применений до космических исследований [1]. Основное преимущество данного метода заключается в высокоточном дистанционном многоэлементном анализе состава вещества, находящегося в любом агрегатном состоянии, в режиме реального времени за один лазерный импульс [2].

Современные системы для лазерно-искровой эмиссионной спектроскопии (ЛИЭС-системы) в большинстве своем предполагают использование коммерческих лазеров [3]. Одновременно с этим доказана эффективность использования парных

лазерных импульсов с варьируемыми временными задержками для получения более интенсивных ЛИЭС-спектров, что позволяет значительно увеличить расстояния до мишени [4].

Одним из актуальных применений метода ЛИЭС является анализ синтетических алмазов, выращенных методами CVD («испарение из газовой фазы») или HPHT («высокое давление – высокая температура»). Благодаря развитию технологий роста лабораторных алмазов, в настоящее время появилась возможность использовать их не только для ювелирной промышленности, но и для технических применений: в качестве активной среды лазера на эффекте вынужденного комбинационного рассеяния [5], в качестве подложек для создания элементов электронной промышленности или как элементов теплоотвода и многие другие.

На рис. 1 представлена принципиальная схема ЛИЭС-системы. Излучение твердотельного лазера (1) фокусируется при помощи оптической системы (2) на установленном на моторизированной подвижке образце (3), вблизи поверхности которого создана нейтральная аргоновая атмосфера. В результате взаимодействия лазерного излучения с поверхностью образца образуется плазма, излучение которой захватывается приемным телескопом (4) и фокусируется на торец приемного волокна (5), по которому передается на линейку ПЗС-матриц спектрометра (6). После преобразования сигнала спектрометром, цифровой сигнал попадает на подключенный к нему персональный компьютер (7) и подлежит последующей обработке в собственном программном обеспечении Automated LIBS, с помощью которого так же реализованы запуск лазера, его синхронизация со спектрометром, задание параметров эксперимента. Управление подвижкой осуществляется с этого же ПК посредством коммерческого ПО SMA Tools.

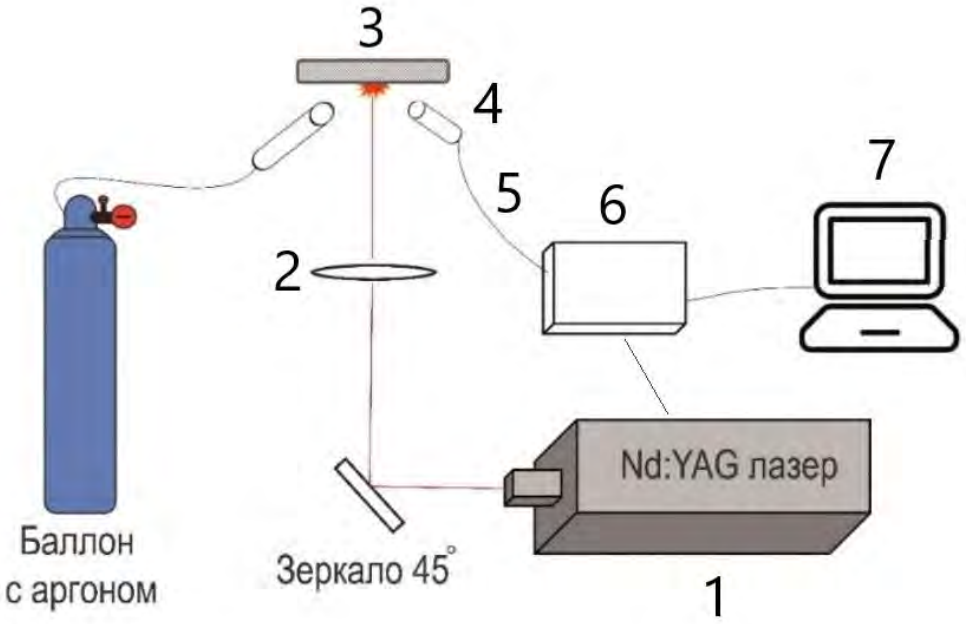


Рис. 1. Принципиальная схема ЛИЭС-системы, где: 1 – Nd:YAG-лазер,
2 и 4 – фокусирующие системы, 3 – моторизированная подвижка с образцами,
5– оптическое волокно, 6 – спектрометр, 7 – компьютер

В качестве исследуемых образцов использовались синтетические алмазы, выращенные методом HPHT компанией ООО «Нью Даймонд Технолоджи» (Россия). Компанией были предоставлены пластины желтых алмазов различных размеров с различным уровнем легирования азотом от десятков до сотен долей на миллион и

различными кристаллографическими ориентациями, бесцветный HPHT алмаз с кристаллографической ориентацией (111) и легированный бором алмаз (рис. 2).

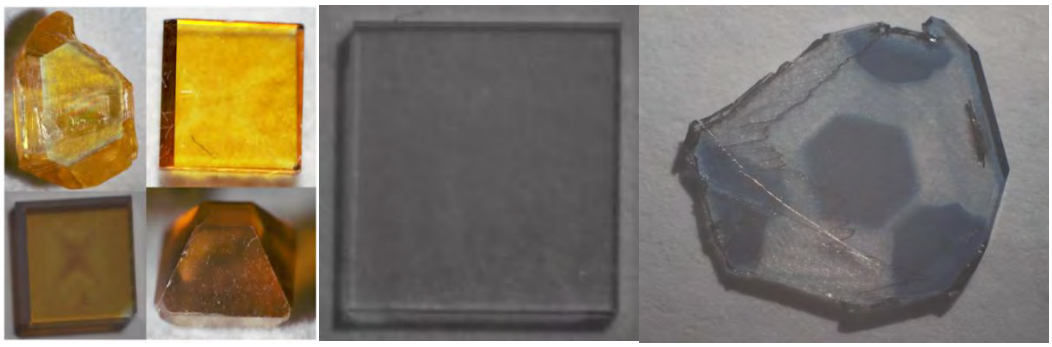


Рис. 2. Синтетические алмазы

В начале исследования неоднозначным оставался вопрос о взаимодействии образцов с лазерным излучением. В первых экспериментах алмазы крепились при помощи двустороннего скотча на подложку из стекла К8. Было принято решение начать с минимально возможных энергий импульсов (около 85 мДж), поскольку была неизвестна степень неоднородности образца. Удалось зафиксировать линейчатые спектры плазмы азотосодержащего синтетического алмаза, но, как и предполагалось, на при достижении энергии импульса около 230 мДж была повреждена целостность образца. Полученные спектры были скорректированы алгоритмами математической обработки. После обработки спектров была в ручном режиме проведена идентификация полос спектра на принадлежность к химическому элементу / молекуле: CN, C_2, Ca, H, K, Ar, Na и O (рис. 3).

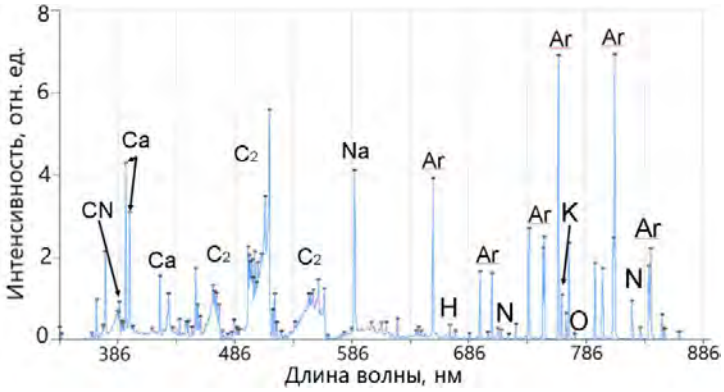


Рис. 3. Обзорный ЛИЭС-спектр HPHT-алмаза

После успешной расшифровки химического состава синтетического алмаза было принято решение провести качественный анализ химического состава для различных кристаллографических ориентаций в пределах одного образца.

Взаимодействие лазерного пучка с поверхностью алмаза происходило на протяжении до 30 импульсов при энергии лазерного импульса 238 мДж и частоте следования импульсов 2 Гц. В процессе проведения серии экспериментов был установлен следующий механизм взаимодействия лазерного излучения с поверхностью алмаза: первые импульсы являлись не чистящими, как предполагалось ранее, а разрушающими для поверхности алмаза – таким образом, лазерное излучение «цеплялось» за несовершенство обработки образца и создавало дополнительные дефекты поверхности; в последующие 5-7 импульсов наблюдался резкий рост интенсивности полос C_2 и CN; после 10-12 импульсов можно наблюдать стабильный режим абляции, при этом на поверхности

в месте взаимодействия с лазерным излучением образовывалась прочная черная графитоподобная пленка, которую не представлялось возможным удалить механическим способом. Следует отметить, что при лазерно-индуцированной графитизации поверхности образца происходит процесс рекомбинации ионов в факеле плазмы, поэтому некоторая часть молекулярных полос является отображением появления этих молекул, а не связей в кристалле в исходном состоянии. Таким образом, стало возможным выделить 2 стационарных и 1 переходное состояния лазерной абляции, для которых была видна отчетливая разница нормализованных интенсивностей молекул C_2 и CN (рис. 4).

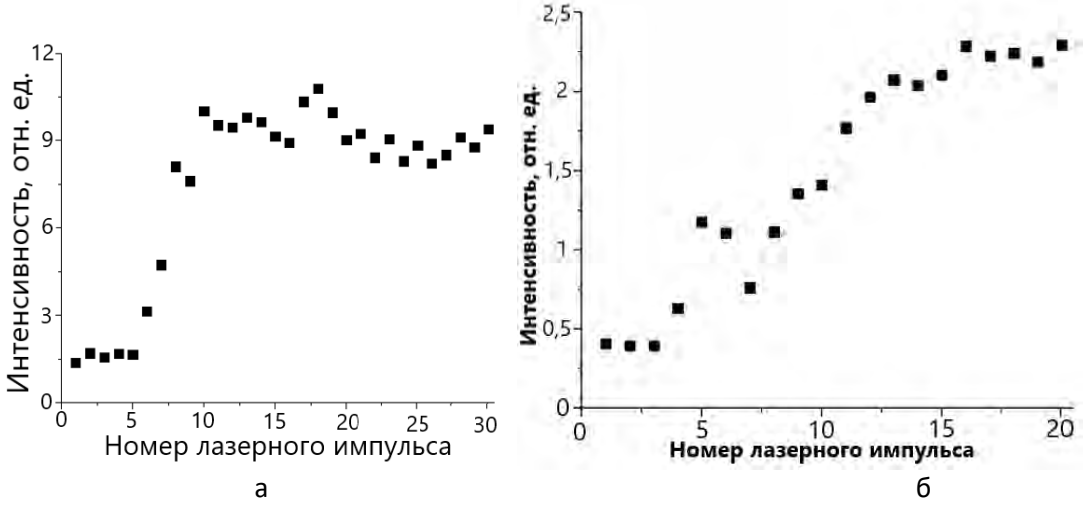


Рис. 4. Зависимости интенсивностей полосы излучения C_2 (а) и CN (б) от номера лазерного импульса

После обработки результатов ЛИЭС-эксперимента было принято решение оценить изменения структуры поверхности алмаза при помощи спектроскопии комбинационного рассеяния (КР). Результатом исследования стало обнаружение в месте лазерной графитизации помимо характерной для алмаза D-полосы на 1332 $см^{-1}$ дополнительной G-полосы на 1600 $см^{-1}$, которая соответствует sp^2-гибридизации атомов углерода вследствие изменения локального окружения. Так же были подтверждены данные о различиях в «чистоте» различных секторов алмаза, поскольку для ориентации (111) были обнаружены дополнительные полосы излучения в спектре КР для 1700$см^{-1}$, 1950$см^{-1}$, 2250$см^{-1}$ и 2500$см^{-1}$.

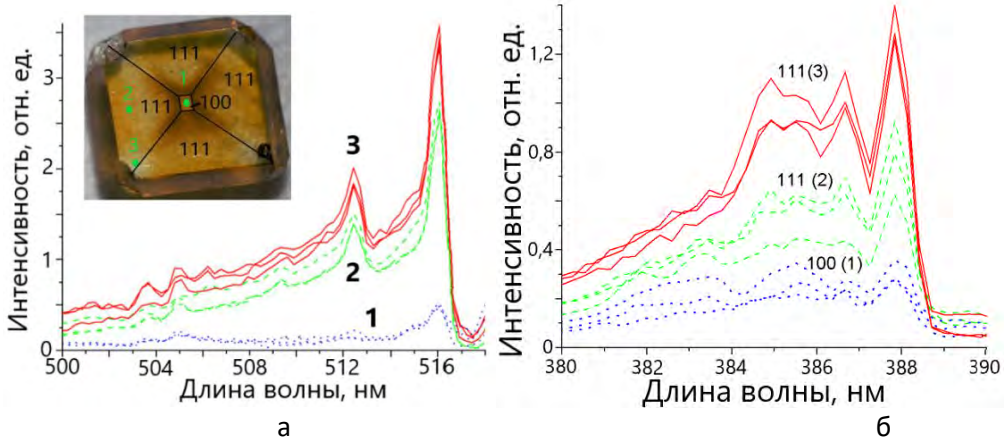


Рис. 5. Интенсивности полос излучения C_2 (а) и CN (б) для различных точек взаимодействия с поверхностью алмаза (на вставке – схема ориентаций образца HPHT-алмаза)

На примере разницы интенсивностей полос CN для различных точек взаимодействия (рис. 5) можно определить их принадлежность к различным кристаллографическим ориентациям – наименьшее содержание CN характерно для ориентации (100), наибольшее – угловая точка с ориентацией (111).

Для распознавания ориентаций возможно использовать поведение полос водорода и кислорода. На рисунках видно не только разное значение интенсивностей, но и различное их поведение в первые 5 лазерных импульсов.

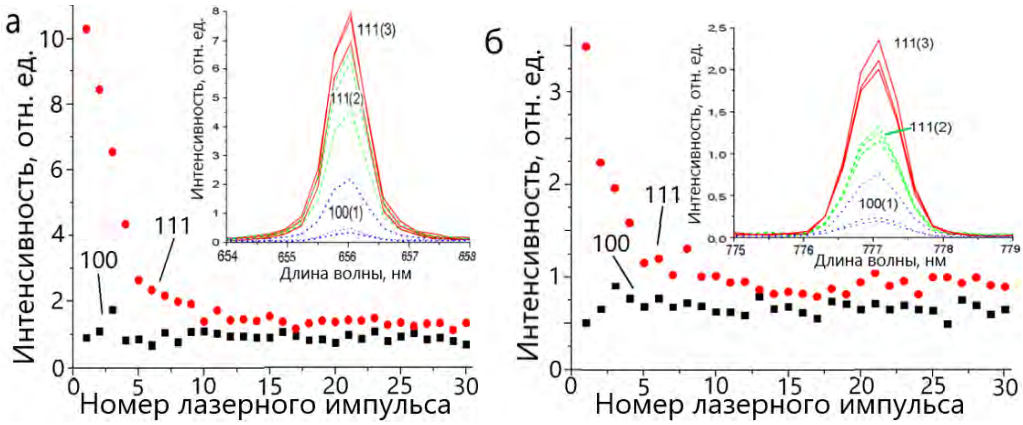


Рис. 6. Зависимость интенсивностей полос излучения H (а) и O (б) для различных секторов алмаза (на вставках – начальные интенсивности полос для различных точек взаимодействия)

Завершающим этапом работы является анализ различных HPHT-алмазов. Сравнивались азотосодержащий алмаз с ориентацией 111, легированный бором алмаз и бесцветный алмаз. Оказалось, что процесс графитизации происходит для них неодинаково. Если поведение полосы излучения C_2 для азотосодержащего алмаза совпадало с ранее полученными данными, то для легированный бором алмаз на протяжении более чем 30 импульсов наблюдался только характерный для переходного состояния рост интенсивности без наличия второй зоны стабильности. Интенсивность для бесцветного алмаза увеличилась не более чем на 10%. Также наблюдались различия в начальных поведениях полосы водорода. Таким образом, можно сделать предположение о возможности распознавания алмазов не более чем за 6 лазерных импульсов, то есть за 3 секунды (рис. 7).

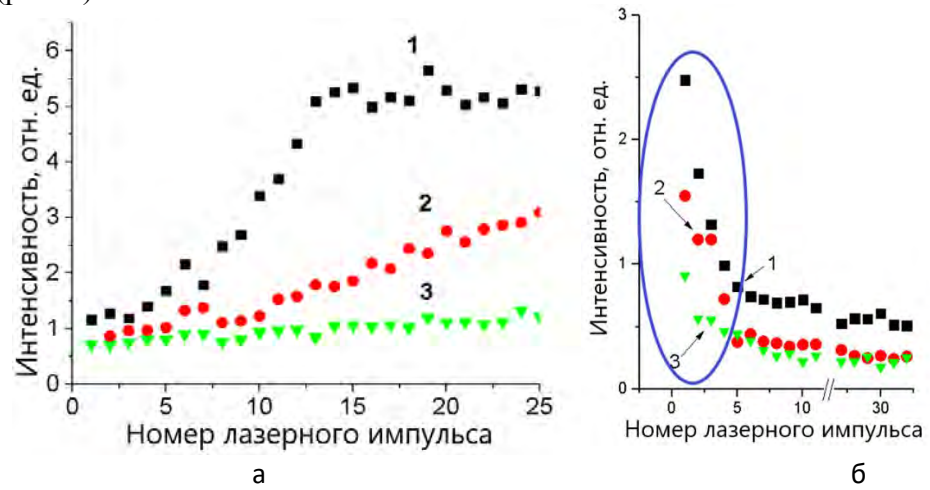


Рис. 7. Зависимости интенсивностей полос C_2 и H от номера лазерного импульса, где:
1 – азотосодержащий алмаз (111), 2 – легированный бором алмаз (110), 3 – бесцветный алмаз (111)

Одним из решений для создания компактных ЛИЭС-систем с высокой дистанционностью является использование в качестве источника излучения лазера на эффекте самообращения волнового фронта. Принципиальная схема лазера (рис. 8) включает в себя активный элемент в виде кристалла Nd:YAG, пассивных Li:F-затвор и систему отражающих зеркал. В таком лазере пересекающиеся пучки в активном элементе записывают динамические решетки показателя усиления, в пассивном лазерном затворе – решетки показателя преломления. Это позволяет достичь высоких спектральных, энергетических (энергия импульса больше 1 Дж) и пространственных характеристик (качество пучка M^2=1.2) лазерного излучения. Данный лазер работать как в режиме одиночного импульса, так и цуга импульсов, где длительность импульсов изменяется током накачки.

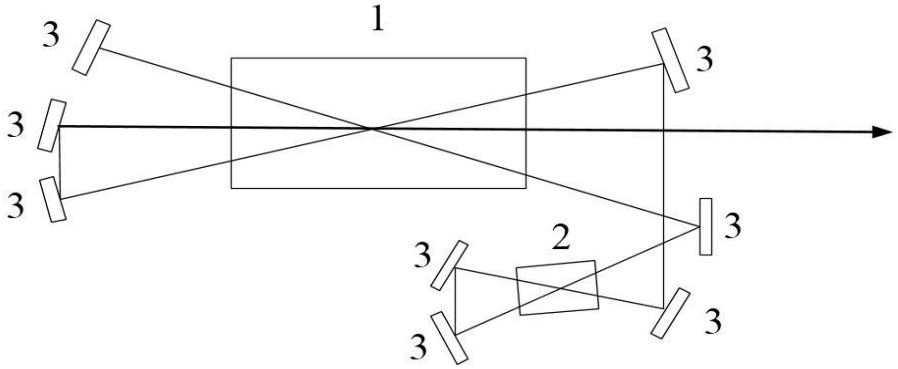


Рис. 8. Принципиальная схема лазера с самоОВФ:
1 – активный элемент, 2 – пассивный затвор, 3 – отражающие зеркала

Принципиальная схема ЛИЭС-системы на таком лазере аналогична ранее использовавшейся. При тестировании системы в режиме автоматической идентификации веществ при двухимпульсном воздействии была получена максимальная дистанция в 10 метров, что являлось максимально возможной в лабораторных условиях. По оценке, предельное расстояние для идентификации веществ с помощью данной системы составляет 12,5 метров. Стоит отметить, что апертура приемной оптической системы составляла всего 35мм.

Таким образом, в работе предложена компактная ЛИЭС-система с лазером на эффекте самообращения волнового фронта в роли источника излучения. Проведен анализ химического (примесного) состава и определен ряд характерных примесных элементов, содержащихся в кристаллической структуре многосекторальных пластин HPHT-алмазов. В ходе исследований была обнаружена лазерно-индуцированная графитизация поверхности образцов, которая оказалась процессом, способствующим существенному увеличению чувствительности метода ЛИЭС. Графитизация для алмазов с различным содержанием примесей протекает не одинаково. Анализ тенденций изменения в течение первых пяти-шести лазерных импульсов интенсивностей полос излучения молекул C2, CN и атомарных полос H, O, N воспроизводимо указывает на различие в кристаллографических ориентациях исследуемых образцов и может быть применен для их распознавания.

Литература

1. Musazzi S. Laser-induced breakown spectroscopy: Theory and Applications – NYC.: Springer, 2014 – 565 p.

2. Gibaek K., Kyoungtae K., Hyunok M. Development of Aerosol-LIBS (Laser Induced Breakdown Spectroscopy) for Real-time Monitoring of Process-induced Particles (Secondary Publication) // Aerosol and Air Quality Research. 2019. V. 1. P. 455–460.
3. Joon-Gon S., Yonghoon L., Do-Kyeong K. Signal enhancement of laser-induced breakdown spectroscopy by applying synchronized buffer gas pulses. // Applied Physics Express. 2018. V. 11 P. 102401-1– 102401-5.
4. Sivakumaran V., Kumar A., Singh R.K. Atomic processes in emission characteristics of a lithium plasma plume formed by double-pulse laser ablation. // Plasma Sci. Technol. 2013. V. 15. P. 204–208.
5. Пашинин В.П., Ральченко В.Г., Большаков А.П. ВКР-лазер на алмазе с генерацией на длинах волн 1194, 1419 и 597 нм. // Квантовая электроника. 2018. Т. 48. № 3. С. 201-205.

Самусевич Ксения Леонидовна
Год рождения: 1995
Университет ИТМО,
Факультет низкотемпературной энергетики,
студент группы №W4230c,
направление подготовки: 16.04.03 – Холодильная, криогенная
техника и системы жизнеобеспечения,
e-mail: k.l.samusevich@gmail.com
Исаченко Григорий Николаевич
Год рождения: 1981
Университет ИТМО
факультет низкотемпературной энергетики, к.ф.-м.н.,
к.ф.-м.н.,
Физико-технический институт им. А.Ф.Иоффе,
лаборатория физики термоэлементов,
e-mail: g.isachenko@corp.ifmo.ru

УДК 621.362

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ Mg_2Si-Mg_2Sn, СОДЕРЖАЩИХ НАНОВКЛЮЧЕНИЯ ДРУГОЙ ФАЗЫ

К.Л. Самусевич[1,2]

Научный руководитель – к.ф.-м.н. **Г.Н. Исаченко**[1,2]

[1]Университет ИТМО
[2]Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН

Аннотация
Теоретические расчеты предсказывают значительное увеличение термоэлектрической добротности за счет снижения теплопроводности, путем рассеивания на наноразмерных включениях в основной матрице материала. В настоящей работе исследовалось влияние включений SiO_2 и $MnSi_{1.75}$ на термоэлектрические свойства твердых растворов $Mg_2Si_{0.3}Sn_{0.7}$. На образцах были измерены температурные зависимости коэффициентов термоэдс, электропроводности и теплопроводности. Показано положительное влияние включений на термоэлектрические свойства рассматриваемого материала.
Ключевые слова
Термоэлектричество, термоэдс, теплопроводность, электропроводность, наноструктурирование, термоэлектрическая добротность, силицидные материалы.

В последнее время остро стоит вопрос по рациональному использованию энергии, что дает толчок для развития новых технологий. Одним из устройств альтернативной энергетики, позволяющим преобразовывать отработанное тепло в электрическую энергию, является термоэлектрический преобразователь энергии. Основной проблемой, ограничивающей его широкое применения, является низкое КПД, равное 8-10%. Поэтому в лабораториях по всему миру активно ведутся поиски подходов по улучшению известных термоэлектрических материалов или разработке новых.

Эффективность любого термоэлектрического материала оценивается безразмерной величиной термоэлектрической добротности.

$$ZT = \frac{S^2\sigma}{\kappa}, \quad (1)$$

где σ, S и κ – коэффициенты электропроводности, термоэдс и теплопроводности, соответственно.

В настоящее время термоэлектрическая добротность твердых растворов на основе магния составляет 1,4 [1] для n-типа проводимости и 0,5 [2] для p-типа проводимости.

Как видно из формулы (1), для получения высокоэффективного термоэлектрического материала необходимо увеличить числитель или уменьшить знаменатель. В тоже время, теплопроводность материала состоит из двух основных составляющих – решеточной и электронной теплопроводности:

$$\kappa = \kappa_{lat} + \kappa_{el} = \kappa_{lat} + L\sigma T, \quad (2)$$

где L – число Лоренца, σ – электропроводность, T – температура.

Из формул (1) и (2) видно, что и в числителе, и в знаменателе присутствует коэффициент электропроводности, поэтому уменьшить теплопроводность материала возможно только за счет снижения решеточной составляющей.

Существует несколько путей по снижению теплопроводности термоэлектрических материалов: формирование твердых растворов, наноструктурирование, а также через искусственные включения посторонних примесей в основном составе.

Первый метод снижения теплопроводности достаточно широко исследован. Второй – не удается экспериментально реализовать на силицидных материалах [3]. Третий подход, который был реализован в данной работе, приводит к флуктуации состава и повышению эффективности рассеяния фононов, что позволяем добиться существенного снижения теплопроводности.

Согласно теоретическим выкладкам Ванга и Минго [4] в твердых растворах Mg_2Si-Mg_2Sn при наличии нановключений должно наблюдается двукратное снижение теплопроводности при размерах включений порядка 5 нм. Как было отмечено ранее, термоэлектрическая добротность материалов p-типа значительно ниже, чем у n-типа, поэтому для практического применения необходимо увеличить термоэлектрическую добротность твердых растворов p-типа, которые исследовались в данной работе.

Таким образом, целью данной работы являлось повышение значения термоэлектрической добротности материала за счет снижения теплопроводности методом нановключений.

Объектом исследования были выбраны твердые растворы Mg_2Si-Mg_2Sn, которые выступают в качестве перспективной замены используемым в настоящее время термоэлектрическим материалам по своей доступности, экологичности и себестоимости.

Для апробации описанного выше подхода были приготовлены твердые растворы $Mg_2Si_{0.3}Sn_{0.7}$ p-типа проводимости, содержащие 1 и 2 вес. % диоксида кремния и 2 и 6 вес. % высшего силицида марганца (ВСМ). Для получения высокой концентрации свободных носителей образцы дополнительно легировались литием.

Синтез образцов происходил в три этапа. Предварительно исходные компоненты взвешивались в требуемых пропорциях, помещались в тигель из пиролитического нитрида бора, который запечатывался в кварцевую ампулу, заполненную аргоном, и синтезировались в высокочастотной печи. Полученные таким образом слитки твердого

раствора дробились и смешивались в соответствующей пропорции с материалом включений. После чего они помещались в планетарно-шаровую мельницу и размалывались до порошка с размером гранул порядка 100 нм.

Полученный нанопорошок консодировался в объемные образцы путем горячего прессования. В результате получались таблетки диаметром 20 мм и выстой 6-10 мм, из которых вырезались образцы для дальнейших измерений термоэлектрических свойств.

Рентгенофазовый анализ показал, что основной состав получился однофазным. Включения ВСМ и диоксида кремния отчетливо просматривались под микроскопом, но требуемого размера включений добиться не удалось. Размеры включений составляли 10-50 мкм.

На образцах были измерены коэффициенты термоэдс, электропроводности и теплопроводности в диапазоне температур от 300 до 750 К.

Результаты измерений температурных зависимостей коэффициентов термоэдс, электропроводности и теплопроводности для образцов с включением SiO_2 приведены на рис. 1, 2, 3 и 4.

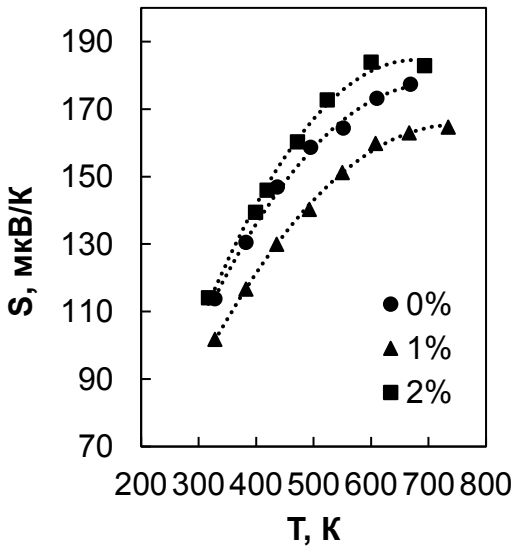


Рис. 1. Температурная зависимость коэффициента термоэдс для образцов с различным содержанием SiO_2

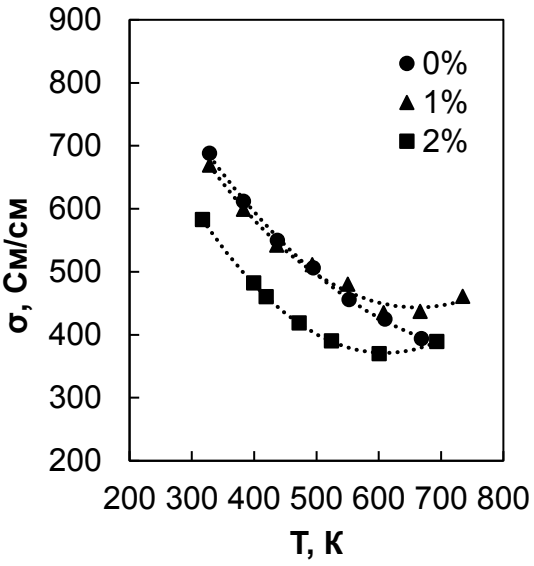


Рис. 2. Температурная зависимость электропроводности для образцов с различным содержанием SiO_2

На рис. 1 наблюдается небольшой рост коэффициента термоэдс для образца с 2 вес. % SiO_2, при этом электропроводность снижается (рис. 2).

Заметнее всего влияние посторонних включений в нашем эксперименте на температурной зависимости теплопроводности, минимальное значение наблюдается у образца, содержащего 2 вес. % SiO_2 (рис. 3). Благодаря низкой теплопроводности термоэлектрическая добротность этого образца достигала 0,5 что на 30 % выше, чем в чистом образце (рис. 4).

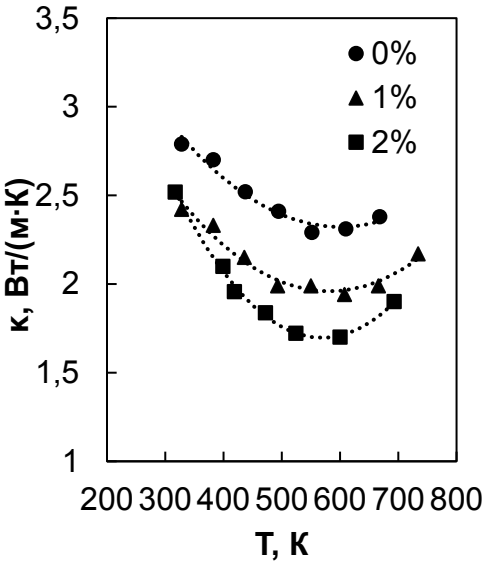


Рис. 3. Температурная зависимость теплопроводности для образцов с различным содержанием SiO_2

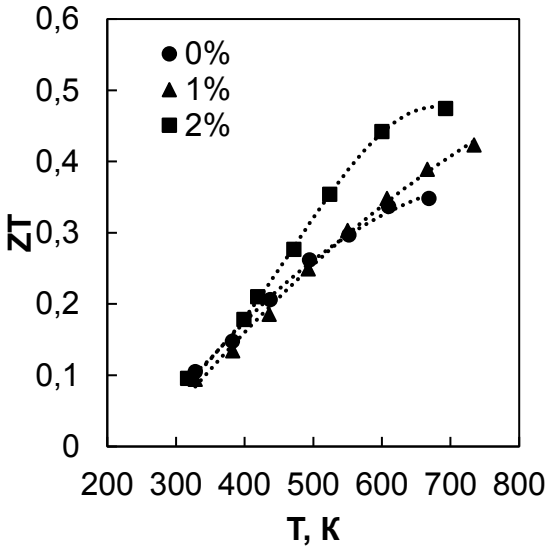


Рис. 4. Температурная зависимость термоэлектрической добротности для образцов с различным содержанием SiO_2

Примерно такая же ситуация наблюдается при исследовании свойств образцов с включением ВСМ. Электрические свойства остаются примерно на том же уровне, что и у исходного материала (рис. 5 и 6). На графиках зависимости электропроводности, представленной на рис. 6, при высоких температурах наблюдается излом кривых для образцов содержащих ВСМ, что можно объяснить изменением механизмов рассеяния при высоких температурах.

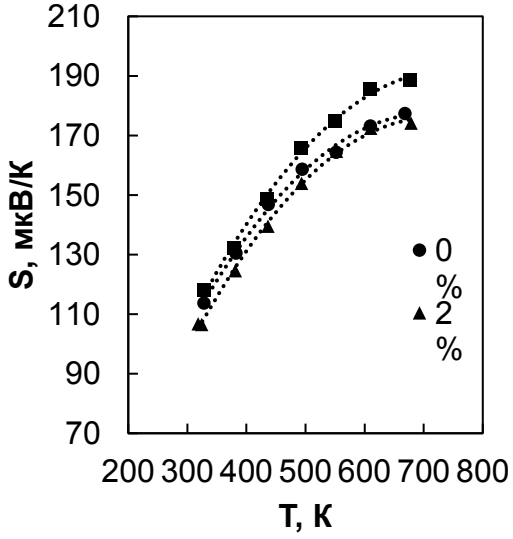


Рис. 5. Температурная зависимость коэффициента термоэдс для образцов с различным содержанием $MnSi_{1.75}$

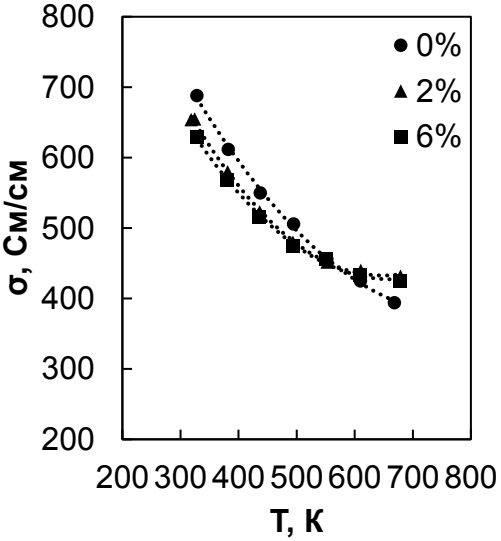


Рис. 6. Температурная зависимость электропроводности для образцов с различным содержанием $MnSi_{1.75}$

На температурной зависимости теплопроводности кривая образца с 2 вес.% включений ВСМ лежит ниже образца без дополнительных примесей (рис. 7). Таким

образом, можно отметить эффективное влияние посторонних примесей на теплопроводность.

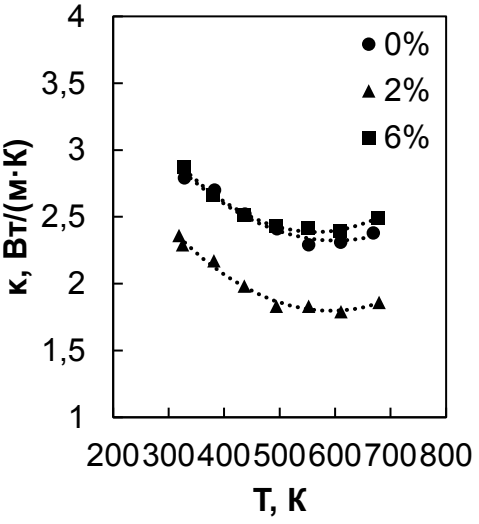


Рис. 7. Температурная зависимость теплопроводности для образцов с различным содержанием $MnSi_{1.75}$

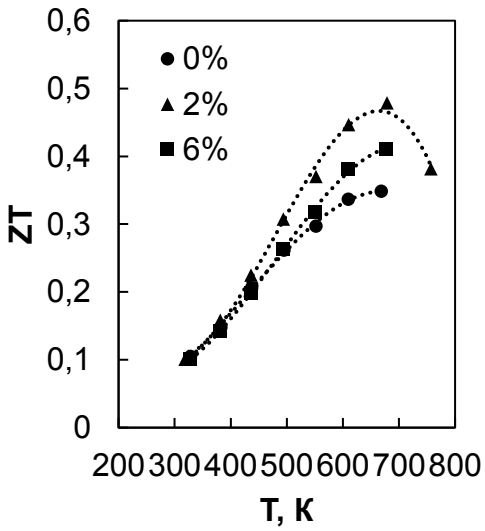


Рис. 8. Температурная зависимость термоэлектрической добротности для образцов с различным содержанием $MnSi_{1.75}$

Благодаря низкой теплопроводности и практически отсутствием влияния на электропроводность и коэффициент термоэдс, термоэлектрическая добротность образца с включением ВСМ приблизилась к 0,5, что на 40 % выше, чем в чистом образце (рис. 8).

Таким образом, в ходе выполнения работы было исследовано влияние включений на термоэлектрические свойства твердых растворов $Mg_2Si_{0.3}Sn_{0.7}$ р-типа проводимости. Показано, что включение второй фазы в основной материал приводит к снижению теплопроводности в твердых растворах Mg_2Si-Mg_2Sn на 30-40%, что способствует увеличению термоэлектрической добротности рассматриваемых материалов, которая возрастает до 0,5 при 700 К для образцов с включение 2 вес. % $MnSi_{1.75}$ и SiO_2.

Литература

1. Gao P., Berkun I., Schmidt R. et al. 2013. Transport and mechanical properties of high-ZT $Mg_{2.08}Si_{0.4-x}Sn_{0.6}Sb_x$ thermoelectric materials. J. Electron. Mater. 43: 1790 – 1803.
2. Fedorov M.I., Zaitsev V.K., Isachenko G.N. High effective thermoelectrics based on the Mg_2Si-Mg_2Sn solid solution // Solid State Phenomena. 2011. V. 170. P. 286–292.
3. Isachenko, G.N., Samunin, A.Y., Gurieva, E.A. Fedorov M.I. Pshenay-Severin D.A. Konstantinov P.P. Kamolova M.D. Thermoelectric Properties of Nanostructured p-$Mg_2Si_xSn_{1-x}$ (x = 0.2 to 0.4) Solid Solutions. Journal of Elec Materi (2016) 45: 1982.
4. Wang S., Mingo N. Improved thermoelectric properties of $Mg_2Si_xGe_ySn_{1-x-y}$ nanoparticle-in-alloy materials Applied Physics Letters. 2009; 94(20): 203109.

Соколов Павел Павлович
Год рождения: 1995
Университет ИТМО,
факультет фотоники и оптоинформатики,
студент группы №V4202,
направление подготовки: 12.04.03 – Фотоника и оптоинформатика,
e-mail: sokol7858@yandex.ru
Ворзобова Надежда Дмитриевна
Университет ИТМО,
факультет фотоники и оптоинформатики,
к.т.н., доцент,
e-mail: vorzobova@mail.ifmo.ru

УДК 535.4

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ФОРМИРОВАНИЯ ТРЕХМЕРНЫХ ОБЪЕКТОВ ГОЛОГРАФИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ И ИХ ХАРАКТЕРИСТИК

П.П. Соколов

Научный руководитель – к.т.н., доцент **Н.Д. Ворзобова**

Университет ИТМО

Аннотация
Рассмотрены процессы формирования голографическими методами трехмерных периодических структур и элементов с произвольной формой поверхности, их свойства, характеристики и возможные применения.
Ключевые слова
Голографическая запись, голографическая 3D печать, периодические структуры, дифракционная эффективность, угловая селективность.

Работа посвящена исследованию процессов формирования трехмерных объектов голографическими методами и их характеристик. Рассматриваются трехмерные объекты периодической конфигурации и объекты с произвольной трехмерной формой поверхности – процессы получения и свойства применительно к актуальным практическим задачам.

Одной из таких задач является задача получения дифракционных элементов солнечных концентраторов. Основным требованием является сочетание высоких дифракционных свойств с широким диапазоном углов падения излучения. В имеющихся публикациях свойства объемных или рельефных структур рассматриваются для падения излучения в одной плоскости. Особенностью данной работы является исследование дифракционных и селективных свойств периодических структур при падении излучения в трехмерном пространстве. Измерения дифракционной эффективности (ДЭ) и угловой селективности проводились по двум схемам (рис. 1). Схема 1 – традиционная: решетка устанавливается на поворотный стол так, что диэлектрические плоскости перпендикулярны поверхности стола – плоскости XY. Изменяется угол поворота стола α, то есть, угол поворота решетки вокруг оси Z. При измерениях по схеме 2 решетка устанавливается так, что диэлектрические плоскости параллельны плоскости XY.

Изменяется угол поворота решетки вокруг оси Z – угол α, а также угол поворота решетки вокруг оси X – угол β.

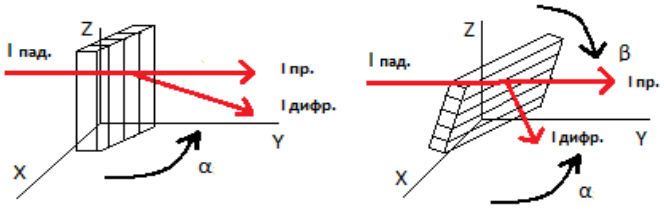


Схема 1 Схема 2

Рис. 1. Схемы измерения дифракционных и селективных свойств периодических структур

Структуры записывались в попутных пучках в фотополимерных материалах Bayfol HX и акрилатных композициях [1]. Условия записи оптимизировались для получения наибольшей ДЭ. Рассмотрим свойства объемных решеток, записанных в материалах Bayfol HX. При измерениях по схеме 1 контур угловой селективности классический. Максимальная эффективность 80% соответствует углу Брэгга – 12° (для исследуемых структур), при этом, контур угловой селективности узкий – около 8° (по полуширине). Измерения по схеме 2 выявили новые более интересные закономерности (рис. 2). При падении излучения в плоскости, повернутой на угол β=12° вокруг оси X, которую будем называть брэгговской плоскостью, максимальные значения ДЭ сохраняются в широком диапазоне углов падения – при изменении угла α до 40° (кривая, соответствующая Δ β=0). Рассмотрим теперь, как будет меняться ДЭ при изменении угла β. Следует заметить, что за начало системы координат приняты значения углов α и β, соответствующие углу Брэгга для исследуемых решеток. При отклонении от брэгговской плоскости, то есть, при изменении угла β на величины Δ β от 0 до 40° ДЭ уменьшается для α=0°, а при увеличении угла α ДЭ возрастает и достигает максимальных значений (около 80%). При этом, положение максимума сдвигается в сторону больших углов α, а ДЭ несколько возрастает. Это означает, что в решетке существуют направления распространения излучения, отличные от классического брэгговского направления (очень «косое» прохождение через решетку), при которых ДЭ достигает максимальных значений. Кроме того, при увеличении β контуры угловой селективности остаются достаточно широкими. Этот результат является важным и решает проблему использования солнечного излучения при больших углах падения.

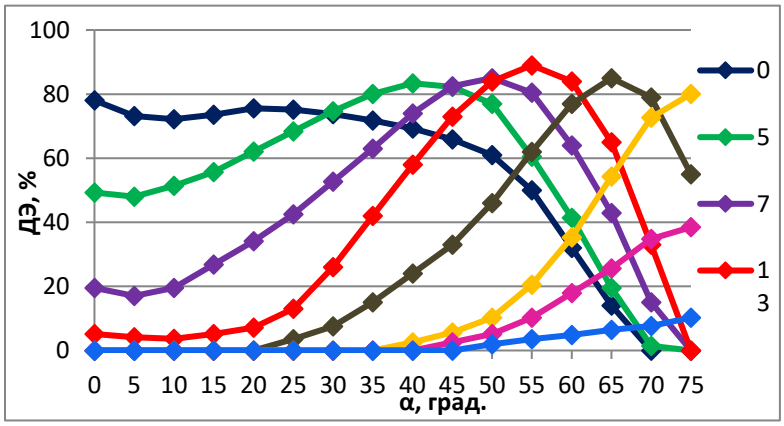
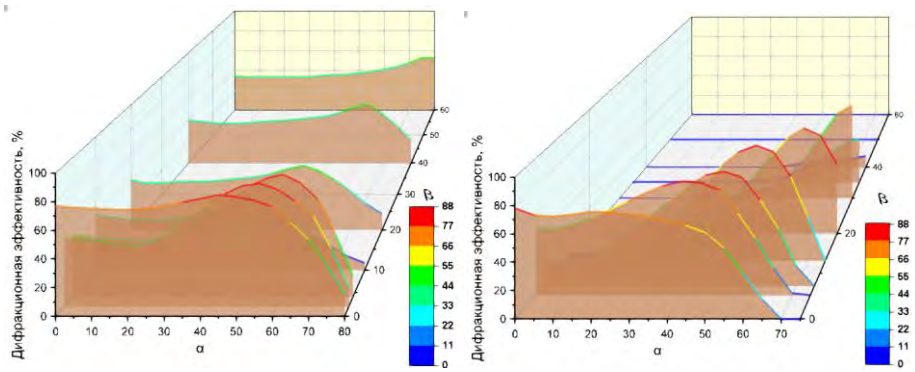


Рис. 2. Зависимость дифракционной эффективности объемных решеток, записанных в материале Bayfol HX, от угла α для значений β = 12° и Δβ = 0 – 40°. $t_{экс}$ =10 с, d = 1.6 мкм, $\lambda_з$ = 0.63 мкм, $\lambda_в$ = 0.65 мкм

Наряду со свойствами объемных решеток, в работе исследованы свойства гибридных структур – объемных решеток с модуляцией показателя преломления, на поверхности которых формируются рельефные решетки, показавших в предыдущей (бакалаврской) работе перспективные свойства в одной плоскости – уширение контура угловой селективности за счет рельефной составляющей гибридной структуры (измерения проводились по схеме 1). Исследование дифракционных и селективных свойств структур при падении излучения в трехмерном пространстве (при измерениях по схеме 2) установили следующие закономерности (рис. 3а). Проявление свойств объемной составляющей гибридной структуры: при падении излучения в брэгговской плоскости ($\beta = 6^0$) сохранение максимальной ДЭ (около 80%) в диапазоне углов α более 50°; уменьшение ДЭ при увеличении угла β ($\Delta\ \beta$ до 6°) при α=0 и увеличение ДЭ с увеличением α до 60° со сдвигом положения максимума ДЭ в сторону больших углов α. При дальнейшем увеличении угла β (для $\Delta\ \beta$ до 60°) проявляются свойства рельефной составляющей гибридной структуры. Значения ДЭ около 40% сохраняются в диапазоне углов α до 40° и несколько увеличиваются (до 50%) при увеличении α (до 65°), что связано с «косым» прохождением излучения через рельефную решетку. На трехмерных графиках (рис. 3) можно видеть направления прохождения излучения через объемные и гибридные структуры – значения углов α и β, при которых значения ДЭ максимальны. Видно также преимущество гибридных структур, обеспечивающих достаточно высокие значения ДЭ в большем диапазоне углов β по сравнению с объемными структурами.



а б

Рис. 3. Сравнение дифракционных свойств гибридных (а) и объемных (б) структур

Применительно к задаче получения дифракционных дефлекторов солнечных концентраторов это означает, что структуры обеспечивают высокие дифракционные свойства не только при движении солнца в течение дня (угол α), но и при изменении его высоты над горизонтом (угол β) в течение года (рис. 4). Полученные результаты определяют возможность существенного расширения углового диапазона при высоких дифракционных характеристиках по сравнению с существующими решениями [2–6].

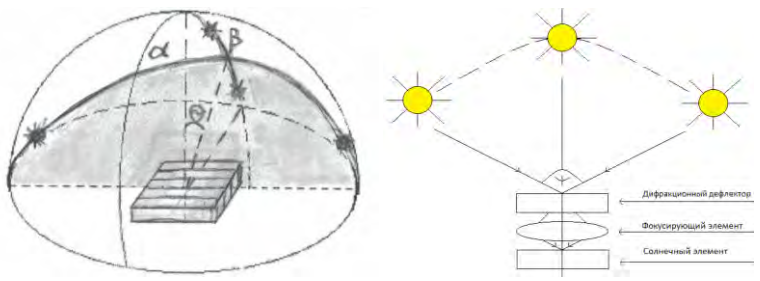
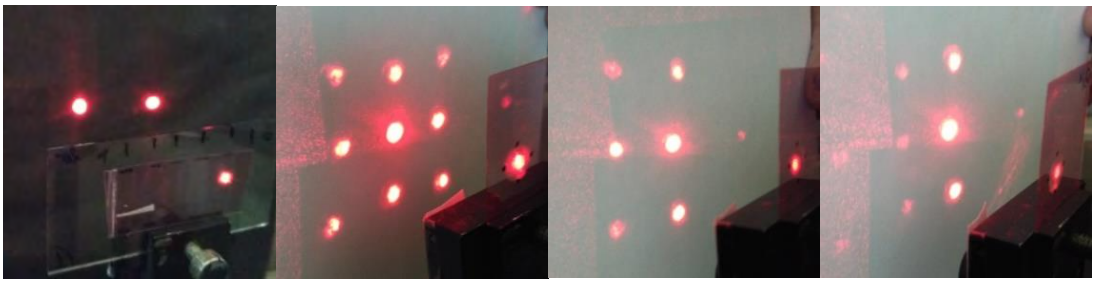


Рис. 4. Схемы, поясняющие использование голографических дефлекторов

Второй задачей являлось исследование возможности получения дифракционных управляемых расщепителей световых пучков. Имеющиеся разработки базируются на свойствах либо тонких решеток, позволяющих получать множество дифрагированных пучков с малой эффективностью, либо объемных решеток, позволяющих получать высокую дифракционную эффективность, но при высокой угловой селективности, что требует точного позиционирования или устройств точных угловых перемещений для изменения интенсивностей дифрагированных пучков. В данной работе решалась задача получения дифракционных управляемых многоканальных расщепителей, обеспечивающих сочетание высокой дифракционной эффективности с угловой селективностью, позволяющей изменять интенсивности излучения в каналах при повороте элемента без предъявления высоких требований к точности угловых перемещений. Для получения расщепителей использовались промышленные фотополимеры Bayfol HX и техника интерференционного копирования структур эталонов – двумерных решеток, полученных в промышленных галогенсеребряных материалах ПФГ-03М при последовательной записи. При оптимизации экспозиционных параметров в фотополимерах Bayfol HX получены двух- и пятиканальные расщепители, позволяющие изменять интенсивности излучения в каналах при повороте элемента (рис. 5). Результаты имеют преимущества по дифракционным характеристикам, используемому материалу и трудоемкости процесса получения – структуры формируются в результате только экспонирования, без предварительной или последующей обработки. Возможные применения: техника физического эксперимента, системы передачи информации, защитные технологии.



а б в г

Рис. 5. Картины дифракции на двух- (а) и пятиканальном (б) расщепителях – отношение интенсивностей I_{+1}/I_0 1:1.5. в, г – изменение картины дифракции при повороте элемента

Следующей задачей являлось исследование нового голографического метода получения трехмерных объектов произвольной трехмерной конфигурации. Метод заключается в проекции голографического изображения формируемого объекта в объем фотополимеризующегося материала (рис. 6) и полимеризации в области резкого изображения при ограничении полимеризации вне области наибольшей резкости [7]. Преимуществом метода, относительно аддитивных технологий 3D печати является исключение последовательного синтеза трехмерного объекта – весь объект формируется в результате однократного экспонирования материала. В предыдущих работах [7, 8] была показана принципиальная возможность реализации метода и получения элементов с трехмерной формой поверхности, соответствующей форме поверхности исходных объектов (рис. 6 б). Однако, метод был практически не исследован. Задачей данной работы являлось выявление и исследование факторов, определяющих требования к условиям записи и свойства трехмерных объектов.

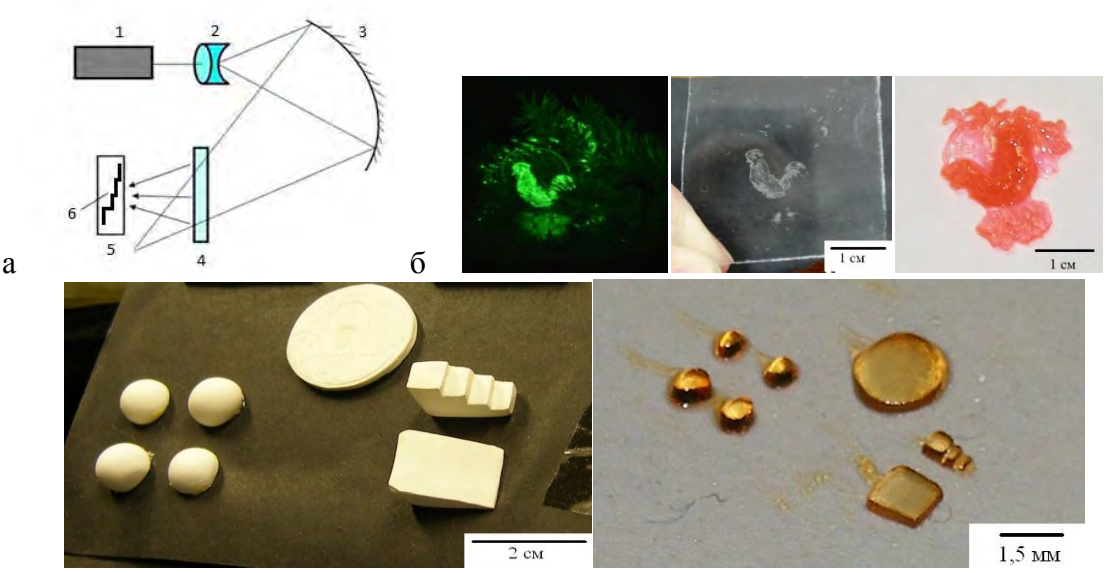


Рис. 6. Принципиальная схема (а) (1 – лазер, 2,3 – оптическая система, формирующая восстанавливающий пучок, 4 – голограмма, 5 – регистрирующий материал, 6 – восстановленное изображение) и результаты экспериментов (б) по реализации метода голографической 3D печати [7, 8]

Основным условием отображения формы объекта является ограничение полимеризации вне области голографического изображения. Без ограничения полимеризации слой полимеризуется по всей толщине, однако, в толще слоя может формироваться градиентный объект в результате зависимости показателя преломления от экспозиции. Ограничение полимеризации вне области проектируемого изображения возможно за счет кислородного ингибирования, а также создания необходимого поглощения излучения в слое. В работе исследовался второй фактор. Требования к поглощению, а также экспозиционным параметрам определяются выражениями:

$$I_{\text{изобр.}} e^{-k_\lambda T_{\text{изобр.}}} t_{\text{эксп.}} \geq E_{\text{порог.}} \quad (1)$$

$$t_{\text{эксп.}} \geq \frac{E_{\text{порог.}} S e^{k_\lambda T_{\text{изобр.}}}}{P \eta \alpha} \quad (2)$$

где $I_{\text{изобр.}}$ – интенсивность излучения в восстановленном изображении (без учета поглощения в слое); k_λ – показатель поглощения материала; $T_{\text{изобр.}}$ – толщина слоя от его поверхности до области локализации изображения; $t_{\text{эксп.}}$ – длительность экспонирования; $E_{\text{порог.}}$ – пороговое значение энергии полимеризации; P – выходная мощность лазера; Ƞ – дифракционная эффективность проектирующей голограммы; α – коэффициент потерь в схеме записи; S – площадь формируемого объекта. С использованием данных выражений построены графики (рис. 7), позволяющие определить требования к создаваемому поглощению формирующего излучения в объеме материала (с целью ограничения полимеризации за областью наибольшей резкости проектируемого изображения), длительности экспонирования, локализации проектируемого изображения и глубине профиля формируемого трехмерного объекта.

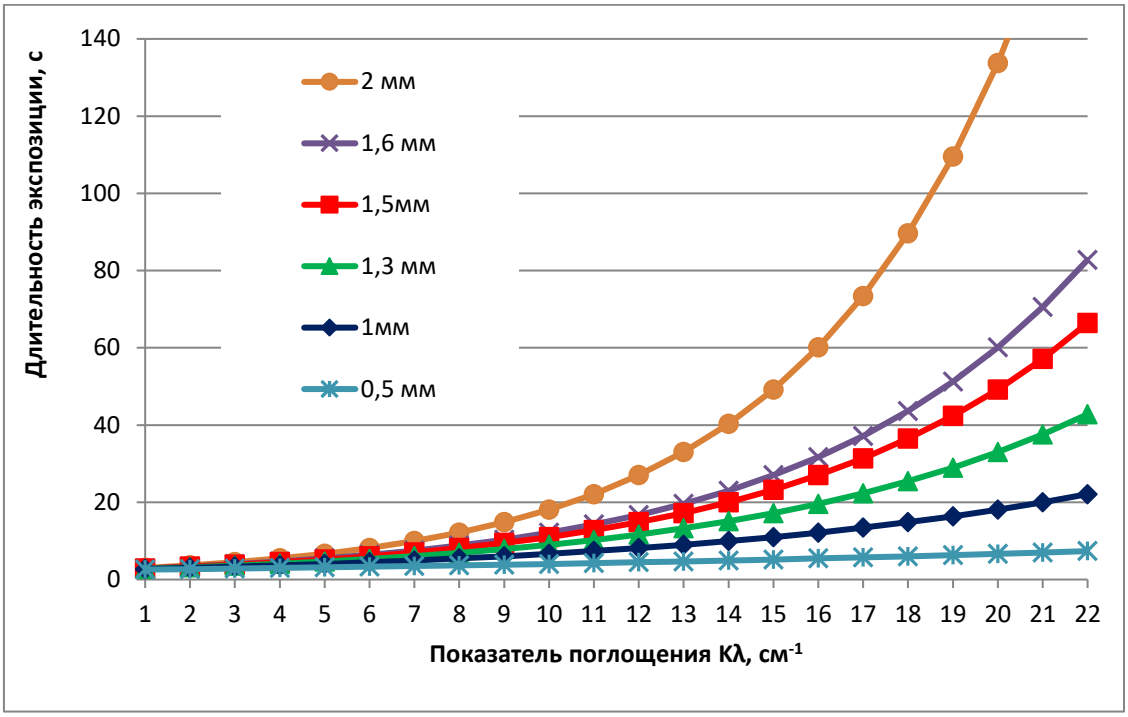


Рис. 7. Зависимость длительности экспонирования от создаваемого поглощения излучения в объеме материала и локализации проектируемого изображения. $T_{изобр.}$= 0.5 – 2 мм, Ŋ =20%, P=200 мВт, α = 0.5, S= 0.5 см^2

Требования к условиям записи проектирующих голограмм, а также размерные характеристики трехмерных объектов определялись на основании зависимости поперечного увеличения восстановленного изображения (V) от расстояния до объекта (z_1) для различных отношений длин волн записывающего и восстанавливающего излучений (μ) и геометрических параметров схемы записи голограммы ($z_к$) и схемы проекции (z_c).

$$V = (1 + \frac{z_1}{\mu z_c} - \frac{z_1}{z_r})^{-1} \quad (3)$$

Можно видеть (рис. 8), в частности, что наибольшие изменения в размерах (в плоскости и по глубине изображения) наблюдаются при увеличении длины волны восстанавливающего излучения относительно длины волны записи проектирующей голограммы, а также при уменьшении расстояния до опорного источника. Для длины волны формирующего излучения в УФ-области спектра (благоприятной с точки зрения спектральной чувствительности перспективных материалов и реализации метода в незатемненных помещениях) возможно уменьшение размеров проектируемых изображений при малых размерных трансформациях по глубине. Полученные зависимости позволяют определить требования к длине волны формирующего излучения, геометрическим параметрам схемы записи проектирующей голограммы и схемы получения трехмерного объекта, а также глубине объекта (при заданных допусках на размеры).

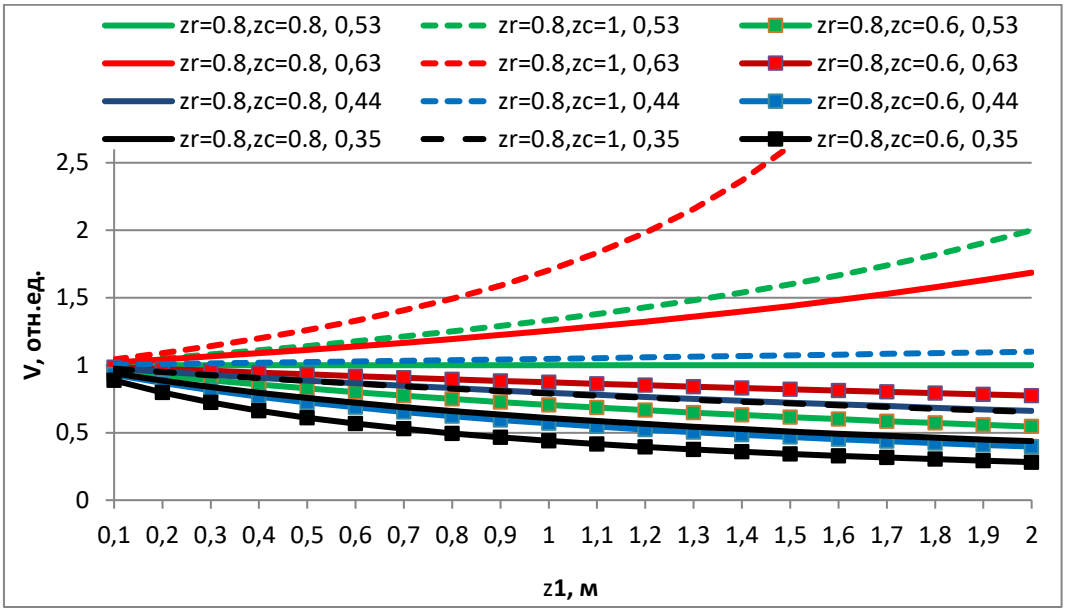


Рис. 8. Влияние длин волн и геометрических параметров схем записи проектирующей голограммы и восстановления изображений на размерные характеристики трехмерных объектов

Основные результаты:

1. Впервые проведено экспериментальное исследование дифракционных и селективных свойств объемных и гибридных структур при падении излучения в широком диапазоне углов в трехмерном пространстве. Установлены новые закономерности и свойства, определяющие существенное расширение диапазона углов падения излучения применительно к задаче получения дифракционных дефлекторов солнечных концентраторов.
2. Определены условия получения эффективных управляемых двух- и многоканальных расщепителей световых пучков в промышленных материалах.
3. Применительно к новому методу голографической 3D печати установлены закономерности, определяющие требования к создаваемому поглощению формирующего излучения в объеме материала, экспозиционным параметрам, локализации проектируемого изображения и глубине профиля формируемого трехмерного объекта, требования к условиям записи проектирующих голограмм и проекции изображений, а также размерные характеристики трехмерных объектов.

Литература

1. Burunkova Yu.E., Semina S.A., Kaporski L.N., and Levichev V.V. Nanomodified optical acrylate composites //J. Opt. Technol. 2008. Vol.75. P. 653 – 657.
2. Akbari H., Naydenova I., and Martin S. Using acrylamide-based photopolymers for fabrication of holographic optical elements in solar energy applications // Appl. Optics. 2014. Vol. 53, No. 7. P. 1343 – 1353.
3. de Jong T.M., de Boer D.K.G., and Bastiaansen C.W.M. Surface-relief and polarization gratings for solar concentrators //Optics Express. 2011. Vol. 19, No. 16. P.15127 – 142.
4. Marín-Sáez J., Atencia J., Chemisana D., Collados M.-V. Characterization of volume holographic optical elements recorded in Bayfol HX photopolymer for solar photovoltaic applications // Optic Express. 2016. Vol. 24, No. 6. P. 720 – 730.

5. Pratheep H.R., Balamurugan A. A review of holographic optical elements in solar concentrator applications // International Journal of Advance Research, Ideas and Innovations in Technology. 2018. Vol. 4, Issue 3. P. 214 –222.
6. Ferrara M.A., Striano V., Coppola G. Volume Holographic Optical Elements as Solar Concentrators: An Overview // Appl. Sci. 2019. Vol. 9. P. 193.
7. Vorzobova N.D., Bulgakova V.G., and Veselov V.O. Formation of 3D Structures in a Volumetric Photocurable Material via a Holographic Method //Optics and Spectroscopy. 2015. Vol. 119, No. 6. P. 1034–1037.
8. Ворзобова Н.Д., Булгакова В.Г. Способ получения трехмерных объектов. Патент RU 2646086 C1. Опубликовано: 01.03.2018.

Тавалинская Анастасия Дмитриевна
Год рождения: 1995
Университет ИТМО,
факультет лазерной фотоники и оптоэлектроники,
студент группы № L4219,
направление подготовки: 12.04.05 – Лазерная техника и лазерные технологии,
e-mail: ntavalin@gmail.com
Беликов Андрей Вячеславович
Университет ИТМО,
факультет лазерной фотоники и оптоэлектроники,
д.ф-м.н. профессор,
e-mail: meddv@grv.ifmo.ru

УДК 621.375.826; 616.596-002.828

ЛАЗЕРНАЯ МИКРОПЕРФОРАЦИЯ И ПРОЦЕССЫ, СТИМУЛИРУЮЩИЕ УСКОРЕНИЕ ДОСТАВКИ ЛЕКАРСТВ

А.Д. Тавалинская

Научный руководитель – д.ф-м.н., профессор **А.В. Беликов**

Университет ИТМО

Работа выполнена в рамках темы НИР №617033, «Разработка методов и устройств оптической и квантовой информатики».

Аннотация
В условиях i*n vitro* изучены эффекты, возникающие в результате воздействия излучения Yb,Er:Glass и Er:YLF лазеров на ногтевую пластину, скорость и эффективность абляции ногтевой пластины излучением Yb,Er:Glass и Er:YLF лазеров, скорость и эффективность пассивной доставки 0.25% водного и спиртового растворов метиленового синего под ногтевую пластину; исследована активная доставка метиленового синего в форме жидкости и геля излучением Yb,Er:Glass и Er:YLF лазеров. Представлены результаты *in vivo* исследований микроперфорации ногтевой пластины, активной доставки метиленового синего излучением Er:YLF лазера под ногтевую пластину и фотодинамической терапии.
Ключевые слова
Лазер, лазерное излучение, доставка лекарств, гидродинамические эффекты, лечение онихомикоза.

Доставка лекарств играет чрезвычайно важную роль в медицине при лечении кожных, стоматологических, глазных, онкологических заболеваний, ногтевых заболеваний (в том числе онихомикоза) и т.д. Для повышения эффективности доставки местных препаратов в биоткань можно использовать химические, физические и механические методы [1]. Лазерная доставка отличается от других методов минимальной инвазивностью, безболезненностью, улучшенной фармакокинетикой препарата и высокой локальностью. В нашем исследовании лазерная доставка препарата используется при лечении онихомикоза. В настоящее время онихомикоз (грибковая инфекция) является широко распространенным заболеванием [1], а поиск эффективных

методов его лечения остается актуальной проблемой в дерматологии. Микроперфорация ногтевой пластины способствует проникновению терапевтической дозы местных препаратов в глубокие слои ногтевой пластины и к ногтевому ложу для устранения источника ногтевых заболеваний и ускорения процесса лечения ногтевых заболеваний [1]. Микроперфорация ногтя может быть осуществлена различными методами, в том числе с помощью лазера. Доставка может быть пассивной или активной, т.е. происходить без или в результате какого-либо внешнего воздействия. Методы лазерной активной доставки лекарств через ногтевую пластину до сих пор в литературе не обсуждались.

В настоящем исследовании изучалась возможность использования излучения Yb,Er:Glass (λ=1.54 мкм) и Er:YLF (λ=2.81 мкм) лазеров для микроперфорации ногтевой пластины человека, пассивной и активной лазерной доставки лекарств в форме жидкостей и гелей. На момент начала настоящего исследования данные о воздействии излучения Yb,Er:Glass и Er:YLF лазеров на ногтевую пластину, пассивной доставке и активной доставке лекарств излучением данных лазеров отсутствовали, поэтому целью настоящей работы является определение параметров излучения Yb,Er:Glass и Er:YLF лазеров для эффективной микроперфорации, пассивной и активной доставке лекарств при лечении онихомикоза.

1. Микроперфорация ногтевой пластины излучением Er-лазеров

Исследования были выполнены на образцах in vitro человеческих ногтевых пластин без патологий, средняя толщина которых составляла 365±10 мкм. После экстракции ногтевая пластина подвергалась механической отчистке и промывке водой перед хранением, чтобы удалить любые поверхностные загрязнения, которые могли бы повлиять на результаты исследований. Образцы ногтевых пластин хранились на воздухе при комнатной температуре не более 30 дней. Всего использовано 560 образцов.

Исследование микроперфорации ногтевой пластины проводилось с использованием двух лазерных излучателей: Yb,Er:Glass лазера (λ=1.54 мкм) и Er:YLF лазера (λ=2.81 мкм) [2]. Исследование микроперфорации ногтевой пластины излучением Yb,Er:Glass лазера было выполнено при использовании расходящегося пучка (d=470±10 мкм), выходящего с оптического волокна, и при использовании сфокусированного пучка (d=250±20 мкм). Yb,Er:Glass лазер с импульсной ламповой накачкой излучал импульсы с длительностью 2,5 мкс (по основанию) и энергией до 110 мДж. Частота повторения импульсов составляла 1 Гц. При формировании микроотверстий в ногтевой пластине сфокусированным излучением Er:YLF лазера длительность импульса генерации Er:YLF лазера составляла 270±10 мкс (по основанию). Энергия лазерного импульса (E) могла быть изменена в диапазоне от 1 до 4 мДж при частоте повторения импульсов 30 Гц. Ногтевая пластина *in vitro* размещалась на стеклянной подложке в фокусе линзы (F=50 мм). Микроперфорацию ногтевой пластины излучением Er-лазеров изучали на воздухе и через слой 0,25% воднго раствора метиленового синего (МС) с различной толщиной (0,1-1,0 мм) на поверхности ногтевой пластины.

При использовании лазера Yb,Er:Glass с волоконным выходом излучения (расходящийся пучок) микрократера в ногтевой пластине не наблюдалось, а скорость и эффективность абляции соответственно равны нулю. Установлена возможность микроперфорации ногтевой пластины сфокусированным изучением Er:YLF и Yb,Er:Glass лазеров на воздухе и через слой 0.25% водного раствора МС. Показано, что для Yb,Er:Glass лазера максимальные скорость и эффективность абляции наблюдались при отсутствии 0.25% водного раствора МС на поверхности ногтевой пластины при воздействии лазерным излучением с плотностью энергии W=68 Дж/см^2 и составляли 5.5 мкм/имп. и 0.07 мкм/мДж. Для Er:YLF лазера было обнаружено, что наиболее эффективная микроперфорация ногтевой пластины наблюдалась при воздействии на нее

через слой раствора МС толщиной h=100 мкм излучением Er:YLF лазера с энергией 4 мДж (W=10.5±0.5 Дж/см^2). При этом наибольшая скорость абляции составила 38 мкм/имп., а эффективность абляции – 9,9 мкм/мДж.

2. Пассивная доставка лекарств под ногтевую пластину

В качестве лекарственного средства использовались дистиллированная вода, 0.25% водный и 0.25% водно-спиртовой растворы метиленового синего. Метиленовый синий является широко используемым фотосенсибилизатором для фотодинамической терапии грибковых заболеваний. Проникновение препарата фиксировалось с помощью цифрового USB-микроскопа "DTX 50" (Levenhuk Inc., США). В настоящем исследовании [3] для формирования массива микроотверстий использовалось излучение Er:YLF лазера (λ=2.81 мкм). Плотность упаковки микроотверстий PD в массиве изменялась от 100 до 950 отв/см^2 при XY-сканировании лазерного пучка по поверхности ногтевой пластины, а диаметр отверстий изменялся от 220 до 350 мкм.

Установлено, что вода и 0.25 % водный раствор метиленового голубого не проникают через ногтевую пластину с или без массива микроотверстий, а водно-спиртовой раствор не проникает через ногтевую пластину без микроотверстий, но проникает через ногтевую пластину с микроотверстиями. Наибольшая скорость пассивной доставки 25% водно-спиртового раствора МС через одиночное микроотверстие v_{sp} составляет 6.3 м/с, а минимальное значение времени равномерного распределения препарата под ногтевой пластиной T_m составляет 180±10 с (d = 350 мкм, PD=950 отв/см^2). Следует отметить, что данное время весьма далеко от комфортного, но более существенно, что современные местные препараты имеют водную, а не спиртовую основу. Поэтому для увеличения скорости доставки водных растворов было предложено использовать активную лазерную доставку.

3. Активная лазерная доставка лекарств под ногтевую пластину

Экспериментальный стенд для исследования процесса активной доставки излучением Yb,Er:Glass лазера водного раствора метиленового синего через сквозное одиночное микроотверстие в ногтевой пластине представлен на рис. 1 (а).

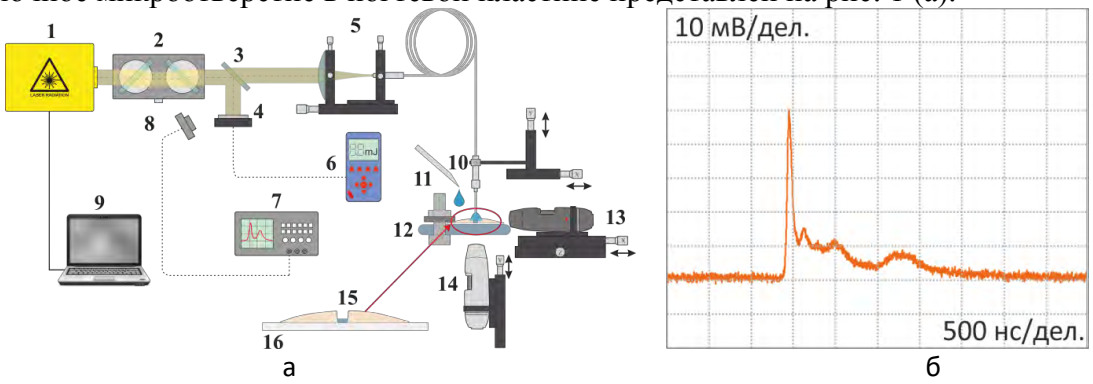


Рис. 1. Схема экспериментальной установки для исследования процесса активной Yb,Er:Glass лазерной доставки раствора метиленового синего через перфорированную ногтевую пластину (а). 1–Yb,Er:Glass лазер; 2–френелевский ослабитель; 3–светоделительная пластина; 4 – измерительная головка; 5 – узел ввода лазерного излучения в волокно; 6 – измеритель энергии; 7 – осциллограф; 8–фотоприемник; 9–компьютер; 10–волоконный выход; 11–инъекционная игла с раствором МС; 12–стеклянная подложка; 13,14 – цифровой USB-микроскоп; 15–ногтевая пластина; 16–бумага; (б) импульс излучения Yb,Er:Glass лазера (E=100 мДж)

Энергия импульса Yb,Er:Glass лазера изменялась в диапазоне от 10 до 100 мДж, длительность импульса составляла 1,5±0,5 мкс по основанию(рис.1 (б)). Активная доставка осуществлялась двумя способами: 1) расфокусированным излучением Yb,Er:Glass лазера с выхода кварцевого волокна (*NA*=0.18, *d*=400 мкм); 2) сфокусированным излучением Yb,Er:Glass лазера (*f* = 11 мм, *d* =250±20 мкм). Для активной доставки препарата также использовалось излучение Er:YLF лазера с параметрами, идентичными используемым для микроперфорации ногтевой пластины. Схема экспериментальной установки представлена на рис. 2. Момент окрашивания бумаги под ногтевой пластиной в результате проникновения метиленового синего под ногтевую пластину, регистрировался с помощью цифрового USB-микроскопа "Prima Expert" (ОАО "ЛОМО", Россия) и соответствовал «инициализации» доставки препарата. В эксперименте определялось количество лазерных импульсов необходимое для этой «инициализации». Масса проникшего под ногтевую платину с одиночным отверстием препарата определялась в результате взвешивания фрагмента бумаги до и после «инициализации». Для метиленового синего терапевтически достаточной дозой можно считать дозу в 5-10 мг/см^2. В эксперименте доза проникшего под ногтевую пластину препарата определялась как отношение массы проникшего при «инициализации» препарата к площади одиночного микроотверстия в ногтевой пластине.

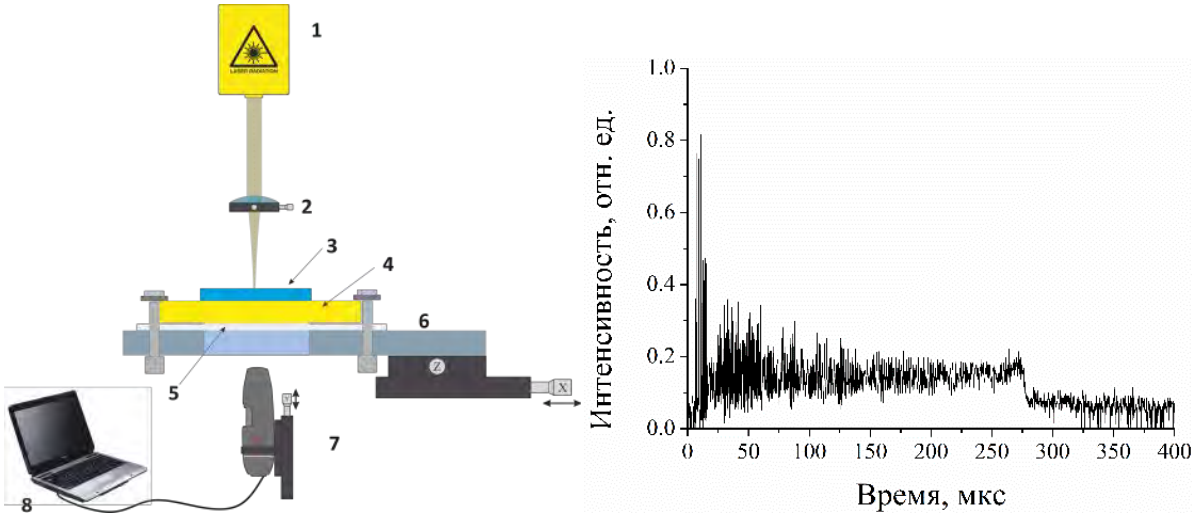
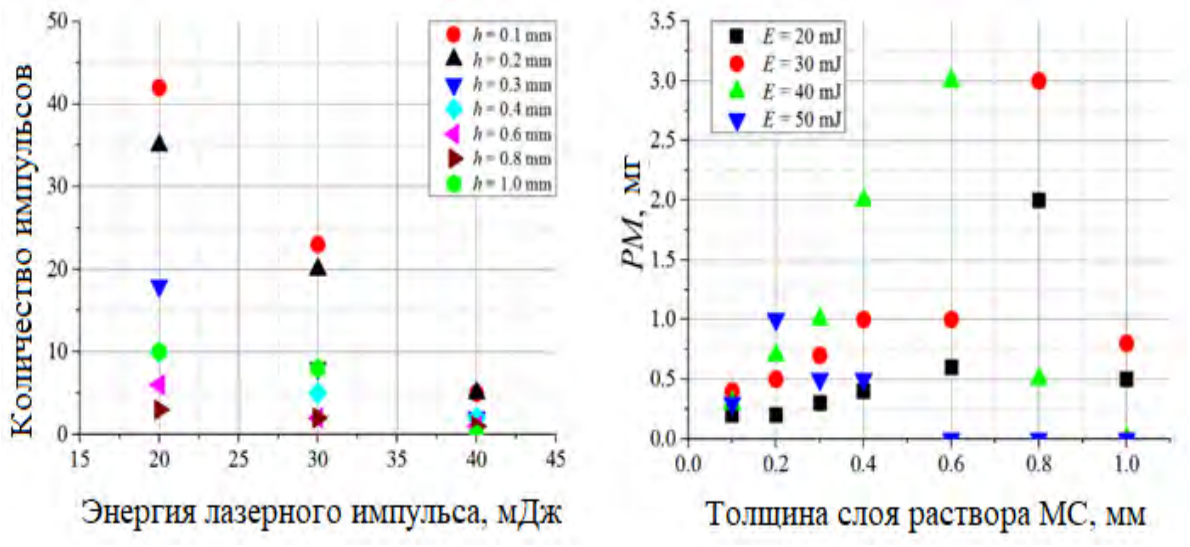


Рис. 2. Схема экспериментальной установки для микроперфорации ногтевой пластины и активной доставки МС с помощью Er:YLF лазера: 1 – Er:YLF лазер; 2 – собирающая линза *F*=50 мм, 3 – пластина геля; 4 – образец ногтевой пластины; 5 – бумажная подложка; 6 – стеклянная пластина, 7 – цифровой USB-микроскоп "Prima Expert"; 8 – компьютер; (б) импульс излучения Er:YLF лазера (*E* = 4 мДж)

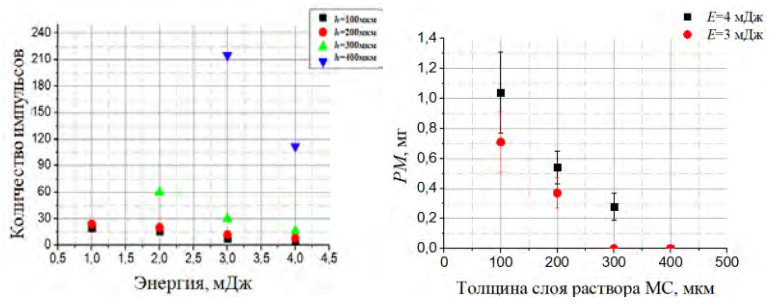
С помощью расфокусированного импульсного излучения Yb,Er:Glass лазера, доставленного по оптическому волокну дистальный торец которого расположен на расстоянии *H*=0,1мм от поверхности капли 0,25% водного раствора МС нанесенной на ногтевую пластину, можно было инициировать доставку лекарственного средства с толщиной слоя *h* до 1 мм при энергиях импульса *E* ≥ 20 мДж (рис. 3 (а)). В исследуемом диапазоне *h* (0,1÷1,0 мм), за исключением диапазона *h* = 0,9÷1 мм для *E* = 20 и 30 мДж, увеличение *h* приводило к уменьшению необходимого для «инициализации» количества импульсов. Самая быстрая «инициализация» была получена для *h* = 1,0 мм при *E* = 40 мДж, необходимое для «инициализации» число импульсов в этом случае было *N* = 1.



а б

Рис. 3. Зависимость количества импульсов, необходимых для «инициализации» активной Yb,Er:Glass лазерной доставки препарата (а) и массы проникшего под ногтевую пластину препарата от толщины слоя препарата *h* (б) при расфокусированном излучении Yb,Er:Glass лазера (*H*=0.1 мм, *N* = 50).

Зависимости массы лекарственного препарата (*PM*) проникшего через одиночное сквозное отверстие в ногтевой пластине при «инициализации» от *h* при различных энергиях импульса Yb,Er:Glass лазера и *N*=50 представлены на рисунке 3(б). Видно, что зависимости не монотонны, а имеют ярко выраженный максимум, который зависит от энергии импульса. Для *E*=20 мДж максимальная *PM* = 2 мг наблюдалась при *h* = 0,8 мм, для *E* = 30 мДж - максимальная *PM* = 3 мг наблюдалась также при *h* = 0,8 мм, для *E*=40 мДж - максимальная *PM* = 3 мг наблюдалась также при *h* = 0,6 мм и для *E*=50 мДж - при *h* = 0,2 мм (максимальная *PM* = 1 мг). Аналогичные зависимости были получены при «инициализации» доставки лекарств сфокусированным излучением Yb,Er:Glass-лазера. Самая быстрая «инициализация» доставки была получена при *h* = 0,2÷0,8 мм и *E*=30 мДж, необходимое для «инициализации» число импульсов в этом случае было *N*=1. Как и для расфокусированного излучения, зависимости массы лекарственного препарата (*PM*) проникшего через одиночное сквозное отверстие в ногтевой пластине при «инициализации» от *h* при различных энергиях импульса Yb,Er:Glass лазера и *N*=50 имели максимумы, но в этом случае эти максимумы наблюдались при *h* = 0,8 мм для всех энергий импульса.



а б

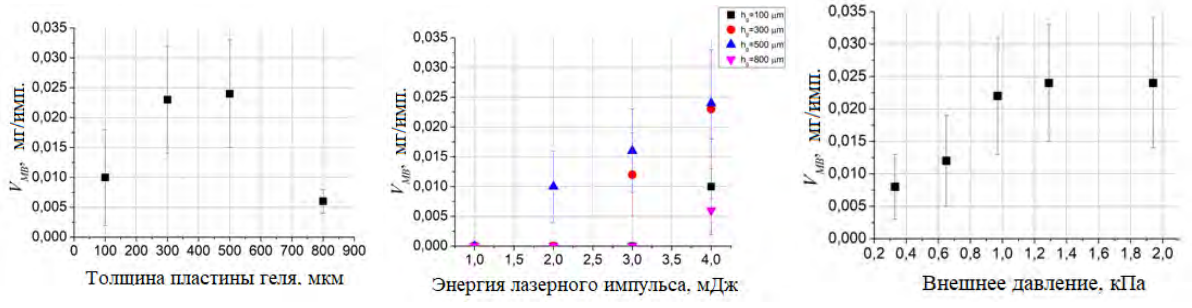
Рис. 4. Зависимость количества импульсов, необходимых для активной Er;YLF лазерной доставки препарата (а) и массы проникшего под ногтевую пластину препарата от толщины слоя препарата *h* (б) при сфокусированном излучении Er:YLF лазера

С помощью сфокусированного излучения Er:YLF лазера можно было инициировать доставку лекарственного средства с толщиной слоя h до 0.4 мм при энергиях импульса E =1-4 мДж (рис. 4 (а)). В исследуемом диапазоне h (0,1÷0,4 мм) увеличение толщины слоя препарата h приводило к увеличению количества импульсов и энергии импульсов, необходимых для инициализации доставки лекарств. Для h=0.1-0,2 мм инициализация наблюдалась для всех значений энергии лазерного импульса от 1 до 4 мДж. Для h= 0,3 мм инициализация возможна при $E \geq$3 мДж, а для h= 0,4 мм - только при $E \geq$ 4 мДж. Самая быстрая «инициализация» была получена для h = 0,1 мм при E = 4 мДж, необходимое для «инициализации» число импульсов в этом случае было в этом случае было N=4.

Зависимость массы проникшего лекарственного средства PM в фазе «инициализации» от h для N=4 представлена на рис. 4 (б). Видно, что при воздействии импульсов лазера Er:YLF масса проникающего лекарственного средства уменьшается с увеличением h и с уменьшением энергии импульса Наиболее эффективная активная лазерная доставка 0,25% раствора МС наблюдалась при воздействии на 100 мкм слой препарата излучением Er:YLF лазера с энергией 4м Дж, при этом максимальная скорость доставки препарата составляла 0,29 мг/имп., а доза проникшего под ногтевую пластину МС (D_{MC}) составляет 97±5 мг/см^2, что превышает терапевтически достаточную дозу.

Использование лекарств в жидкой форме сопряжено с их растеканием и разбрызгиванием, пациент и доктор могут легко запачкаться в процессе нанесения жидкого лекарства. Поэтому был изготовлен оригинальный гель на основе агар-агара, содержащий кластеры с 0,25% раствором МС с концентрациями 0,5-3% [4]. Для экстракции МС из кластеров геля в образованное лазерным излучением микроотверстие к пластине геля в течение 3,0 с было приложено внешнее механическое воздействие с давлением P=0.3÷2.0 кПа. Сразу после прекращения внешнего механического воздействия заполненное МС микроотверстие облучалось импульсами Er:YLF лазера для активная доставки МС.

На рис. 5. представлены зависимости скорости доставки (V_{MC}) для геля с C_{aa} = 2% при различной его толщине h_g из диапазона 100÷800мкм от энергии импульса Er: YLF лазера при P=1,3 кПа (рис. 5 (а)), от толщины пластины геля (h_g) при E=4,0 мДж и P=1,3 кПа (рис. 5 (б)), а также от величины внешнего давления (P), прикладываемого к гелю для экстракции из него МС при E=4,0 мДж и h_g=500 мкм (рис. 5 (с)).



а б в

Рис. 5. Зависимость скорости доставки (V_{MC}) для геля с C_{aa} =2% от энергии импульса Er: YLF лазера при P=1,3 кПа (а), от толщины пластины геля (h_g) при E=4.0 мДж и P=1,3 кПа (б), от величины внешнего давления (P), прикладываемого к гелю для экстракции из него МВ при E=4,0 мДж и h_g=500 мкм (в)

Для «инициализации» доставки необходимо как минимум E = 2мДж, но при этом «инициализация» наблюдается только для h_g=500 мкм. С ростом энергии скорость доставки V_{MC} возрастает для всех исследованных h_g. Максимальное значение V_{MC}=0.024 мг/имп. достигается при E=4 мДж и h_g=500 мкм. Скорее всего при h_g=500 мкм

(для P=1,3 кПа) в микроотверстие экстрагируется оптимальное для активной лазерной доставки с E=4.0 мДж и C_{aa}=2% количество МС, которое определяется характером гидродинамических процессов протекающих в заполненном МС микроотверстии под действием импульсов Er:YLF лазера.С увеличением внешнего давления P скорость V_{MC} возрастает. Максимальная скорость доставки МС при C_{aa}=2% через одиночное микроотверстие (V_{MB}) наблюдается при внешнем давлении на гель P≥1.3 кПа. При этом доза проникшего под ногтевую пластину МС (D_{MC}) составляет 34±3 мг/см^2, что превышает терапевтически достаточную дозу.

Кроме того, впервые в условиях *in vivo* продемонстрирована возможность безопасной активной Er:YLF лазерной доставки 0,25% водного раствора МС (жидкость) под ногтевую пластину. Установлено, что в точках лазерного воздействия после трех недель микроран обнаружено не было. Этот факт указывает на безопасность процедуры.

Таким образом, в работе исследованы особенности воздействия излучения Yb,Er:Glass (λ=1,54 мкм) и Er:YLF (λ=2,81 мкм) лазеров на ногтевую пластину человека *in vitro* и *in vivo*. Было обнаружено, что наиболее эффективная микроперфорация ногтевой пластины наблюдалась при воздействии на нее через слой 0,25% водного раствора МС толщиной 100 мкм излучением Er:YLF лазера. Исследованы особенности пассивной и активной доставки 0,25 % водного раствора метиленового синего при различных условиях возбуждения гидродинамических эффектов излучением Er-лазеров. Показано, что излучение Yb,Er:Glass и Er:YLF лазеров может быть использовано для микроперфорации ногтевой пластины и активной лазерной доставки для ускорения проникновения препаратов под ногтевую пластину. Результаты исследований можно использовать, при разработке новой медицинской техники и технологий для максимально эффективной микроперфорации ногтевой пластины и эффективной доставки местных препаратов при лечении онихомикоза.

Литература

1. Murdan S. Enhancing the nail permeability of topically applied drugs //Expert opinion on drug delivery. 2008. Т. 5. №. 11. С. 1267-1282.
2. Tavalinskaya A.D. et al. Microperforation of the human nail plate by radiation of erbium lasers //Frontiers of Optoelectronics. 2017. Т. 10. №. 3. С. 299-307.
3. Tavalinskaya A.D. et al. Er: YLF-laser microperforation of the nail plate for drug delivery //Saratov Fall Meeting 2017: Optical Technologies in Biophysics and Medicine XIX. – International Society for Optics and Photonics, 2018. Т. 10716. С. 107160X.
4. Tavalinskaya A.D. et al. Active Er-laser drug delivery using drug-impregnated gel for treatment of nail diseases //Biomedical Optics Express. 2019. Т. 10. №. 7. С. 3232-3240.

Чупров Сергей Сергеевич
Год рождения: 1995
Университет ИТМО
факультет безопасности информационных технологий,
студент группы № N4252,
направление подготовки: 10.04.01 – Информационная безопасность,
e-mail: chuprov@itmo.ru
Комаров Игорь Иванович
Год рождения: 1970
Университет ИТМО,
факультет безопасности информационных технологий,
к.ф.-м.н., доцент,
e-mail: komarov@cit.ifmo.ru

УДК 004.056

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ МОБИЛЬНЫХ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ СО СМЕШАННОЙ СТРАТЕГИЕЙ УПРАВЛЕНИЯ

С.С. Чупров

Научный руководитель – к.ф.-м.н., доцент **И.И. Комаров**

Университет ИТМО

Аннотация
В ходе выполнения работы были рассмотрены различные модели, методы, алгоритмы обеспечения информационной и функциональной безопасности в мобильных робототехнических и кибер-физических системах. Была разработана модель обеспечения информационной безопасности, разработан программный симулятор для оценки целесообразности предложенных механизмов защиты, проведено имитационное моделирование поведения системы в условиях деструктивного информационного воздействия. Полученные результаты экспериментов позволяют говорить о целесообразности предложенных в работе механизмов зашиты.
Ключевые слова
Информационная безопасность, функциональная безопасность, мобильная робототехническая система, кибер-физическая система.

Введение

Мобильная робототехника, подразумевающая групповое взаимодействие некоторого количества, отдельных робототехнических устройств обладает такими характеристиками, как автономность, наличие системы группового управления, наличие некоторого количества участников группы, наличие коллективного «поведения», способность получать информацию из окружающей среды и осуществлять коммуникацию с другими участниками группы. С точки зрения информационной безопасности (ИБ), в связи с вышеупомянутыми характеристиками, функционирование группы робототехнических устройств является схожим с некоторыми типами компьютерных коммуникационных сетей.

В соответствии с [1], обеспечение ИБ заключается в сохранении таких свойств, как целостность, доступность и конфиденциальность совокупности информации, содержащейся в системе. Ниже даны определения приведённых терминов:

– конфиденциальность − гарантия того, что к информации могут получать доступ, читать и изменять её только субъекты, имеющие на это соответствующие права;

– целостность − гарантия того, что информация не может быть несанкционированно изменена или уничтожена;

– доступность − гарантия того, что субъекты, имеющие соответствующие права, могут в любой момент времени получить доступ к запрашиваемой информации.

Появление таких перспективных концепций, как интернет вещей или «умный» город, позволяют говорить о том, что в скором времени мобильные робототехнические системы (МРТС) будут активно применяться для выполнения различных задач государственными или коммерческими организациями, в которых соблюдение ИБ является неотъемлемой частью успеха таких задач.

Обзор существующих подходов к обеспечению информационной безопасности в мобильных робототехнических системах

К сожалению, как это обычно бывает, методология научных исследований в области обеспечения ИБ МРТС развивается медленней, чем сами системы.

Одной из первых работ, взглянувших на функционирование множества агентов с точки зрения ИБ, стала [2]. В работе рассматривается мульти-агентная система и предлагается так называемая «Товарищеская модель взаимной безопасности». Описанная авторами модель предполагает разделение множества агентов на уровни безопасности: уровень агентов, уровень системы, уровень сообщества. Внутри таких групп агенты являются гомогенными, осуществляют друг с другом коммуникацию и являются ответственными за обеспечение безопасности друг друга, повышая таким образом надёжность системы в случае деструктивного информационного воздействия. В системе отсутствует центральный элемент, атака на который способна вывести из строя всю систему. В качестве инструмента для проверки безопасности внутри группы агенты используют токены, которые в течение определённого времени агенты отправляют друг другу. В случае, если от какого-либо из агентов в запланированное время не получен токен – остальные агенты предпринимают определённые действия по реагированию на инцидент.

Системы обеспечения ИБ, основанные на интеллектуальных агентах, подробно рассматриваются в работах И. В. Котенко. В статье [3] предлагается подход обеспечения ИБ на основе интеллектуальных механизмов управления защитой системы на различных жизненных циклах. Предлагается и рассматривается реализация механизмов, позволяющих дезинформировать злоумышленника с помощью ложных информационных систем, представляющих своеобразные «ловушки», вводящие атакующего систему в заблуждение и позволяющие изучить возможный сценарий действий по компрометации защищаемой системы. Представлены программные решения, позволяющие оценить уровень обеспечения ИБ системы, реализующей функции кибербезопасности и моделировать поведение системы.

И. И. Викснины в работе [4] представлен исчерпывающий и адекватный обзор атак, направленных на нарушения содержательной целостности сообщений, передаваемых в группе БТС. Автор заключает, что большинство существующих методов и моделей направлены в основном на обеспечение целостности верхних уровней модели сетевого взаимодействия (OSI) и выделяет три типа атак, направленных содержательную целостность – атаки типа on-off, bad mouthing и ballot stuffing. В ходе исследования автором было описано большое количество моделей и методов, основанных на применении показателей репутации и доверия между элементами системы и рассмотрена

возможность применения этих методов в сетях VANETs. Также автором была разработана модель информационного взаимодействия (ИВ) между элементами системы и оценки информационных сообщений по таким показателям, как истинность, репутация и доверие. Разработанная модель реализует возможность обнаружения скрытого деструктивного информационного воздействия и позволяет повысить уровень ИБ системы.

Несмотря на существование различных подходов и методов обеспечения ИБ робототехнических систем, при выполнении различных задач МРТС, требуется перманентное обеспечение безопасности информации передаваемой между её элементами. Существующие методы в основном являются адаптированными механизмами жёсткой безопасности, применяемые в других сферах информационных и коммуникационных технологий, такие как криптографическая защита, аутентификация и авторизация, использование цифровых подписей, настраиваемые политики безопасности и т.д. В связи со специфическими особенностями, которыми обладают МРТС, такие методы и подходы не позволяют в полной мере обеспечить защиту системы от атак, реализуемых с использованием элементов, умышленно или неумышленно оказывающих деструктивное информационное воздействие на систему.

Учитывая всё вышесказанное, актуальность данной работы обусловлена недостаточностью проработанности научно-методического аппарата в области обеспечения ИБ МРТС. В данной работе поднимается проблема обеспечения безопасности информации, передаваемой между элементами МРТС. Объектом исследования является МРТС с частично-децентрализованным управлением. Предметом исследования являются коммуникационные каналы, информационное, программное и аппаратное обеспечение, методы и модели, повышающие защищённость мобильной робототехнической системы.

Целью работы является разработка метода обеспечения ИБ в МРТС с частично-децентрализованным управлением.

Адаптация модели полицейских участков для мобильной робототехнической системы

В контексте данной работы предлагается рассматривать модель функционирования МРТС, основанную на модели полицейских участков (Police Office Model – POM) [5].

Территория функционирования системы известна изначально. Она разделена на определённые участки местности – регионы, составляющие множество $H = \{h_1, h_2, \ldots, h_z\}$. Система состоит из n неподвижных стационарных узлов, условных полицейских участков (для простоты далее будут именоваться базами), составляющих множество $B = \{b_1, b_2, \ldots, b_n\}$ и из m наземных мобильных роботов-агентов, составляющих множество $R = \{r_1, r_2, \ldots, r_m\}$. Базы распределены случайным образом по территории функционирования МРТС. Каждая база имеет свой радиус действия, который зависит от технических характеристик средств связи, установленных на ней. Радиусом действия базы b_j является зона, в пределах действия границ которой мобильные роботы способны поддерживать коммуникацию с этой базой. Базы выполняют роли полицейских участков, взаимодействующих между собой и мобильными роботами-агентами.

Задачи представляют из себя множество T, и подразумевают простое перемещение мобильного робота в конечную точку, координаты которой определены в задаче. Количество задач также определено изначально.

Роботы взаимодействуют напрямую с базой, в зоне действия которой они находятся в данный момент времени, используя алгоритмы шифрования для защиты

канала связи, и выполняют поставленные перед ними задачи (перемещение по заданным базой координатам). Базы, в свою очередь, выполняют следующие функции:

– распределяют задачи среди мобильных роботов, сопровождают их на пути следования к конечной точке и передают под контроль другой базе в случае, если робот выходит из зоны видимости данной базы;

– реализуют задачи полицейских участков, принимая решение об исключении из группы неправильно функционирующих агентов и агентов, оказывающих деструктивное информационное воздействие на систему.

Для реализации данных функций МРТС должна отвечать следующим требованиям:

– надёжность − в случае потери одного агента влияние на достижение основной цели группой роботов должно быть минимальным;

– масштабируемость − возможность изменять число участников группы при изменении территории функционирования или количества задач;

– способность к самоорганизации − способность к принятию решений;

– автономность − стремление к независимости от состояния окружающей среды, что означает стремление к уменьшению влияния факторов внешней среды на достижение цели группой роботов.

Каждый i-й мобильный робот обладает своим набором характеристик $P_i = \{p_1, p_2, \ldots, p_s\}$. Характеристиками могут являться текущие координаты робота, остаток энергоресурсов и т.п. При этом, к множеству характеристик i-го мобильного робота относится мера его принадлежности к определённой базе, определяемая (1), то есть, насколько близко к базе находится мобильный робот.

$$p_i = \{(b_1|\mu_1), (b_2|\mu_2), \ldots, (b_n|\mu_n)\}, \quad (1)$$

где b_j – j-й элемент-база, μ_j – значение функции принадлежности i-го мобильного робота к j-му элементу-базе, которое вычисляется в соответствии с (2).

$$\mu_i = 1 - \frac{\rho(r_i, b_j)}{l}, \rho(r_i, b_j) \le l\,, \quad (2)$$

где ρ – расстояние между роботом r_i и базой b_j , l – радиус зоны действия базы. При $r_i, b_j > l$ считается, что $j = 0$. В данную итерацию времени мобильный робот будет взаимодействовать (отправлять данные о местоположении, запасах энергоресурсов и т.п.) только с тем элементом-базой, значение функции принадлежности μ_j к которому будет максимальным. В качестве допущения, при одинаковом значении μ_j к двум или нескольким базам, робот находится под контролем той базы, в зоне которой находится конечная точка текущей задачи, выполняемой им. В случае, если робот не выполняет задачу и стоит на месте, а значение μ_j при этом одинаково по отношению к нескольким базам, контролирующая база определяется случайным образом.

На рис. 1 проиллюстрирован пример расположения агентов по территории функционирования системы: пунктирными линиями обозначены границы между регионами.

В системе присутствуют два уровня ИВ: верхний и нижний. Верхний уровень подразумевает коммуникацию между полицейскими участками, каждый из которых обладает как модулем для общения друг с другом, так и модулем для общения с подвижными агентами множества R. Нижний уровень ИВ подразумевает коммуникацию между полицейскими участками и подвижными агентами. Агенты множества R имеют

возможность передачи информации только полицейским участкам и не имеют возможности передавать информацию друг другу.

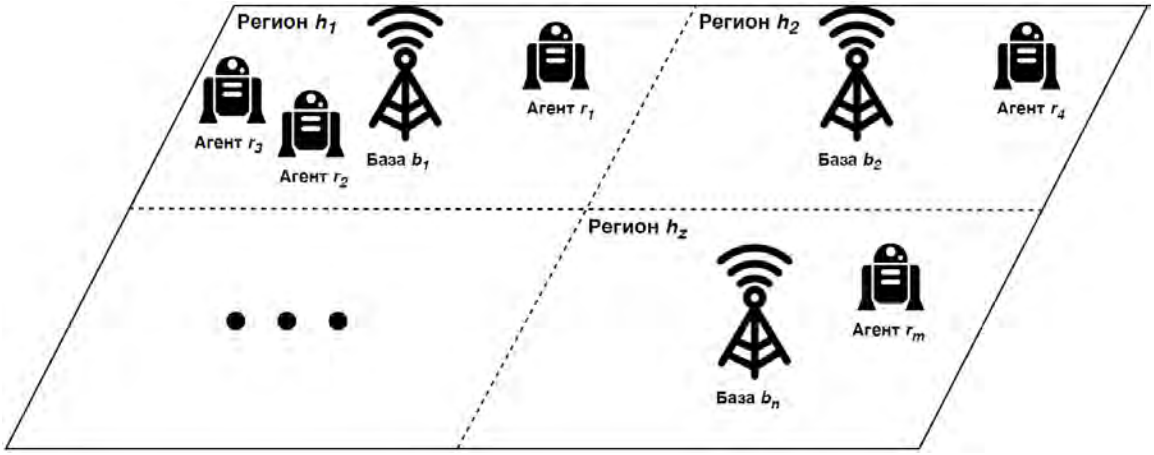


Рис. 1. Пример расположения элементов МРТС по территории функционирования

Проведение экспериментов и результаты

С целью оценки целесообразности предложенной в работе модели функционирования МРТС автором работы был разработан программный симулятор на языке Python.

В соответствии с теоретическим описанием, приведённым выше, моделируемая МРТС представляет собой экспериментальный полигон, состоящий из элементарных дискретных участков местности (ЭУМ). Полигон разделён на определённое количество регионов, состоящих из определённого количества ЭУМ. Размерность полигона и количество регионов задаётся вручную.

В системе присутствует два вида роботов-агентов:

– подвижные мобильные роботы (объекты множества R) – простые робототехнические устройства, способные осуществлять движение и перемещаться из точки А в точку Б;

– неподвижные роботы (объекты множества B) – полицейские участки, расположенные по одному в каждом регионе.

В качестве метрик для оценки эффективности используемых механизмов защиты предлагается использовать количество выполненных задач агентами в рамках одной итерации эксперимента и время (дискретное) выполнения всех задач в рамках одной итерации эксперимента.

Перед началом работы симулятора вручную задаются входные данные. Для получения объективных результатов экспериментов, в качестве входных данных во всех группах экспериментов использовались следующие значения:

$n \times n = 10 \times 10$ – размер экспериментального полигона (в клетках);

$b = 4$ – количество полицейских участков (соответствует количеству регионов);

$t = 10$ – количество целей;

$r = 10$ – количество подвижных роботов;

$s = 3$ – количество диверсантов.

Для оценки целесообразности предложенной модели было проведено две группы экспериментов.

– Симуляция поведения системы без использования механизмов защиты, но с диверсантами.

– Симуляция поведения системы с используемыми механизмами защиты и с диверсантами.

В каждой группе экспериментов было проведено 500 последовательных симуляций (итераций). Итерация заканчивается в том случае, если группой достигнута цель (выполнены все задачи), либо если у агентов недостаточно ресурсов, чтобы выполнить очередную задачу.

Обобщённые результаты, полученные в ходе симуляций представлены на рис. 2 и 3. Исходя из представленных на графиках данных, можно сказать о том, что с использованием предложенной в работе модели агентам требуется значительно меньше времени на то, чтобы выполнить все задачи за итерацию, по сравнению с системой, работающей без механизмов защиты и логики оптимального распределения задач. Также, при работе системы с использованием предложенной модели, за итерацию практически всегда выполняются все распределяемые задачи, что говорит о значительном приросте эффективности в работе системы в условиях деструктивного информационного воздействия.

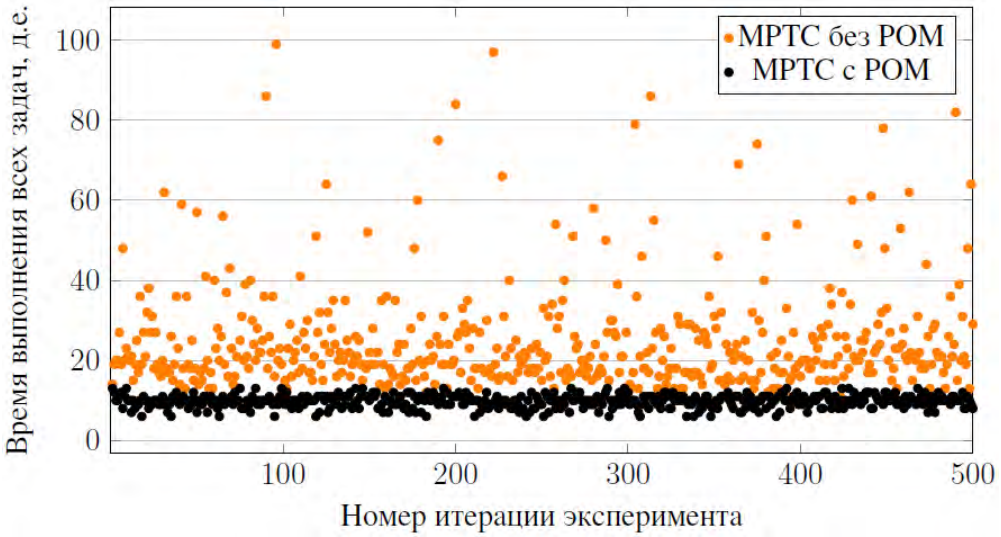


Рис. 2. Обобщённый график зависимости времени выполнения задач от номера итерации эксперимента. MPTC с диверсантами без использования и с использованием POM

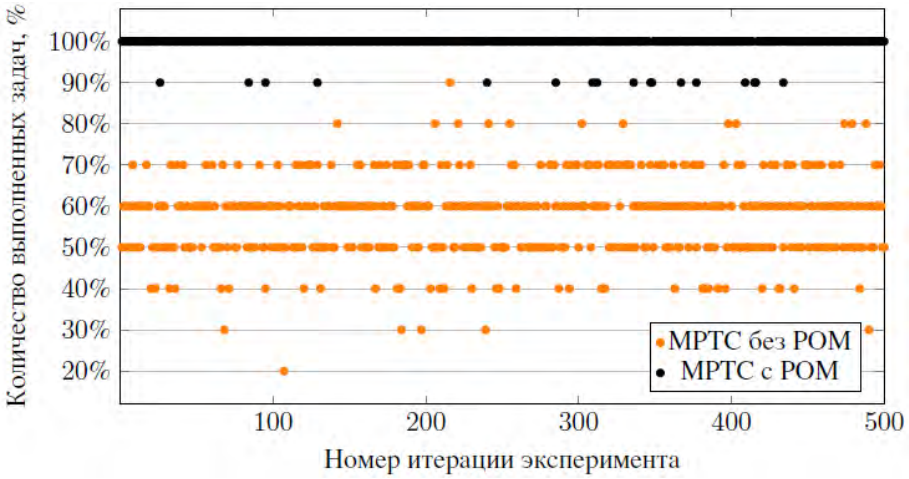


Рис. 2. Обобщённый график зависимости количества выполненных задач от номера итерации эксперимента. MPTC с диверсантами без использования и с использованием POM

Заключение

Данная работа посвящена повышению защищенности мобильных робототехнических систем со смешанной стратегией управления. В работе проанализированы особенности обеспечения информационной безопасности в мобильных робототехнических и кибер-физических системах.

С целью повышения защищённости мобильных робототехнических систем, автором работы предложена модель безопасного функционирования мобильной робототехнической системы, основанная на модели полицейских участков, разработан программный симулятор, позволяющий оценить влияние деструктивного информационного воздействия на систему с и без предложенных механизмов защиты. Анализ результатов проведённых экспериментов позволяет сказать о том, что предложенные в работе механизмы позволяют повысить эффективность работы системы в условиях деструктивного информационного воздействия.

Литература

1. ГОСТ Р. ИСО/МЭК 27000-2012 Информационная технология // Методы и средства обеспечения безопасности. Системы менеджмента информационной безопасности. Общий обзор и терминология. – 2012.
2. Page John, Zaslavsky Arkady, Indrawan Maria. A buddy model of security for mobile agent communities operating in pervasive scenarios // Proceedings of the second workshop on Australasian information security, Data Mining and Web Intelligence, and Software Internationalisation-Volume 32 / Australian Computer Society, Inc. 2004. p. 17–25.
3. Котенко И.В. Интеллектуальные механизмы управления кибербезопасностью // Труды Института системного анализа Российской академии наук. 2009. Т. 41. с. 74–103.
4. Викснин И.И. Модели и методы обнаружения нарушений целостности информации в группах беспилотных транспортных средств: дисс.....канд. техн. наук: 05.13.19 / Викснин Илья Игоревич. СПб. 2018. 190 с.
5. Guan Xudong, Yang Yiling, You Jinyuan. POM-a mobile agent security model against malicious hosts // Proceedings Fourth International Conference/Exhibition on High Performance Computing in the Asia-Pacific Region / IEEE. Vol. 2. 2000. p. 1165–1166.

ЛАУРЕАТЫ КОНКУРСА НА «ЛУЧШУЮ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКУЮ ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ СРЕДИ МАГИСТРОВ УНИВЕРСИТЕТА ИТМО»

Анцыперова Мария Александровна
Год рождения: 1995
Университет ИТМО,
факультет пищевых биотехнологий и инженерии,
студент группы Т4227,
направление подготовки: 19.04.03 – Продукты питания животного происхождения,
e-mail: anciperovamaria@mail.ru
Арсеньева Тамара Павловна
Год рождения: 1951
Университет ИТМО,
факультет пищевых биотехнологий и инженерии,
д.т.н., профессор,
e-mail: tamara-arseneva@mail.ru

УДК 637.144.5

РАЗРАБОТКА СОСТАВА И ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА НИЗКОЛАКТОЗНОГО НАПИТКА ИЗ КОЗЬЕГО МОЛОКА

М.А. Анцыперова

Научный руководитель – д.т.н., профессор **Т.П. Арсеньева**

Университет ИТМО

Аннотация
В работе рассмотрено понятие непереносимости лактозы, приведены способы решения этой проблемы с помощью современных технологий обработки молока. Для определения остаточного количества лактозы в ферментированном козьем молоке, адаптирован способ определения концентрации глюкозы в цельной крови энзиматическим колориметрическим методом с помощью спектрофотометра *Shimadzu UV*-1800. Разработан состав и изучено влияние технологических факторов на свойства молочных низколактозных напитков.

Ключевые слова
Молочная промышленность, низколактозная продукция, низколактозное молоко, молоко, лактаза, β-галактозидаза, ферментные препараты.

Непереносимость лактозы – это патологическое состояние, вызванное снижением в организме уровня лактазы – фермента, необходимого для правильного переваривания лактозы. Чтобы избежать симптомов непереносимости лактозы, людям, страдающим гиполактазией, необходимо снизить количество потребляемой лактозы. Это возможно сделать без исключения молочной продукции из рациона – употребляя безлактозные и низколактозные продукты [1].

Для решения проблемы непереносимости лактозы при употреблении молока, современные технологии обработки молока предусматривают ряд методов, позволяющих снизить содержание лактозы или полностью удалить ее из молока и молочных продуктов. К ним относят:

- традиционный способ;
- мембранную фильтрацию;
- ферментативное расщепление лактозы.

Традиционный способ удаления лактозы молочнокислым брожением пригоден

только для выработки кисломолочных продуктов, также в процессе сквашивания утилизируется только 20% лактозы. В результате мембранной фильтрации кроме лактозы также уходит значительная часть других питательных веществ. Ферментативный гидролиз заключен в добавлении препарата лактазы. В промышленных масштабах лактазу, необходимую для ферментативного гидролиза лактозы, получают искусственно из грибов Aspergillus niger и Aspergillus oryzae или экстрагируют из дрожжей Kluyveromyces fragilis и Kluyveromyces lactis.

Современные методы определения лактозы в молоке:

– криоскопический метод [3];
– метод потенциометрического титрования углеводов в неводной среде [5].

Данные методы позволяют определить степень гидролиза лактозы в молоке, но их осуществление возможно только при наличии специфических приборов.

Так как β-галактозидаза расщепляет лактозу на глюкозу и галактозу, то степень гидролиза можно вычислить по нарастающему в процессе гидролиза количеству моносахаридов. Для этого можно использовать методику определения концентрации глюкозы в цельной крови энзиматическим колориметрическим методом. Метод основан на фотометрическом определении интенсивности окраски реакционной среды, окрашивающейся пропорционально содержанию глюкозы в образцах [2].

В рамках научно-исследовательской работы произведён расчёт белковой и липидной составляющей для выбора основы молочного низколактозного напитка. Произведено сравнение коровьего и козьего молока (таб. 1, 2).

Таблица 1

Сравнение расчетных показателей белковой составляющей

Показатель	Значение	
	коровье молоко	козье молоко
Массовая доля белка, %	3,2	3,0
Лимитирующие аминокислоты	метионин + цистеин, фенилаланин	фенилаланин
Коэффициент различия аминокислотного скора, %	48,65	30,90
Биологическая ценность, %	51,35	69,10

Таблица 2

Биологическая ценность липидной составляющей

Показатель	Значение			
	продукт		норма	
	молоко коровье	молоко козье	от	до
Массовая доля жира	3,60	4,20	–	–
Жирные кислоты г / 100 г липидов:				
НЖК	59,72	62,86	33,33	46,67
МНЖК	29,44	27,14	33,33	33,33
ПНЖК	5,83	5,00	20,00	33,33
омега-3	0,83	1,90	16,67	26,67
омега-6	5,00	3,10	3,33	6,67
Коэффициент жирнокислотной сбалансированности:				
i = 3	0,49 - 0,52	0,45 - 0,48	–	–
i = 5	0,31 - 0,34	0,14 - 0,41	–	–

Таким образом, для расширения ассортимента низколактозной продукции по результатам расчёта белковой и липидной составляющих, в качестве основы напитков выбрано козье молоко.

Для определения остаточного количества лактозы в ферментированном козьем молоке, адаптирован способ определения концентрации глюкозы в цельной крови энзиматическим колориметрическим методом. Определение проведено с помощью спектрофотометра Shimadzu UV-1800.

Исследование проводят согласно инструкции по применению набора реагентов «Глюкоза-8-Ольвекс» [4] с некоторыми отличиями: проведение предварительного осаждения белков молока термокислотным способом, подбор приемлемого состава реакционной смеси и создание плана вычислений. Состав проб представлен в таб. 3.

Таблица 3

Состав проб

Компоненты реакционной среды	Опытная проба	Калибровочная проба	Контрольная (холостая) проба
Монореагент, мл	2,00	2,00	2,00
Сыворотка[1], мл	0,01	–	–
Калибратор, мл	–	0,01	–
Сыворотка[2], мл	–	–	0,01
1 – безбелковая сыворотка, полученная из ферментированного козьего молока, разбавленная в соотношении 1:9 дистиллированной водой. 2 – безбелковая сыворотка, полученная из цельного козьего молока.			

На первом этапе исследованию подлежали три образца безбелковой сыворотки, полученные способом термокислотной коагуляции соответствующих образцов, ферментированных различными препаратами (см. таб. 4) при температуре 40°С в течение 240 минут, а также образец сыворотки из смеси, не подвергнутой ферментации.

Таблица 4

Дозировка ферментных препаратов

№ образца	Вносимый препарат	Дозировка препарата
1	*Lacta-Free (Laktoferm ECO)*	0,70 %
2	Лактазис 6500*K* (*Kaprina*)	0,08 %
3	*Lactase Baby* (*National Enzyme Company*)	1,10 %

Полученные данные измерения оптической плотности проб при длине волны 400-625 нм с помощью спектрофотометра Shimadzu UV-1800 представлены на рис. 1.

В результате расчёта по экспериментальным данным, определено количество прореагировавшей лактозы и степень гидролиза лактозы (рис. 2).

В результате первого этапа, для дальнейшего исследования были отобраны препараты Лактазис 6500*K* и *Lacta Free*. На втором этапе ферментативный гидролиз проводился при температуре 4±2°С в течение 240 минут. Полученные данные измерения оптической плотности проб при длине волны 400-625 нм с помощью спектрофотометра *Shimadzu UV-1800* представлены на рис. 3.

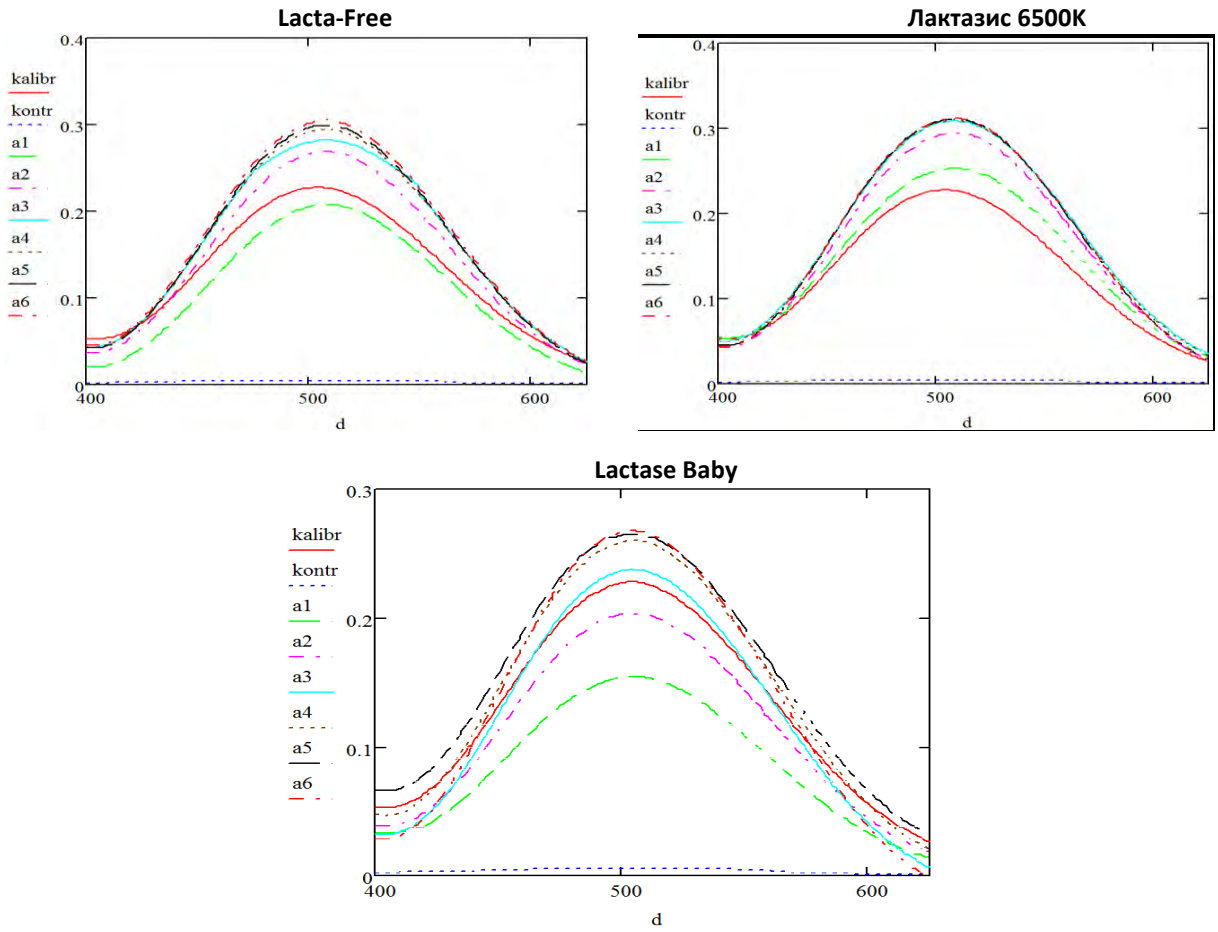


Рис. 1. Зависимость оптической плотности от длины волны. *Lacta-Free*, Лактазис *6500K*, *Lactase Baby* при температуре 40°С. Условные обозначения: kalibr – калибровочная проба; kontr – контрольная проба; a1-a6 – опытные пробы; d – длина волны, нм

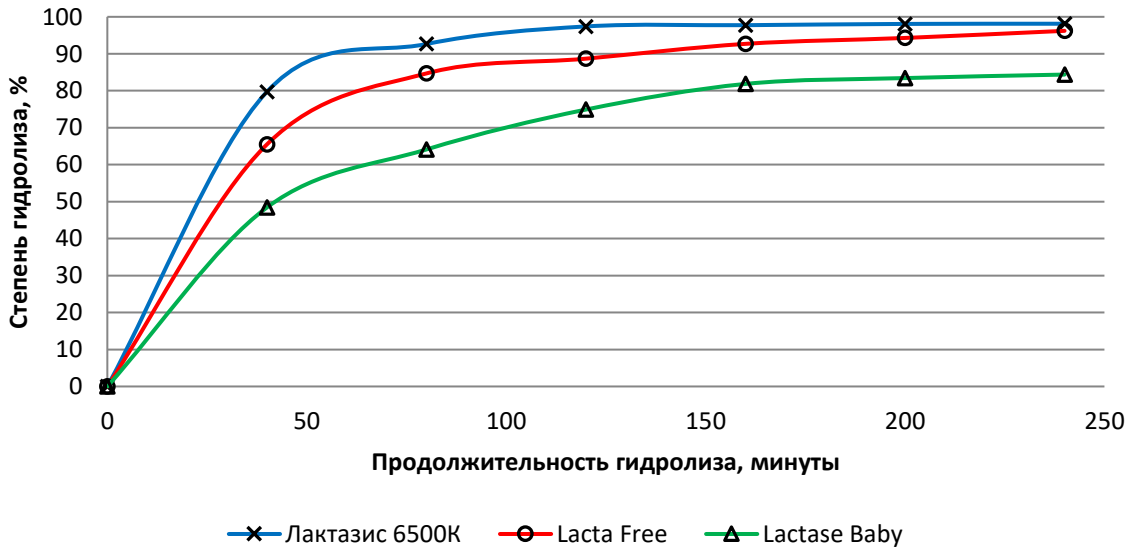


Рис. 2. Зависимость степени гидролиза от его продолжительности при температуре 40°С

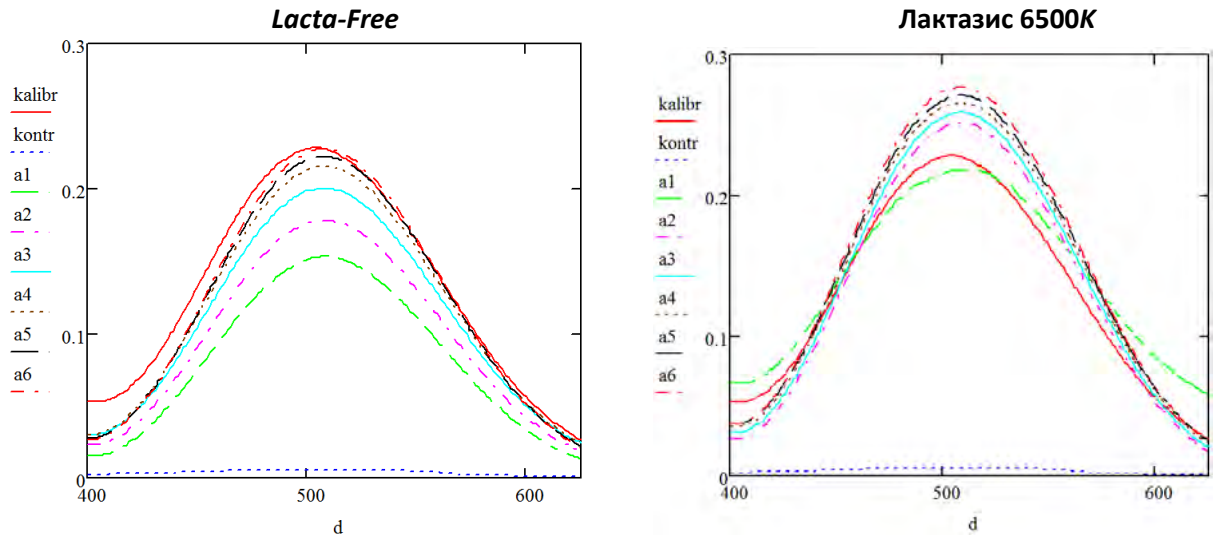


Рис. 3. Зависимость оптической плотности от длины волны. Lacta-Free, Лактазис 6500K при температуре 4±2°C. Условные обозначения: kalibr – калибровочная проба; kontr – контрольная проба; a1-a6 – опытные пробы; d – длина волны, нм

В результате расчёта по экспериментальным данным, определено количество прореагировавшей лактозы и степень гидролиза лактозы (рис. 4).

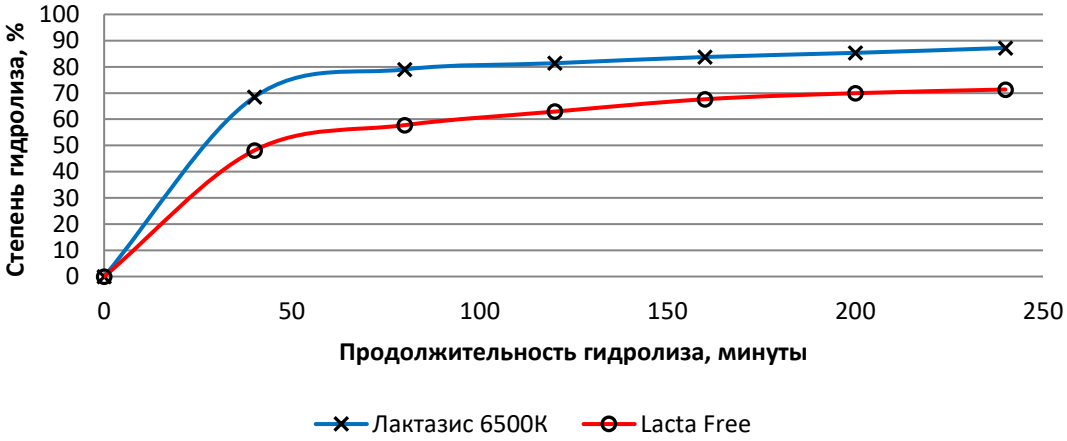


Рис. 4. Зависимость степени гидролиза от его продолжительности при температуре 4±2°C

В качестве ферментного препарата для производства низколактозного напитка на основе козьего молока выбран Лактазис 6500K, показывающий наилучшие результаты гидролиза лактозы. Определены условия наилучшего гидролиза препаратом – четыре часа при температуре 40°C.

Органолептическая оценка позволяет определить наполнители для ассортиментной группы молочных низколактозных напитков. Для определения наполнителя молочных низколактозных напитков изготовлены опытные образцы с различными растительными наполнителями в количестве 5 %.

По результатам органолептической оценки составлен протокол заседания дегустационной комиссии, проведена обработка данных. Сравнительная характеристика всех образцов представлена на рис. 5.

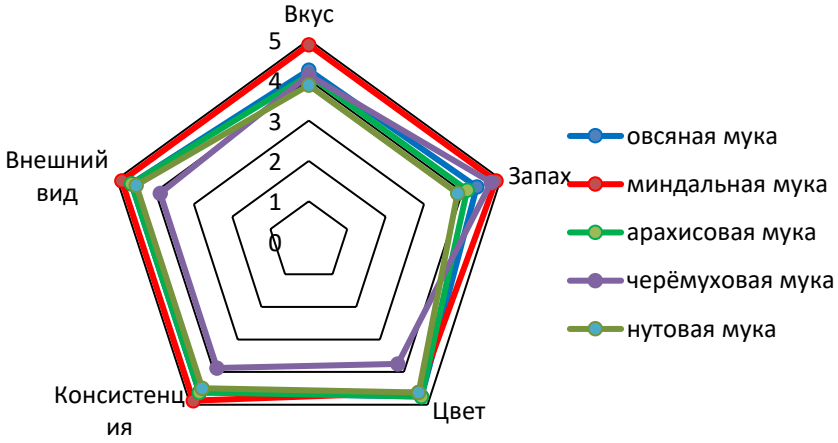


Рис. 5. Сравнительная характеристика

По результатам органолептической оценки, образцы с черёмуховой и нутовой мукой получили низкие оценки за горьковатый вкус. При использовании арахисовой муки и муки из нута, в процессе хранения наблюдается сильная седиментация наполнителя. Таким образом, наполнителями ассортиментной группы молочных низколактозных напитков выбраны овсяная и миндальная мука. Сочетание овсяной и миндальной муки в соотношении 1 : 1 использовано для расширения ассортиментной группы. Также в состав введён стабилизатор – агар пищевой в количестве 0,2 г /100 г напитка.

Общая характеристика способа производства соответствует традиционной технологии производства питьевого молока, отличается необходимостью подготовки наполнителя и проведением ферментативного гидролиза. Молочный низколактозный напиток получают путем гомогенизации, пастеризации, охлаждения, внесения ферментного препарата Лактазис 6500К, проведения ферментативного гидролиза лактозы при выдерживании смеси при слабом перемешивании при температуре 40± 2°С, последующем подогреве полученного низколактозного молока до температуры 40-45°С, отделением 25 % молока для активации стабилизатора агара пищевого и гидратирования растительных компонентов – овсяной и миндальной муки, – при температуре 90 ± 2°С с выдержкой 15 минут, составлением смеси с оставшимися 75 % низколактозного молока, перемешиванием полученной смеси при температуре 40-45°С в течение 2 ч, охлаждением до 4 ± 2°С и розливом. Подготовка растительных компонентов заключается в их просеивании, составлении смеси со стабилизатором и низколактозным молоком, которое вносят в основную массу низколактозного молока в соотношении 1 : 3.

Технологической особенностью выработки низколактозных напитков является частичное удаление лактозы путем расщепления на глюкозу и галактозу с помощью фермента β-галактозидазы, продуцируемого дрожжами Kluvermyces lactis. Ферментативный гидролиз, с помощью которого производят удаление лактозы из молока, расщепляет до 98 % лактозы в молоке, при этом сохраняя его исходную ценность и качество.

Основные выводы работы:

1. Проведено экспериментальное исследование, в результате которого разработан состав и изучено влияние технологических факторов на свойства молочных низколактозных напитков.

2. Для определения остаточного количества лактозы в ферментированном козьем молоке, адаптирован способ определения концентрации глюкозы в цельной

крови энзиматическим колориметрическим методом с помощью спектрофотометра Shimadzu UV-1800.

3. В результате исследования ферментации молока препаратами Lacta-Free, Lactase Baby и Лактазис 6500K, для разработки низколактозного напитка выбран препарат Лактазис 6500K, гидролизующий до 98,13 % лактозы за 4 ч при температуре 40°C.

4. Общая характеристика способа производства соответствует традиционной технологии производства питьевого молока, отличается необходимостью подготовки наполнителя и проведением ферментативного гидролиза.

Литература

1. Klinikleitfaden Medizinische Rehabilitation / Oliver Rick, Rainer Stachow –Elsevier, Urban&FischerVerlag, 2013. 768 s.
2. Trinder P., Ann. clin. Biochem., 1969, vol. 6, p.24.
3. Исследование процесса гидролиза лактозы в молоке / Строкач Д.А., Арсеньева Т.П. // Сб. науч. трудов «Технология и техника пищевых производств», СПбГУНиПТ. 2003. С.142-146.
4. Каталог биохимических наборов Ольвекс-Диагностикум: каталог. СПб.: 2018. 61 с.
5. Селективное определение лактозы в молочных продуктах / Коренман Я.И., Бычкова А.А. // Известия вузов. Пищевая технология. 2013. №1. С. 25–27.

Веременко Андрей Павлович
Год рождения: 1994
Университет ИТМО,
факультет прикладной оптики,
студент группы № B4201,
направление подготовки: 12.04.02 – Оптотехника,
e-mail: veremenko.andre@gmail.com
Ежова Ксения Викторовна
Год рождения: 1981
Университет ИТМО,
факультет прикладной оптики,
к.т.н., доцент,
e-mail: ezhovakv@itmo.ru

УДК 004.932

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТОВ «ВОДНЫЙ ЛАБИРИНТ МОРРИСА» И «ОТКРЫТОЕ ПОЛЕ» НА ОСНОВЕ АЛГОРИТМОВ ФИЛЬТРАЦИИ И ПОИСКА ДВИЖУЩИХСЯ ОБЪЕКТОВ НА ВИДЕОИЗОБРАЖЕНИИ

А.П. Веременко

Научный руководитель – к.т.н., доцент **К.В. Ежова**

Университет ИТМО

Аннотация
В статье рассматриваются метода обработки видео, необходимые для частичной автоматизации обработки результатов экспериментов «Водный лабиринт Морриса» и «Открытое поле» которые используют для изучения поведения лабораторных мышей в зависимости от различных внешних факторов. Программная часть работы была выполнена на языке программирования C++ с использованием библиотек OpenCV 3.2 и Qt 5.2.
Ключевые слова
Компьютерное зрение, открытое поле, водный лабиринт Морриса, поиск фона, обнаружение движения.

Введение

Для получения информации о психологическом состоянии млекопитающих в различных нестандартных ситуациях на примере изучения изменения поведения грызунов в Институте физиологии им. И. П. Павлова Российской академии наук проводятся эксперименты в двух лабиринтах: «Водный лабиринт Морриса» и «Открытое поле».

Лабиринт «Открытое поле» используют как простой тест эмоциональности. Принято считать, что если же животное находится в подавленном эмоциональном состоянии, то оно будет менее подвижно, по сравнению с психологически нормальным.

При проведении эксперимента «Открытое поле» грызуна помещают в центр лабиринта и наблюдают за его поведением. Как только грызун вступает на новый квадрат, это регистрируется. Пример лабиринта «Открытого поля» приведен на рис. 1-а.

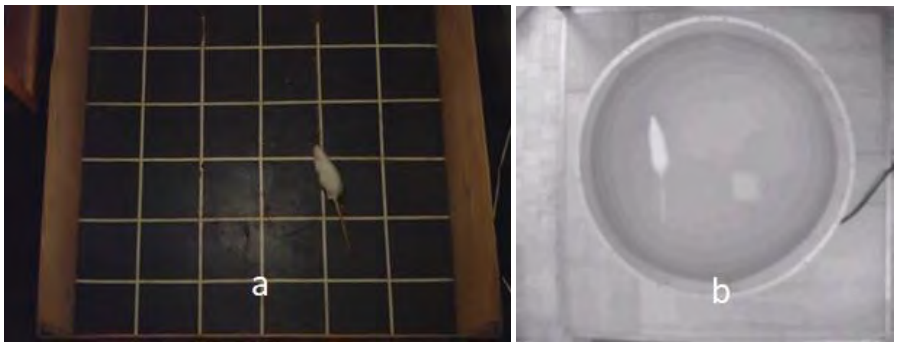


Рис. 1. Пример Лабиринтов. a-«Открытое поле», b-«Водный лабиринт Морриса»

«Водный лабиринт Морриса» (MWM) (рис. 1-б), является основным тестом для изучения пространственной памяти у грызунов. MWM представляет собой бассейн цилиндрической формы, наполненный водой, подкрашенной сухим молоком или мелом. В бассейне находится платформа ниже уровня воды, поэтому животное не может её видеть.

Попав в MWM, грызун испытывает стресс и начинает искать выход из лабиринта. В процессе эксперимента животное обучается находить платформу при помощи пространственной памяти и выбираться быстрее. Во время проведения эксперимента следят за временем, за которое грызун находит платформу

Цель и задачи

Целью данной работы является автоматизация процесса обработки результатов экспериментов «Водный лабиринт Морриса» и «Открытое поле».

Общий алгоритм

Пользователь выбирает вид эксперимента и указывает путь до файла с видео, указывает область интереса (ROI) и с какого кадра начинается эксперимент. Затем выполняется подпрограмма с анализом эксперимента. На выходе пользователь получает файл с результатом анализа видеопотока.

Алгоритм поиска движения - метод вычитания фона

Был выбран метод вычитания фона по причине неподвижности фона в задаче. Данный метод имеет несколько основных пунктов, представленных на рис. 2.

На этапе предобработки кадр необходимо подготовить к обнаружению движущихся объектов. Для этого необходимо уменьшить размера кадра и осуществить перевод кадра из системы RGB в систему YUV. После предобработки производится попиксельно вычитание фона из каждого кадра [1]. Выбранный метод выделения фона будут рассмотрен далее.

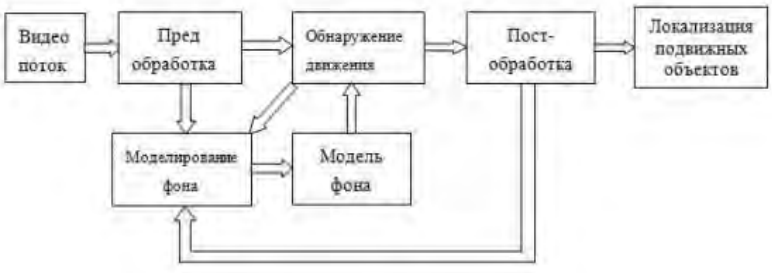


Рис. 2. Схема работы метода вычитания фона

Алгоритм поиска фона – смесь гауссовских распределений

В методе «смесь гауссовских распределений» фон представляет собой сумму распределений B. Для этого берется определенное кол-во кадров, по которым будет определен фон и τ, определяющую минимальную долю фона. Рассмотрим метод в момент t. Ψ – это множество гауссовских распределений, каждое отдельно взятое распределение которого, определяется двумя параметрами: σ^2 - дисперсия и $\bar{\mu}$ – вектор средних значений. Также для каждого распределения вычисляется вес π, обозначающий насколько хорошо распределение описывает фон, причем $\sum_{i=1}^{M}\pi_i = 1$. Следует выделить, что π и σ - это числа, описывающие распределения, а $\bar{\mu}$ вектор, связывающий каждый пиксель с выбранным распределением. Считается, что выбранное распределение закрыто, если расстояние Махаланобиса между точками больше трех. $D^2(\bar{l}) = \frac{(v^T * v)}{\sigma^2}$, $\bar{v} = \bar{l} - \bar{\mu}$, где $\bar{l}$ и $\bar{\mu}$ вектора.

Отсортируем элементы Ψ согласно условию $\pi_k > \pi_{k+1}$. Далее ищем B по формуле 1.

$$B = arg_b^{\min}(\sum_{i=1}^{b}\pi_i > \tau), \quad (1)$$

Рассчитаем вероятность того что ρ_t принадлежит текущему фону используя только B первых распределений. $\bar{P}(l_t) = \sum_{m=1}^{B}(\pi * \mathrm{N}(\mathrm{l}_t, \bar{\mu}_{m,t}, \sigma^2_{m,t} * \rho_t))$, $N(\mathrm{l}, \mu, \rho) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\rho}} e^{\frac{\bar{v}^T * \bar{v}}{2\rho}}$, если $P(\mathrm{l}_t(\mathrm{x})) > \tau$, то получаем точку $\mathrm{l}_t(\mathrm{x})$, принадлежащую фону.

Следующие вычисления проводятся для каждого распределения из Ψ по формуле 2, формуле 3 и формуле 4.

$$\pi_{t+1} = \pi_t + \alpha(\mathrm{o}_t - \pi_t) - \alpha * C_t, \quad (2)$$

$$\bar{\mu}_{t+1} = \mu_t + \mathrm{o}_t(\frac{\alpha}{\pi_{t+1}}) * \bar{\nu}_t, \quad (3)$$

$$\sigma^2_{t+1} = \sigma^2_t + \mathrm{o}_t(\frac{\alpha}{\pi_{t+1}}) * (\nu_t * \bar{\nu}_t - \sigma^2_t), \quad (4)$$

где $\alpha = \frac{1}{t}$. $o_t = 1$ только для закрытого распределения с наибольшим весом π_t, в остальных случаях $o_t = 0$. Если в Ψ отсутствуют закрытые распределения, то добавляем в Ψ распределение с $\pi_{t+1} = \alpha$, $\bar{\mu}_{t+1} = \bar{l}_t$ и $\sigma_{t+1} = \sigma_0$, где σ_0 ранее определенная константа. Далее нормируем веса π и выполняем вычисления для нового множества Ψ [2].

Алгоритм поиска геометрических объектов на изображении

В данной работе для поиска сетки в лабиринте «Открытое поле» и площадки в «Водный лабиринт Морриса», используется преобразование Хафа.

Преобразование Хафа представляет собой линейное преобразование для определения прямых на изображении. Особенность преобразования Хафа заключается в том, что прямая может быть представлена в виде точки с координатами m (коэффициент наклона) и b (точка пересечения с осью ординат) в пространстве параметров.

Известно, что прямые, находящиеся параллельно оси ординат имеют бесконечное значение для параметра m. Поэтому, в преобразовании Хафа прямую представляют с помощи параметров r и θ. Под r понимают длину нормали к прямой, проведенной из начала координат. θ - это угол между радиус-вектором ближайшей к началу координат точки на прямой и осью абсцисс. Следовательно, уравнение прямой в преобразовании Хафа: $y = (-\frac{\cos\theta}{\sin\theta})\mathrm{x} + (\frac{r}{\sin\theta}) \Rightarrow r = x\cos\theta + y\sin\theta$.

Поэтому, можно связать прямые на исходном изображении в плоскости XY, точку с координатами r и θ в пространстве Хафа, которая уникальна, если $\theta \in [0, \pi]$ и $r \in R$ или $\theta \in [0, 2\pi]$ и $r \geq 0$.

Через каждую точку в пространстве возможно провести бесконечное количество прямых, если задать положение этой точки с помощью x_0, y_0 то все прямые проходящие через неё соответствуют уравнению: $r(\theta) = \mathrm{x}_0 * \cos\theta + y_0 \sin\theta$.

Данное уравнение соответствует синусоидальной линии в пространстве Хафа, которая является уникальной для данной точки и однозначно её определяет. Если эти линии соответствуют двум точкам в пространстве Хафа, то точка где они пересекаются, соответствует прямой в плоскости XOY.

Ряд точек, которые формируют прямую линию, определяют синусоиды, которые пересекаются в точке параметров для этой линии. Таким образом, проблема обнаружения точек, лежащих на одной прямой, может быть сведена к проблеме обнаружения пересекающихся кривых [3].

Алгоритм поиска центра масс

Алгоритм поиска центра масс грызуна на изображении реализует метод поиска центра белого пятна на изображении. $x_c = \frac{\sum_{i=1}^{m}(\sum_{j=1}^{n} j * U(\mathrm{i},\mathrm{j}))}{\sum_{j=1}^{n}(\sum_{i=1}^{m} U(\mathrm{i},\mathrm{j}))}$; $y_c = \frac{\sum_{j=1}^{n}(\sum_{i=1}^{m} \mathrm{i} * U(\mathrm{i},\mathrm{j}))}{\sum_{j=1}^{n}(\sum_{i=1}^{m} U(\mathrm{i},\mathrm{j}))}$,

где $U(\mathrm{i},\mathrm{j})$ – яркость пикселя, m, n – количество строк и столбцов изображения.

В результате определяются координаты яркостного центра масс изображения.

Разработка программного обеспечения

На основе анализа представленных алгоритмов и разработанного матаппарата было создано ПО, позволяющее автоматизировать процесс обработки результатов экспериментов.

Подпрограмма «Открытое поле»

На вход алгоритм получает видеопоток, начиная с кадра начала эксперимента. Кадр состоит из вырезанной области интереса исходного видеофайла. Алгоритм делится на четыре этапа: определение фона, поиск сетки лабиринта, слежение за передвижением

грызуна и определение номера квадрата, в котором он располагается.

На первом этапе с помощью алгоритма «смесь гауссовских распределений», перебирая все кадры по очереди, определяется фон на видео. Фоном считается место, где полностью отсутствует или совсем малозаметен грызун. Пример обнаруженного фона на рис. 3.

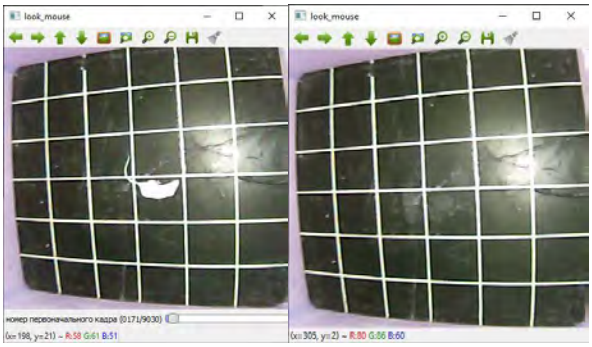


Рис. 3. Обнаружение фона. Слева изначальный кадр, справа обнаруженный фон

В пункте два происходит обнаружение полос на фоновом изображении, которые образуют сетку лабиринта. Поиск осуществляется с помощью преобразования Хафа. Пользователь сам определяет, когда вся сетка найдена. Далее из образованной сетки с использованием уравнения пересечения прямых определяются четырехугольные ячейки лабиринта. Пример обнаруженной сетки представлен на рис. 4.

После перехода к пункту три из каждого кадра видеопотока вычитается фон. Затем происходит бинаризация кадра с порогом равным средней яркости фона, фильтрация изображения методом Гаусса с маской размером 11x11 – это позволяет избавиться от оставшихся шумов на изображении. Результат вычитания фона и фильтрации на рис. 5.

Следующим действием происходит поиск всех контуров на изображении. Производится поиск самого большого контура и его центра масс. Обнаруженная точка является центром масс грызуна. Затем происходит поиск области из заранее определенных ячеек лабиринта, в которую входит точка, а на текущем необработанном кадре отображаются определенная ячейка лабиринта и точка центра масс. Данный алгоритм применяется ко всем последующим кадрам.

В пункте 4 определяется количество пересеченных грызуном ячеек лабиринта, и их характеристика вычисляется длина траектории движения и скорость. На последнем этапе вычисленные параметры записываются в файл, пример которого представлен на рис. 6.

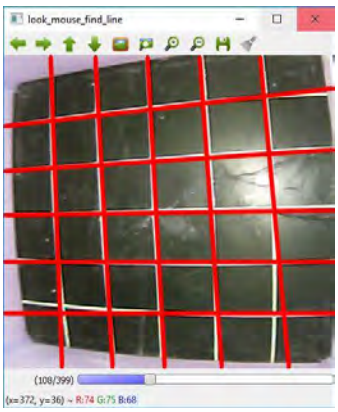


Рис. 4. Интерфейс обнаружения сетки

Рис. 5. Этапы обработки кадра после вычитания фона из текущего кадра слева направо. 1. После вычитания фона 2. После фильтра Гаусса 3. Исходное изображение с отрисованным центром массы объекта и выделенным квадратом местоположения

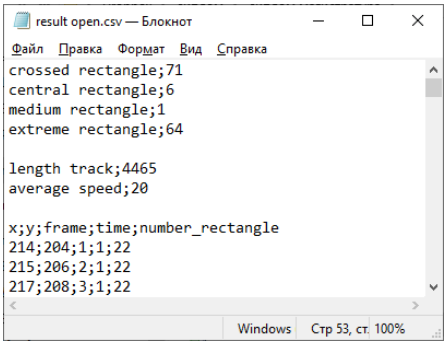


Рис. 6. Файл с результатами

Подпрограмма «Водный лабиринт Морриса»

На вход данный алгоритм получает такой же подготовленный кадр, как в алгоритме для лабиринта «Открытое поле». Данные алгоритмы очень схожи и их этапы практически идентичны. Определение фона происходит аналогично эксперименту «Открытое поле», пример обнаружения фона на рис. 7.

В пункте два осуществляется поиск четырех пересекающихся линий, они и будут считаться площадкой. Определение площадки не требует участия пользователя.

На этапе 3 после определения центра масс грызуна проверяется: входит ли она в прямоугольник, обнаруженный ранее. Если входит, то происходит выход из цикла.

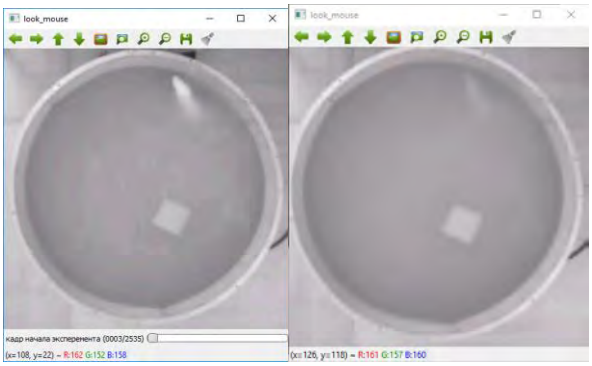


Рис. 7. Обнаружение фона в лабиринте «Водный лабиринт Морриса».
Слева изначальный кадр, справа обнаруженный фон

Пункт 4 выполняется аналогично эксперименту «Открытое поле». Происходит вычисление расстояния, скорости движения грызуна, и времени, потраченного на поиск

площадки. Данные записываются в файл, на чем работа алгоритма завершается.

Анализ результатов

Для анализа результатов было проведено тестирование алгоритмов на пяти файлах с экспериментами, три из них – лабиринт «Открытое поле», два – «Водный лабиринт Морриса».

Тестирование выявило следующие недостатки: смещение камеры в ходе проведения эксперимента приводит к невозможности анализа данного опыта (рис. 8 - а); перемещение каких-либо объектов в промежутке между камерой и лабиринтом приводит к неточности определения положения мыши (рис. 8 - б); ошибки в определении сетки лабиринта или площадки из-за наличия дисторсии на исходном изображении (рисунок 8 – в, г).

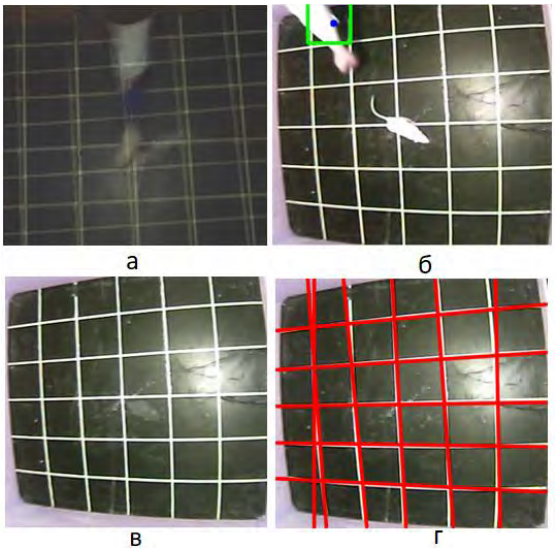


Рис. 8. Примеры недостатков алгоритмов: фоновое изображение при движении камеры во время проведения эксперимента (а); ошибка определения места положения грызуна (б); ошибка определения сетки лабиринта «Открытое поле» (в, г), в - изображение лабиринта с дисторсией, г – ошибка определения сетки, вызванная наличием дисторсии

Заключение

В рамках работы над магистерской диссертацией было проанализирована предметная область, произведена адаптация алгоритма слежения за объектом для поиска движения грызуна в экспериментах «Открытое поле» и «Водный лабиринт Морриса» так же было разработано ПО на основе разработанных алгоритмов.

В заключении необходимо отметить, что работа выполнена в рамках сотрудничества Факультета Прикладной Оптики с Институтом физиологии им. Ивана Петровича Павлова Российской академии наук.

Литература

1. Лэй С. Исследование методов и алгоритмов обнаружения движущихся объектов в видеопотоке // Молодёжный научно-технический вестник. 2013.
2. Сергеев И.А. Исследование методов обнаружения фона в тепловизионном видеоряде. // Вестник ТвГУ. 2010. С. 97–104.
3. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. 3rd ed. М.: Техносфера, 2012. 848-854 с.

Ворожцова Юлия Сергеевна
Год рождения: 1994
Университет ИТМО,
факультет прикладной оптики,
студент группы № В4260с,
направление подготовки: 16.04.01 – Техническая физика,
e-mail: leta-x@mail.ru
Усманова Фания Гайнулхаковна
Год рождения: 1978
Университет ИТМО,
факультет прикладной оптики,
к.х.н.,
e-mail: fania909@gmail.com

УДК 665.6/.7

ПОДХОДЫ К ОЦЕНКЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИНГИБИТОРОВ ГИДРАТООБРАЗОВАНИЯ

Ю.С. Ворожцова

Научный руководитель – к.х.н., преподаватель **Ф.Г. Усманова**

Университет ИТМО

Аннотация
В работе рассматривается проблема осложнений при добыче углеводородов вследствие закупорки промысловых трубопроводов агломератами кристаллов газогидратов. Приведены подходы к оценке эффективности ингибиторов гидратообразования термодинамического и кинетического действия. Предложены методы исследования с учётом химического строения молекул, присущего тому или иному типу реагентов, при этом условия проведения экспериментов максимально были приближены к промысловым. Проведено сравнение реагентов по эффективности их действия в условиях Восточного участка Оренбургского нефтегазоконденсатного месторождения. Определены наиболее эффективные реагенты и их минимальные дозировки, предотвращающие образование газогидратов. Выданы рекомендации к опытно-промышленным испытаниям. Сделан вывод о предпочтительном типе ингибиторов для борьбы с газогидратами на исследуемом месторождении.
Ключевые слова
Газогидраты, ингибиторы гидратообразования, термодинамические ингибиторы гидратообразования, кинетические ингибиторы гидратообразования, Восточный участок Оренбургского нефтегазоконденсатного месторождения.

Кристаллы газовых гидратов образовываются в условиях сочетания низких температур и высоких давлений в присутствии воды и газов-гидратообразователей, которые входят в состав природного и попутного газов, нефти и газового конденсата (углекислый газ, сероводород и газообразные алканы). Центры кристаллизации газогидрата образуются со скоростью, которая в основном определяется значением параметра внешнего давления, а также степенью переохлаждения процесса. Чем больше давление в системе, тем выше скорость роста центров кристаллизации газогидратов. В

случае повышения степени переохлаждения скорость образования центров кристаллизации резко возрастает и, достигнув определенного значения при заданном давлении, медленно снижается. Подобные явления часто наблюдаются или происходят в процессе добычи нефти и газа, особенно в суровых климатических условиях месторождений РФ. Кристаллы гидратов агломерируются в промысловых системах добычи и транспортировки углеводородов и могут вызывать закупорку трубопроводов [1]. Среди современных способов борьбы с образованием гидратных пробок наиболее часто применяемым является использование метанола, а также других реагентов для удаления и предотвращения процессов гидратообразования, различающихся по способу воздействия на образующиеся газовые гидраты. Принцип действия термодинамических ингибиторов гидратообразования состоит в изменении основных термодинамических свойств системы с жидкими средами для смещения равновесной кривой гидратообразования и сужения области существования гидрата. Они чаще всего представлены спиртами (метанол, моноэтиленгликоль, диэтиленгликоль) и рассолами, например, 30 %-й раствор хлорида кальция. Кинетические ингибиторы характеризуются временем задержки нуклеации и/или роста гидрата. Кинетическими ингибиторами гидратообразования являются полимеры. У каждого основная полиэтиленовая цепь соединена с «подвесной» группой, содержащей амидную связь (-N-C=O), часто внутри кольца из пяти-семи элементов. Кинетические ингибиторы могут адсорбироваться на кристаллы, а «подвесная» группа проникает в конкретные места (частично заполненные клетки), в то же время основные цепи полимеров растягиваются по поверхности кристалла. Кристалл может продолжать расти только вокруг полимера; иной рост кристалла блокируется. В настоящее время эффективные дозировки ингибиторов гидратообразования определяются в ходе опытно-промышленных испытаний, что обуславливает высокие экономические затраты и технологические риски. Поэтому исследование эффективности их эффективности лабораторными методами является актуальной производственной задачей. Однако в силу разницы между ингибиторами гидратообразования различных типов по механизму воздействия на образующиеся гидраты необходимы разные подходы к оценке их эффективности и выбору эффективных дозировок.

В частности, с образованием гидратов сталкиваются при эксплуатации газлифтных скважин Восточного участка Оренбургского нефтегазоконденсатного месторождения (ВУ ОНГКМ). Ранее нами была проведена оценка условий гидратообразования на ВУ ОНГКМ и выявлены высокие риски. Первоначально была построена кривая гидратообразования для исследуемого объекта в термостатируемом автоклаве с моделированием среды вода/газ [2]. Равновесная кривая гидратообразования (фазового равновесия), построенная в координатах давления и температуры, наглядно демонстрирует интервал рисковых значений этих показателей (область выше кривой на графике – область образования гидратов). Равновесная кривая гидратообразования для условия ВУ ОНГКМ приведена на рис. 1.

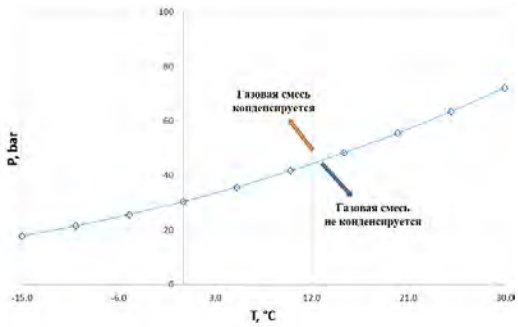


Рисунок 1. Равновесная кривая фазового равновесия для условия ВУ ОНГКМ

Таким образом целью данной работы является исследование эффективности ингибиторов гидратообразования различных типов действия для выбора наилучших реагентов, способных предупредить образование гидратов в промысловых системах ВУ ОНГКМ.

В рамках работы проводилось исследование 12 реагентов термодинамического действия и 12 реагентов кинетического действия. Экспериментальные исследования кинетических ингибиторов осуществлялись при помощи установки RCS6 в условиях, имитирующих промысловые, при начальном давлении в ячейках – 30 бар и температуре – 8°С. Эффективность действия ингибиторов оценивалась в условиях изменения температуры (охлаждение до -15°С) по температуре начала поглощения гидратообразующего газа, по перепаду давлений в ячейке и объемной концентрации исследуемого ингибитора. Чем дольше ингибитор способен предотвращать нуклеацию кристаллов газогидратов, тем он эффективнее [3]. Результаты оценки эффективности кинетических ингибиторов гидратообразования приведены в таб. 1.

Таблица 1

Результаты испытаний ингибиторов гидратообразования кинетического действия

№ опыта	Номер реагента	Концентрация, % об. от попутно-добываемой воды	Результат
1	без применения ингибитора (система газ-вода)	–	–
2	1И	2,5	–
3		5	–
4	2И	2,5	–
5		5	–
6	3И	2,5	–
7		5	–
8	4И	2,5	–
9		5	+
10	5И	2,5	–
11		5	–
12	6И	2,5	–
13		5	+
14	7И	2,5	+
15		5	+
16	8И	2,5	+
17		5	–
18	9И	2,5	–
19		5	–
20	10И	2,5	–
21		5	–
22	11И	2,5	–
23		5	–
24	12И	2,5	–
25		5	–

«+» – положительный тест, отсутствие гидрата «–» – отрицательный тест, наличие гидрата

Оценка эффективности термодинамических реагентов была проведена изотермическим методом на автоклаве GHA350 с термостатируемой установкой для

фиксации температуры и манометром для измерения значений давления при постоянном перемешивании со скоростью 600 оборотов в минуту в условиях: t = 2°C, начальное давление 50 атм; среда - вода/газ. Стенки рабочей зоны автоклава сделаны из прозрачного сапфирового стекла, благодаря чему можно наблюдать за изменением фазового состава жидкости внутри ячейки с помощью проведенной видеокамеры и фиксировать изменения в определенные промежутки времени. Эффективность определялась по способности предотвращать или растворять появляющиеся кристаллы газогидратов при заданных давлении и температуре, соответствующих термобарическим условиям в системе добычи и транспорта активного газа на ВУ ОНГКМ. Факт появления газогидратов фиксировался визуально, а также по перепаду давления в исследуемой системе. Результаты оценки эффективности термодинамических ингибиторов гидратообразования приведены в таб. 2.

В результате тестирования определены наиболее эффективные реагенты и их минимальные дозировки, максимально снижающие температуру начала образования гидратов, выданы рекомендации к опытно-промышленным испытаниям ингибиторов на ВУ ОНГКМ.

Таблица 2

Результаты испытаний ингибиторов гидратообразования термодинамического действия

№ опыта	Номер реагента	Концентрация, % об. от попутно-добываемой воды	Результат
1	без применения ингибитора (система газ-вода)	–	–
2	1Р	15	+
3		20	+
4	2Р	15	–
5		20	+
6	3Р	15	+
7		20	+
8	4Р	15	–
9		20	+
10	5Р	15	–
11		20	+
12	6Р	15	–
13		20	+
14	7Р	15	–
15		20	+
16	8Р	15	+
17		20	+
18	9Р	15	+
19		20	+
20	10Р	15	–
21		20	+
22	11Р	15	+
23		20	+
24	12Р	15	+
25		20	+

«+» – положительный тест, отсутствие гидрата «–» – отрицательный тест, наличие гидрата

Все исследуемые ингибиторы термодинамического действия в различных концентрациях (15% или 20% об. в попутно-добываемой воде) эффективны в условиях ВУ ОНГКМ, в то время как среди кинетических ингибиторов образование гидратов предотвращают лишь три реагента при объёмных дозировках 2,5% и 5% от количества попутно-добываемой воды. Из проведенного исследования можно сделать вывод, что в условиях ВУ ОНГКМ термодинамические ингибиторы лучше предотвращают гидратообразование, что может быть связано с резкими перепадами температур и давлений в насосно-компрессорных трубах (НКТ), на запорно-регулирующих устройствах фонтанных арматур (ФА), сборных коллекторах и системе подачи газлифтного газа. Известно, что кинетические ингибиторы эффективнее в условиях переохлаждения от низких до умеренных, благодаря своему молекулярному строению, описанному выше.

Литература

1. Истомин В.А., Квон В.Г. Предупреждение и ликвидация газовых гидратов в системах добычи газа. М.: ООО «ИРЦ Газпром», 2004. 252 с.
2. Ворожцова Ю.С., Усманова Ф.Г., Рзаметов К.С. Выбор метода прогнозирования образования газогидратов // Сборник тезисов докладов конгресса молодых ученых. Электронное издание [Электронный ресурс]. 2017. Режим доступа: http://kmu.ifmo.ru/collections_article/5954/vybor_metoda_prognozirovaniya_obrazovaniya_gazogidratov.htm. 2017, дата обр 15.02.2019.
3. Кайбышев Р.Р., Кунакова А.М., Рзаметов К.С., Усманова Ф.Г. Оценка эффективности ингибиторов гидратообразования политермическим методом // Химия и технология топлив и масел. 2017. № 6. С. 49-52.

Громов Владимир Владимирович
Год рождения: 1995
Университет ИТМО,
факультет программной инженерии и компьютерной техники,
студент группы Р4202,
направление подготовки: 09.04.04 – Программная инженерия,
e-mail: gromov@vladimir.one
Кустарев Павел Валерьевич
Год рождения: 1971
Университет ИТМО,
факультет программной инженерии и компьютерной техники,
к.т.н.,
e-mail: kustarev@corp.ifmo.ru

УДК 004.021

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА СОВМЕЩЕНИЯ ОБЛАКОВ ТОЧЕК С УЧЕТОМ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ 3D-СКАНЕРА

В.В. Громов

Научный руководитель – к.т.н. **П.В. Кустарев**

Университет ИТМО

Работа выполнена в рамках НИР № 416032 «Разработка роботизированного комплекса мультисенсорного 3D-зрения», и прошла дополнительную апробацию в рамках НИР № 418246 «Разработка метода и вычислительного механизма для ускоренного расчёта карты глубины сцены в системах дополненной и смешанной реальности» и НИР № 718546 «Управление киберфизическими системами».

Аннотация
Объектом исследования являются бюджетные 3D-сканеры, к которым относится комплекс мультисенсорного трехмерного зрения (КМТЗ), разрабатываемый в Университете ИТМО. Предмет исследования – алгоритмы совмещения облаков точек. Для повышения точности и быстродействия сканирования представлен новый алгоритм данного класса, использующий данные о положении 3D-сканера. Работоспособность алгоритма проверена на примере разработанного экспериментального программного обеспечения; время формирования 3D-модели сократилось в три раза. В будущем для повышения точности сканирования планируется разработать метод уточнения 3D-моделей.
Ключевые слова
Совмещение облаков точек, 3D-реконструкция, data fusion, стереозрение, лидар.

Трехмерные сканеры пространства и объектов (3D-сканеры) применяются во многих сферах деятельности, начиная с конструкторских и строительных работ, заканчивая дизайном и кинематографом. Наличие широкого модельного ряда таких устройств обусловлено появлению в открытом доступе алгоритмов компьютерного зрения, а также производительных вычислительных платформ и точных измерительных сенсоров для задач технического зрения.

Тем не менее, профессиональные 3D-сканеры с производительными вычислителями и высокоточными сенсорами все еще достаточно дорогие. Так, например, для использования популярного алгоритма трехмерной реконструкции 3D-SLAM [1] используется модуль стереокамеры Intel RealSense стоимостью 300$ и вычислитель Intel NUC за 1200$. Для работы альтернативного алгоритма Structure from Motion (SfM) [2] необходима зеркальная камера с фиксированным объективом, стоимость которой составляет 500$, а вычислитель с внешней видеокартой и производительностью 8000 GFLOPS стоит около 1000$.

В Университете ИТМО в студенческой лаборатории киберфизических систем разработан комплекс мультисенсорного 3D-зрения (КМТЗ) [3], который позволяет с бюджетными модулями стереокамеры и лазерным дальномером построить трехмерную модель помещения или объекта, сохраняя невысокую стоимость устройства, которая вдвое меньше чем у представленных аналогов.

3D-сканер КМТЗ изображен на рис. 1.

Рис. 1. Конструкция комплекса мультисенсорного 3D-зрения

Устройство имеет вращающуюся измерительную головку с установленной стереокамерой и лазерным дальномером, которая при повороте позволяет отснять сцену с обзором 360 градусов. Использование двух принципиально разных видов сенсоров позволяет повысить точность и детализацию выходной 3D-модели. Так, облако точек со стереокамеры содержит в себе 5 000 000 цветных точек, однако имеются погрешности в определении расстояния до точки составляющие до половины дистанции. Облако точек с лидара содержит меньшее число точек, которое равняется 10 000, однако точность составляет до трех сантиметров на дистанции до 20 метров.

В будущем корректировка сцены со стереокамеры будет производиться по точкам лидара, однако перед этим необходимо совместить исходные облака точек. Алгоритмы совмещения облаков точек являются предметом исследования данной работы.

Уточним термины, связанные с трехмерной реконструкцией и алгоритмами совмещения. В общем случае, процесс трехмерной реконструкции включает в себя все этапы построения сцены между получением данных и сохранением трехмерной модели. Получается, совмещение моделей является одним из этапов трехмерной реконструкции. Например, в 3D-SLAM используется алгоритм Iterative Closest Point (ICP) [4], который совмещает исходные облака. Помимо ICP в 3D-SLAM имеется SLAM алгоритм построения карты помещения и ориентировании объекта в пространстве, а также модули корректировки ошибок распознавания и замыкания сцены. Таким образом, для совмещения сцены можно применять ICP или 3D-SLAM, при этом использование последнего предпочтительнее в случае большего количества исходных облаков (которых

может достигать несколько тысяч) и более мощного вычислителя. Если же говорить о SfM, то процессы реконструкции и совмещение облаков точек нераздельны.

При наличии производительного вычислителя и точной стереокамеры было бы возможно применение представленных подходов конструирования сцены. Так, допустимые погрешности в определении расстояния до точки в методах ICP и 3D-SLAM варьируются от 10 до 30 сантиметров, в то время как у КМТЗ ошибка может до 500 сантиметров, а детализация снимков с бюджетной стереокамеры не позволяет использовать SfM. Анализ производительности показал, что если бы производился расчет на вычислителе КМТЗ NVidia Jetson с производительностью 472 GFLOPS, то время вычислений ICP составляло бы 1 мин., 3D-SLAM за 15 мин., SfM несколько дней, а ограничение сканера – требуется менее 1 минуты.

Целью работы является повышение точности и быстродействия сканирования в рамках бюджетного 3D-сканера. Задачами являются разработка алгоритма совмещения облаков точек, создание ПО для совмещения сцены с оценкой его точности и производительности.

Вышеуказанные алгоритмы использовали опорные точки для автоматического совмещения моделей. В отличие от них для совмещения решено опираться на характеристики движения механической платформы устройства, к которым относятся углы поворота и обзора стереокамеры, а также расстояние между сенсорами.

На рис. 2 представлен полный процесс реконструкции сцены бюджетного 3D-сканера, в рамках которого отображен предлагаемый алгоритм совмещения облаков точек.

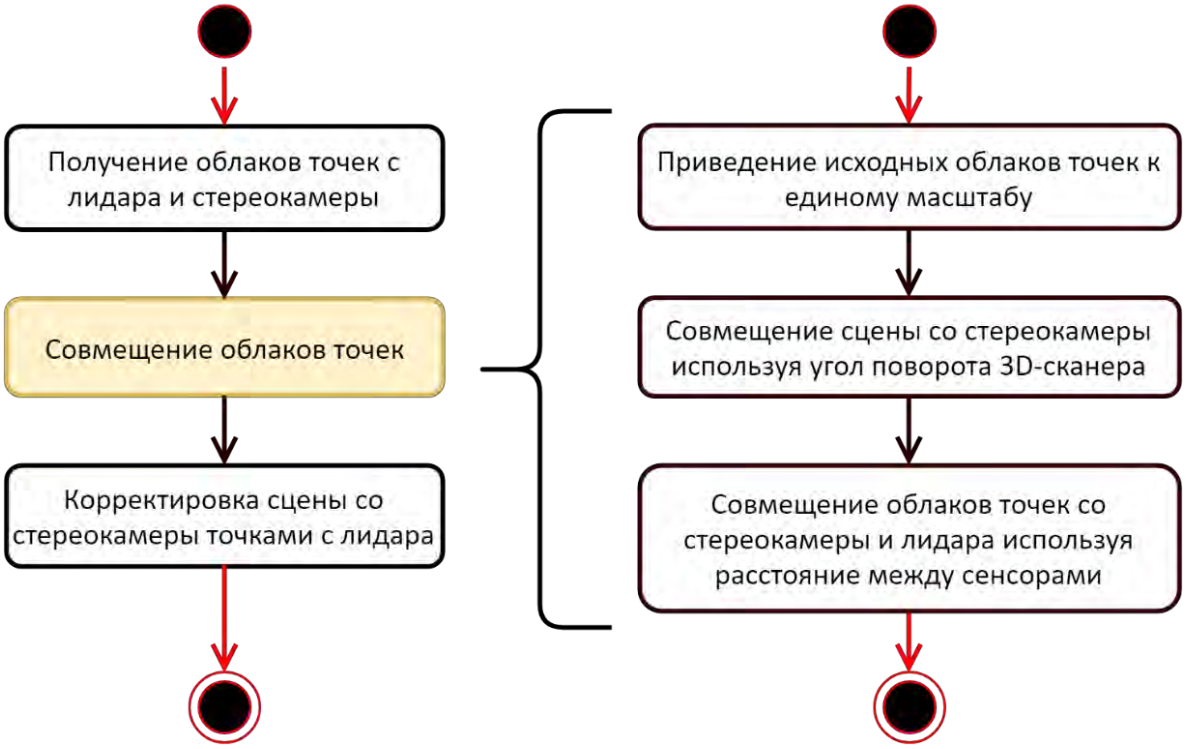


Рис. 2. Предлагаемый алгоритм совмещения облаков точек
в рамках трехмерной реконструкции сцены

Задача совмещения облаков точек поделена на две части. К первой относится совмещение круговой «панорамной» сцены со стереокамеры, а во второй уже совмещаются полученная сцена со стереокамеры и облако точек с лазерного дальномера.

Для совмещения сцены со стереокамеры используются характеристики поворота измерительной головки 3D-сканера. На рис. 3 представлена схема поворота устройства.

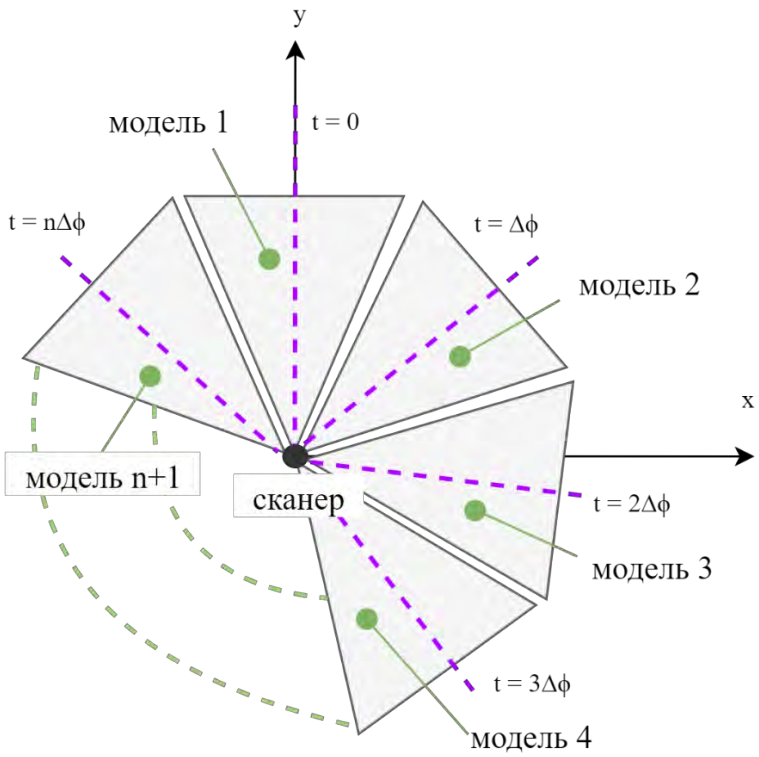


Рис. 3. Схема поворота 3D-сканера

Каждая последующая модель сдвигается от предыдущей на угол обзора стереокамеры. Математически поворот задается следующей последовательностью операций для координат каждой точки n-ной модели.

1. Перевод точек из декартовой системы координат в сферическую по формуле 1.

$$\begin{cases} r = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2} \\ \theta = \arccos\left(\frac{z}{r}\right) \\ \varphi = \operatorname{arctg}\left(\frac{y}{x}\right) \end{cases} \quad (1)$$

2. Увеличение азимутального угла точки на значение угла поворота $\Delta\varphi$ вращающейся части сканера по формуле 2.

$$\begin{cases} r = r_n \\ \theta = \theta_n \\ \varphi = \varphi_n + (n-1) \times \Delta\varphi \end{cases} \quad (2)$$

3. Перевод точек обратно в декартовую систему координат по формуле 3.

$$\begin{cases} x = r \times \sin(\theta) \times \cos(\varphi) \\ y = r \times \sin(\theta) \times \sin(\varphi) \\ z = r \times \cos(\theta) \end{cases} \quad (3)$$

Угол $\Delta\varphi$ является углом обзора стереокамеры, который рассчитывается по формуле 4 и равняется 42 градуса в нашей системе.

$$\Delta\varphi = \frac{\alpha \times \text{binning} \times \text{dispResolution}}{\text{maxResolution}} = \frac{62 \times 2 \times 1121}{3280} = 42 \text{ град.} \quad (4)$$

где

– $\Delta\varphi$ горизонтальный угол обзора стереокамеры в градусах;

– α горизонтальный угол обзора камеры Sony IMX 219 и объектива в миллиметрах;

– dispResolution горизонтальное разрешение карты диспаритета в пикселях, получаемое из функции метода getValidDisparityROI библиотеки OpenCV;

– maxResolution максимальное горизонтальное разрешение снимка в пикселях, берется из спецификации модуля камеры;

– binning задается режимом камеры, когда на изображении значение пикселя равняется среднему значению одного или нескольких пикселей на физической матрице.

Для совмещения облаков точек с лидара и стереокамеры используется свойство КМТЗ, что в процессе сканирования оба модуля жестко закреплены относительно друг друга. Тогда получается, что если устройство не изменяло своей позиции в процессе сканирования, то для совмещения необходимо одно облако точек сдвинуть относительно другого на величину равной расстоянию между центральными точками сенсоров.

На рис. 4 представлена схема расположения лидара и стереокамеры с верхнего вида, где показаны референтная точка лазерного дальномера и обзор стереопары в начальном моменте сканирования.

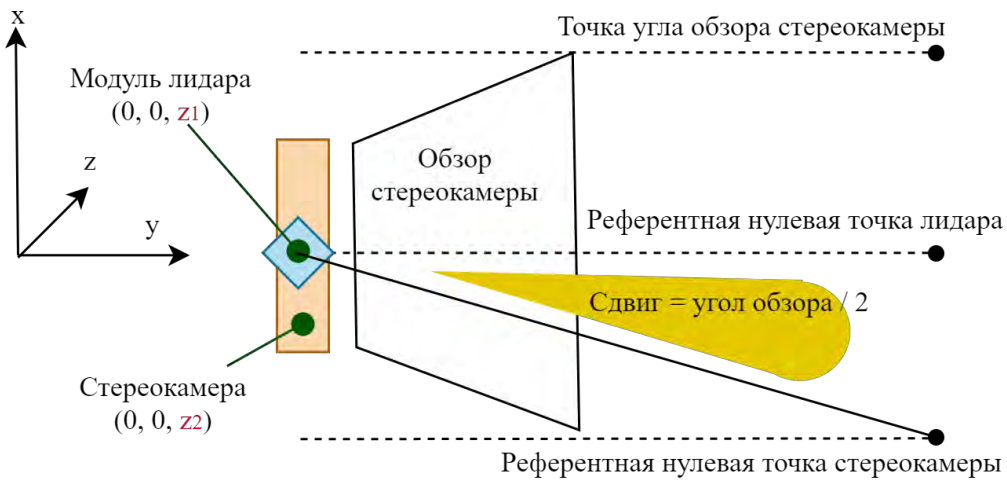


Рис. 4. Вид на модули стереокамеры и лидара сверху

Сканирование лидара начинается от центра изображения стереокамеры, таким образом, если рассматривать сцены со стереокамеры и лазерного дальномера в сферической системе координат, то начало отсчёта угла φ у лидара будет равным ровно половине угла обзора стереопары, и для совмещения облаков точек также потребуется одно облако точек повернуть относительно другого на половину угла обзора стереопары.

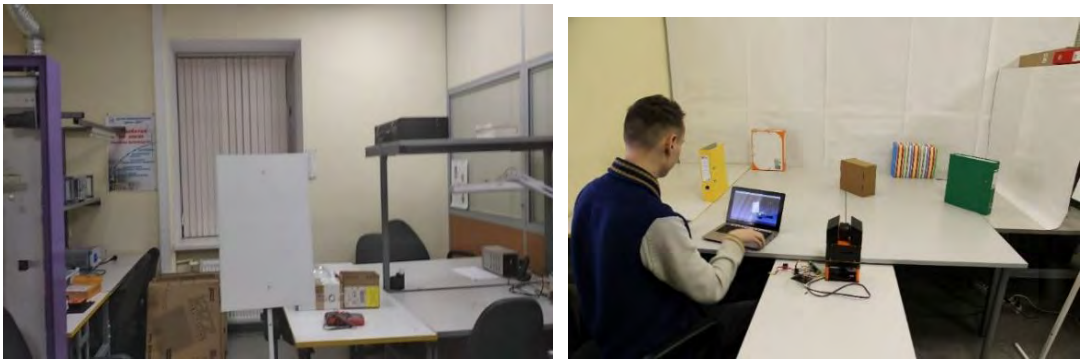
Таким образом, для совмещения сцены со стереокамеры и лидара производятся следующие операции.

1. Сдвиг облака точек лидара вниз на величину равную расстоянию между сенсорами, которое равняется 5 см. в нашей системе.
2. Поворот облака точек лидара на половину угла обзора стереокамеры, который в КМТЗ равен 21 градусу.

Отметим, что для повышения быстродействия сдвигается облако точек с лидара относительно стереокамеры, поскольку в нем содержится меньшее число точек.

В рамках работы создано программное обеспечение на языке C++ реализующее предложенный алгоритм совмещения облаков точек. Программа работает в однопоточном режиме, при этом структура хранения данных в памяти обеспечивает простую адресацию к соседним точкам. Подробное описание программы представлено в статье [5].

Для оценки точности использовалось две сцены. Первая сцена на рис. 5.а приближена к реальным условиям и представляет собой обычное помещение с разными объектами, а вторая сцена на рис. 5.б содержит только небольшое число объектов, расстояние до которых вместе с их размерами точно измерены.



а б

Рис. 5. Сцена, приближенная к реальным условиям (а); сцена для измерений (б)

На рис. 6 а. представлено совмещение облаков точек со стереокамеры, а на 6 б совмещение точек со стереокамеры и лидара на первой сцене.

а б

Рис. 6. Совмещение со стереокамеры (а); Совмещение с лидара и стереокамеры (б)

В таблице представлены результаты эксперимента по первой сцене. На второй сцене стереокамера не распознала объекты из-за монотонной текстуры объектов.

Таблица 1

Результаты эксперимента

Характеристика	Значение
Точность совмещения сцены со стереокамеры	до 1 см. на дистанции 2 м.
Точность совмещения сцен со стереокамеры и лидара	до 3 см. на дистанции 2 м.
Количество точек на сцене, шт.	5 500 000
Производительность вычислителя, GFLOPS	500
Время совмещения, сек.	18

На основании результатов экспериментов произведен анализ алгоритмов для бюджетного 3D-сканера, а также предложен новый алгоритм, имеющий следующие преимущества:

- искажения на исходных облаках точек не влияют на совмещение;
- невысокие требования к аппаратным ресурсам, возможен перенос на уровень Bare Metal;
- невысокая вычислительная сложность алгоритма O(N), где N – количество точек на сцене;
- скорость вычислений увеличена в три раза по сравнению с ICP.

Недостатком алгоритма является:

- сильная зависимость от параметров конкретного устройства.

Развитием алгоритма на платформе КМТЗ являются:

- повышение быстродействия за счет реализации многопоточности вычислений;
- перенос алгоритма на встроенный вычислитель 3D-сканера;
- реализация корректировки совмещенной сцены для повышения точности устройства.

Литература

1. Angladon V, Gasparini S, Charvillat V, Pribanić T и др. An evaluation of real-time RGB-D visual odometry algorithms on mobile devices, 2017. С.16-17.
2. Changchang W. VisualSFM. A Visual Structure from Motion System. [Электронный ресурс] – Режим доступа: URL http://ccwu.me/vsfm/, своб. (03.04.2019).
3. Быковский С.В., Кустарев П.В., Дидин Е.В., Громов В.В., Драница А.В. Мобильные системы 3D сканирования среднего радиуса действия // Control Engineering Россия. 2018. № 1(73). С. 34-36 с.
4. Registration Algorithms for Mobile Robotics. M Foundations and Trends in Robotics, Now Publishers, Франция, 2015. С.5-10.
5. Gromov V., Kustarev P., The development of point cloud registration algorithm using geometrical features of the multi-sensor 3D scanner //CEUR Workshop Proceedings, IET-2019.Vol-2344, 2019.

Давыдов Вадим Валерьевич
Год рождения: 1997
Университет ИТМО,
факультет безопасности информационных технологий,
студент группы №N4259,
направление подготовки: 10.04.01 – информационная безопасность,
e-mail: vadimdavydov@outlook.com
Беззатеев Сергей Валентинович
Год рождения: 1957
Университет ИТМО,
факультет безопасности информационных технологий,
д.т.н., доцент,
e-mail: bsv@aanet.ru

УДК 004.021

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ПРОТОКОЛОВ БЕЗОПАСНОЙ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ СОВРЕМЕННЫХ АВТОМОБИЛЕЙ

В.В. Давыдов

Научный руководитель – д.т.н., доцент **С.В. Беззатеев**

Университет ИТМО

Аннотация
Сегодня одним из самых перспективных рынков в мире является автомобильный. В то же время одной из проблем включения автономных автомобилей в интеллектуальные транспортные системы (ИТС) является определение местоположения и отслеживание транспортного средства. Глобальная интеграция ИТС с использованием выделенной ближней связи предоставляет множество вариантов для улучшения позиционирования в областях, где спутниковые системы не обеспечивают должной точности. Использование готовой инфраструктуры, сотовых сетей 5G следующего поколения и окружающих электронных устройств в совокупности с традиционными методами определения местоположения может стать решением для улучшения общей работы ИТС. Тем не менее, очень важно проанализировать и улучшить эффективные и безопасные протоколы связи между транспортным средством и придорожной инфраструктурой с точки зрения потенциальных атак на передаваемые данные, связанные с позиционированием. В частности, указанная информация может быть использована ненадлежащим образом или украдена на стороне инфраструктуры, которая традиционно считается доверенной. В данной работе представлена основная концепция позиционирования транспортных средств, возможные проблемы безопасности и приватности, а также варианты усовершенствования протоколов обмена информацией.
Ключевые слова
Современные автомобили, навигация, умные дороги, анонимность, аутентификация, информационная безопасность, приватность.

Современный мир невозможно представить без транспортных средств, количество которых неизменно растёт. С развитием информационных технологий,

разработчики и проектировщики транспортных средств стали задумываться о внедрении современных технологий, чтобы сделать машины максимально удобными, функциональными и безопасными для их владельцев. В связи со стремительным развитием рынка «умных» автомобилей, множество ресурсов тратится на разработку и создание так называемых Интеллектуальных Транспортных Систем (ИТС), которые станут единой системой для всей дорожной отрасли. Технологии, охватываемые ИТС, обычно делятся на две основные группы: транспортное средство – транспортное средство (V2V) и транспортное средство - инфраструктура (V2I). В попытке исследовать обе эти группы, возникла новая тенденция под названием «автомобиль ко всему» (V2X), в которой основное внимание уделяется связи автомобилей с окружающими его объектами. Одним из важнейших компонентов в современном автомобиле является система определения местоположения. Данная система очень тесно связана с другими информационными составляющими транспортного средства, поэтому играет особую роль. Раньше тенденция V2X была не так широко распространена, поскольку количество умных автомобилей было ограничено, к тому же, их стоимость была сильно завышена, и, следовательно, данный продукт был недоступен для большинства населения мира. В настоящий момент ведётся активная работа над разработкой таких систем и их внедрению в условиях обычных дорог.

Данная работа посвящена проблемам конфиденциальности местоположения транспортного средства в условиях городского сценария, где обычная Глобальная Навигационная Спутниковая система (GNSS) может давать неверные данные в сложных условиях окружающей среды [1]. В настоящее время эта проблема становится исключительно важной из-за быстрого развития делегирования использования транспортных средств в бизнесе совместного использования автомобилей. Данные системы, на настоящий момент, достаточно плохо исследованы, и требуют более тщательного анализа.

Для позиционирования транспортных средств в системе умных дорог может быть использован метод мультилатерации, впервые предложенный для случая с машинами швейцарскими учёными в 2004 году [2], который активно используется для позиционирования самолётов по всему миру. Данный метод основан на измерении расстояния между двумя объектами в известных местоположениях с помощью сигналов вещания в известные моменты времени, а точность определения геопозиции очень высока. Для позиционирования автомобилей необходимы три базовые станции вокруг, которые вычисляют расстояние до транспортного средства и передают информацию в центр, где рассчитывается местоположение на основе метода триангуляции. Наглядно данный метод представлен на рис. 1.

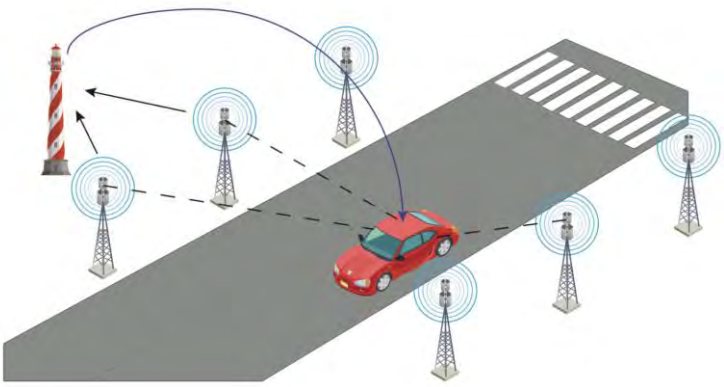


Рис. 1. Метод мультилатерации

При определении местоположения необходимо обмениваться информацией между транспортными средствами и базовыми станциями (специальными элементами дорожной инфраструктуры, которые служат для обмена информацией и рассчитывают расстояние и местоположение). Рассмотрим один из существующих протоколов обмена информацией между транспортным средством и базовой станцией [3]. Протокол показан на рис. 2.

Этапы 1, 2, 3 и 4, показанные в протоколе, являются подготовительными. В них происходят генерация случайных значений, идентификация личностей автомобиля и базовой станции, а также вычисление хеш-значения. На этапах 5 и 6 происходит определение времени, которое затрачивается на получение и передачу информации автомобилем, фактически определяя, за какой промежуток времени автомобиль получает и посылает ответ базовой станции. С помощью данного значения базовая станция может вычислить расстояние между ней и автомобилем соответственно. Таким образом, автомобиль, пообщавшись с тремя станциями, фактически передаёт три расстояния. С помощью этих значений, базовые станции, на основе метода мультилатерации, могут вычислить координаты данного автомобиля. Этапы 7 и 8 играют роль безопасности данного обмена.

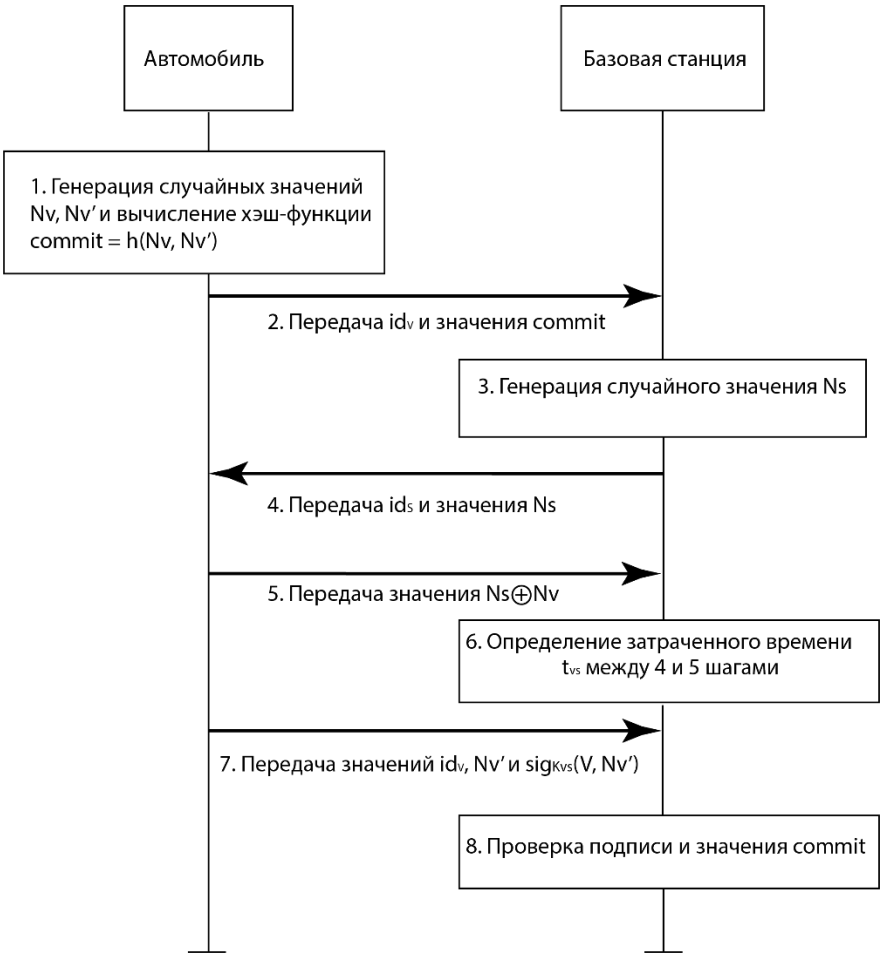


Рис. 2. Протокол обмена информацией между транспортным средством и базовой станцией при определении местоположения

При таком подходе существуют две основные группы проблем: это проблемы безопасности и проблемы приватности. В первом случае, при перехвате злоумышленником данных, передаваемых в процессе обмена информацией, данные могут быть намеренно изменены, подменены или стёрты, что приведёт к неверному позиционированию, и, как следствие, возможным авариям и сбоям в системе автоматического вождения (self-driving). Говоря о проблемах приватности, при определении местоположения, дорожная инфраструктура «знает» местоположения автомобилей, так как расчёт идёт на стороне инфраструктуры. Это может привести к массовому контролю над пользователями сети со стороны злоумышленника или других заинтересованных сторон.

Для решения некоторых проблем были разработаны два различных подхода. Первый подход предполагает использование аутентификации транспортного средства перед обменом информацией. При использовании такого метода подразумевается, что каждый автомобиль имеет пару ключей открытый-закрытый, которые хранятся в публичной базе данных и в бортовом компьютере автомобиля соответственно. Для аутентификации предлагается использовать токены, содержащие заголовок, данные об автомобиле (его ID и другую служебную информацию) и подпись на основе закрытого ключа, которые генерируются на стороне автомобиля при каждом сеансе связи с базовой станцией. Станция, в свою очередь, проверяет данные и подпись и, если всё верно, участники создают защищённый канал обмена информацией. Такой подход позволит защититься от ряда атак и, что самое важное, позволит создать сеть транспортных средств, которая может быть использована впоследствии для детектирования аварий, так как, на основе данных, может быть построена карта всех автомобилей и их расположение.

Первый подход лишает пользователей возможности оставаться анонимными в сети. Однако предложенные ранее протоколы также позволяют базовой станции знать местоположение транспортного средства. Для решения проблемы приватности предлагается новый усовершенствованный протокол с расчётом на стороне базовой станции [4]. Данный протокол представлен на рис. 3.

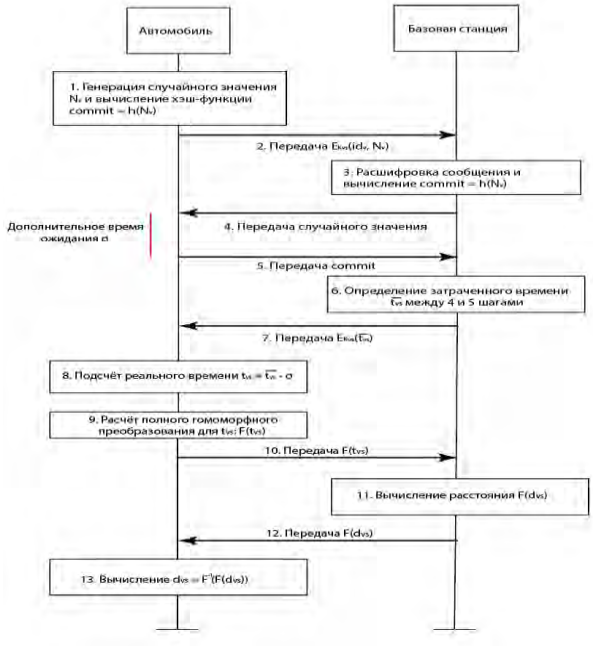


Рис. 3. Усовершенствованный протокол обмена информацией между автомобилем и базовой станцией

В представленном протоколе вводится новая величина — задержка σ, которая необходима для сохранения времени прохождения сигнала в секрете. На этапе 4 автомобиль намеренно генерирует и ждёт время, равное σ, после чего передаёт значение commit. Подсчитав реальное время, на этапе 9, вводится полное гомоморфное преобразование [5]. Гомоморфное преобразование позволяет отобразить алгебраическую систему, сохраняя при этом все основные операции и отношения этой системы. Такое решение позволит не передавать реальное время, а передать лишь его отображение на базовую станцию. При этом станция, используя основной алгоритм, сможет вычислить отображение расстояния, а автомобиль, в свою очередь, после передачи такого значения, сможет вычислить реальное расстояние.

В заключение, стоит отметить, что, в реальной жизни, выбор протокола сильно зависит от потребностей приложения. Если системный архитектор хочет иметь максимальную анонимность, рекомендуется использовать усовершенствованный протокол, обладающий свойством анонимности, но он является сложным для реализации. Если в сети анонимность не так важна, например, если это частная сеть, то возможно использование протокола обмена информацией между автомобилем и базовой станцией с дополнительной аутентификацией транспортного средства.

Литература

1. Wang L., Groves P.D., Ziebart M.K. Multi-constellation GNSS performance evaluation for urban canyons using large virtual reality city models //The Journal of Navigation. – 2012. Т. 65. No. 3. С. 459-476.
2. Hubaux J.P., Capkun S., Luo J. The security and privacy of smart vehicles // IEEE Security & Privacy. 2004. No. 3. С. 49-55.
3. Davydov V., Bezzateev S. Secure Information Exchange in Defining the Location of the Vehicle //2018 41st International Conference on Telecommunications and Signal Processing (TSP). IEEE, 2018. С. 278-283.
4. Ometov A., Bezzateev S., Davydov V., Shchesniak A., Masek P., Lohan E.S., Koucheryavy Y. Positioning Information Privacy in Intelligent Transportation Systems: An Overview and Future Perspective //Sensors. 2019. Т. 19. No. 7. С. 1603.
5. Acar A. et al. A survey on homomorphic encryption schemes: Theory and implementation //ACM Computing Surveys (CSUR). 2018. Т. 51. No. 4. С. 79.

Дергун Карина Ильдаровна
Год рождения: 1995
Университет ИТМО,
факультет программной инженерии и компьютерной техники,
студент группы №P4210,
направление подготовки: 09.04.04 – Информационно-вычислительные системы,
e-mail: dergun_karina@mail.ru
Дергачев Андрей Михайлович
Год рождения: 1963
Университет ИТМО,
факультет программной инженерии и компьютерной техники,
к.т.н., доцент,
e-mail: dam600@gmail.com

УДК 004.233

ФАЗЗИНГ ТЕСТИРОВАНИЕ МНОГОПОТОЧНЫХ ПРИЛОЖЕНИЙ

К.И. Дергун

Научный руководитель – к.т.н., доцент **А.М. Дергачев**

Университет ИТМО

Аннотация
Производительность современных вычислительных машин достигла уровня, который позволяет широко использовать технологии параллельных вычислений не только для решения специализированных задач, требующих одновременной обработки больших объемов данных, но и для решения задач, требующих гибкого масштабирования как серверных, так и прикладных программных приложений пользователя, что достигается в том числе их многопоточным исполнением, сопровождающимся такими проблемами-ошибками, как гонки данных, взаимоблокировки, инверсии приоритетов, проблема ABA и другие. Наиболее сложным для диагностики является “состояние гонки” - асинхронное обращение из различных потоков выполнения к одному и тому же участку памяти, где хотя бы одно из обращений является операцией записи. Ошибки такого рода могут привести к крупным финансовым потерям, например, в банковской инфраструктуре, или же потерям человеческих жизней в самолетостроении, при эксплуатации медицинских приборов, машиностроении и других областях. Для уменьшения вероятности появления ошибок существуют специальные программы, такие как Valgrind и Google Thread Sanitizer. Но такие инструменты не позволяют проводить фаззинг тестирование fine-grained алгоритмов. В Google Thread Sanitizer появился модуль для тестирования lock-free алгоритмов, но этот модуль не умеет корректно работать с мьютексами и условными переменными, которые очень важны как для fine-grained алгоритмов, так и алгоритмов, использующих такие методы синхронизации.
В данной работе получены результаты, которые позволяют тестировать многопоточные приложения, а также проведен сравнительный анализ базового алгоритма Google Thread Sanitizer с улучшенным фаззинг модулем.
Ключевые слова
Многопоточность, взаимоблокировки, инструменты поиска ошибок, фаззинг тестирование, fine-grained алгоритмы.

Введение

Фаззинг [1] – это обширная область, которая демонстрирует интересный подход к анализу программной безопасности. Техника фаззинг тестирования программного обеспечения, часто автоматическая или полуавтоматическая, заключается в передаче приложению на вход неправильных, неожиданных или случайных данных. Предметом интереса являются падения и зависания, нарушения внутренней логики и проверок в коде приложения, утечки памяти, вызванные такими данными на входе. Но информацию о применении такого подхода в случае многопоточных алгоритмов, таких как fine-grained – алгоритмах, построенных не на применении примитивов синхронизации, предоставляемых ОС, а на применении “легких” атомарных примитивов, например, spin-lock, – найти сложно. На основе атомарных примитивов строятся структуры данных, допускающие параллельное чтение или даже параллельную запись. Синхронизация при этом осуществляется на уровне узла или страницы структуры данных и встроена в сами алгоритмы операций над этой структурой. Такие fine-grained контейнеры показывают производительность, сравнимую с производительностью lock-free контейнеров при относительно небольшой нагрузке, а некоторые реализации, например, библиотека libcds [2], поддерживают не только lock-free алгоритмы, но еще и fine-grained алгоритмы.

Для фаззинг тестирования lock-free алгоритмов существует библиотека Relacy Race Detector (RRD) [3] – инструмент эффективного выполнения юнит-тестов для алгоритмов синхронизации, написанных на C++0x. Пользовательский поток представляется в виде файбера. При исполнении программы в каждый момент времени работает только один файбер, а специальные планировщики управляют выбором порядка исполнения файберов. Такой инструмент обладает рядом недостатков, часть которых была исправлена при переносе инфраструктуры в Google Thread Sanitizer (TSAN) [4].

В работе [5] рассматривается модуль фаззинг тестирования lock-free алгоритмов, но такой модуль не позволяет работать с мьютексами (одноместный семафор, служащий в программировании для синхронизации одновременно выполняющихся потоков) и условными переменными (примитив синхронизации с возможностью уведомлений).

Данная работа направлена на устранение этого недостатка, что позволит проводить фаззинг тестирование fine-grained алгоритмов и находить новые ошибки из класса взаимоблокировок.

Алгоритм поиска взаимоблокировки

Взаимоблокировка (тупиковая ситуация, deadlock) – это состояние, при котором каждый поток ожидает освобождения одного из ресурсов, а все ресурсы при этом захвачены. Для поиска взаимоблокировок в коде, инструмент Google Thread Sanitizer [4, 6] использует алгоритм, основанный на построении направленного графа. Опишем механизм построения такого графа:

1. вершинами графа являются мьютексы;
2. ребро строится между двумя захваченными мьютексами;
3. направление ребра зависит от порядка захвата мьютексов;
4. в случае если граф имеет цикл, алгоритм оповещает о наличии взаимоблокировки в коде.

Рассмотрим данный алгоритм на примере:

1. Пусть у нас есть два потока, которые последовательно захватывают mutex-1 и mutex-2. На рис. 1 (а) представлен граф, который построит алгоритм поиска взаимоблокировки. Как видно из рисунка, в графе отсутствуют циклы, инструмент делает вывод о том, что в коде отсутствует взаимоблокировка. Это утверждение верно.

2. Пусть у нас есть два потока, которые в инверсном порядке захватывают mutex-1 и mutex-2. Как известно, инверсный порядок захвата мьютексов может стать причиной взаимоблокировки. Построенный граф представлен на рис. 1 (б). Как видно из рисунка, в графе присутствует цикл, инструмент делает вывод о том, что в коде есть взаимоблокировка. Это утверждение также верно.

3. Пусть у нас есть два потока, которые в инверсном порядке захватывают mutex-1 и mutex-2, но этот захват осуществляется в критической секции, которая контролируется mutex-3. В данном случае инверсный порядок захвата мьютексов не станет причиной взаимоблокировки. Построенный граф представлен на рис. 1 (в). Как видно из рисунка, в графе присутствуют циклы, инструмент делает вывод о том, что в коде есть взаимоблокировка. Это утверждение не верно.

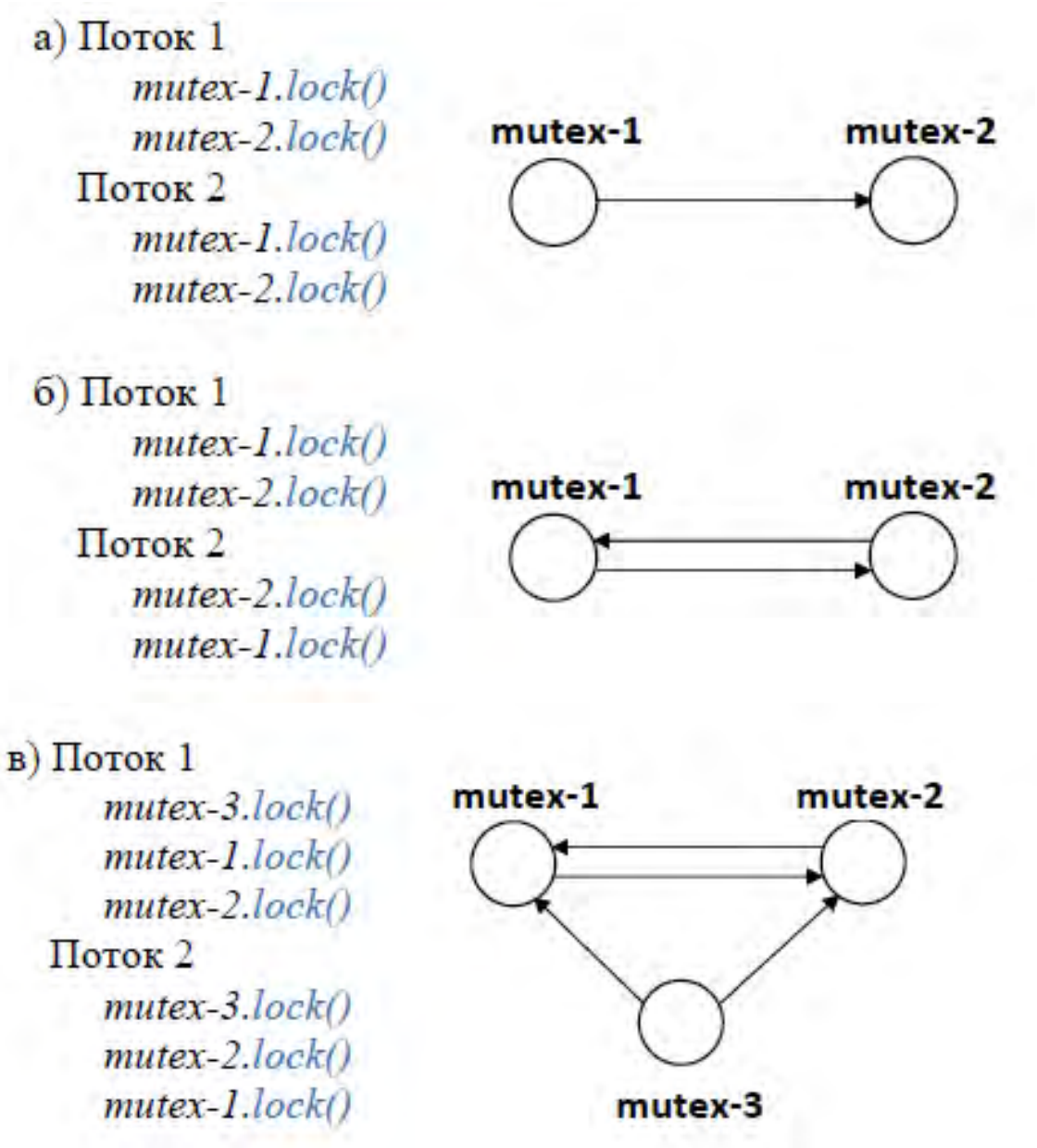


Рис. 1. Алгоритм поиска взаимоблокировки

Представленный алгоритм поиска взаимоблокировки, реализованный в инструменте TSAN, демонстрирует ложные срабатывания. На рис. 2 приведен пример, когда этот инструмент не справляется со своей задачей поиска взаимоблокировки.

```
// thread1:
{
  lock_guard<mutex> lock1(mtx1);
  lock_guard<mutex> lock2(mtx2);
  // processing
}

// thread2:
{
  lock_guard<mutex> lock2(mtx2);
  auto status = thread1.wait_for(milliseconds(1));
  if (status != ready) mtx1.lock();
  // processing
  if (status != ready) mtx1.unlock();
}
```

Рис. 2. Пример кода, где возможна ситуация взаимоблокировки

В представленном на рисунке примере кода есть два потока. Первый поток последовательно пытается захватить mtx1 и mtx2. Во втором потоке сначала происходит захват mtx2, а mtx1 будет захвачен только в случае, если первый поток не успел закончить свое выполнение.

Но в некоторых операционных системах, в большинстве случаев, планировщик так распределяет ресурсы процессора между первым и вторым потоком, что первый поток успевает закончить свое выполнение до момента захвата вторым потоком mtx1. В связи с этим алгоритм поиска взаимоблокировок TSAN при построении графа не добавит обратное ребро и, как следствие, не найдет в графе цикла. В данном примере может возникнуть ситуация, когда потоки будут взаимозаблокированы, но существующая реализация инструмента TSAN не способна найти такой случай.

Для решения проблемы данного подхода к реализации фаззинг тестирования были разработаны и внедрены в дополнение к существующим нижеследующие планировщики.

1. Случайный планировщик, идея реализации которого основывается на случайном выборе потоков во время работы программы. Алгоритм случайного планирования похож на алгоритм планирования операционной системы, но точки переключения потоков при этом остаются синхронными и расположены в местах, позволяющих увеличить вероятность нахождения ошибки. В реализации случайного планировщика используется равномерное распределение. Формула функции плотности распределения выглядит следующим образом:

$$f(x) = \begin{cases} \frac{1}{b-a}, x \in [a,b] \\ 0, \notin [a,b] \end{cases}$$

где, [a, b]- отрезок распределения случайной величины.

Преимуществами данного планировщика являются: константное потребление памяти; быстрые вычисления в момент смены потока; вероятность нахождения проблемы-ошибки в некоторой локальной области.

Недостатки: не покрывает все возможные случаи; не может генерировать большой разброс между временем работы потоков; бесконечное время работы.

2. Планировщик с различными распределениями случайных величин, алгоритм работы которого частично похож на алгоритм случайного планирования, в котором присутствует только равномерное распределение. “Равномерный планировщик” полезен в большинстве случаев, так как он позволяет с большой вероятностью локально находить ошибки. В целом ошибки могут встречаться не только локально, поэтому необходимо сымитировать некоторый разброс между работой потоков, чего можно достичь, если использовать генераторы с различным распределением случайных величин: равномерное распределение, биномиальное распределение, отрицательное биномиальное распределение, геометрическое распределение, распределение Пуассона, экспоненциальное распределение, распределение Вейбула, нормальное распределение, логнормальное распределение.

Преимуществами данного планировщика являются: константное потребление памяти; быстрые вычисления в момент смены потока; вероятность нахождения проблемы-ошибки в некоторой локальной области; вероятность нахождения проблем, если они возникают при сильном разбросе между затраченным временем работы потоков.

Недостатки: не покрывает все возможные случаи; бесконечное время работы.

Если подводить итоги, то можно сделать вывод что генераторы случайных величин похожи между собой, и для того, чтобы находить разные ошибки, требуется тонкая настройка алгоритмов. Но основным преимуществом такого алгоритма является то, что он может находить ошибки очень быстро с некоторой вероятностью. При этом поиск идёт не только в локальной области работы потоков, но и учитывается разброс между выполнением потоков.

3. Планировщик, основанный на полном переборе вариантов. Основной недостаток планировщиков, основанных на генераторах случайных величин, заключается в том, что мы не покрываем все возможные пути планирования. Поэтому была придумана реализация алгоритма планирования, который перебирает все варианты, но с некоторыми ограничениями. Для такого планировщика мы делаем важное предположение, что если мы несколько раз запустили итерацию на одной и той же последовательности потоков, то на всех итерациях будут одинаковые пути исполнения программы. На практике такое условие не всегда выполняется, но это редкие случаи.

Преимущество – возможность полного перебора путей, даёт основание полагать, что код корректен для всех возможных путей, при условии, что одни и те же инструкции кода будут выполнены при многократном запуске с одинаковыми параметрами. В момент смены потока нам достаточно только посмотреть в ячейку памяти с текущим tid и выбрать нужный поток на исполнение. При правильном выборе структур данных можно получить константное время работы.

К недостаткам можно отнести большое потребление памяти, обусловленное тем, что в каждый момент времени необходимо сохранять информацию о максимальном tid и текущем потоке (если же приложение на одной итерации работает долго, то может быстро закончиться память) и долгое время работы (понимается в терминах количества итераций) – невозможность полного перебора вариантов для больших приложений ввиду ограниченности вычислительными ресурсами. Такой алгоритм рекомендуется использовать для небольших тестовых сценариев.

Проверим как справляется с проблемой взаимоблокировок разработанный модуль фаззинг тестирования с применением описанных выше планировщиков. Запустим пример, продемонстрированный на рис. 2, на различных планировщиках исполнения потоков, а также с помощью стандартного планировщика, который используется алгоритмом для поиска взаимоблокировок.

На рис. 3 мы видим, что при запуске кода 100 тысяч раз стандартный планировщик операционной системы не смог выявить потенциальную ошибку в коде. Однако все разработанные планировщики с этой задачей справились. Например, планировщик, основанный на случайном выборе потоков, справился с поиском ошибки за четырнадцать итераций.

Рис. 3. Результаты работы планировщиков связанные с поиском взаимоблокировки

Данный пример иллюстрирует, что стандартный алгоритм поиска взаимоблокировок не справляется со своей задачей, имеет ложные срабатывания, а также существуют примеры, на которых и вовсе не находит потенциальных ошибок. В свою очередь разработанная инфраструктура для фаззинг тестирования справляется с поиском потенциальных взаимоблокировок, что подчеркивает актуальность проделанной работы.

Платформы управления потоками

Для управления выполнением потоков необходимы специальные механизмы, которые требуют поддержки со стороны операционной системы, либо тонкой настройки регистров процессора, что не всегда возможно из-за ограничений, накладываемых операционной системой. Способ управления потоками называется платформой. В работе примере Linux рассматриваются два механизма управления потоков: первый основан на fiber (облегченный поток, выполняемый в режиме пользователя), второй основан на pthread (стандарт POSIX-реализации потоков выполнения).

Fiber - облегченный поток, выполняемый в режиме пользователя. Для управления такими потоками не требуется обращение к операционной системе. В режиме пользователя достаточно хранить контекст потока, в который входят регистры процессора, TLS (thread local storage), и другая информация о fiber. Для того что бы сменить поток необходимо сохранить контекст текущего исполняемого потока, а после этого загрузить новые значения в регистры процессора, установить TLS и дополнительную информацию о fiber.

К преимуществам такого подхода можно отнести скорость работы, возможность создавать снимки памяти и удобство отладки. Скорость работы может быть как медленной, так и быстрой. Здесь предполагается решение, основанное на смене указателя на TLS.

Основными недостатками планировщика, основанного на fiber, является отсутствие возможности выполняться параллельно, а также дополнительные сложности при работе с TLS – работа с TLS может вызывать проблемы, как в случае с копированием, так и в случае со сменой указателя на TLS, поэтому использовать такой подход нужно с осторожностью. Для устранения этих проблем можно использовать механизм pthread, который создает настоящие потоки, которыми управляет операционная система. Так как эти потоки соответствуют потокам операционной системы, то они могут выполняться параллельно, за счёт чего увеличивается скорость работы алгоритма. Если в каждый момент времени у нас будет работать только один поток, то мы можем получить значительное ускорение за счёт того, что остальные потоки будут ждать своей очереди “на горячем” исполнении и тогда не потребуется смена контекста, что и даст увеличение производительности по сравнению с fiber. Так как такая реализация соответствует реальным потокам, а в таких потоках TLS работает корректно, то и проблем с ним не будет.

Из недостатков такого механизма можно отметить отсутствие возможности делать снимок памяти с помощью fork, кроме того, такой механизм на одноядерных процессорах может работать медленнее чем fiber. Если у нас одноядерный процессор, то переключение контекста с помощью pthread может занимать больше времени, так как смена контекста реального потока работает дольше чем смена контекста fiber.

Модуль фаззинг тестирования в Google Thread Sanitizer перехватывает вызовы создания/завершения потоков и вместо реальных потоков подставляет потоки из пользовательского пространства, которые управляются специальным планировщиком. В каждый момент времени может работать только один поток. При захвате мьютекса, который уже был захвачен, будет сделан системный вызов в ядро операционной системы и текущий поток будет снят с планировщика операционной системы. При этом планировщик в пользовательском пространстве не узнает о таких изменениях.

Для того чтобы решить эту проблему, необходимо самостоятельно реализовать программную поддержку взаимодействия с мьютексами, а именно, когда поток пытается захватить мьютекс данное событие перехватывается и адрес мьютекса сохраняется в некоторую структуру (например, массив). Для поддержки мьютексов в разрабатываемой платформе нельзя полагаться на внутреннюю структуру мьютекса, поскольку это платформо-зависимая реализация. Поэтому единственная информация, которую мы можем использовать – это адрес мьютекса. Опишем основной принцип работы данного механизма.

1. Перехват события по захвату / освобождению мьютекса.
2. Запись в некоторую структуру адреса данного мьютекса.
3. Добавление идентификатора потока в очередь по данному элементу.
4. Первый поток в очереди является владельцем данного мьютекса, остальные находятся в активном ожидании.

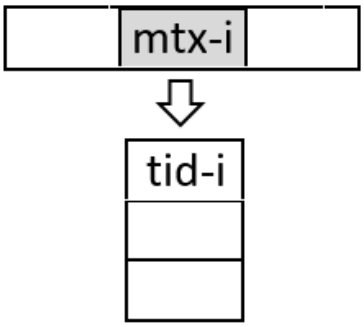


Рис. 4. Структура для хранения мьютексов

На рис. 4 продемонстрирована возможная структура для хранения мьютексов. В данном случае структурой для хранения выступает массив, поэтому операции поиска/добавления/удаления мьютекса происходят за линейно зависимое от размера массива время. Время работы с очередью потоков является константным, поскольку интересна лишь информация о первом и последнем потоке.

Результаты

В ходе выполнения работы был модифицирован модуль фаззинг тестирования lock-free алгоритмов в Google TSAN [5]. С помощью внесенных изменений стало возможным проводить тестирование не только lock-free алгоритмов, но также fine-grained и других алгоритмов, которые используют мьютексы и условные переменные. Актуальность полученных результатов подтверждают тестовые примеры, в которых не удавалось находить ошибки с помощью базовой инфраструктуры Google TSAN. С разработанной инфраструктурой можно ознакомиться на веб-сервисе GitHub [7].

Литература

1. Саттон М., Грин А., FUZZING. Исследование уязвимостей методом грубой силы, 2009.
2. Khizhinsky M., CDS C++ library [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://github.com/khizmax/libcds, своб.
3. Relacy Race Detector, [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.1024cores.net/home/relacy-race-detector, своб.
4. ThreadSanitizer project: documentation, source code, dynamic annotations, unit tests [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://code.google.com/p/data-race-test, своб.
5. Doronin O., Dergun K., Dergachev A. Automatic fuzzy-scheduling of threads in Google Thread Sanitizer to detect errors in multithreaded code // CEUR Workshop Proceedings. 2019, Vol. 2344, pp. 1-12.
6. Serebryany K., Iskhodzhanov T.: ThreadSanitizer: data race detection in practice. WBIA (2009).
7. Fuzzing for ThreadeSanitizer, [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://github.com/dorooleg/compiler-rt/tree/schedulers/lib/tsan/rtl, своб.

Дысин Артем Павлович
Год рождения: 1995
Университет ИТМО,
факультет пищевых биотехнологий и инженерии,
студент группы №Т4231,
направление подготовки: 19.04.01 – Биотехнология,
e-mail: artemdysin@mail.ru
Критченков Андрей Сергеевич
Год рождения: 1982
Университет ИТМО,
факультет пищевых биотехнологий и инженерии,
к.т.н., доцент,
e-mail: platinist@mail.ru

УДК 664.8/.9

УМНЫЕ И АКТИВНЫЕ НАНОЧАСТИЦЫ НА ОСНОВЕ ПРИРОДНЫХ ПОЛИСАХАРИДОВ ДЛЯ ПОТЕНЦИАЛЬНОГО ПРИМЕНЕНИЯ В ПИЩЕВЫХ ПЛЕНКАХ И ПОКРЫТИЯХ

А.П. Дысин

Научный руководитель – к.х.н., доцент **А.С. Критченков**

Университет ИТМО

Работа выполнена в рамках гранта РФФИ 19-016-00077 "Фундаментальные физико-химические исследования для создания съедобных "умных" активных покрытий для сыра с использованием наночастиц" (Руководитель – Критченков А.С.).

Аннотация
В настоящем исследовании были получены первые наночастицы, обладающие одновременно умными
(меняют цвет с бесцветного на пурпурный при температуре около 20°C и 0°C соответственно) и активными (антибактериальными, светопоглощающими и антиоксидантными) свойствами. Полученные наночастицы эффективно поглощают ультрафиолетовое излучение, демонстрируют высокую антиоксидантную и противомикробную активность, нетоксичны и полностью состоят из одобренных для использования в пищевой промышленности компонентов.
Ключевые слова
Наночастицы, природные полисахариды, хитозан, метилцеллюлоза, полиэтиленгликоль, применение в продуктах питания, съедобные пленки и покрытия, активные и умные свойства.

Разработка новых безопасных интеллектуальных и активных покрытий является важной и актуальной задачей пищевой химии. Чтобы сделать пищевое покрытие умным и активным, используются различные добавки. Среди большого количества различных типов добавок наночастицы занимают особое место, поскольку они часто обладают улучшенными интеллектуальными или активными свойствами, а также могут выступать в качестве армирующих пленок и покрытий. Умные изменяющие цвет

термочувствительные наночастицы вызывают все больший интерес к контролю хранения продуктов [1]. Когда продукты нагреваются выше или охлаждаются ниже контрольной критической температуры, эти термонаноиндикаторы меняют свой цвет, предупреждая потребителей о возможной порче продуктов. Антимикробная, антиоксидантная и фотозащитная активность рассматриваются как важные активные свойства наночастиц, используемых в пищевых покрытиях.

Насколько известно, в литературе не представлено ни одного примера наночастиц, обладающих одновременно умными (чувствительными к температуре) и активными (антимикробными, фотозащитными и антиоксидантными) свойствами. В то же время разработка таких наночастиц значительно облегчит оптимизацию состава покрытия. Эти интригующие обстоятельства побудили нас к разработке наночастиц, обладающих одновременно всеми этими свойствами.

Антоцианидин является природным красителем и широко используется в пищевых технологиях. Его успешно применяют для разработки упаковочных пленок с необратимыми свойствами, указывающими на температуру, на основе нового механизма, основанного на температуре стеклования [2]. Согласно предложенной гипотезе, путем сочетания полимера с очень высокой температурой стеклования и полимера с очень низкой температурой (например, полиэтиленгликоль (ПЭГ) и метилцеллюлоза (МЦ) можно создать систему, имеющую температуру стеклования, соответствующую уже неприемлемой температуре для хранения какого-либо продукта (например, 20°C или 0°C). В связи с этим, в рамках данной работы было предложено получить наночастицы из смеси ПЭГ/МЦ, содержащей бесцветный антоцианидин, которые затем покрыли смесью ПЭГ/МЦ с ацетатом натрия. По достижении температуры стеклования смеси ПЭГ/МЦ из наночастиц, антоцианидин и ацетат натрия смешиваются из-за значительного увеличения их диффузии. Таким образом, нейтральный бесцветный антоцианидин под действием ацетата натрия превращается из своей нейтральной бесцветной формы в анионную пурпурную форму. Далее эти наночастицы покрыли фотозащитным и антимикробным слоем на основе хитозана и галлотаннина. Хитозан является природным антибактериальным полимером и легко образует межмолекулярные комплексы с галлотанином, которые обладают фотозащитной активностью благодаря высокому поглощению ультрафиолетового света [3]. Кроме того, галлотанин является мощным антиоксидантом [4]. Таким образом, был предложен простой и удобный способ получения наночастиц, которые одновременно обладают умными (чувствительными к температуре) и активными (антибактериальными, светопоглощающими и антиоксидантными) свойствами (рис. 1) для дальнейшего применения в пищевых покрытиях.

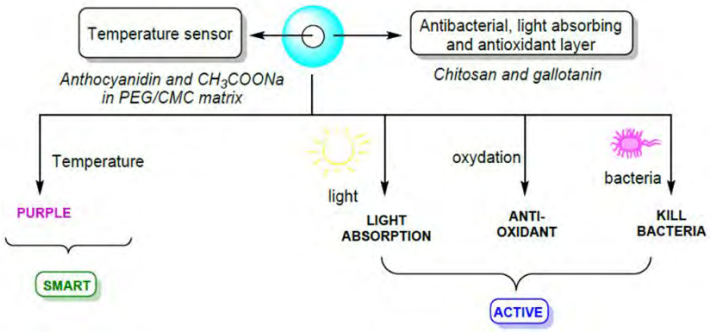


Рис. 1. Свойства умных и активных наночастиц

Приготовление наночастиц. МЦ и ПЭГ смешивали в твердом состоянии в массовом соотношении от 1:9 до 9:1. Полученную смесь растворяли в деионизированной воде, получая вязкие растворы с общей концентрацией МЦ и ПЭГ 2,5%. Конечные растворы фильтровали через мембранный фильтр перед распылением в Buchi Nano B90, Швейцария. Скорость потока составляла 2 мл/мин; поток сушильного газа 1,3 $м^3$/мин, температура на входе 120°C и температура на выходе 80°C. Полученные наночастицы помещали в стеклянные пробирки и хранили при 5°C.

НЧ-$2_{(1:5)}$ и НЧ-$2_{(1:5.5)}$ готовили распылительной сушкой таким же образом, как НЧ-1, с той лишь разницей, что 5% антоцианидина и молочной кислоты до pH = 5,5 добавляли к распыленные растворы после фильтрации. Массовое соотношение МЦ и ПЭГ в смеси МЦ/ПЭГ, растворенной в деионизированной воде, составляло 1:5 для НЧ-$2_{(1:5)}$ и 1:5,5 для НЧ-$2_{(1:5.5)}$ МЦ и ПЭГ.

К 10 мл 2,5% раствора МЦ/ПЭГ с массовым соотношением МЦ/ПЭГ 1:5 для НЧ-$3_{(1:5)}$ и 1:5,5 для НЧ-$3_{(1:5,5)}$ добавляли 0,15 г ацетата натрия. Затем 0,2 г НЧ-$2_{(1:5)}$ или НЧ-$2_{(1:5,5)}$ диспергировали в растворе и перемешивали в течение 24 часов при 30°C. Полученные наночастицы НЧ-$3_{(1:5)}$ и НЧ-$3_{(1:5.5)}$ были центрифугированы, тщательно промыты деионизированной водой (10 мл, три раза), повторно диспергированы в деионизированной воде и высушены вымораживанием.

Хитозан растворяли в 0,1 М HCl, pH раствора доводили до 7 с помощью $NaHCO_3$. К полученному раствору добавляли 15% галлотаннин и перемешивали смесь в течение 3 ч при 20°C. Затем добавляли равный объем этанола и осажденный комплекс хитозан-галлотаннин центрифугировали, промывали этанолом и сушили в вакууме. Комплекс хитозан-галлотаннин растворяли в деионизированной воде с получением 10% раствора, в котором 2,5% НЧ-$3_{(1:5)}$ или НЧ-$3_{(1:5,5)}$ диспергировали и перемешивали при 25°C в течение 12 часов. Полученные НЧ-$4_{(1:5)}$ или НЧ-$4_{(1:5,5)}$ центрифугируют, промывают водой, этанолом и ацетоном, диспергируют в деионизированной воде и подвергают лиофильной сушке.

Антимикробная активность наночастиц. Антибактериальная активность наночастиц НЧ-$4_{(1:5)}$ или НЧ-$4_{(1:5.5)}$ была исследована с использованием метода диффузии в агаре. Активность исследуемых образцов изучали в отношении золотистого стафилококка (RCMB 010027) и кишечной палочки (RCMB 010051). Активность определяли путем измерения диаметра зоны подавления (мм). Ампициллин и гентамицин использовались в качестве стандартных антибактериальных препаратов. Минимальная ингибирующая концентрация (МИК) тестируемых образцов определялась путем подсчета колоний.

Токсичность наночастиц. Растворы полимеров готовили серийным разведением в питательной среде альфа-МЕМ. Растворы объемом 0,1 мл добавляли к конфлюэнтному монослою клеток, культивируемому в луночном планшете. Клетки инкубировались 24 часа при 37°C в атмосфере с содержанием 5% CO_2. После этого клетки промывали дважды фосфатным буферным раствором, добавляли 0,1 мл раствора 3-(4,5-диметилтиазолил)-2,5-дифенилтетразолий бромида в фосфатном буферном растворе (0,5 мкг/мл) и инкубировали 1 час. Затем супернатант заменяли на 0,1 мл 96%-ного этанола и измеряли оптическую плотность при длине волны 535 нм.

Антиоксидантная активность наночастиц. Антиоксидантную активность НЧ-$4_{(1:5)}$ и НЧ-$4_{(1:5.5)}$ оценивали по методу модифицированной тролокс-эквивалентной антиоксидантной способности (ТЭАС). Анализ обесцвечивания включал первоначальное образование сине-зеленого хромофора АЭБТС+ посредством реакции между [2,2'-азинобис-(3-этилбензотиазолин-6-сульфоновой кислотой)] (АЭБТС) и персульфатом калия. Добавление антиоксидантов привело к уменьшению катион-радикала АЭБТС+ и, следовательно, к исчезновению цвета. Тролокс использовали в

анализе в качестве стандарта для сравнения актиоксидантной активности. Значение ТЭАС представляет собой соотношение между наклонами линейных графиков для очистки катионрадикала АЭБТС+ от производного хитозана и тролокса.

Результаты и обсуждение. Наночастицы на основе ПЭГ и МЦ были получены распылительной сушкой водных растворов ПЭГ/МЦ. Массовое соотношение МЦ:ПЭГ варьировалось от 1:9 до 9:1. Увеличение концентрации ПЭГ приводит к снижению температуры стеклования полимерной композиции МЦ/ПЭГ, из которой изготовлены наночастицы НЧ-1 (рис. 2).

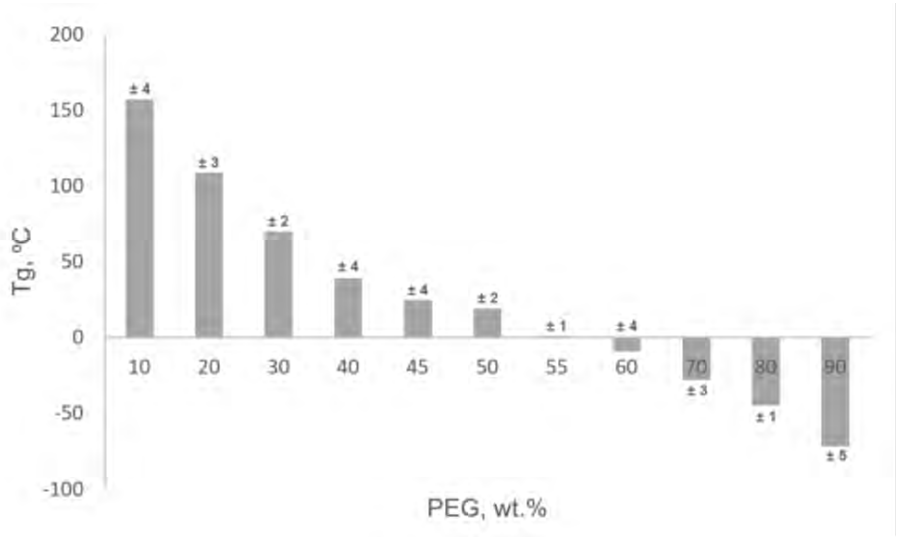


Рис. 2. Зависимость температуры стеклования (± стандартное отклонение) полимерной композиции МЦ: ПЭГ от массового соотношения МЦ: ПЭГ

Для многих пищевых продуктов температура ≈0°C или ≈20°C может быть эталонной критической температурой. Таким образом, для дальнейшего развития индикации температуры наночастиц мы использовали наночастицы с температурой стеклования 1°C и наночастицы с температурой стеклования 19°C, которые содержат 50% и 55% ПЭГ соответственно (таб. 1) (рис. 2).

Таблица 1

Характеристика полученных наночастиц НЧ-1, НЧ-2 и НЧ-3

Наночастицы	Массовое соотношение МЦ:ПЭГ	Гидродинамический диаметр, нм	Дзета-потенциал, мВ	Температура стеклования, °C	Индекс полидисперсности	Время достижения полной смены цвета, мин
НЧ-$1_{(1:5)}$	1:5	135	-22	19	0.217±0.011	–
НЧ-$1_{(1:5.5)}$	1:5.5	139	-25	1	0.213±0.014	–
НЧ-$2_{(1:5)}$	1:5	138	-13	18	0.131±0.012	–
НЧ-$2_{(1:5.5)}$	1:5.5	136	-11	1	0.159±0.011	–
НЧ-$3_{(1:5)}$	1:5	351	-32	18	0.157±0.016	70
НЧ-$3_{(1:5.5)}$	1:5.5	347	-32	0	0.181±0.013	70

Когда температура окружающей среды поднимается выше температуры стеклования наночастиц, полимерная фаза переходит из стеклообразного состояния в вязкотекучее, и диффузия ионов антоцианидина и цитрата значительно облегчается. Это обеспечивает взаимодействие антоцианидиновых и цитрат-ионов, что приводит к изменению цвета с белого на синий.

Наночастицы были покрыты слоем на основе хитозана, который также содержит галлотанин. Галлотанин (одобренный для использования в пищевой промышленности, E181) использовался в качестве фотозащитного и антиоксидантного вещества, а хитозан – в качестве полимерной матрицы. Хитозан является природным полимером с ярко выраженными антибактериальными свойствами и одобрен для использования в пищевой промышленности.

Характеристика НЧ-$4_{(1:5)}$ и НЧ-$4_{(1:5,5)}$ представлена в таб. 2.

Таблица 2

Характеристика полученных наночастиц НЧ-$4_{(1:5)}$ и НЧ-$4_{(1:5,5)}$

Наночастицы	Гидродинамический диаметр, нм	Дзета-потенциал, мВ	Индекс полидисперсности	Время достижения полной смены цвета, мин
НЧ-$3_{(1:5)}$	449	+21	0.135±0.024	70
НЧ-$3_{(1:5.5)}$	452	+23	0.122±0.017	70

Изображения СЭМ и АСМ на примере НЧ-$4_{(1:5)}$ показаны на рис. 3. Анализ морфологии с использованием методов СЭМ и АСМ показал, что наночастицы имеют сферическую форму с гладкой границей и небольшое распределение по размерам. Эти результаты показывают, что были получены морфологически качественные наночастицы.

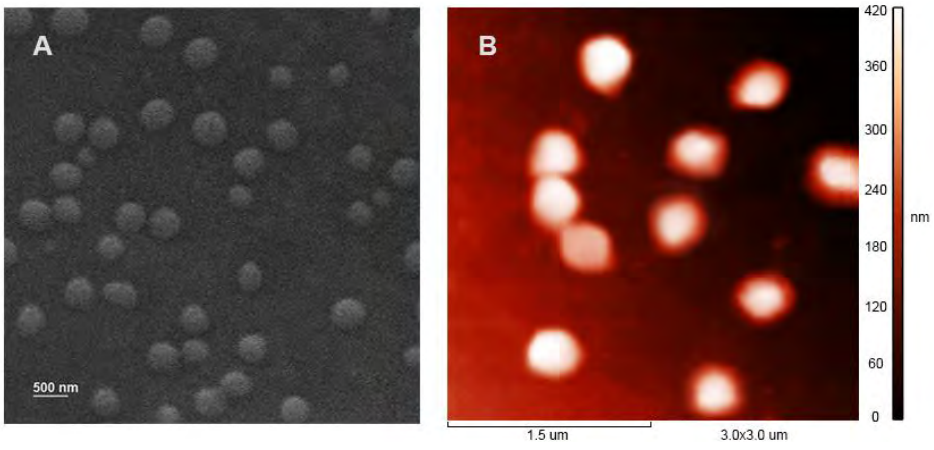


Рис. 3. Микроструктура НЧ-$4_{(1:5)}$. (А) СЭМ изображение; (В) АСМ изображение

Антибактериальная активность. Внешний слой наночастиц состоит из хитозана и галлотаннина. Хитозан и его производные уже проявили себя перспективными антимикробными агентами, обладающими выраженной антибактериальной активностью в отношении различных типов бактерий, и достижения в этой области часто обсуждаются в последних обзорах [5].

Антибактериальную активность наночастиц, покрытых хитозаном/галлотанином, сравнивали с таковыми для исходного хитозана и коммерчески доступных широко используемых антибиотиков – ампициллина и гентамицина (таб. 3).

Таблица 3

Антибактериальная активность НЧ-4$_{(1:5)}$ и НЧ-4$_{(1:5.5)}$

Образец	Область подавления (диаметр), мм / МИК, мкг/мл	
	S. aureus	*E. coli*
Хитозан	13.5±0.3 / 6.20	10.4±0.2 / 10.12
НЧ-4$_{(1:5)}$	27.2±0.2 / 1.14	18.4±0.4 / 1.35
НЧ-4$_{(1:5.5)}$	27.9±0.2 / 1.10	18.2±0.2 / 1.18
Ампициллин	30.2±0.2 / 0.12	─
Гентамицин	─	22.1±0.3 / 0.21

Антибактериальная активность наночастиц намного выше, чем у исходного хитозана. Более того, антибактериальный эффект этих наночастиц в значениях зон ингибирования сопоставим с эффектом ампициллина и гентамицина. Эти данные позволяют утверждать, что наночастицы НЧ-4$_{(1:5)}$ и НЧ-4$_{(1:5.5)}$ могут быть перспективными антибактериальными агентами.

Токсичность. Основным преимуществом хитозана по сравнению с другими катионными антибактериальными полимерами является его низкая системная токсичность. Однако применение этого утверждения к наночастицам на основе хитозана не совсем оправдано. В текущем исследовании сравнили токсичность исходного хитозана с токсичностью наночастиц (таб. 4). Эти результаты показали, что при концентрациях менее 300 нг/мкл наночастицы в пределах погрешности обладают аналогичной хитозану токсичностью. При дальнейшем увеличении концентрации наночастицы демонстрируют слегка повышенную токсичность по сравнению с таковой у исходного хитозана. Однако в концентрации, значительно превышающей МИК, наночастицы, покрытые хитозаном/галотанином, НЧ-4$_{(1:5)}$ и НЧ-4$_{(1:5,5)}$ не являются токсичными.

Таблица 4

Токсичность НЧ-4$_{(1:5)}$ и НЧ-4$_{(1:5.5)}$

Образец	Концентрация, нг/мкл	Жизнеспособность клеток, %
Хитозан	300	78
НЧ-4$_{(1:5)}$		76
НЧ-4$_{(1:5,5)}$		76
Хитозан	1000	68
НЧ-4$_{(1:5)}$		52
НЧ-4$_{(1:5,5)}$		54
Хитозан	2000	53
НЧ-4$_{(1:5)}$		47
НЧ-4$_{(1:5,5)}$		45

Антиоксидантная активность. Анализ результатов показывает, что наночастицы проявляют антиоксидантную активность лишь в 20 раз ниже, чем у тролокса, тогда как АА исходного хитозана в 600 раз ниже по сравнению с троксолом (таб. 5). Таким

образом, эти результаты указывают на то, что НЧ-$4_{(1:5)}$ и НЧ-$4_{(1:5,5)}$ намного более антиоксидантно активны, чем исходный хитозан.

Таблица 5

Антиоксидантная активность НЧ-$4_{(1:5)}$ и НЧ-$4_{(1:5,5)}$

Образец	ТЭАС
Хитозан	0,0016
НЧ-4(1:5)	0,051
НЧ-4(1:5,5)	0,051

УФ-поглощающие свойства. Чтобы оценить возможность использования НЧ-$4_{(1:5)}$ и НЧ-$4_{(1:5,5)}$ в качестве поглотителей УФ-излучения, были зафиксированы их УФ-спектры (рис. 4).

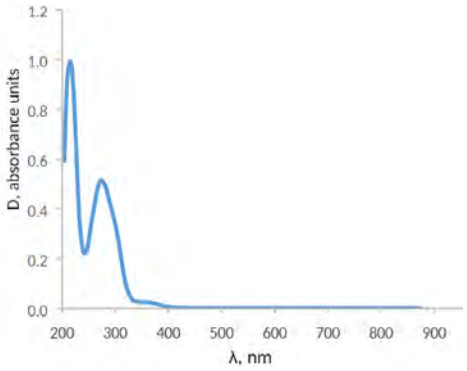


Рис. 4. УФ и видимый спектр для НЧ-$4_{(1:5)}$

Таким образом, УФ и видимый спектр для наночастиц имеют два максимума поглощения при 215 и 274 нм в УФ области спектра, и они эффективно поглощают УФ В. Кроме того, наночастицы прозрачны для видимого света, что делает их интересными для использования в качестве фотозащитных средств в области сохранения пищевых продуктов.

Выводы. Результаты, полученные в этой работе, можно рассматривать с нескольких точек зрения. В первую очередь были разработаны первые термохромные наночастицы, основанные на необычном механизме термохромизма. Во-вторых, полученные умные термохромные наночастицы покрыты активным слоем с антибактериальным, антиоксидантным и поглощающим ультрафиолет слоем. Хитозан и галлотаннин обеспечили наночастицам активные свойства. В-третьих, полученные наночастицы характеризуются низкой токсичностью и полностью состоят из веществ, допущенных к применению в пищевой промышленности. Настоящее исследование является первым примером получения наночастиц с одновременно умными и активными свойствами для потенциального применения в пищевых продуктах. Разработанная стратегия удобна, проста и привлекательна для пищевых технологий.

Литература

1. Skorik Y.A., Golyshev A.A., Kritchenkov A.S., Gasilova E.R., Poshina D.N., Sivaram A.J., Jayakumar R. Development of drug delivery systems for taxanes using ionic

gelation of carboxyacyl derivatives of chitosan // Carbohydr Polym, No. 162, 2017. pp. 49–55.
2. Seeboth A., Lötzsch D., Ruhmann R. First example of a non-toxic thermochromic polymer material-based on a novel mechanism // Journal of Materials Chemistry, No. C 1(16), 2013. pp. 2811–2816.
3. Verlee A., Mincke S., Stevens C.V. Recent developments in antibacterial and antifungal chitosan and its derivatives // Carbohydrate Polymers, No. 164, 2017. pp. 268–283.
4. Bag A., Chattopadhyay R.R. Synergistic antibiofilm efficacy of a gallotannin 1,2,6-tri-O-galloyl-beta-D-glucopyranose from *Terminalia chebula* fruit in combination with gentamicin and trimethoprim against multidrug resistant uropathogenic *Escherichia coli* biofilms // Plos One, No. 12(5), 2017.
5. Perinelli D.R., Fagioli L., Campana R., Lam J.K.W., Baffone W., Palmieri G.F., Casettari L., Bonacucina G. Chitosan-based nanosystems and their exploited antimicrobial activity // Eur. J. Pharm. Sci., No. 117, 2018. pp. 8–20.

Карпенко Елена Александровна
Год рождения: 1984
Университет ИТМО,
факультет систем управления и робототехники,
студент группы № R4237,
Направление подготовки: 27.04.03 – Системный анализ и управление,
e-mail: proekt340@yandex.ru
Слита Ольга Валерьевна
Год рождения: 1980
Университет ИТМО,
факультет систем управления и робототехники,
к.т.н., доцент,
e-mail: o-slita@yandex.ru

УДК 62-50

ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ УПРАВЛЕНИЯ СИСТЕМАМИ ОТОПЛЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Е.А. Карпенко

Научный руководитель – к.т.н., доцент **О.В. Слита**

Университет ИТМО

Работа выполнена в рамках инициативной работы «Исследование алгоритмов управления системами отопления промышленного предприятия».

Аннотация
Рассматривается вопрос модернизации системы отопления в здании химико-аналитической лаборатории. Построена математическая модель изменения температуры воздуха в помещении, учитывающая не только теплопотери через ограждающие конструкции, но и добавочные потери тепла, а также влияние температуры воздуха, поступающего из вентиляции. Для ранжирования источников, влияющих на температуру воздуха в помещении, предложено использовать грамианы управляемости. Закон управления температурой внутри помещения выбран с учетом результатов ранжирования. Определены числовые параметры выбранного алгоритма управления. На основании результатов моделирования предложено использовать программируемый логический контроллер, который будет регулировать температуру в каждом помещении в соответствии с желаемыми значениями.
Ключевые слова
Химико-аналитическая лаборатория (ХАЛ), индивидуальный тепловой пункт (ИТП), температура, отопление, отопительные приборы и системы, регулирование температуры, контроллеры, теплопотери, теплотехнический расчет, тепловая энергия, тепловой баланс, ПИД-регулятор, закон управления, грамианы управляемости, сингулярные числа.

Введение

Автоматизированные устройства управления системами жизнедеятельности (отопления), такие как индивидуальный тепловой пункт (ИТП), призваны поддерживать

в зданиях и помещениях микроклимат, наиболее комфортный для работы и отдыха. Кроме того, благодаря возможности более рационально расходовать энергоресурсы, такие системы являются гораздо более эффективными, чем традиционные. Принцип работы ИТП заключается в управлении тепловой мощностью системы отопления здания, а также непрерывным автоматическим регулированием температуры теплоносителя системы отопления. Исполнительными устройствами являются клапаны, осуществляющие подачу воды в систему.

Предлагаемая работа посвящена анализу методов управления системами отопления, выбору оптимального метода управления и внедрения его в существующую систему отопления здания химико-аналитической лаборатории (ХАЛ) на установке подготовки нефти Сузунского месторождения [1]. В настоящее время автоматическое регулирование ИТП здания ХАЛ осуществляется электронным контроллером ECL Comfort 310 с электронным ключом программирования приложения A361. При этом учитывается усредненное регулирование по внутренней температуре воздуха для всех помещений, что создает неприемлемые условия работы для технологов-лаборантов, особенно с опасными токсичными веществами, горючими газами, легковоспламеняющиеся жидкостями с температурой вспышки не более 28 °C. Модернизация системы регулирования температуры внутри помещения позволит поддерживать комфортные условия в помещениях и избегать нерациональный расхода тепла.

Модернизация системы отопления

Учитывая все вышесказанное, предлагается модернизировать существующую систему управления температурой следующим образом:

– Разделить единый контур существующей системы отопления на индивидуальные контуры для всех помещений. Для этого в ИТП устанавливается распределительный коллектор отопления на 26 контуров. Коллекторная система отопления – это "гребенка", от которой идут выводы для подсоединения приборов отопления в каждое помещение. На отводы коллектора устанавливаются сервоприводы.

– Установить датчики температуры в каждом помещении.

– Подобрать проводной контроллер, который, используя информацию о температуре, получаемую от датчиков температуры, а также на основании установленных пользователем параметров, будет управлять сервоприводами коллектора, тем самым регулируя температуру в каждом помещении.

Разработка системы управления температурой внутри помещения

Предлагаемая в настоящей работе система управления температурой в помещениях химико-аналитической лаборатории представлена на структурной схеме рис. 1.

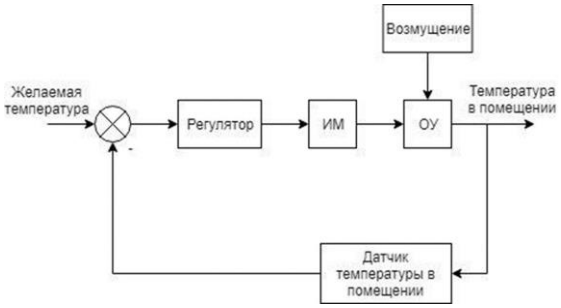


Рис. 1. Структурная схема регулирования температуры в помещении:
ИМ – исполнительный механизм; ОУ – объект управления

Опишем принцип работы, предлагаемой на рис. 1, системы управления температурой:

В помещении находится датчик Т, который измеряет температуру и передает ее на УС регулятора котроллера, которое сравнивает измеренное значение температуры с заданным. В зависимости от разности между заданным и измеренным значениями температуры регулятор Р вырабатывает сигнал, воздействующий на исполнительный механизм (М – сервопривод). Сервопривод открывает или закрывает клапан до положения, при котором ошибка (1):

$$\varepsilon = \mathrm{T}_{\text{зад}} - \mathrm{T}_{\text{изм}} \quad (1)$$

будет стремиться к нулю.

Определение модели изменения температуры в помещении

Математическая модель (2), описывающая изменение температуры в помещении, составлена на основании уравнения теплового баланса [2]. Она учитывает не только теплопотери через ограждающие конструкции, но и добавочные потери тепла, которые включают в себя сквозняки, ориентацию внешних стен по сторонам света и воздействие ветра на них, потери через внутренние и наружные стены, перегородки, перекрытия, а также а также влияние температуры воздуха, поступающего из вентиляции. Для определения параметров модели обогреваемого помещения и нагревательного прибора был произведен теплотехнический расчет ограждающих конструкций, расчет теплопотерь через наружные ограждающие конструкции, а также определены площади нагревательных приборов, их тепловая мощность и параметры теплоносителя.

$$m \cdot c_{\text{в}} \dot{t_{\text{в}}} = Q_{\text{оп}} - S_{\text{ок}} \cdot (t_{\text{в}} - t_{\text{н}}) \cdot \beta \cdot n / R_{\text{ок}} - 0{,}28 \cdot L \cdot \rho_{в} \cdot c_{\text{в}} \cdot (t_{\text{в}} - t_{\text{вент}}) - 0{,}278 \cdot c_{\text{в}} \cdot G_{\text{н}} \cdot \cdot A \cdot (t_{\text{в}} - t_{\text{н}}) \cdot F_{\text{н}}, \quad (2)$$

где m – масса воздуха в помещении, $c_{\text{в}}$ – удельная теплоемкость воздуха, $t_{\text{в}}$ – температура внутри помещения, $Q_{\text{оп}}$ – количество теплоты от отопительного прибора, $k_{\text{ок}}$ – коэффициент теплопередачи ограждающих конструкций, $S_{\text{ок}}$ – площадь ограждающих конструкций, $t_{\text{н}}$ – наружная температура, L – необходимое количество приточного воздуха, $\rho_{\text{в}}$ – удельная плотность воздуха, $t_{вент}$ – температура воздуха в системе вентиляции, $G_{\text{н}}$ – количество воздуха, проникающего через наружную ограждающую конструкцию, A – коэффициент, учитывающий влияние трансмиссионного потока, $F_{\text{н}}$ –площадь рассматриваемого ограждения наветренного фасада.

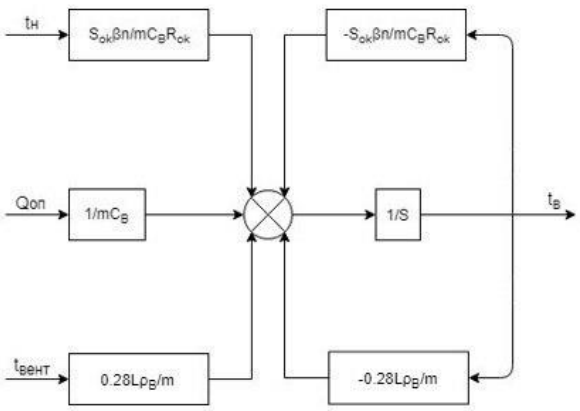


Рис. 2. Структурная схема регулирования температуры в помещении

Анализ модели изменения температуры в помещении при помощи грамианов

Из схемы, представленной на рис. 2, видно, что на температуру внутри помещения оказывают влияние два возмущения: наружная температура и температура воздуха в системе вентиляции.

Для того, чтобы проанализировать степени влияния каждого из воздействий, воспользуемся грамианами управляемости [3–4]. Перепишем формулу (2) в форме вход-состояние-выход:

$$\dot{x} = Ax + \mathrm{B}u + N_1 f_1 + N_2 f_2, \tag{3}$$

$$y = Cx. \tag{4}$$

где переменная состояния x – температура внутри помещения, управляющая переменная $u = Q_{on}$ – теплопоступления от отопительного прибора (канал управления), управляющая переменная $f_1 = t_н$ – наружная температура (1-й канал возмущения), управляющая переменная $f_2 = t_{вент}$ – температура воздуха в системе вентиляции (2-й канал возмущения), выходная переменная y – температура внутри помещения.

Рассмотрим грамианы управляемости каналов f_1 «наружная температура – температура внутри помещения» y с передаточной матрицей $\Phi_1(s) = C(sI - A)^{-1} N_1$ и «температура воздуха в системе вентиляции f_2 – температура внутри помещения y» с передаточной матрицей $\Phi_2(s) = C(sI - A)^{-1} N_2$.

Запишем грамианы управляемости каналов по состоянию [5]:

$$W_{xi}(\tau) = \int_0^{\tau} e^{2A\xi} N_i^{\,2} d\xi, \tag{5}$$

которые определяются путем решения матричного уравнения следующего вида:

$$W_{xi} : 2AW_{xi} = -N_i^2 \tag{6}$$

Решив (7) можно найти грамианы управляемости каналов по выходу:

$$W_{yi} : C^2 W_{xi}, \tag{7}$$

Произведем оценку степени влияния вклада каждого из каналов в выходную переменную. Для этого вычислим сингулярные числа грамианов управляемости вида (9) всех каналов: сингулярное число грамиана, найденное для каждого канала, будет прямо пропорционально степени его влияния на выходную переменную.

Запишем алгоритм ранжирования входов с помощью грамианов управляемости:

Шаг 1. Записать ОУ в виде (3–4);

Шаг 2. Вычислить грамианы управляемости каналов (5–7), определяемых входными воздействиями;

Шаг 3. Вычислить сингулярные числа грамианов управляемости (7);

Шаг 4. Выполнить ранжирование входных воздействий, используя величины полученных сингулярных чисел [3, 4].

Закон управления

При выборе регулятора учитывались требования к качеству системы

термостабилизации: погрешность стабилизации не более 5 %; время регулирования – не более 30 минут, невысокая чувствительность к внешним воздействиям [6]. С учетом этих требований выбран ПИД-регулятор, параметры которого определены по результатам моделирования.

Результаты, полученные в работе

– Разработана математическая модель изменения температуры воздуха в помещении, учитывающая не только теплопотери через ограждающие конструкции, но и добавочные потери тепла;

– Синтезирован закон управления температурой внутри помещения;

– Разработана новая схема организации управления системой отопления промышленного здания, позволяющая регулировать температуру в каждом помещении в соответствии с желаемыми значениями.

Результаты моделирования замкнутой системы управления с ПИД-регулятором, представленные на рис. 3, подтверждают работоспособность предложенной схемы управления температурой. Она является пригодной для практического использования.

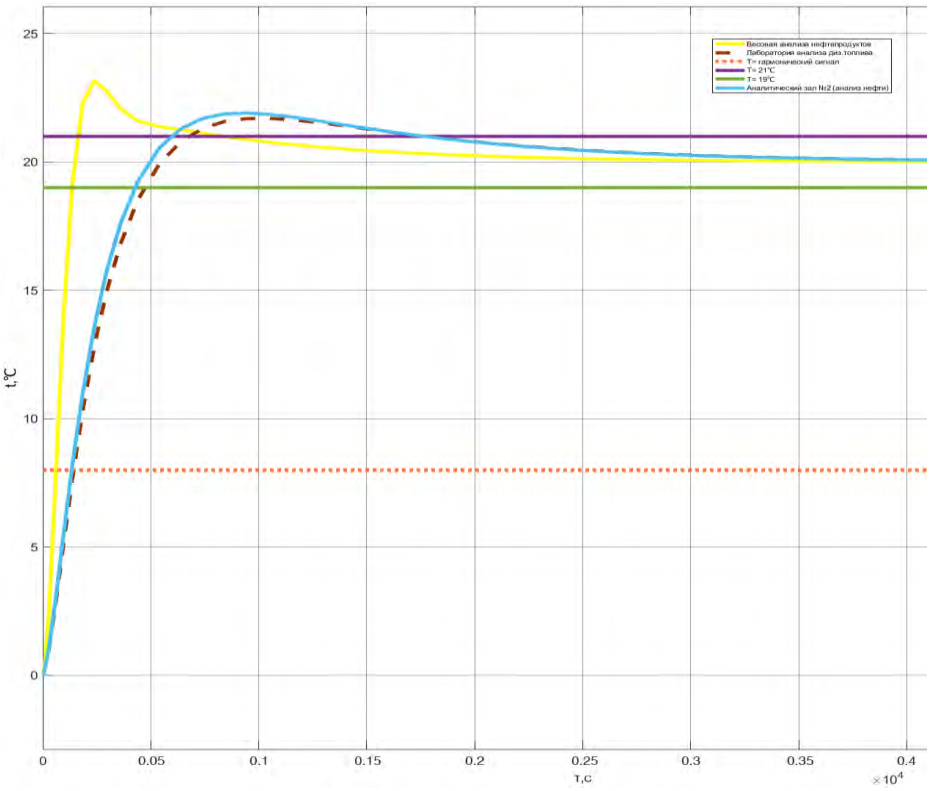


Рис. 3. Результаты моделирования замкнутой системы регулирования температуры при $t_н = 28.5 \cdot \sin((3.8 \cdot 10^{-8}) \cdot 6.28t + {}^{\pi}/_{2}) - 20.5, z_{от.пер.} = 1$ ч

Выбор элементов системы управления

Для внедрения предлагаемого метода управления в существующую систему управления температурой в системе отопления в здание химико-аналитической лаборатории УПН Сузунского месторождения был произведен подбор оборудования, согласно предлагаемой структурной схемы (рис. 1):

– нагревательные приборы;

– датчик температуры;

– сервопривод.

Для реализации закона управления используется программируемый логический контроллер марки ОВЕН ПЛК-160, регулирующий температуру в каждом помещении. Выбор указанной модели контроллера в первую очередь обусловлен возможностью подключения дополнительных модулей ввода/вывода, что позволяет осуществлять обмен с двадцатью шестью (в соответствии с количеством комнат в здании ХАЛ) аналоговыми датчиками температуры.

Заключение

Проведенная модернизация системы отопления ХАЛ позволяет эффективно расходовать тепловую энергию, поддерживая комфортные условия работы. При предложенном способе регулирования температуры контроллер теплового пункта становится единой точкой регулирования в здании без дополнительных автоматических устройств в отдельных помещениях. Предложенный подход основан на использовании сигналов от нескольких датчиков температуры и позволяет учесть специфику условий каждого производственного помещения.

Литература

1. Конструкторская документация по объекту «Химико-аналитическая лаборатория» (ХАЛ) на УПН Сузунского месторождения. СПб: ООО ЭКРОС-СТРОЙ. 2015.
2. Богословский В.Н., Сканави А.В. Отопление. М.: Стройиздат, 1991. 736 с.
3. Александрова С.А., Слита О.В., Ушаков А.В. Использование грамианных технологий при ранжировании параметрических неопределенностей. Изв. ВУЗОВ. Приборостроение, 2015. Т.58. № 9. с.759-764.
4. Alexandrova S., Nikolaev N., Slita O., Karpenko E., Musaev A. Gramian Based method for the state matrix parameters ranking. // 10th International Congress on Ultra Modern Telecommunications Telecommunications and Control Systems and Workshops, Moscow, Russia, 2018. – pp. 164-167.
5. Aranz M.C., Birk W., Halvvarsson B. Empirical approach to robust gramian-based analysis of process interactions in control structure selection // IEEE Conf. on Decision and Control, Piscataway, NJ, USA, 2011. pp. 6210–6215.
6. Спицин В.В., Спицин В.С. Алгоритмы управления температурой внутри помещения// Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника. Выпуск 17. УДК 621.3.068.

Костюк Василина Алексеевна
Год рождения: 1996
Университет ИТМО,
факультет пищевых биотехнологий и инженерии,
студент группы № Т4207,
направление подготовки: 19.04.02 – Продукты питания из растительного сырья,
e-mail: k_vasilina1996@mail.ru
Колодязная Валентина Степановна
Год рождения: 1937
Университет ИТМО,
факультет пищевых биотехнологий и инженерии,
д.т.н., профессор,
e-mail: kvs_holod@mail.ru

УДК 664.8.037.1

ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИОЛОГО-БИОХИМИЧЕСКИХ И ФИТОПАТОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ЯБЛОК ПРИ ХОЛОДИЛЬНОМ ХРАНЕНИИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ТРЕКОВЫХ МЕМБРАН

В.А. Костюк

Научный руководитель – д.т.н., профессор **В.С. Колодязная**

Унтиверситет ИТМО

Работа выполнена в рамках темы НИР № 617027 «Ресурсосберегающие экологически безопасные биотехнологии функциональных и специализированных продуктов на основе глубокой переработки продовольственного сырья».

Аннотация
По изменению показателей качества яблок осенних сортов выявлены преимущества холодильного хранения плодов в контролируемой атмосфере, создаваемой с помощью газоселективной композиционной мембраны, состоящей из подложки на основе трековой мембраны из полиэтилентерефталата и селективного слоя на основе кремнийорганического блок-сополимера с диаметром пор d=0,2 мкм.
Ключевые слова
Контролируемая атмосфера (КА), газо-селективная трековая мембрана (ГСТМ), яблоки, холодильное хранение, физиолого-биохимические процессы, качество.

В решении проблемы длительного хранения плодов с минимальными потерями от инфекционных и физиологических заболеваний определяющее значение имеет не только поддержание определённой температуры, но и газового состава, отличающегося пониженным содержанием кислорода и повышенным диоксида углерода.

В настоящее время для хранения плодов в контролируемой атмосфере (КА) предложены газоселективные трековые мембраны (ГСТМ), изготавливаемые из разных полимерных и тканевых материалов. ГСТМ отличаются газоселективными и адгезионными свойствами, эксплуатационными характеристиками и прочностью.

Однако, научная информация о применении трековых мембран для создания газовых сред с пониженной концентрацией кислорода и повышенной диоксида углерода, влияющих на физиолого-биохимические процессы, качество и сохраняемость осенних сортов яблок, отсутствует.

В лаборатории ВНИИСК им С.В. Лебедева и Физико-технического института им А.Ф. Иоффе РАН изготовлены трековые мембраны из полиэтилентерефталата, обладающие высокой адгезией к газоселективному полимеру. Получение наноразмерных пор в полимерных материалах осуществлялось с помощью ионных пучков.

Цель работы – исследовать изменения физиолого-биохимических и фитопатологических показателей качества осенних сортов яблок при холодильном хранении с применением трековых мембран.

Объектами исследования выбраны яблоки следующих осенних сортов: Ананас Бержаницкого, Гибрид Седова, Грушовка Юдичева, Пашкевич Красный, Пушкинское.

Сорта выращены в коллекционном саду Павловской опытной станции Всероссийского научно-исследовательского Института Растениеводства им. Н.И. Вавилова (ВНИИР). Урожай яблок был собран в технической степени зрелости в сентябре 2017 года.

Для создания контролируемой газовой среды использовали композиционные газо-селективные мембраны, состоящие из подложки на основе трековых мембран из полиэтилентерефталата и селективного слоя на основе кремнийорганического блок-сополимера; диаметр пор - 0,2 мкм, селективность по O_2 и CO_2 – 5,0 [1]. Контролируемая атмосфера создавалась и регулировалась за счет дыхания плодов, помещенных в герметично закрытые полимерные контейнеры, имеющие газосеклективную мембрану.

Контрольные образцы яблок хранили в обычной атмосфере в контейнерах без крышек; опытные образцы – в контейнерах с герметично закрытыми крышками. В них вставлены газоселективные мембраны.

Контрольные и опытные образцы яблок хранили при температуре (3±1)°С в течение 70 – 100 сут. Площадь мембран варьировали в интервале от 18 до 22 $см^2$/кг в зависимости от сорта, газовый состав: концентрация кислорода – (5,2±0,1%), диоксида углерода – (3,6±0,1%).

После сбора урожая и периодически в процессе хранения в контрольных образцах яблок определяли интенсивность дыхания (титрометрическим методом по выделению диоксида углерода), содержание сухих веществ, органических кислот и аскорбиновой кислоты (по методу Тильманса), органолептические показатели по 5-ти балльной шкале [2], фитопатологические показатели по стандартной методике [3].

Основной физиологический процесс, который оказывает наибольшее влияние на продолжительность хранения и качество продукции, является *дыхание*. От дыхания зависит: устойчивость объектов хранения к микробиологическим и физиологическим заболеваниям, изменение их массы, интенсивность послеуборочного дозревания [4, 5].

На рис. 1 показано изменение интенсивности дыхания в контрольных образцах яблок осенних сортов при их хранении в охлажденном состоянии.

В растительном сырье сахара основными субстратами дыхательных реакций. В ходе этих реакций синтезируются важныебиоэнергетические продукты и промежуточные метаболиты, которые являются исходным материалом для синтеза необходимых химических веществ.

Как следует из рис. 1, яблоки осенних сортов отличаются разной скоростью изменения интенсивности дыхания и, следовательно, разной сохраняемостью моно- и дисахаридов, а также органических кислот, которые участвуют в окислительно-восстановительных реакциях растительной клетки.

Максимальное значение интенсивности дыхания характерно для сорта «Грушовка Юдичева», минимальное – для сорта «Ананас Бержаницкого».

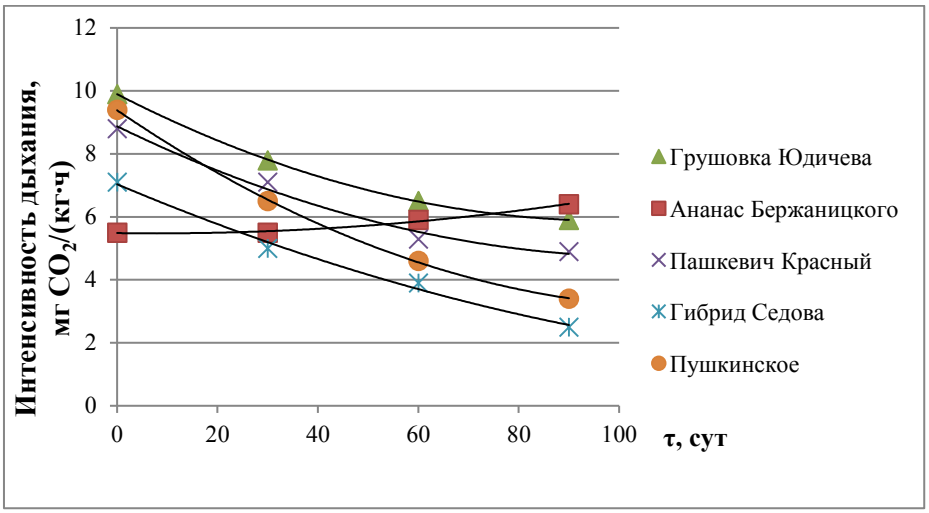


Рис. 1. Кинетические кривые изменения интенсивности дыхания в контрольных образцах яблок осенних сортов при их хранении в охлажденном состоянии

На рис. 2 показано изменение содержания моно- и дисахаридов в контрольных образцах яблок осенних сортов при их хранении в охлажденном состоянии.

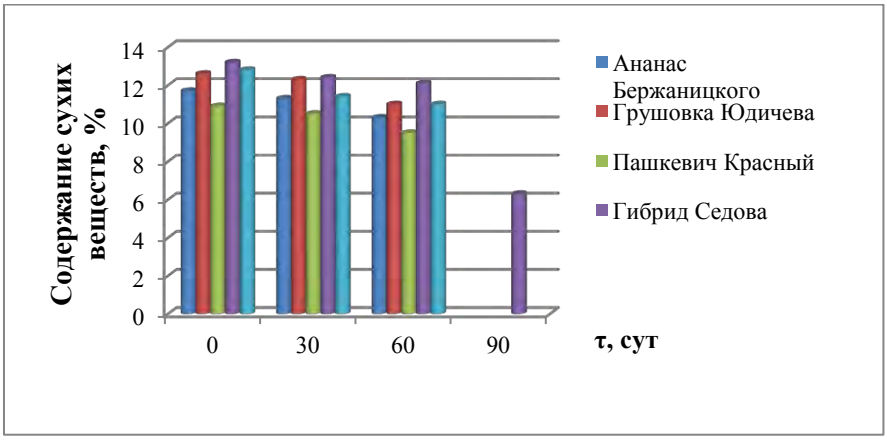


Рис. 2. Динамика содержание моно- и дисахаридов в контрольных образцах яблок осенних сортов при их хранении в охлажденном состоянии

Как следует из представленных данных, содержание моно- и дисахаридов в яблоках осенних сортов при их хранении уменьшается. Связано это с их окислением и расходом на дыхание.

Органические кислоты – широко распространенные компоненты растительной продукции. В растительном организме они могут находиться как в виде нейтральных солей, так и в составе: хлорофилла, жиров, аминокислот, ауксинов и др. Основная роль их заключается в создании связующего звена при азотных и углеводных типах обмена в растительных клетках.

Исследованы изменения содержания суммы органических кислот в зависимости от продолжительности хранения в охлажденном состоянии яблок сортов «Ананас Бержаницкого», «Гибрид Седова», «Грушовка Юдичева», «Пашкевич Красный» и

«Пушкинское». Получены графические зависимости и уравнения регрессии, характеризующие изменение содержания суммы органических кислот Со.к. в яблоках каждого сорта.

Анализ полученных данных показал, что количество этих соединений при хранении в охлажденном состоянии уменьшается во всех осенних сортах яблок как в опытных, так и в контрольных образцах. Уменьшение органических кислот связано с их окислением и расходом на дыхание.

Многие сорта яблок отличаются высоким содержанием такого важного биологически активного вещества, как аскорбиновая кислота. Но в процессе хранения эта кислота легко окисляется до обратимо окисленной формы дегидроакорбиновой кислоты, а затем до инертной ее формы – дикетогулоновой кислоты. Скорость превращения этой кислоты существенно зависит не только от сорта, но и от температуры, газового состава и продолжительности хранения.

Исследованы изменения содержания аскорбиновой кислоты в зависимости от продолжительности хранения в охлажденном состоянии яблок сортов «Ананас Бержаницкого», «Грушовка Юдичева», «Пашкевич Красный», «Гибрид Седова» и «Пушкинское». Получены графические зависимости и уравнения регрессии, характеризующие изменение содержания аскорбиновой кислоты Са.к. в яблоках каждого сорта.

Из анализа полученных данных следует, что количество аскорбиновой кислоты снижается во всех сортах яблок, как в контрольных, так и в опытных образцах. Связано это с тем, что при отдаче протонов, аскорбиновая кислота принимает участие во многих восстановительных реакциях, причем восстановительные ее свойства усиливаются под действием фермента аскорбатоксидазы.

По результатам исследований были рассчитаны константы скорости реакций псевдопервого порядка (К) превращения органических кислот (К1) и аскорбиновой кислоты (К2) при хранении осенних сортов яблок в обычной (контроль) и контролируемой атмосфере (опыт).

Константа скорости реакций псевдопервого порядка (К) рассчитывалась по формуле:

$$K = \frac{1}{\tau} \ln \frac{C_0}{C},$$

где С0 - концентрация исследуемых веществ перед хранением;
С – концентрация исследуемых веществ через определенный промежуток времени хранения τ.

Значение (К) приведены в таб. 1.

Таблица 1

Константы скорости реакций псевдопервого порядка (К) превращения органических кислот (К1) и аскорбиновой кислоты (К2), τ = 90 сут

Осенние сорта яблок	К1, 10-3 сут-1		К2, 10-3 сут-1	
	Опыт	Контроль	Опыт	Контроль
Ананас Бержаницкого	5,32	8,85	1,67	2,54
Грушовка Юдичева	3,74	4,58	6,04	6,97
Пашкевич Красный	5,22	9,19	1,14	2,17
Гибрид Седова	6,64	8,47	9,47	12,89
Пушкинское	3,11	5,08	7,85	10,21

Как следует из таб. 1, скорость реакций превращения органических кислот и аскорбиновой кислоты при хранении осенних сортов яблок в контролируемой атмосфере ниже, чем в обычной. Это позволяет сохранить биологическую и пищевую ценность.

В процессе хранения были определены основные возбудители болезней и фитопатологические показатели сохраняемости яблок осенних сортов (таб. 2).

Таблица 2

Фитопатологические показатели при продолжительности хранения, сут

Осенние сорта яблок	60 сут			90 сут			210 сут		
	Здоровые плоды, %	Fusarium culmorum	Monilia fructigena	Здоровые плоды, %	Fusarium culmorum	Monilia fructigena	Здоровые плоды, %	Fusarium culmorum	Monilia fructigena
Контроль									
Ананас Бержаницкого	91,0	3,7	5,3	80,3	7,1	11,7	-	-	-
Грушовка Юдичева	92,1	1,9	6,0	90,0	3,4	6,6	-	-	-
Пашкевич Красный	90,7	4,6	13,7	82,3	4,5	13,2	-	-	-
Гибрид Седова	100	0	0	96,7	1,3	2,0	-	-	-
Пушкинское	91,7	2,6	4,8	87,5	4,6	7,9	-	-	-
Опыт									
Ананас Бержаницкого	96,2	0	3,8	87,5	4,1	7,4	-	-	-
Грушовка Юдичева	97,0	0	3,0	94,2	2,7	5,1	-	-	-
Пашкевич Красный	96,1	1,0	2,9	88,4	4,3	7,3	-	-	-
Гибрид Седова	100	0	0	100	0	0	94,0	2,0	4,0
Пушкинское	95,4	2,0	2,6	92,0	2,0	6,0	-	-	-

Как следует из таб. 2 основными возбудителями инфекционных заболеваний яблок осенних сортов контрольных и опытных образцов являются такие грибы, как Monilia fructigena и Fusarium culmorum. Из анализа данных в табл. 2 следует, что минимальные потери от микробиальной порчи при хранении контрольных яблок сортов Ананас Бержаницкого и Пушкинское наблюдались через 60 суток, для сорта Грушовка Юдичева – через 90 суток. Для опытных образцов яблок сорта Грушовка Юдичева минимальные потери обнаружены на 90-ые сутки. Наиболее устойчивым к инфекционным заболеваниям оказался сорт Гибрид Седова, потери которого за 7 месяцев хранения составили 6,0%.

По комплексу органолептических, физико-химических показателей качества и микробиологических показателей безопасности обоснованы следующие сроки годности яблок осенних сортов в процессе хранения при t = (3±1)°С и относительной влажности воздуха φ = 90…95%: контрольные образцы яблок сортов Ананас Бержаницкого, Грушовка Юдичева, Пашкевич Красный и Пушкинское до 60 суток, Гибрид Седова до 90 суток; опытные образцы этих сортов до 90 суток, а Гибрид Седова до 200 суток. При указанных сроках хранения органолептические показатели качества опытных и контрольных образцов яблок имели 4,8 балла.

По динамике изменения интенсивности дыхания и содержания аскорбиновой кислоты выявлены преимущества холодильного хранения яблок в контролируемой атмосфере (газовый состав: концентрация кислорода – (5,2±0,1%), диоксида углерода – (3,6±0,1%)), создаваемой с помощью газоселективной композиционной мембраны площадью (18-22) $см^2/кг$, состоящей из подложки на основе трековой мембраны из полиэтилентерефталата и селективного слоя на основе кремнийорганического блок-сополимера концентрацией 2,2% с диаметром пор d=0,2 мкм.

Литература

1. Иванов Т.Н. и др. Технология хранения плодов, ягод и овощей. Орел: ГТУ. 2009. 203с.
2. Манжесов В.И., Попов И.А., Шедрин Д.С. Технология хранения растениеводческой продукции. Воронеж. ВГАУ, 2009. 249 с.
3. Колодязная В.С., Данина М.М., Коидов Ш.М. Влияние контролируемой атмосферы физиолого-биохимические процессы и показатели качества яблок при холодильном хранении // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Процессы и аппараты пищевых производств». 2015 г. №2. С. 53-60.
4. Колодязная В.С., Кипрушкина Е.И., Седова А.Л., Задворнова Т.А. Факторы повышения качества плодов при холодильном хранении // Проблемы экономики и управления в торговле и промышленности. 2013. №1. С.46-52.
5. Колодязная В.С., Коидов Ш.М. Кинетика реакции окисления аскорбиновой кислоты при холодильном хранении столовых сортов винограда в контролируемой атмосфере // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Процессы и аппараты пищевых производств». 2015 г. №1. С. 96-100.

Любарчук Фёдор Николаевич
Год рождения: 1979
Университет ИТМО,
факультет технологического менеджмента и инноваций,
студент группы №U4295,
направление подготовки: 27.04.68.08– Управление интеллектуальной собственностью,
e-mail: felu.79@mail.ru
Верзилин Дмитрий Николаевич
д.э.н., профессор, профессор,
Насонова Ксения Викторовна
тьютор, патентный поверенный,
Университет ИТМО,
факультет технологического менеджмента и инноваций,
e-mail: Ksenianasonova@gmail.com.

УДК 334.021

РОБОТИЗИРОВАННЫЕ УСТАНОВКИ КАК ОБЪЕКТЫ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

Ф.Н. Любарчук

Научный руководитель – д.э.н, профессор **Д.Н. Верзилин, К.В. Насонова**

Университет ИТМО

Аннотация
В работе рассмотрена проблематика обеспечения правовой охраны роботизированных установок, в целях чего проведён анализ развития, современного состояния и перспективы развития робототехники, особое внимание уделено определению форм и способов правовой охраны, выявлены особенности и противоречия в практике и теории, для разрешения которых разработана методика обеспечения правовой охраны основой которой явились нетривиально применённые научно-методические аппараты теории подобия и морфологического анализа, кроме того, разработано специальное программное обеспечение.
Ключевые слова
Робототехника, интеллектуальная собственность, теория подобия, морфологический анализ, методика, программное обеспечение

Одним из наиболее важных показателей развития государства является инновационная активность (ИА) предприятий промышленности страны. В настоящее время под ИА понимается комплексная характеристика инновационной деятельности фирм, включающая степень интенсивности осуществляемых действий и их своевременность, способность мобилизовать потенциал необходимого количества и качества [1, 2]. Анализ инновационных разработок, реализующих последние достижения научно-технического прогресса, обеспечил выработку вывода, о том, что одним из наиболее динамично развивающихся инновационных направлений являются робототехника.

Процесс зарождения, формирования и развития идеологии робототехники,

охватывает значительный исторический период. Основываясь на результатах анализа развития робототехники, определено пять основных этапов становления, начиная с зарождения мифологических представлений об рукотворных объектах способных заменить человека и до воплощения в реально существующие изделия, по своим возможностям способные не только заменить человека, но и превзойти во многом.

Одновременно с развитием техники появилась насущная необходимость в правовой охране результатов интеллектуальной деятельности человека, в том числе и в робототехнике. Так в частности, к изделиям способным заменить человека по ряду функций и усовершенствовать его способности, можно отнести различные манипуляторы и краны, изобретённые задолго до появления самого понятия робототехника. Общепринято считать, что история патентного права начинается с «привилегий на изобретения». В частности, считается, что первый в истории патент на изобретение был выдан в 1421 г. в Флоренции, изобретателю Филиппо Брунеллески, которому приписывают изобретение корабельного поворотного крана. Современная робототехника неразрывно связана с обеспечением правовой охраны робототехнических изделий (РТИ) как объекта интеллектуальной собственности. 13 июня 1961 года был выдан патент US2988237A на первого в истории промышленного робота Unimate, выпускаемый компанией Unimation с 1961 года. Первый экземпляр появился на заводе Inland Fisher Guide Plant, принадлежавшем General Motors, разработчиками робота являлись инженеры Джордж Девол (обладателя патента) и Джозеф Энгельбергер (его соавтор и бизнес-партнер). Работа над Unimate была начата в 1950-м. Разработанный механизм получил название «Программируемое устройство перемещения». В 1954 году, автор подал заявку на патент. В 1957 году Unimateбыл усовершенствован и получил название роботизированный манипулятор, помощник человека на производстве. Проект был успешно внедрён в автомобильную промышленность и установлен на заводе General Motors.

Основываясь на результатах анализа [3, 4] определено, что в настоящее время наиболее активно, разработка роботизированных установок и сопутствующих данному направлению элементов ведётся в КНР, порядка 40% от общего количества. Второе место страны Европейского союза, лидерами в данной области являются Германия-5%, Франция – 3% и Венгрия – 2%. Третье место в равной доле делят Япония и США по – 17%. Четвёртое место занимает Южная Корея – 7%, пятое место РФ порядка 5%.

Роботизированные устройства, в своём составе содержит совокупность подсистем. Результаты анализа патентной информации Всемирной организации интеллектуальной собственности (ВОИС) и Федерального института промышленной собственности (ФИПС) [3, 4] обеспечивает вывод, о том, что основными элементами обеспеченными правовой охраной являются: системы управления РТУ – 24%; системы электроснабжения – 8%; системы контроля РТУ – 6%; системы диагностики неисправностей – 7%; способы перемещения – 18%; способы испытаний РТУ – 8%; системы навигации РТУ – 19; системы связи – 5%; системы защиты – 4% .

В тоже время выявлено, что многие системы и элементу глубоко коррелированы, и выделение их в отдельные системы не всегда оправдано. Примером таких систем является система связи, в состав которой по структурно-функциональной конструкции могут быть включены системы связи, системы контроля, а также частично системы защиты, что подтверждает правильность вывода о системности РТУ.

Основываясь на результатах анализа [5] целесообразно рассмотреть функционирование системы обеспечения правовой охраны РИД при совершения юридически значимых действий по государственной регистрации изобретений, как наиболее распространённой. Кроме того, значимость данной формы обеспечения правовой охраны РИД обусловлена длительностью сроков охраны, а также

продолжительностью самой процедуры и значимостью основных её элементов. Существующая практика обеспечения правовой охраны изобретений обеспечивает разработку схемы проведения мероприятий по патентованию в РТУ разработок (рис. 3).

Анализ [3, 4] обеспечил вывод о существенных временных ресурсах, затрачиваемых на весь цикл разработки РТУ с момента проведения исследований на обоснование разработки и до получения патента на изобретение. Так в частности период разработки РТУ (СТС) до присвоения литеры «$О_{1-2}$» составляет в среднем от 4 до 6 лет, проведение мероприятий с данного этапа до получения правоохранных документов составляет, как правило, от 12 до 24 месяцев. Кроме того, определено, что одним из длительных процессов, а также являющийся в достаточной степени субъективным, и постоянно сопровождающих разработку и патентование РТУ является определение прототипа. Данный факт подтверждается исследованиями, примером чему является наличие принципов экспертизы на изобретательский уровнь и включает:

– определение наиболее близкого аналога (прототипа);

– выявление признаков, которыми заявленное изобретение, охарактеризованное в независимом пункте формулы, отличается от наиболее близкого аналога (отличительных признаков);

– выявление из уровня техники решений (т.е. не только аналогов), имеющих признаки, совпадающие с отличительными признаками рассматриваемого изобретения, и анализ этих решений для установления известности влияния отличительных признаков на указанный заявителем технический результат (рис. 1).

Анализ юридически значимых действий по обеспечению мероприятий по правовой охране РИД, представленных в виде изобретений и полезных моделей определяет необходимость в выявлении совокупности аналогов и прототипа РИД, данные мероприятия сопровождают все этапы от разработки до патентования. Правильность определения прототипа обеспечивает снижение ресурсных затрат [3, 4, 5].

Одной из особенностей разработки современных РТУ является то, что выбор прототипа может осуществляться из множества различных образцов, в которых используются узлы и блоки, аналогичные элементам, предполагаемым к использованию во вновь разрабатываемом РТУ. Данный подход широко используются при создании и разработке современных комплексов и образцов СТС, причём прототипами некоторых систем, блоков и узлов могут являться изделия различных подсистем, в том числе не всегда для элемента РТУ прототип выбирается из предшествующих РТУ.

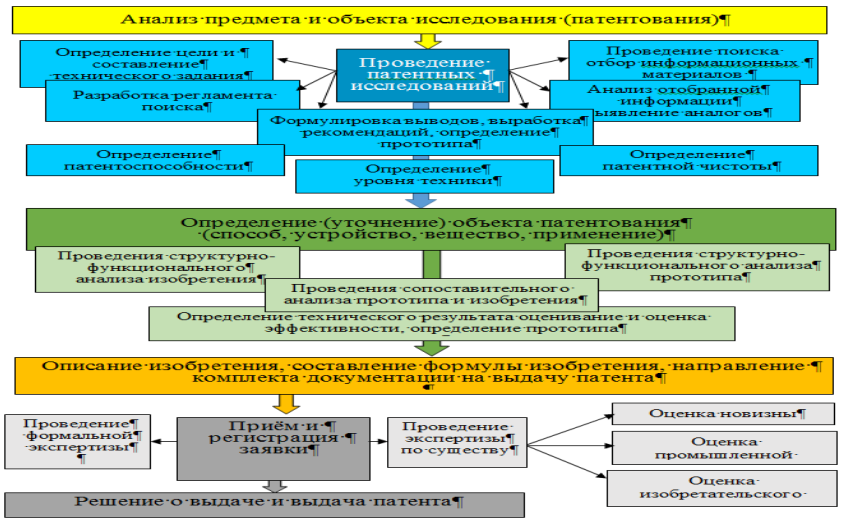


Рис. 1. Схема проведения мероприятий по патентованию РТУ

Определение оптимального прототипа осуществляется с использованием научно-методического аппарата теории подобия. Выбор оптимального с точки зрения теории подобия прототипа обеспечивает снижение вероятности принятия ошибочных решений о соответствии образцов. Кроме того, обеспечивает определение наиболее близкого образца (по совокупности оцениваемых параметров), обладающего максимальным количеством одинаковых критериев подобия с опытным образцом РТУ.

В классической теории подобия вопрос определения возможности использования образцов-аналогов (прототипов) исходя из степени приближения прототипов к РТУ как РИД ранее не решался. Результаты анализа научных трудов в данной предметной области также указывают на то, что в настоящее время методики выбора возможного прототипа опытного образца РТУ в целях использования НМА теории подобия нет. Данная ситуация обусловлена тем, что НМА теории подобия в интересах обеспечения правовой охраны не использовался, несмотря на то, что при разработки новых РТУ применялся для создания моделей опытных образцов. В случае разработки принципиально нового РТУ, или изобретением, ПМ, когда наличие прототипов или блоков-аналогов ограничено, или отсутствует вообще, данный вопрос значительно усложняется и изобретение считается пионерским. Однако в данном случае НМА теории подобия также применим и используется для создания моделей, что существенно повышает информативность о разрабатываемой РТУ, или изобретением, ПМ (рис. 2).

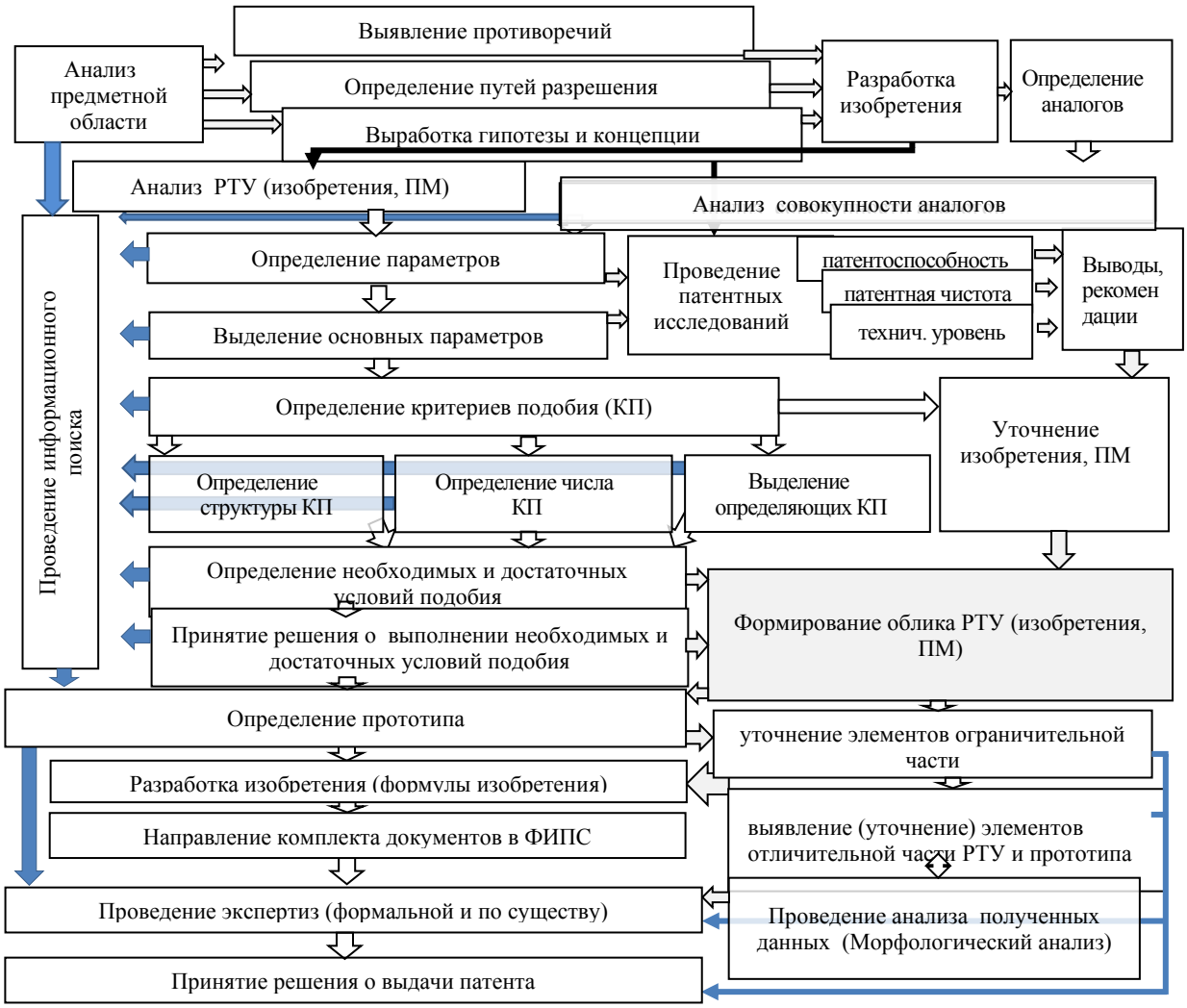


Рис. 2. Методика определения прототипов роботизированных установок на различных этапах обеспечения правовой охраны объекта интеллектуальной собственности

Кроме того, получение дополнительной информации о разрабатываемой РТУ, или изобретением, ПМ осуществляется на основании полученной информации о физических законах и процессах, реализуемых в образце за счёт применения НМА теории подобия. НМА теории подобия применяется при проведении разработки РТУ, изобретения, ПМ, а также при проведении как патентных исследований, так и в дальнейшем при проведении экспертизы по существу, а также для обоснования использования априорной эмпирической информации по прототипу. Для решения данных задач требуется определение необходимых и достаточных условий подобия между разрабатываемой РТУ, изобретением, ПМ и прототипом. Схематично последовательность действий представлена на (рис. 1).

На основании методики разработано программное обеспечение (ПО), для ПЭВМ, обеспечивающее автоматизацию процесса определения возможного прототипа РТУ. Корректность и адекватность программы подтверждена сходимостью результатов с апробированными программными продуктами.

Программа основана на реализации сформулированных принципов, а также применении методов количественного и качественного сравнения образцов с применением критерия трансформизма и реализацией научно методического аппарата теории подобия и размерностей.

Структурно программное обеспечение строится на основе магистрально-модульной архитектуры, что обеспечивает её универсальность и решение задач, как разработки, так и обеспечения правовой охраны и экспертизы изобретения и имеет вид в соответствии с рис. 3.

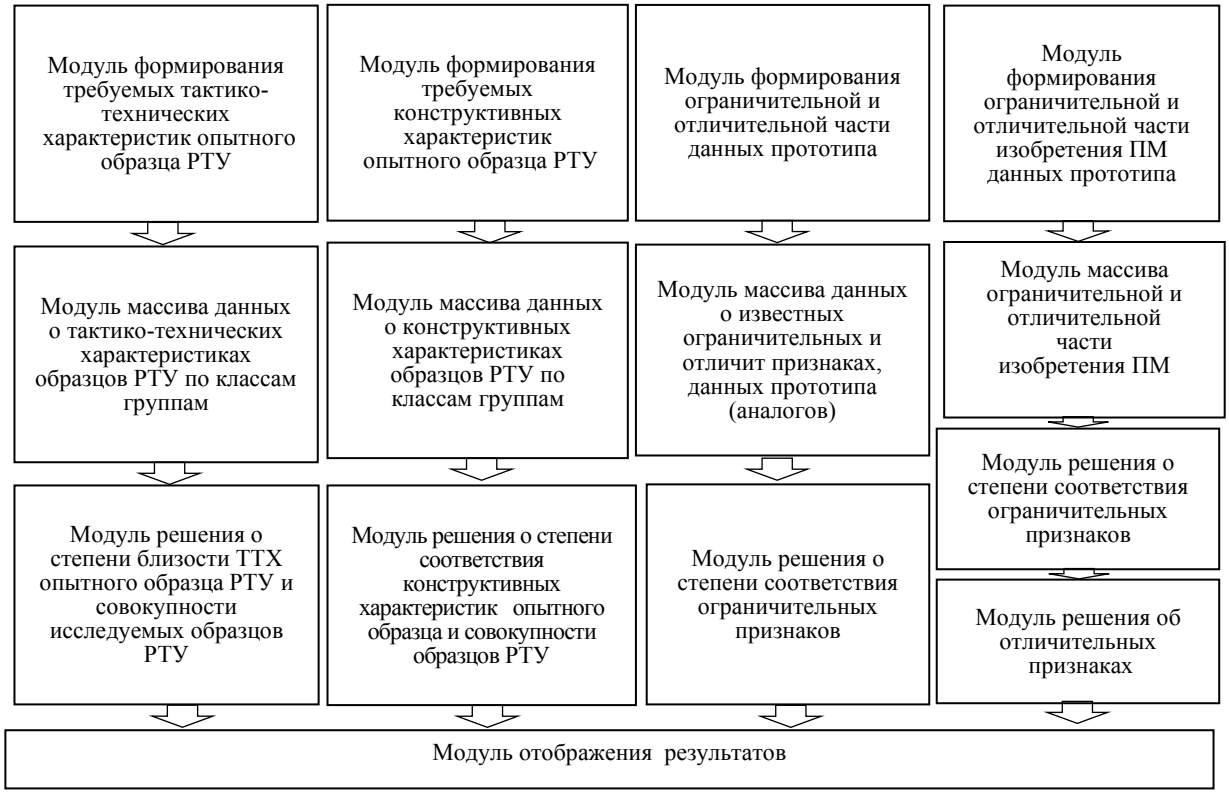


Рис. 3. Структура программного обеспечения методики определения прототипов роботизированных установок (изобретений, ПМ реализуемых в РТУ) на различных этапах обеспечения правовой охраны объекта интеллектуальной собственности

Выбор возможного прототипа обеспечивает решение ряда проблемных вопросов практики применения априорной информации, кроме того, данное ПО может использоваться в рамках теории конструирования, для прогнозирования и формирования возможного облика образца РТУ. Не менее значимым и ценным является возможность применения ПО для решения задач обеспечения различных этапов правовой охраны РИД, а также как программа поддержки решения при проведении экспертизы, в том числе экспертизы по существу. Для чего необходимо активация блока сопоставления формул изобретения имеющихся аналогов и разрабатываемого изделия. При этом высвечивается как основные признаки, так и отличительные. Формирование осуществляется за счёт формирования параметров ТТХ и КХ, а также информации по аналогам находящейся в базе данных, кроме того реализована возможность ввода самостоятельно пунктов формулы изобретения для дальнейшего сравнительного анализа (рис. 4).

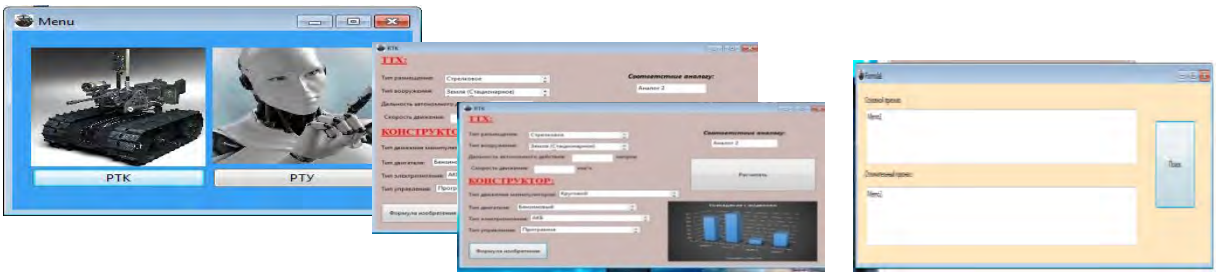


Рис. 4. Реализация сравнения формул изобретения и выявления отличительных признаков

Результаты исследований системы обеспечение правовой охраны РТУ и интегрированных в неё изобретений и полезных моделей, определяют насущную необходимость в обработке существенного объёма информации, своевременного обновления и актуализации данных, как в предметной области, так и в смежных областях. Данная ситуация определяет необходимость в автоматизации процесса обеспечение правовой охраны РТУ и интегрированных в неё изобретений и ПМ, для чего целесообразно применение современных технических средств и программных продуктов, обеспечивающих возможность хранения и обновления большого объёма информации из широкого спектра источников.

Таким образом, перечисленные результаты позволяют сделать заключение, что поставленная научная задача разрешена, обоснованность научных положений, рекомендаций и достоверность результатов исследований обеспечены:

– корректным применением апробированного аппарата системного анализа, теорий принятия решений, эффективности целенаправленных процессов, теории подобия, размерностей, инвариантности и конструирования, а также метода морфологического анализа;

– апробированием результатов исследования в процессе обсуждения на конференциях различных уровней и использованием их в учебном процессе ряда высших военных учебных заведений.

Значение полученных результатов для теории и практики определяется тем, что разработанная совокупность методик, алгоритмов, процедур и решающих правил позволяет исследовать вопрос правовой охраны РИД. Одним из путей достижения требуемого уровня эффективности является разработка системных научно-методических положений правовой охраны РИД, одним из направлений совершенствования которой является, автоматизация процессов определения прототипов изобретений и полезных моделей в соответствии с апробированными научно

методическими аппаратами.

Весь научно-методический аппарат обладает высокой степенью универсальности и может быть использован для исследования любой СТС как военного, так и народно-хозяйственного назначения.

Дальнейшие исследования по данной тематике целесообразно продолжить по следующим направлениям:

1. Реализация разработанных теоретических и практических положений в практике разработки и правовой охраны СТС;
2. Создание универсальных межвидовых интеллектуальных систем позволяющих реализовать предложенные теоретические и практические положения в интересах оптимизации системы правовой охраны РИД.

Литература

1. ГОСТ Р 54147-2010: Стратегический и инновационный менеджмент. Термины и определения. Введ. 2010-06-20. М.: Изд-во стандартов, 2002.
2. Васильев В.П. Менеджмент инноваций: учебное пособие. М.: Дело и Сервис, 2018. 416 с.
3. Результаты патентного поиска по данным ФИПС по запросу «робот». /режим доступа/ http://www1.fips.ru/iiss/search_res.xhtml?faces-redirect=true (дата обращения 12.04.2019.).
4. Результаты патентного поиска по данным ВОИС по запросу «robot». /режим доступа https://patentscope.wipo.int/search/en/result.jsf (дата обращения 12.04.2019.).
5. Любарчук Ф.Н. Роботизированные установки как объекты интеллектуальной собственности // Труды двадцать второй Всероссийской научно-практической конференции. // «Актуальные проблемы защиты и безопасности». ВВТ: с. 242-247. Том 1. С-Пб: РАРАН, 2019 г.

Муратова Лилия Ильсуровна
Год рождения: 1996 год
Университет ИТМО,
факультет технологического менеджмента и инноваций,
студент группы № U4247,
направление подготовки: 38.04.04 – Экономика,
e-mail: lilimur18@gmail.com
Павлова Елена Александровна
Год рождения: 1963 год
Университет ИТМО,
факультет технологического менеджмента и инноваций,
к.э.н., доцент,
e-mail: eapavlova@mail.ru

УДК 338.2

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДИЧЕСКИХ ПОДХОДОВ К ОЦЕНКЕ ЗАТРАТ НА ПРОВЕДЕНИЕ НИОКР

Л.И. Муратова

Научный руководитель – к.э.н., доцент **Е.А. Павлова**

Университет ИТМО

Работа выполнена в рамках НИР № 617031 «Разработка методов и средств решения прикладных задач фотоники».

Аннотация
В работе проведен сравнительный анализ существующих подходов к оценке затрат на проведение НИОКР, выявлены особенности использования различных методов оценки. Представлены рекомендации по совершенствованию учета результатов интеллектуальной деятельности, в частности научно-исследовательских работ и нематериальных активов, исходя из особенностей российского законодательства. Представлена модель жизненного цикла научно-исследовательского (инновационного) проекта, характеризующая состав и содержание затрат по отдельным стадиям его реализации. Предложенная методика может быть применена для оценки и расчета затрат на проведение НИОКР.
Ключевые слова
Научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы, оценка затрат, структура затрат, стоимость.

В современной экономике качественному экономическому росту способствует инновационная сфера, главной составляющей которой являются научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы (НИОКР). Первоочередным критерием при принятии решения о проведении НИОКР является их стоимость. С целью недопущения необоснованных затрат необходимо их контролировать и оценивать на каждом этапе.

За последние четыре года в России число организаций, осуществляющих научные исследования и разработки, возросло на 9,4% и составило в 2017 году 3 944 организаций

(таб. 1). Примечательно, что значительный прирост числа организаций, осуществляющих НИОКР, произошел в 2015 году – темп роста составил 15,8% к уровню 2014 года в то время, как в 2013-2014 гг. наблюдается тенденция спада активности предприятий в сфере НИОКР.

Таблица 1

Организации, выполняющие исследования и разработки

	2000	2005	2010	2013	2014	2015	2016	2017
Всего	4099	3566	3492	3605	3604	4175	4032	3944
Северо-Западный Федеральный округ	627	536	502	464	466	493	494	476
из него Санкт-Петербург	469	381	338	302	300	299	302	295

Наряду с нормативной базой была изучена и обобщена статистическая информация по выполняемым российскими предприятиями НИОКР, внутренним затратам на исследования и разработки по видам затрат в России, в СЗФО и в городе Санкт-Петербурге, а также рассмотрены инновационные российские компании и сфера их научных исследований. Так, лидирующие позиции в списке российских инновационных компаний занимают инновационные предприятия Томской области, Санкт-Петербурга, Москвы и Московской области, Саратовской области, Красноярского края и Нижегородской области. Сфера научных исследований и инновационных разработок затрагивает медицину, лазерные технологии, химию, вычислительные и информационные системы [5].

Обобщенный сравнительный анализ подходов к учету затрат в российских, международных и американских стандартах представлен в таб. 2. Признаками для сравнительного анализа были выбраны целевые экономические субъекты, нормативные акты в области исследований и разработок, источники информации о понесенных затратах на проведение НИОКР, обеспечение информацией инвесторов и обеспечение информацией налоговые органы.

Сравнительный анализ показал, что ОПБУ США для учета затрат на проведение НИОКР для инвесторов и для налоговых органов является не самым удобным вариантом представления отчетности ввиду того, что не обеспечивает целевых пользователей реальной информацией о ходе научных исследований и выполнении разработок. Однако свободная форма составления и представления отчетности в соответствии с ОПБУ США дает возможность экономическим субъектам вести учет расходов на НИОКР исходя из сложившейся ситуации. Для налоговых органов в принятии решений особо ценной является детализированная и структурированная информация, которая представляется в отчетности, составленной в соответствии с российскими стандартами. Для инвесторов самыми полными и достоверными являются данные, содержащиеся в отчетности, составленной по правилам международных стандартов. С точки зрения учета расходов на НИОКР российский подход действительно представляет определенные трудности. Однако одним из способов решения данной проблемы является максимальное приближение российских стандартов учета к общепризнанным международным.

Таблица 2

Сравнительный анализ основных положений учета в российских, международных и американских стандартах

Признаки	ОПБУ США	МСФО	РПБУ
Целевые экономические субъекты	Американские компании, компании-участники американских фондовых бирж	Европейские компании, компании-участники европейских фондовых бирж	Российские компании
Нормативные акты в области исследований и разработок	Федеральные стандарты учета SFAS№ 142, FAS№ 2	Международные стандарты финансовой отчетности IAS 38	Положение по бухгалтерскому учету ПБУ 17/02, ПБУ 14/2007
Источники информации о понесенных затратах на проведение НИОКР	Годовые отчеты компаний по форме 10-K (Американская комиссия по ценным бумагам)	Годовые отчеты компаний (Annual reports)	Приложение к бухгалтерскому балансу (раздел «Нематериальные активы и расходы на НИОКР»)
Обеспечение информацией инвесторов	Финансовая отчетность дает инвестору информацию об одном возможном уровне риска и одном характере затрат на НИОКР	Финансовая отчетность дает инвестору необходимую информацию о рисках и затратах на НИОКР	Финансовая отчетность дает инвестору необходимую информацию затратах на НИОКР, возможные риски при выполнении НИОКР в документе не отражаются
Обеспечение информацией налоговые органы	Затраты на НИОКР не учитываются при налогообложении прибыли и не отражаются в налоговой отчетности	Налоговый учет НИОКР ведется в соответствии с национальной налоговой политикой страны	Затраты на НИОКР учитываются при налогообложении прибыли и отражаются в налоговой отчетности

Анализ положений по бухгалтерскому учету ПБУ 14/07 «Учет нематериальных активов» и ПБУ 17/02 «Учет расходов на научно-исследовательские, опытно-конструкторские и технологические работы» показал, что исследовать и регламентировать вопросы бухгалтерского учета затрат на НИОКР отдельно от нематериальных активов нецелесообразно. Первоочередная цель и важнейший результат научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ – создание объекта нематериальных активов, поэтому их идентификация и учет неразрывно связаны друг с другом. Для устранения выявленных недостатков нами были представлены рекомендации по совершенствованию учета результатов интеллектуальной деятельности, в частности научно-исследовательских работ и нематериальных активов, исходя из особенностей российского законодательства. На рис. 1 предложена схема объединения положений по бухгалтерскому учету НИОКР и нематериальных активов.

Рис. 1. Схема учета результатов интеллектуальной деятельности

В рамках объединения положений по учету НИОКР и НМА необходимо дать разграничение этапам создания результатов интеллектуальной деятельности. Предлагается использовать в содержании нового положения по бухгалтерскому учету такие термины, как «исследования» и «разработки», «незавершенные НИОКР», раскрыть их содержание, дать критерии и особенности признания затрат на исследования и разработки, зависящие от их экономической сущности.

Оценку затрат на проведение научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ следует проводить с учетом специфики затрат на этапах жизненного цикла проекта. На основе работ разных авторов нами была разработана модель жизненного цикла с выделением предпроектной и постпроектной стадий, а также с учетом этапа отбора и найма персонала для проведения НИОКР [1–4]. Модель представлена на рис. 2.

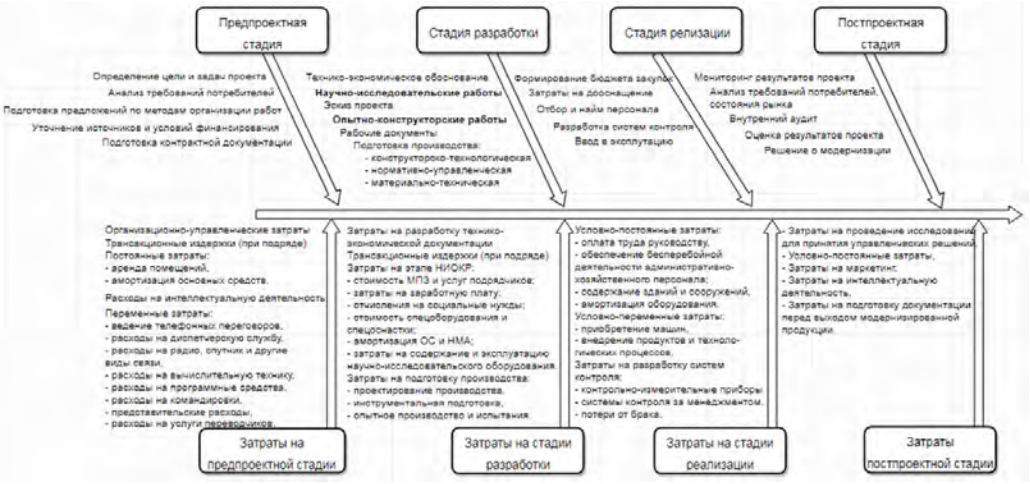


Рис. 2. Схема учета результатов интеллектуальной деятельности

На предпроектной стадии проводятся исследования потребностей потребителей, за счет которого определяется направленность проекта, устанавливаются цели, задачи и способы их достижения. Проведение данных исследований требует трансакционных издержек и организационно-управленческих затрат.

Вторая стадия инновационной модели – стадия разработки. На данной стадии планируются затраты на технико-экономическое обоснование проекта, затраты по этапам НИОКР, а также затраты на подготовку производства. Модель стадий НИОКР и сопутствующих затрат на каждой стадии представлены на рис. 3.

Рис. 3. Затраты на стадии НИОКР

Следующая стадия – стадия реализации. Она содержит такие этапы, как отбор и найм персонала, аттестацию уже работающих сотрудников, составление бюджета закупок, дооснащение, разработку системы контроля и ввод в эксплуатацию. Условно-постоянные затраты сопутствуют каждому из этапов и, как правило, относятся к оплате труда руководства проекта и созданию условий бесперебойной работы персонала, к содержанию зданий и сооружений и к амортизации основных средств. Условно-переменные затраты возникают на этапах формирования бюджета закупок. Здесь следует обратить внимание на затраты на покупку машин и оборудования для внедрения технологических инноваций. На этапе разработки систем контроля могут израсходоваться средства на контрольно-измерительные приборы, различные приспособления и испытания закупленного сырья и материалов, на внедрение различных методик анализа и оценки рисков и подготовки производства в рамках международных стандартов в сфере улучшения систем управления качеством.

Отдельное место в структуре затрат на стадии реализации занимают затраты на процедуру отбора, найма и совершенствование эффективной деятельности персонала. Данный этап не выделяют отдельно, однако учет и контроль затрат на трудовые ресурсы должен осуществляться на всех этапах, требующих подобных затрат. Помимо основного персонала для многих инновационных проектов нанимаются внутренние аудиторы системы менеджмента качества.

Основная цель постпроектной стадии – совершенствование и дополнение продукции с учетом интересов и пожеланий потребителей. Полученная в ходе анализа информация послужит базой для проведения модернизации и усовершенствования продукции. Средства на данном этапе будут необходимы для проведения исследований рынка и анализа требований покупателей.

На постпроектной стадии проводится анализ как внешней среды, так и внутренней. В случае, если организация проводит внутренний мониторинг эффективности деятельности, необходимо учитывать условно-постоянные затраты: амортизацию зданий и сооружений, оплату труда, отчисления во внебюджетные фонды и другие. При внешнем анализе возрастают организационно-управленческие затраты (затраты на маркетинг), здесь также потребуются трансакционные издержки на поиск

информации. При обработке, оценке и анализе полученной информации требуются затраты на интеллектуальную деятельность.

Таким образом, предложенная автором модель жизненного цикла научно-исследовательского (инновационного) проекта, характеризующая состав и содержание затрат по отдельным стадиям его реализации, может быть применена для оценки затрат на проведение НИОКР.

Литература

1. Куркова О.П. Организация и планирование научно-технических исследований и разработок [Электронный ресурс]: монография. СПб: Наукоемкие технологии, 2018. 245 с. Режим доступа: http://publishing.intelgr.com/archive/research-organization.pdf. (дата обращения 12.04.2019.).
2. Искоков М.О. Методология и методика управления затратами на стадиях жизненного цикла инновационного проекта: диссертация на соискание ученой степени доктора экономических наук / Искокова Максима Олеговича; Самарский государственный университет. Самара, 2014. 302 с.
3. Аникейчик Н.Д., Кинжагулов И.Ю., Федоров А.В. Планирование и управление НИР и ОКР. Учебное пособие. СПб: Университет ИТМО, 2016. 192 с.
4. Бойцева А.А., Павлова Е.А. Особенности проведения фундаментальных и прикладных исследований // Альманах научных работ молодых ученых Университета ИТМО. 2015. Т. 1. С. 59-62.
6. Микаелян К.С. Анализ мирового рынка высоких технологий [Текст] // Молодой ученый. 2018. №47. С. 248-253. Режим доступа: https: // moluch.ru/archive/233/54061/. (дата обращения 12.04.2019.).

Проскура Алёна Владиславовна
Год рождения: 1995
Университет ИТМО,
факультет пищевых биотехнологий и инженерии,
студент группы № Т4227,
направление подготовки: 19.04.03 – Специализированные продукты на молочной основе,
e-mail: pav060695@mail.ru
Надточий Людмила Анатольевна
Год рождения: 1972
Университет ИТМО,
факультет пищевых биотехнологий и инженерии,
к.т.н., доцент,
e-mail: l.tochka@mail.ru

УДК 664

РАЗРАБОТКА СОСТАВА И ТЕХНОЛОГИИ ПРОДУКТА НА МОЛОЧНО-РАСТИТЕЛЬНОЙ ОСНОВЕ С РОСТКАМИ СЕМЯН ЧИА (SALVIA HISPANICA L.)

А.В. Проскура

Научный руководитель – к.т.н., доцент **Л.А. Надточий**

Университет ИТМО

Работа выполнена в рамках темы НИР № 218870 «Разработка технологий функциональных пищевых продуктов на основе наноинкапсулированных комплексных биологически активных ингридиентов с научно подтвержденным профилактическим эффектом».

Аннотация
В работе рассмотрена и подобрана рецептура йогурта с добавлением растительного компонента, в частности ростков семян чиа (Salvia hispanica L.), с целью разработки обогащенного и сбалансированного продукта питания с высокой пищевой ценностью. Была подобрана заквасочная микрофлора для производства йогурта и оптимальные режимы получения ростков семян чиа.
Ключевые слова
Функциональные продукты, ростки, семена чиа, кисломолочные продукты.

Создание йогуртов с добавлением наполнителей растительного происхождения является актуальным направлением. По некоторым данным, включение ростков в рацион питания позволяет обогатить его ферментами, антиоксидантами, полисахаридами и пр. В качестве такого наполнителя использовали ростки семян Salvia hispanica L. (Шалфей испанский). В данной работе были подобраны: оптимальные режимы проращивания ростков семян чиа (Salvia hispanica L.); заквасочная культура при получении кисломолочного сгустка (йогурта). Был разработан состав йогурта с добавлением ростков семян чиа (Salvia hispanica L.) и определены требовании к готовому продукту

(органолептические, физикохимические и микробиологические показатели) и сроки его годности.

Растение Salvia hispanica L. производит достаточное количество листьев, которые в дальнейшем возможно использовать в качестве источника биологически активных веществ, однако в отличие от семян, химический состав, фармакологическая и пищевая ценность листьев шалфея испанского на сегодняшний день изучены недостаточно [1].

Экспериментальные данные, полученные в Италии, указывают на наличие в листьях чиа вторичных метаболитов — флавоноидов, включая два соединения: ацетилвитексин и ацетилориентин, о которых ранее не сообщалось [2]. Известно об основных компонентах эфирного масла листьев растения чиа и их метаболитов, включая флавоноиды и фенольные кислоты, которые, как известно, являются антиоксидантами, обеспечивая защиту от окисления и повреждения свободными радикалами. Фенольные соединения являются природными антиоксидантами. Широко изучена антиоксидантная активность семян, однако нет данных об антиоксидантном действии листьев и зеленой части растения чиа [3]. В настоящее время получение микрозелени из ростков семян растений является актуальным направлением. Подробно изучается использование ростков растений в составе продуктов функционального назначения. Есть некоторые данные, что употребление ростков в рационе питания позволит обогатить его ферментами, антиоксидантами и полисахаридами (клетчатка и пектины) и пр. [4].

В данном исследовании впервые проведена комплексная оценка влияния основных внешних факторов на процесс получения проростков семян чиа и выявлены оптимальные режимы получения ростков Salvia hispanica L. В качестве входящих факторов эксперимента были изучены следующие параметры: влияние количества добавленной влаги, воздействие света и влияние температуры на процесс получения ростков из семян чиа.

На первом этапе исследования оптимальных показателей для проращивания семян ростков проводилось согласно ГОСТ 12038-84 «Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения всхожести». Для определения температурного, влажностного и светового факторов подготавливали образцы для проращивания семян путем отсчета 100 штук. Эксперимент каждого образца проводился в четырехкратной повторности. Проращивание семян проводили в чашках Петри продезинфицированных этанолом, на двух слоях фильтровальной бумаги. Предварительно подготовленные образцы семян чиа равномерно распределяли в чашках Петри на слоях бумаги и смачивали дистиллированной водой. Ежедневно чашки Петри приоткрывали для вентиляции воздуха на несколько секунд. Подсчет проросших семян проводили каждый день в течение 7 дней. На 3 день прорастания опытных образцов определяли энергию, всхожесть – на 7 день эксперимента. К числу нормально проросших семян относили семена, имеющие сформировавшийся росток. К не проросшим семенам относили твердые семена, которые к моменту определения всхожести не набухли и не изменили внешнего вида. Влажностный тест Для оценки влияния влажностного режима на динамику проращивания семян чиа подготавливали образцы с добавлением дистиллированной воды в различном объеме: 1 образец – 1 мл воды; 2 образец – 2 мл воды; 3 образец – 3 мл воды; 4 образец – 4 мл воды; 5 образец – 5 мл воды; 6 образец – 6 мл воды. Образцы, исследуемые на влияние фактора увлажненности, выдерживали при комнатной температуре (25°С) в помещении лаборатории при естественном освещении. Световой тест для анализа влияния светового фактора на проращивание ростков семян чиа исследуемые образцы размещали; 1’ образец – при отсутствии света (в темном месте); 2’ образец - при естественном освещении; 3’ образец – при искусственном освещении на расстоянии 30 см от светильника. Линейчатый спектр излучения установленных светодиодных ламп составил максимальное значение на 440 нм в синей

области спектра и 660 нм в красной области. Тест проводился с оптимальными ранее выявленными значениями влажности и при комнатной температуре (25℃). Исследование по выявлению оптимальной температуры для проращивания семян чиа производили с заданными температурами: 1 образец – 20℃, 2 образец – 25℃, 3 образец – 30℃ при оптимальных значениях влажности и освещенности, выявленных на предыдущих этапах. За результат анализа принимали среднеарифметическое значение результатов определения всхожести проб в четырех повторностях. Определяли скорость и дружность прорастания семян. Скорость прорастания характеризует средневзвешенное количество дней, за которое прорастает одна семянка. Этот показатель рассчитывается по формуле (1), суток

$$\text{Скорость прорастания} = \frac{(\mathrm{A}\mathbf{1}\cdot\mathbf{1})+(\mathrm{A}\mathbf{2}\cdot\mathbf{2})+\cdots+(\mathrm{A}\boldsymbol{n}\cdot\boldsymbol{n})}{(\boldsymbol{A1}+\boldsymbol{A2}+\cdots+\boldsymbol{An})}, \quad (1)$$

где A(n) – количество семян, проросших в 1, 2,…n сутки прорастания; 1, 2,..n – сутки проращивания семян.

Дружность прорастания определяет количество семян, проросших за одни сутки.

Дружность прорастания семян рассчитывается по формуле (2), штук семян

$$\text{Дружность прорастания } \frac{\boldsymbol{A}}{\boldsymbol{N}}, \quad (2)$$

где А – количество семян, проросших (в пересчете на 100 семянок) за весь период опыта;

N – количество суток, в которые семена прорастали.

А – количество семян, проросших (в пересчете на 100 семянок) за весь период опыта;

N – количество суток, в которые семена прорастали.

Эксперименты проводили в четырехкратной повторности. Данные обрабатывали методом математической статистики с нахождением доверительного интервала при вероятности 0,95 с использованием MS Excel.

На втором этапе исследований титруемую кислотность кисломолочного сгустка определяли титриметрическим методом с применением индикатора фенолфталеина согласно ГОСТ 3624-92. Активную кислотность определяли с помощью прибора pH-метра 410 согласно ГОСТ 32892-2014. Для измерения динамической вязкости опытных образцов использовали цифровой вискозиметр Brookfield LVDV-E. Аппарат представляет собой простейший цифровой вискозиметр с ЖК-дисплеем, отображающим текущее значение вязкости (сПа или мПа·с), крутящего момента (%), скорости (об. / мин.), типа измерительной системы. Работа вискозиметра Брукфильда основана на стандартном принципе ротационной вискозиметрии: измерение вязкости осуществляется посредством пересчета крутящего момента, необходимого для вращения шпинделя прибора с постоянной скоростью при погружении его в исследуемую среду. Влагосвязывающую способность заквасок определяли по количеству выделившейся сыворотки в процессе центрифугирования. 10 см^3 разрушенного сгустка вносили в центрифужную пластмассовую пробирку вместимостью 15 см^3 и центрифугировали при 1500 об/мин в течение 5 минут. После остановки центрифуги в образце измеряли объем выделившейся сыворотки путем декантации ее в градуированную стеклянную центрифужную пробирку на 10 см^3. По количеству выделившейся сыворотки судили о способности сгустков к влагоотдаче. Результаты выразили в количестве миллиметров сыворотки, полученной из 10 см^3 сгустков (см^3/10 см^3). Количество выделившейся сыворотки измеряли через каждые 5 минут в течение 30 минут. Все испытания исследуемых образцов проводили в 3-х – 5-ти кратной повторности с доверительной вероятностью 0,95. Органолептическая оценка исследуемых образцов проводилась

согласно ГОСТ 31981-2013 «Йогурты. Общие технические условия». Органолептические показатели (вкус, запах, консистенция) исследуемых образцов определялись дегустационной комиссией с использованием описательного метода сенсорного анализа, основанного на словесном описании органолептических свойств продукта. С целью проведения органолептической оценки были отобраны свежеприготовленные образцы йогуртов с использованием вышеперечисленных видов заквасочных культур. Использование описательного метода сенсорного анализа, основанного на словесном описании органолептических свойств продукта, позволило дегустаторам оценить следующие органолептические показатели опытных образцов йогурта, такие как вкус, запах и консистенция. По результатам исследований можно сделать вывод о том, что закваски производителя Ingredients® LC имеют наибольшую влагоудерживающую способность из всех исследуемых образцов заквасок. Наименьшими влагоудерживающими свойствами обладают образцы заквасок Скваска и ВНИИЖ.

Таким образом по совокупности органолептических, физико-химических свойств для производства йогурта рекомендована закваска, состоящая из Str.thermophilus (вязкие штаммы) и Lbm. Bulgaricus от производителя BDF Natural Ingredients®.

Проведя анализ научных данных, на основании которых был изучен состав и полезные свойства проростков семян чиа, в качестве наполнителя для йогурта были выбраны:

- джем
- ростки семян чиа

Целью эксперимента была разработка рецептуры обогащенного йогурта, обеспечивающего не менее 5 % функциональности от уровня суточного потребления в количестве разовой порции.

В таб. 1 представлены 3 рецептуры с различным соотношением двухкомпонентного наполнителя для одной порции йогурта в 100 г.

Таблица 1

Рецептура двухкомпонентного наполнителя

№ образца	Ростки, г	Джем, г
1	2,5	2,5
2	3,75	1,25
3	1,25	3,75

Органолептическая оценка образцов проводилась группой, состоящей из 5 экспертов. Проводили оценку основных показателей, таких как консистенция, цвет, запах, вкус и внешний вид. Была использована стандартная 5-ти балльная шкала для количественного выражения результатов оценивания. Коэффициент весомости для каждого показателя составил 0.25.

Описание органолептических показателей исследуемых образцов представлено в таб. 2.

Исходя из оценок экспертов, наилучшими органолептическими показателями, обладал образец 1, так как продемонстрировал максимально высокие оценки, представленные в таб. 3.

Таблица 2

Органолептическая оценка исследуемых образцов

Образец	Вкус и запах	Цвет	Консистенция
Контроль	Чистый, ярко выраженный кисломолочный, вкус и запах, без посторонних привкусов	Молочно-белый, однородный, равномерный по всей масс	Однородная, с нарушенным сгустком, меру вязкая
1	Кисломолочный с приятным, выраженным ароматом и вкусом джема. В меру сладкий	Нежно-розовый, в меру однородный с небольшими вкраплениями нерастворимых частиц	Неоднородная, в меру вязкая, с небольшими вкраплениями нерастворимых частиц
2	Кисломолочный с приятным, выраженным ароматом и вкусом джема	Нежно-розовый, в меру однородный с небольшими вкраплениями нерастворимых частиц	Неоднородная, в меру вязкая, с небольшими вкраплениями нерастворимых частиц
3	Кисломолочный с приятным, выраженным ароматом и вкусом джема. Сладковат	Розоватый, в меру однородный с небольшими вкраплениями нерастворимых частиц	Неоднородная, в меру вязкая, с небольшими вкраплениями нерастворимых частиц

Таблица 3

Результат органолептической оценки

Показатель	Средняя оценка		
	1	2	3
Консистенция	4.5	4.2	4.5
Цвет	4.8	4.5	4.7
Запах	4.4	4.3	4.4
Вкус	4.8	4.0	4.5
Внешний вид	4.5	4.5	4.5

На основании выбранного образца по органолептическим показателям двухкомпонентного наполнителя для дальнейшего изучения была составлена рецептура готового продукта (йогурта):

Рецептура готового продукта представлена в таб. 4.

Таблица 4

Рецептура йогурта

Сырье, г на 100 г продукта	Количество, г
Йогурт без наполнителя	95
Джем	2,5
Ростки	2,5

Согласно техническому регламенту таможенного союза "О безопасности молока и молочной продукции" (ТР ТС 033/2013) срок годности йогурта составляет не более 72ч при хранении при температуре (4±2) °С по ГОСТ 319812013 «Йогурты. Общие технические условия».

В рамках настоящего исследования впервые подобраны рациональные режимы проращивания ростков семян чиа (Salvia hispanica L.) из расчета на опытный образец в количестве 100 штук семян чиа. В частности определены следующие режимы: массовая доля добавленной воды составила 4 мл, температура воздуха – 25°С и искусственное освещение с длиной волн 440 нм и 660 нм в условиях гидропонной установки. По совокупности физико- химических и структурно-механических показателей опытных образцов сгустков для производства йогурта рекомендована заквасочная микрофлора, состоящая из Str.thermophilus и Lbm. Bulgaricus от производителя BDF Natural Ingredients®. Подобран двухкомпонентный наполнитель для производства йогурта в количестве 5% и в соотношении 50% ростки семян чиа и 50% джема фирмы ЗАО «Puratos». Йогурт с данным наполнителем получил наивысшую органолептическую оценку (4,7 балла) по комплексному показателю качества среди опытных образцов с наполнителем. Установлены требования к йогурту с наполнителем сроком годности не более 72ч., которые обеспечивают показатели качества и безопасности к готовому продукту.

Литература

1. Ahmed M. Leaf oil composition of Salvia hispanica L. from three geographical areas / Ahmed M., Ting I.P., Scora R.W. // Journal Essential Oils Research. 1994. no. 6. P. 223–228.
2. Amato M. Seed quality, oxidative stability and leaf metabolites of chia (Salvia hispanica L.) / Amato M., Caruso M.C., Guzzo F., Commisso M., Bochicchio R., Galgano F., Labella R., Favati F. // European Food Research and Technology. 2015. № 5. P. 615–625.
3. Taga M.S. Chia seeds as a source of natural lipid antioxidants / M.S. Taga, E.E. Miller, D.E. Pratt // Journal of the American Oil Chemists' Society. 1984. № 61. P. 928–931.
4. mato M. Nutritional quality of seeds and leaf metabolites of Chia (Salvia hispanica L.) from Southern Italy / M. Amato, M.C. Caruso, F. Guzzo, M. Commisso, R. Bochicchio, F. Galgano // European Food Research Technology. – 2015. – no. 3. – P. 615–625.

Ряскин Глеб Александрович
Год рождения: 1995
Университет ИТМО,
факультет безопасности информационных технологий,
студент группы № N4254,
направление подготовки: 10.04.01 – Информационная безопасность,
e-mail: ryaskingleb21@gmail.com
Левина Алла Борисовна
Год рождения: 1983
Университет ИТМО,
факультет безопасности информационных технологий,
к.ф.-м.н., доцент,
e-mail: levina@cit.ifmo.ru

УДК 004.052.42

РАЗРАБОТКА ПОМЕХОУСТОЙЧИВЫХ НАДЕЖНЫХ КОДОВ НА ОСНОВЕ БЕНТ -ФУНКЦИЙ И ВЕЙВЛЕТ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ

Г.А. Ряскин

Научный руководитель – к.ф.-м.н., доцент **А.Б. Левина**

Университет ИТМО

Работа выполнена в рамках темы НИР № 619296 «Разработка методов создания и внедрения киберфизических систем».

Аннотация
В работе рассматривается разработка помехоустойчивого надежного кодирования на основе бент-функций и сплайн-вейвлетных разложений, а также приложение в системе связи CDMA. Произведено сравнение с кодами, использующиеся в системах связи CDMA, с последующим анализом результатов. В результате предложены схемы по использованию надежных кодов. Разработанная схемы надежного сплайн-вейвлетного бент кода при внедрении в системы связи обеспечивает более высокие показатели по защите информации в случае защиты информации от атак по сторонним каналам в сравнении с существующими решениями. Данные конструкции кодов и схемы внедрения в CDMA можно применять в задачах обеспечения безопасности информации. Разработанные конструкции обладают более лучшими показателями максимальной вероятности маскировки ошибки по сравнению с рассматриваемыми надежными кодами.
Ключевые слова
помехоустойчивое кодирование, бент-функции, вейвлет преобразование, сплайн-вейвлетное преобразование, надежные коды, система связи CDMA.

Введение

Одним из эффективных способов по решению задачи обеспечения высокой достоверности информации при ее передаче является использование теории кодирования и помехоустойчивых кодов [4, 7]. Злоумышленник, осуществляя различные воздействия на аппаратную составляющую кодирующего устройства с целью

возникновения искажений информации на некоторых этапах кодирования, управляя и анализируя ошибки, может изменять передаваемую по каналу информацию [2]. Для обеспечения защиты против подобных атак используют надежные коды, которые строятся на нелинейных функциях [5]. В рамках данного исследования в качестве нелинейных функций было предложено использование бент - функций и сплайн-вейвлетное разложение [1, 3].

Целью работы является защита информации в канале передачи данных от атак по сторонним каналам и повышения надежности кода путем разработки надежного кода на основе бент-функций и вейвлет преобразовании. Для достижения цели был проведен анализ существующих решений по защите информации в канале передачи данных от атак по сторонним каналам, определены наиболее используемые помехоустойчивые кодовые конструкции. Разработаны конструкции помехоустойчивых надежных кодов на основе сплайн - вейвлетных разложений первого порядка и бент-функций различной степени. Произведена проверка надежности разработанных кодов с точки зрения защиты от атак по сторонним каналам, а также сравнение характеристик разработанных конструкций кодов с характеристиками существующих надежных кодов. Построена модель внедрения надежных кодов в системе связи CDMA. В результате работы предложены возможные способы применения теории вейвлетных разложений и бент-функций для создания надежных кодов, а также разработана возможная реализация алгоритмов надежного кодирования в системе связи CDMA. Разработанные конструкции надежного сплайн-вейвлетного бент кода являются надежным кодом, обладают более низким значением максимальной вероятности маскировки ошибки по сравнению с существующими конструкциями надежных кодов, позволяют обеспечивать защиту от атак по сторонним каналам, и их использование в системе связи CDMA повышает защищенность системы от действий злоумышленника.

Сплайн-вейвлет бент коды

В данном разделе представлены бент-функции с разными степенями, построенные на основе сплайн-вейвлетного разложении и информационных символов для n = 8. Каждая, приведенная функция является бент-функцией и строились на основе сплайн-вейвлетов и существующих алгоритмов бент-функций. Для всех функций вейвлетный элемент вычисляется по функции сплайн-вейвлетного разложения 1 порядка [6]:

$$Wave_k = c_k - c_{k+1} - (x_{k+2} - x_{k-1})(x_{k+2} - x_k)^{-1}(c_{k-1} - c_{k+1})$$

Функции для $n = 8$ представлены в таб. 1, также приведены условия сетки и степень функции.

Таблица 1

Сплайн вейвлетный бент код для *k=8*

Имя функции	Сетка	Функция	Deg (f)
Функция №1	$x_i = c_i$	$f_i = c_{i+1} * c_{i+3} * c_{i+4} + c_{i+2} * c_{i+3} * c_{i+5} + Wave_{i+2} * c_{i+6} + c_i * c_{i+3} + c_i * c_{i+5} + c_{i+2} * c_{i+3} + c_{i+2} * c_{i+4} + c_{i+2} * c_{i+5} + c_{i+3} * c_{i+4} + c_{i+3} * c_{i+5} + c_{i+6} * c_{i+7}$	4

Продолжение таблицы

Имя функции	Сетка	Функция	Deg (f)
Функция №2	Статическая	$f_i = c_i * c_{i+1} * Wave_{i+2} + c_{i+1} * c_{i+3} * Wave_{i+4} + c_i * c_{i+1} + c_i * c_{i+3} + c_{i+1} * c_{i+5} + c_{i+2} * c_{i+4} + c_{i+3} * c_{i+4} + c_{i+6} * c_{i+7}$	3
Функция №3	$x_i = c_{7-i}$	$f_i = c_i * c_{i+1} + Wave_{i+2} * c_{i+3} + c_{i+4} * c_{i+5} + c_{i+6} * c_{i+7}$	4
Функция №4	Статическая	$f_i = c_i * Wave_i + c_{i+1} * Wave_{i+2} + c_{i+2} * Wave_{i+4} + c_i * c_{i+3} + c_{i+1} * c_{i+5} + c_{i+2} * c_{i+3} + c_{i+2} * c_{i+4} + c_{i+2} * c_{i+5} + c_{i+3} * c_{i+4} + c_{i+3} * c_{i+5} + c_{i+6} * c_{i+7}$	2

$$R = \max_{e \in GF(2^n)} |\{x \mid x \in C, x + e \in C\}|,$$

где + это покомпонентное сложение по модулю два.

Величина R является важнейшим параметром надежного кода. Для любой ошибки в канале передачи данных вероятность маскировки ошибки $Q(e)$ может быть задана как:

$$Q(e) = \frac{|\{x \mid x \in C, x + e \in C\}|}{M} \quad (1)$$

Рассчитаем параметр R и максимальную вероятность маскировки ошибки в случае n = 8, результаты приведены в таб. 2. Также для сравнения с используемыми конструкциями был взят надежный код Кердока.

Таблица 2

Сравнение кодов

Функция	Степень функции	R	Максимальная вероятность маскировки ошибки, Q(e)
Функция №1	4	96	0,375
Функция №2	3	120	0,46875
Функция №3	4	96	0,375
Функция №5	2	128	0,5

При защите канала передачи данных от действий злоумышленника чем ниже значение параметра R, тем код более надежный. Поэтому создаем новую конструкцию надежного сплайн-вейвлетного кода с более низким значением R для функций из таб. 1.

Сплайн-вейвлетный код

Пусть $c = \{c_1, c_2, \dots, c_{n-1}, c_n\}$ обозначает кодовое слово некоторого разделяемого (n, k) кода. Тогда $\{c_1, c_2, \dots, c_{k-1}, c_k\}$ является информационной частью этого кода, а

$\{c_{k+1}, \dots, c_n\}$ – проверочной. В данной конструкции для всего кода выбирается сетка $x = \{x_1, x_2, \dots, x_{k-1}, x_k\}$, выбрасывается любые элементы на усмотрение инженера, $n = k + 2$. Выбрасываемые элементы будем обозначать множеством $z = \{z_1, \dots, z_{(n-k)/2}\}$, вейвлетные элементы $b = \{b_1, \dots, b_{(n-k)/2}\}$. Функция $f_0(c_1, c_2, \dots, c_m)$ – это функция из таб. 5 или функция из таб. 6, где $m = 6$ или $m = 8$.
Пусть с $= (c_1, c_2, \dots, c_n)$ – вектор поля $GF(2^n)$. Вектор с принадлежит коду, если

$$c_{k+j} = c_{z_i} + c_{z_i+1} + \left(x_{z_i+2} + x_{z_i-1}\right)\left(x_{z_i+2} + x_{z_i}\right)^{-1}(c_{z_i-1} + c_{z_i+1}),$$

$$b_{z_i} = c_{z_i} + c_{z_i+1} + \left(x_{z_i+2} + x_{z_i-1}\right)\left(x_{z_i+2} + x_{z_i}\right)^{-1}(c_{z_i-1} + c_{z_i+1}).$$

При четном z_i:

$$\mathrm{c}_{k+j+(n-k)/2} = f_0(c_1, c_2, \dots, c_{k-1}, c_m) + c_{m+1} * c_{m+2} + \dots + c_{k-1} * c_k.$$

При нечетном z_i:

$$\mathrm{c}_{k+j+(n-k)/2} = f_1(c_1, c_2, \dots, c_{k-1}, c_m) + c_{m+1} * c_{m+2} + \dots + c_{k-1} * c_k,$$

где $1 \le j \le (n-k)/2, k$ – количество проверочных символов в коде, $z_i \in z$, «+» – сложение по модулю 2, соответствует операции XOR, «*» – произведение в поле $GF(2)$.

В результате была получена конструкция сплайн-вейвлетного бент кода, в которой используются бент-функции различных степеней, и различные значения сеток. Их использование позволяет наиболее качественно защититься от атак по сторонним каналам. Построим алгоритм работы надежных кодов в существующем канале передачи данных, наиболее лучшим примером для построения является канал передачи данных на основе системы связи CDMA. Далее разберем структуру CDMA, и использование в нем надежного кодирования.

Использование надежного кодирования в CDMA

Если рассматривать упрощенную схему, необходимую в рамках данного исследования, то архитектура работы кодирования информации в CDMA будет выглядеть как показано на рис. 1.

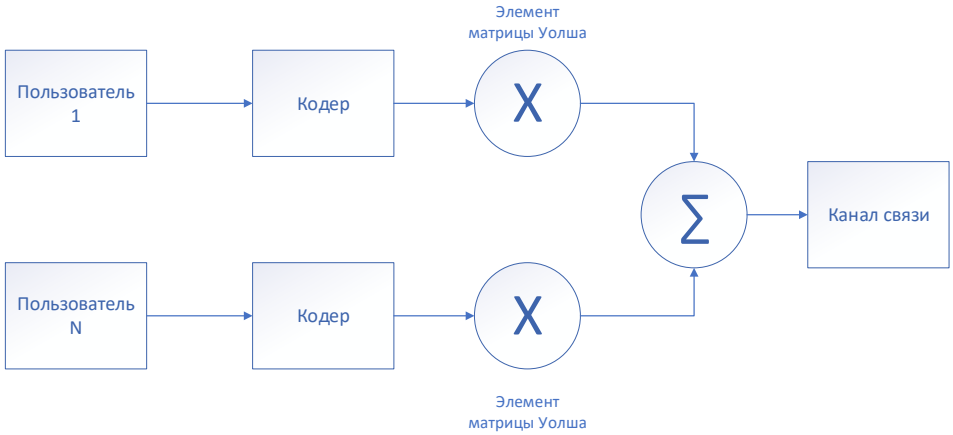


Рис. 1. Упрощенная схема кодирования в CDMA

Для внедрения надежного кодирования в CDMA необходимо выбрать такое же

количество информационных и добавочных символов, как и в существующих вариантах архитектуры кодирования. В различных версиях CDMA используется код Хэмминга или сверточные коды, в которых количество информационных символов равно количеству добавочных символов, длина блока информационных символов k не должна превышать значение девяти – $k < 9$, соответственно $n = 2k$.

Возьмем количество информационных символов $k = 6$ и соответственно длина кодового слова $n = 12$. При внедрении надежного кода поделим кодер на 2 части, сначала кодируем информационное слово линейным кодом, для того чтобы исправлять одиночные ошибки, затем надежным кодом для защиты от атак по сторонним каналам. В результате при использовании надежного кодирования при $k = 6$, избыточных символов линейного кода (код Хэмминга) равняется 4, и избыточных символов надежного кода – 2, для которого входящим словом является информационное слово + код Хэмминга. Пример схемы реализации представлен на рис. 2.

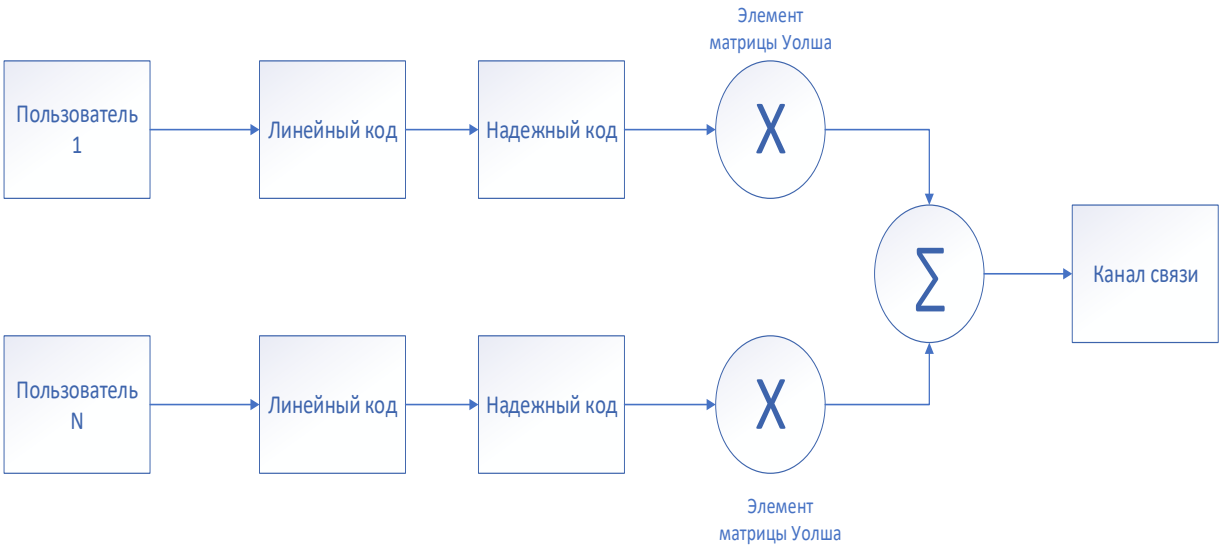


Рис. 2. Схема кодирования в CDMA с надежным кодом

В результате дополнительные избыточные символы в систему не будут введены, и никаких дополнительных изменений в систему вводить не требуется, кроме кодирующего модуля. Сравним характеристики, которые получаем при кодировании информации надежным кодом с существующими решениями, возьмем алгоритмы сплайн – вейвлетного бент кода с разной степенью бент-функций, в которых будем использовать функции №1 и №3 из таблицы 6.2.4 Так как для функции №3 сетка статична, возникает вопрос передачи сетки приемнику. В случае кодирования информации в системе связи CDMA в качестве сетки предлагается взять код Уолша для каждого отдельного пользователя. В результате каждому пользователю будет соответствовать кодовый элемент из матрицы Уолша, это решает задачу передачи сетки, а также помогает определить на каком этапе возникают ошибки в канале передачи данных: на кодирующем устройстве или помехи в канале связи.

Сравним характеристики, которые получаем при кодировании информации надежным кодом с существующими решениями, возьмем алгоритмы сплайн – вейвлетного бент кода с разной степенью бент-функций, в которых будем использовать функции №1 и №2 из таблицы 1. Сравнивать характеристики будем по максимальной веротность маскировки ошибки (1) и по количеству битов, которое может исправить приемник.

Для надежного кода нет необнаруживаемых ошибок, в отличие от системы

кодирования в CDMA, также стоит уточнить, что если бы в качестве надежного кода использовался код Кердока, то по таб. 3 данный код обладал бы большей максимальной вероятностью маскировки ошибки чем разработанные конструкции.

В CDMA помехоустойчивый код используется для исправления минимальных ошибок, для этого в предлагаемой архитектуре кроме как надежного кодирования используется линейное кодирование. В разработанных конструкциях и в существующих решениях можно исправить только одиночные ошибки в канале. По данному параметру разработанная архитектура не уступает текущим решениям, тем самым один из главных смыслов использования помехоустойчивого кода в CDMA не нарушается.

Таблица 3

Максимальная вероятность маскировки ошибки

Код	Максимальная вероятность маскировки ошибки, $Q(e)$	Количество битов, которое можно исправить
Надежный бент-вейвлет код (функция №1)	0,375	1
CDMA с кодом Хэмминга	1	1
CDMA с сверточным кодом	1	1
Надежный бент-вейвлет код (функция №3)	0,4675	1
Код Кердока	0,5	0

Время кодирования в CDMA в текущем режиме намного более меньше, чем для надежного кода, объясняется это тем, что количество операций больше для надежного кода, а также более трудоемко, ввиду операции умножения.

Также важным требованием является равномерная защита от ошибок различного веса, рассчитаем и составим диаграмму вероятности обнаружения ошибок различных весов для сравниваемых конструкций, результат представлен на рис. 3.

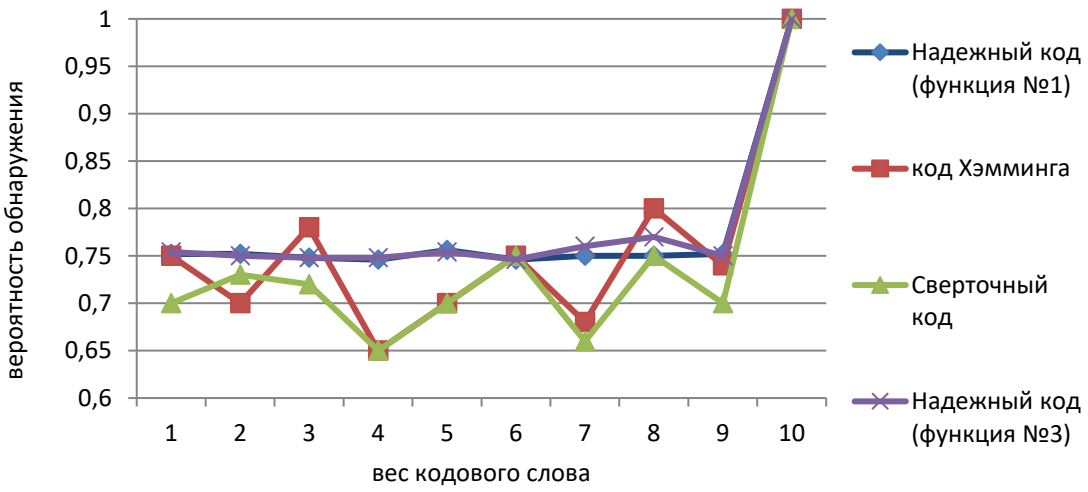


Рис. 3. Вероятность обнаружения ошибок различного веса

Надежные коды обладают равномерной вероятностью обнаружения ошибок различных весов, из всех выше представленных результатов можно сделать вывод что надежные коды в системе CDMA защищают от действий злоумышленника.

Внедрение надежного кодирования сильно повышает надежность системы CDMA от атак по сторонним каналам и действий злоумышленника, но время кодирования информации занимает большее время, чем для существующих реализаций CDMA.

Заключение

Разработанная схемы надежного сплайн-вейвлетного бент кода при внедрении в системы связи:

- обеспечивает более высокие показатели по защите информации в случае защиты информации от атак по сторонним каналам в сравнении с существующими решениями;
- обладает распределением вероятности обнаружения ошибок близким к равномерному распределению, что позволяет обеспечить защиту от атак по сторонним каналам.

Литература

1. Демьянович Ю. К., Ходаковский В. А., Введение в теорию вэйвлетов. Спб.: Изд-во ПГУПС, 2007. 49 с.
2. Жуков А.Е. криптоанализ по побочным каналам (Side Channel Attacks) [текст] / Жуков А.Е. // защита информации. инсайд. 2010. № 5. с. 28–33.
3. Левина А.Б., Сплайн-вэйвлеты и их некоторые применения. дис. на соиск. учен. степ. канд. физ.-мат. наук. Москва, 2009. 215 с.
4. Левина А.Б., Ряскин Г.А. Создание надежных кодов на основе бент-функций и вейвлет-преобразований // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2018. Т. 18. № 6(118). С. 1008–1015.
5. Токарева Н.Н., Нелинейные булевы функции: бент-функции и их обобщения – Saarbrucken, Germany: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2011. –180 с. – ISBN 978-3-8433-0904-2.
6. Fekri F., Mersereau R.M. and Schafer R.W., Theory of wavelet transform over finite fields, IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing 3 (1999) 1213–1216.
7. Karpovsky M.G., Kulikowski K., Wang Z., Robust Error Detection in Communication and Computation Channels // Keynote paper, Int. Workshop on Spectral Techniques, 2007.

Смирнова Полина Владиславовна
Год рождения: 1995
Университет ИТМО,
Институт дизайна и урбанистики,
студент группы № С4255,
направление подготовки: 09.04.03 – Прикладная информатика,
e-mail: pvsmirnova@itmo.ru
Кононова Ольга Витальевна
Год рождения: 1964
Университет ИТМО,
Институт дизайна и урбанистики, доцент,
к.э.н., доцент,
e-mail: kononolg@yandex.ru

УДК 004.9

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ГЕЙМИФИКАЦИИ В РАЗРАБОТКЕ ЭЛЕКТРОННЫХ КУРСОВ ДЛЯ ОБУЧЕНИЯ ГОСУДАРСТВЕННЫХ СЛУЖАЩИХ

П.В. Смирнова

Научный руководитель – к.э.н., доцент **О.В. Кононова**

Университет ИТМО

Аннотация
В статье представлены результаты анализа российского и зарубежного опыта разработки электронных курсов с применением геймификации для обучения государственных служащих. В ходе исследовательской работы была разработана модель электронного курса для обучения государственных служащих с применением геймификации, которая была использована при разработке электронного курса «Эффективная презентация» для реализации в СПб МРЦ.
Ключевые слова
Электронные обучающие курсы, геймификация, обучение государственных служащих, игровые элементы, модель электронного курса.

Использование дистанционных образовательных технологий, электронного обучения при реализации программ обучения государственных служащих является насущной необходимостью, так как позволяет сотрудникам органов государственной власти и местного самоуправления регулярно в соответствие с законодательством РФ повышать квалификацию «не отходя от рабочего места». Ряд исследователей, например, авторы статьи [1], пришли к выводу, что традиционные формы обучения с отрывом от производства не дают эффекта, требуемого Федеральным законодательством. Электронное обучение в свою очередь не решает всех задач, связанных с организацией учебного процесса и поддержанием устойчивого интереса обучающихся к изучению курсов. Поэтому целесообразным при обучении государственных служащих является применение элементов геймификации.

К возможности использования элементов геймификации в электронных курсах пришли и сотрудники Санкт-Петербургского «Межрегионального ресурсного центра» (СПб МРЦ) – учебного центра Администрации Губернатора Санкт-Петербурга, который проводит дополнительное профессиональное обучение государственных служащих всех исполнительных органов государственной власти, в том числе с использование электронных курсов, на базе которого был разработан электронный курс и использовались научные результаты проведенного исследования. Геймификация – использование элементов игрового дизайна в неигровых контекстах [2].

Целью исследования является разработка модели электронного курса с применением элементов геймификации для обучения государственных служащих.

Анализ нормативной документации, законодательства, профессиональных и образовательных стандартов выявил, что при формировании результатов обучения необходимо опираться на стандарты, делая акцент на знания, умения и навыки. На федеральном уровне требования к электронным обучающим курсам не определены. Геймификации в обучении государственных служащих не должна акцентировать внимание на своей игровой направленности. Благодаря этому возникнет ощущение направленности на более взрослую аудиторию.

Вклад в теорию применения технологий геймификации внесли Г. Зихерманн, К. Каннингем, Дж. Линдер, Д. Хантер, К. Вербах, С. Детердинг, К. Хуотари, Дж. Хамари и другие ученые, работы которых отразили исследование сущности геймификации, ее принципов и элементов. Для выявления перспективных предложений и практик применения геймификации был проведен анализ корпуса текстов, найденных по тематическому запросу «gamification» в базах ScienceDirect, Web of Science и Scopus. Экспертным путем был отобран 301 источник. Динамика интереса научного сообщества (по количеству публикаций) по теме геймификации представлена на рис. 1.

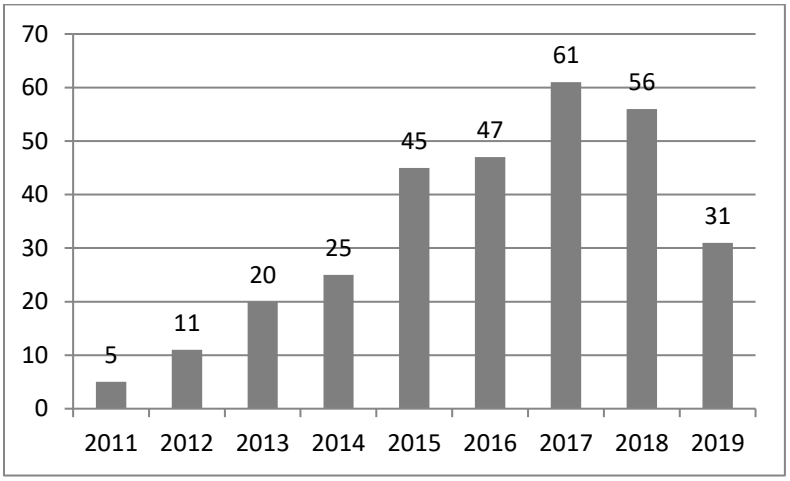


Рис. 1. Количество публикаций по годам: ScienceDirect, Web of Science, Scopus

Был использован метод отбора ключевых термин-концептов для выявления основных тематических направлений применения геймификации. Результаты тематического запроса за 2010-2019 гг.: только одна публикация датирована 2010 годом; количество публикаций за 2019 год, как ожидается, будет не меньше, чем в предыдущем году. В результате обзора научной литературы было выявлено несколько сфер применения технологии геймификации (рис. 2).

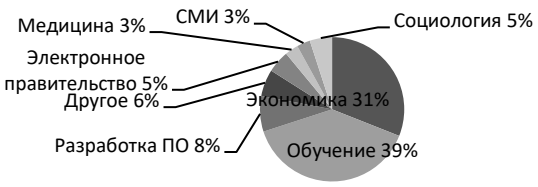


Рис. 2. Сферы применения технологий геймификации

В научной работе рассматривалась сфера образования – наиболее разработанный сегмент применения геймификации, необходимость применения геймификации для обучения государственных служащих также обоснована рядом исследований (таб. 1).

Таблица 1

Обзор опыта применения геймификации в обучении государственных служащих

Авторы	Аспект	Результаты
J.T. Harviainen, L. Hassan, 2019 г.	Профессиональная деятельность государственных служащих	Разработана дорожная карта для выявления факторов, которые необходимо учитывать при применении геймификации в государственной службе и государственном секторе в целом. Такая дорожная карта необходима для практической реализации проекта по геймификации в госсфере.
В. Дмитриев, 2017 г.	Обучение государственных служащих	Проведен тренинг по игрофикации для региональных чиновников, устроенный РАНХиГС в 2016 г. Разработано восемь концепций игрофикации дополнительного образования.
Герасимова О.Ю., Кошелева Н.В. 2016 г.	Электронного обучения для государственных служащих Ульяновской области	Повышение качества обучения за счет улучшения доступа к ресурсам и сервисам, а также удаленного обмена знаниями.
Демина С.В., Рогач О.В. 2018 г.	Дистанционное обучение сотрудников государственных учреждений	Визуализированы успехи и достижения сотрудников и ввести соревновательный аспект для увеличения мотивации.
Лялина В.О., Виниченко М.В. 2016 г.	Аттестация государственных гражданских служащих	Внедрены игровые методы, что позволит объективно выявить наиболее перспективных сотрудников.
Уфимская Я.А., Шалашникова В.Ю. 2016 г.	Конкурсный процесс при поступлении на государственную гражданскую службу	Вовлечение кандидата в гипотетическую ситуацию, связанную с профессиональной деятельностью. Комиссия выявила, насколько человек профессионален и какими качествами владеет

Результаты представленных исследований говорят о положительном влиянии на качество получения знаний.

Распространённой ошибкой является отсутствие системного подхода и слепое копирование инструментов, используемых в других электронных образовательных ресурсах. Применение геймификации представляет собой алгоритм внедрения её

элементов в образовательный процесс. Внедрение элементов геймификации заключается в добавлении элементов поверх электронного курса, не меняя структуры: формирование системы баллов, добавление бейджей и рейтингов обучающихся.

На более высоком уровне добавляются более сложные элементы, такие как сторителлинг, частичная и постепенная подача информации, ощутимое усложнение контента от уровня к уровню, ввод игровых форм заданий, добавление прогресс-бара. Прогресс прохождения курса станет 100%, если будет пройдены теоретические модули и практические задания. Будет учитываться количество попыток прохождения заданий.

Может быть целый ряд показателей. Сравнения по количеству набранных баллов необходимо для общего рейтинга. Каждый рейтинг строится по одному из показателей. Достижения присуждаются пользователю за совершение комбинаций заранее установленных действий. Должен присутствовать соревновательный момент: статистика прохождения, в которой отображаются результаты и количество баллов, доступна к просмотру других членов коллектива. Отображены области знаний и навыков, в которых обучающийся отточил свои умения.

На протяжении всего курса отслеживаем статистику по прохождению заданий и освоению материала. В любой момент обучающийся может видеть шкалу прогресса по каждой части электронного курса, а также свою статистику на отдельном экране. Геймификация должна прослеживаться на протяжении всего курса. Учитывая специфику обучения государственных служащих, было принято решение использовать следующие элементы геймификации:

1. Прогресс-бар (шкала прогресса).
2. Баллы.
3. Достижения.
4. Рейтинг (таблица лидеров).
5. Сторителлинг.

Таким образом, исходя из изученных подходов, модель электронного курса с применением технологии геймификации для государственных служащих должна состоять из четырех частей: геймификационной, содержательной, структурной и контрольной (рис. 3).

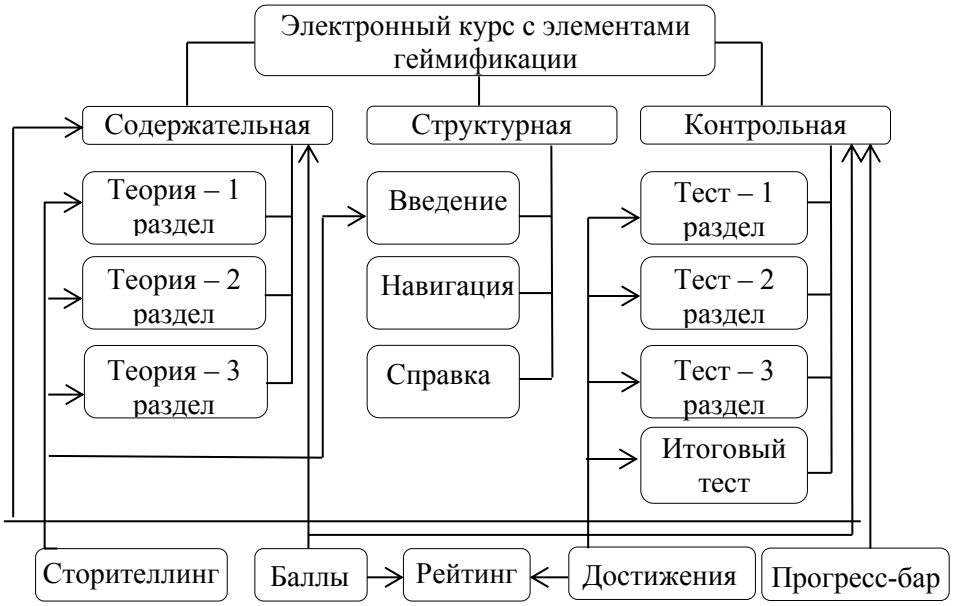


Рис. 3. Модель электронного курса с применением геймификации для обучения государственных служащих

Разработанную модель электронного курса можно будет применять при создании электронных курсов для обучения государственных служащих с использованием технологии геймификации. Рассмотрим средства для разработки электронных курсов, обладающих потенциалом для геймификации обучения. Их выбор зависит от целей и требований, поставленных преподавателем к результатам обучения. В результате проведенного исследования были выявлены профессиональные программные продукты для разработки электронных курсов, разработанные российскими компаниями: Competentum.ABTOP, eAuthor CBT, CourseLab; и зарубежными компаниями: Adobe Captivate, iSpring и Articulate Storyline. Результаты сравнения программных продуктов по функциональных возможностям, которые важно учитывать при выборе средства для разработки электронных обучающих курсов с применением геймификации представлены в таб. 2.

Таблица 2

Сравнение инструментальных средств для разработки электронных курсов

Характеристики / Программные продукты	Competentum. ABTOP	eAuthor	CourseLab	Adobe Captivate	iSpring	Articulate Storyline
Свободное распространение	-	+	-	-	-	-
Интеграция с PowerPoint	-	-	-	+	+	+
Аудиосопровождения	-	-	+	+	+	+
Персонажи	+	+	+	+	+	+
Средство построения тестов	+	+	+	+	+	+
Встроенный механизм анимации объектов	+	+	+	+	+	+
Поддержка стандарта SCORM	+	-	+	+	+	+
Drag and Drop интерфейс	+	+	-	-	+	+
Имеет русификацию	+	+	+	-	-	-
Инструменты рисования графических объектов	-	-	+	+	+	+
Триггеры	-	-	+	+	+	+
Переменные	-	-	+	+	-	+
Итого:	6 из 12	6 из 12	9 из 12	9 из 12	9 из 12	10 из 12

В результате сравнения было выявлено наиболее функциональное программное средство для разработки электронных курсов с применением геймификации: Articulate Storyline. Оно используется в СПб МРЦ для разработки электронных курсов для дополнительного профессионального обучения государственных служащих.

Реализация предложенной в работе модели электронного курса осуществлена в разработке курса «Эффективная презентация» для обучения государственных служащих в Межрегиональном ресурсном центре Санкт-Петербурга.

За прочтение одного слайда с теоретическим материалом обучающемуся начисляется один балл, при этом процент пройденного материала увеличивается в

зависимости от всего электронного курса. Каждая тема модуля заканчивается хотя бы одним практическим заданием. Пример такого задания представлен на рис. 4.

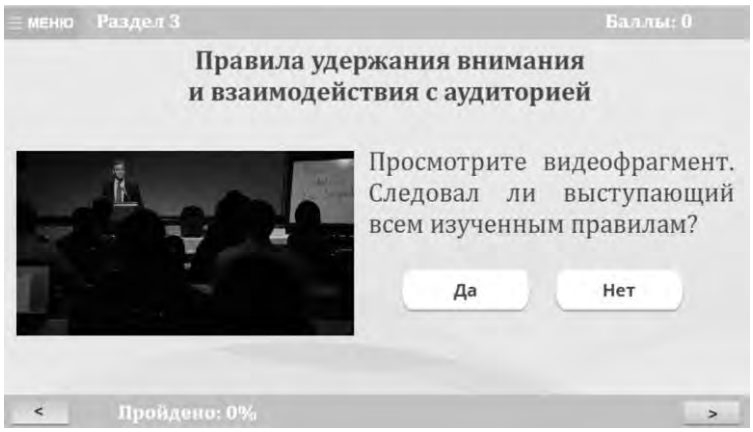


Рис. 4. Получение и отображение баллов в курсе

На протяжении прохождения всех модулей электронного курса обучающийся должен видеть шкалу прогресса, чтобы понимать, сколько пройдено материала и сколько осталось. С каждым посещением нового слайда курса добавляется 1 к числу посещенных уникальных экранов. Счетчик увеличивается, если ранее этот экран не был открыт. Он сообщает, сколько экранов было посещено, поэтому можно рассчитать его как процент от общего количества экранов в курсе.

В отличие от шкалы прогресса, баллами оцениваются количество полезных действий произведенных обучающимся: повторное прохождение лекционного материала, количество успешных прохождений практических заданий и безошибочное прохождение итогового теста (рис. 5).

Рис. 5. Баллы и рейтинг в электронном курсе

После освоения электронного курса госслужащими, будет сформирован общий рейтинг на основе показателей, зафиксированных в системе и баллов, набранных каждым обучающимся.

В исследовательской работе раскрыты требования, предъявляемые к разработке электронных курсов; рассмотрен опыт применения геймификации в обучении государственных служащих и обоснована актуальность исследования. В ходе анализа нормативно-правовой документации, законодательства в сфере дополнительного профессионального обучения государственных служащих, профессиональных и

образовательных стандартов выявлены требования к организации обучения государственных служащих с применением электронных образовательных ресурсов. Был описан процесс проектирования электронных учебных курсов, изучены несколько подходов. Составлен обзор и проведен сравнительный анализ российских и зарубежных программных продуктов для создания электронных курсов. В сотрудничестве с СПб МРЦ разработан электронный курс «Эффективная презентация» для обучения государственных служащих на основе предложенной модели.

Литература

1. Герасимова О.Ю., Кошелева Н. В. Электронное обучение: возможности применения в системе государственной гражданской службы // Фундаментальные исследования. 2016. № 8(2). С. 315–319. [Электронный ресурс]: URL: https://www.fundamental-research.ru/ru/article/view?id=40663 (дата обращения: 25.11.2018).
2. Merriam-Webster dictionary. Gamification [Электронный ресурс]: URL: https://www.merriam-webster.com/dictionary/gamification (дата обращения: 10.01.2018).

Снежная Женевьева Геннадьевна
Год рождения: 1995
Университет ИТМО,
факультет лазерной фотоники и оптоэлектроники, студент группы № L4270,
направление подготовки: 16.04.10 – Техническая физика,
e-mail: genevievev-v@yandex.ru
Романов Алексей Евгеньевич
Университет ИТМО,
д.ф.-м.н., доцент,
декан факультета лазерной фотоники и оптоэлектроники,
e-mail: genevievev-v@yandex.ru

УДК 538.958

ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТИЧЕСКИХ И ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ СТРУКТУР НА ОСНОВЕ ОКСИДА ЦИНКА, ПОЛУЧАЕМЫХ МЕТОДАМИ ЗОЛЬ-ГЕЛЬ ТЕХНОЛОГИИ

Ж.Г. Снежная

Научный руководитель – д.ф.-м.н., доцент **А.Е. Романов**

Работа выполнена в рамках темы НИР № 370117 «Разработка оптического датчика тока с чувствительным тонкопленочным элементом на основе ферромагнитного материала».

Аннотация
В рамках работы была отработана технология получения золь-гель методом многослойных композитных структур на основе оксида цинка, легированного алюминием и содержащего наночастицы серебра, обладающих различными оптическими свойствами, за счет варьирования компонентным составом золей и условиями синтеза. Исследованы их оптические и электрические характеристики.
Ключевые слова
Плазмоника, оксид цинка, наночастицы серебра, плазмонный пик, золь-гель.

Определяющую роль в разработке нового инновационного продукта в настоящее время играет материал. Материаловедение выходит на новый уровень развития. Разработка новых материалов с заданными и контролируемыми свойствами позволяет значительно улучшить характеристики приборов. Перспективный способ получения новых материалов электроники и оптоэлектроники – нанесение тонкопленочных прозрачных электропроводящих покрытий. На данный момент на рынке оптоэлектронной продукции представлены в основном тонкопленочные покрытия, обладающие указанными характеристиками, на основе оксида олова, легированного индием (ITO). Благодаря сочетанию своих электрических и оптических свойств, они широко используются в устройствах солнечных батарей, полупроводниковых фотоприемниках, светодиодах, сенсорных экранах, тонкослойных фотопреобразователях. Постоянно происходящее усложнение, миниатюризация и удешевление инновационной продукции требует создание материалов нового поколения с варьируемыми свойствами. Из-за необходимости расширения спектра свойств

материалов, а также из-за дороговизны индия на мировом рынке наметилась тенденция замены покрытий на более функциональные. Основная задача на мировом рынке состоит в повышении эффективности и уменьшении стоимости устройств и их размеров, что ведет к тенденции использовать при разработке устройств дешевые материалы и мало затратные методы синтеза. Таким образом, оксид цинка, легированный алюминием ZnO:Al (AZO) является перспективным материалом. Он прозрачен в видимом и ИК диапазонах, а также обладает низким удельным сопротивлением и остается прозрачным в видимом и ИК диапазонах и при внедрении наночастиц благородных металлов. Данный материал оптически прозрачен и имеет полосу поглощения в УФ диапазоне. Для его эффективного применения в устройствах оптоэлектроники необходимо создать центры фотоиндуцированного разделения заряда. С такой задачей может справиться плазмоника – область физики, исследующая взаимодействие излучения с объектами наномасштаба (меньшими длины волны).

Возбуждение наночастиц на плазмонной частоте приводит к увеличению сечений поглощения и рассеяния наночастиц и локальному усилению амплитуды поля электромагнитной волны внутри и вблизи наночастицы. Кроме того, частота плазмонного резонанса перестраивается в видимом и ближнем ИК диапазоне при варьировании размеров и формы частиц. В данной работе предлагается использовать металлическую частицу как аккумулирующий световую энергию элемент, включая разделение заряда в устройствах фотовольтаики и оптоэлектроники. При затухании плазмона происходит генерация горячих электронов с энергией, переходящей на уровни проводимости полупроводника.

Данная работа посвящена исследованию оптических и электрических характеристик тонкопленочного материала на основе прозрачной оксидной матрицы ZnO:Al с варьированными НЧ серебра, получаемого золь-гель методом. В качестве матрицы был выбран прозрачный проводящий оксид ZnO:Al. Благодаря тому, что ZnO:Al полупроводник, на границе НЧ металла и ZnO:Al образуется барьер Шотки и реализуется перенос «горячих» электронов, тем самым наблюдается увеличение проводимости под действием излучения.

Золь-гель технология привлекательна для создания таких композитных структур. Варьируя концентрацию исходных компонентов золя, температуру синтеза и отжига пленок, как показано в работе, можно получить композитные структуры, отличающиеся оптическими и электрическими свойствами за счет управляемого встраивания НЧ в структуру оксидной пленки. Возможность контролируемым образом задавать оптические свойства композитных структур позволит применять из в качестве элементной базы устройств оптоэлектроники для локального усиления их эффективности.

Моделирование сечения поглощения композитных структур zno:al с наночастицами серебра в зависимости от расстояния на котором встраиваются наночастицы в пленку

Было проведено моделирование сечения поглощения многослойной структуры, состоящей из слоя наночастиц серебра (AgNP), помещенного между двумя слоями оксида цинка, легированного алюминием (AZO), методом конечных элементов в программном пакете Comsol Multiphysics. В работе в качестве исходных данных для моделирования поперечного сечения поглощения были использованы экспериментально измеренные параметры композитной структуры AZO-AgNP-AZO [1].

Геометрические параметры структуры для моделирования были определены из результатов исследований методами сканирующей и просвечивающей электронной микроскопии. В моделируемой структуре было принято, что наночастицы имеют

сферическую форму и средний диаметр 40 нм, расстояние между ними варьировалось. Этих данных было достаточно для моделирования положения пиков плазмонных резонансов в структуре. Дисперсия по форме и размеру наночастиц в реальной структуре приводит к уширению пиков в спектрах поглощения.

Моделирование периодической структуры, показанной на рис. 1, проводилось методом конечных элементов в радиочастотном модуле программного обеспечения Comsol Multiphysics. Ключевой особенностью модели является рассмотрение металлических наночастиц, встроенных в среду сильно легированного полупроводника, в результате чего они проявляют свойства металла и демонстрируют плазмонный резонанс в ближней ИК-области (материал с низкими потерями). Оптические характеристики были рассчитаны с использованием Comsol Multiphysics с учетом спектральной зависимости диэлектрической проницаемости AZO.

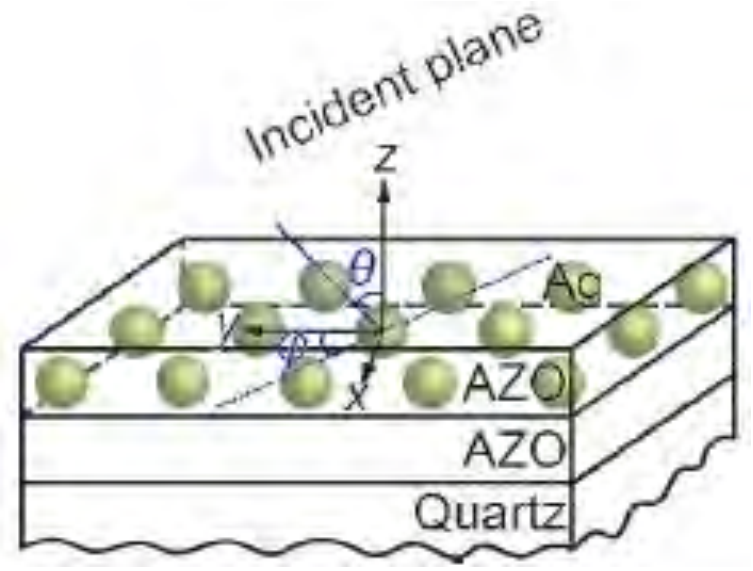


Рис. 1. Схематическое изображение модельной структуры AZO-AgNP-AZO:
φ - азимутальный угол, а θ - угол наклона падающего света

В результате моделирования получены спектры сечения поглощения (рис. 2). Оптические свойства слоя металлических наночастиц определяются как свойствами отдельных частиц, так и электродинамическим взаимодействием между ними [2]. Несколько пиков, возникающих в спектре поперечного сечения оптического поглощения, связаны с расщеплением резонанса за счет взаимодействия близкорасположенных наночастиц друг с другом. Серебряные наночастицы, расположенные в слое AZO, могут характеризоваться функцией распределения собственной частоты коллективных возбуждений. Это распределение шире по сравнению с шириной резонансного пика отдельных наночастиц, так что ширина спектра экстинкции всего ансамбля частиц точно определяет неоднородное распределение резонансных частот [3]. Благодаря уширению спектра для реальной структуры вследствие взаимодействия соседних частиц, в спектрах сечения поглощения отсутствуют пики.

На рис. 2. приведены спектральные зависимости сечения поглощения для композитных структур, представляющих собой пленку AZO с внедренным в него слоем наночастиц серебра (двумерным ансамблем наночастиц серебра) с различным расстоянием между центрами наночастиц b, d=125 нм; b, d=80 нм.

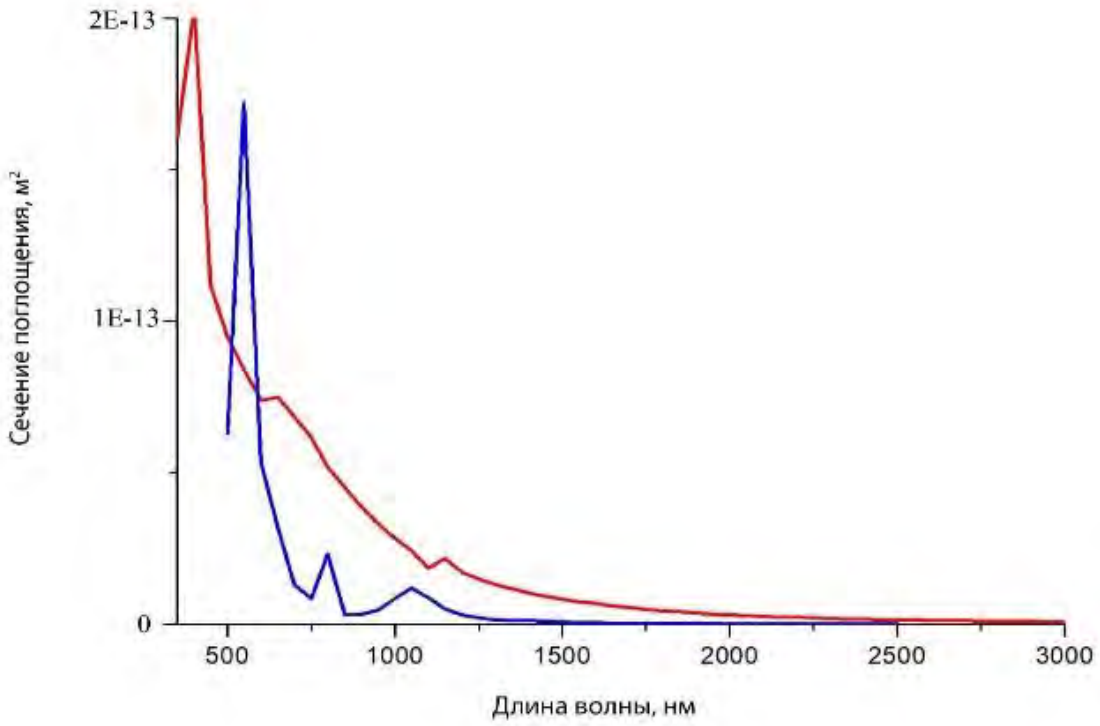


Рис. 2. Спектральные зависимости сечения поглощения двумерного массива наночастиц серебра в AZO. Параметры структуры: a=45 нм, b= 125 нм, d=125 нм, e=5 нм (красная линия); a=45 нм, b= 80 нм, d=80 нм, e=5 нм (синия линия)

На рис. 2 видно, что при уменьшении расстояния между наночастицами пик светопоглощения сдвигается в длинноволновую область спектра с 405 нм до 550 нм.

Анализ результатов моделирования показал, что проявление пиков светопоглощения в ближней ИК области в диапазоне от 800 нм до 1500 нм вызвано смещением плазмонного пика AZO в коротковолновую область спектра и зависит от толщины слоя между слоями наночастиц в композите и толщины верхнего слоя AZO. Пики светопоглощения в видимом диапазоне относятся к собственным колебаниям наночастиц серебра, золота. Смещение пиков в длинноволновую область вызвано взаимодействием соседних наночастиц и зависит от расстояния между частицами.

Исследование физических свойств композитного материала zno:al с варьированными наночастицами серебра

Исследование морфологии получаемых тонкопленочных образцов проводилось с помощью метода просвечивающей электронной микроскопии. Образцы были изготовлены в поперечном сечении в соответствии со стандартной процедурой, включающей предварительное механическое утоньшение и последующую полировку ионным пучком (энергия пучка ионов аргона – 4 кэВ). Исследование образцов выполнялось в режимах дифракции и высокого разрешения. Идентификация фазы и кристаллографической структуры производилась с помощью рентгеновского дифрактометра Дрон-8 с CuKα1 излучением (40 кВ,20МА, λ=0,154056 нм, угол 2θ 10-95°).

На рис. 3 а-г приведены ПЭМ изображения поперечных сечений поперечных сечений слоев n-AZO и дифракционные картины для слоев n-AZO.

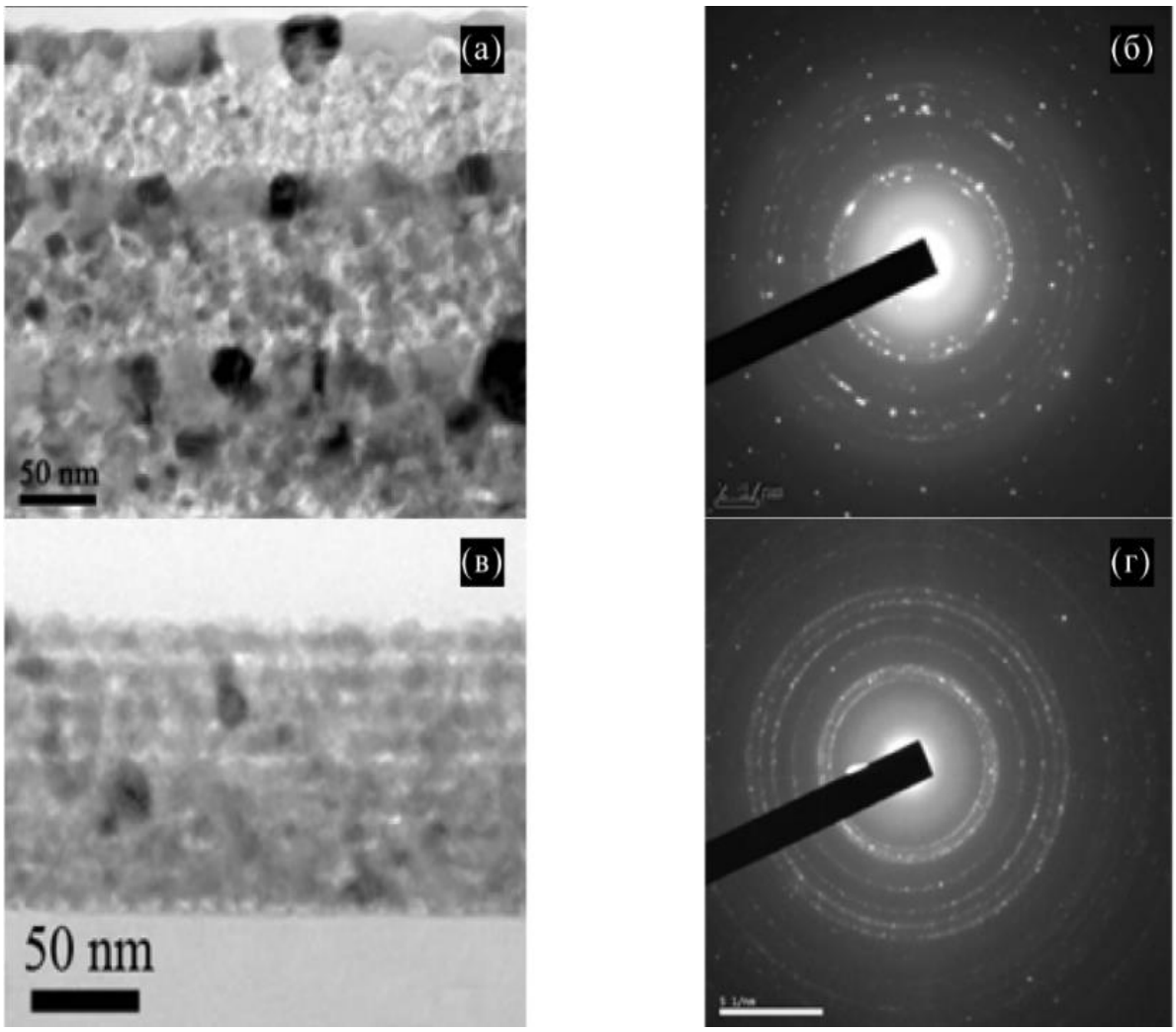
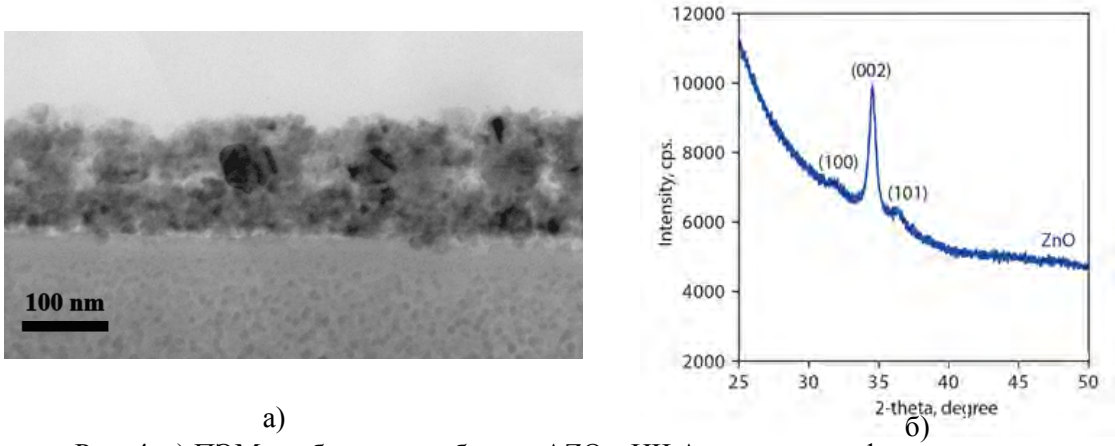


Рис. 3. ПЭМ изображения: (а) поперечного сечения пленки n-AZO (этанол); (б)-картина дифракции пленки n-AZO (этанол); (в) поперечного сечения пленки n-AZO (монометиловый эфир этиленгликоля); (г) картина дифракции пленки n-AZO (монометиловый эфир этиленгликоля)

Так же было получено ПЭМ изображение (рис. 4, а) для образца на кварцевой подложке , имеющего следующую структуру пять слоев AZO, отожжённых при 580°C, пять слоев НЧ Ag в растворе демитилформамида, покрытых пятью слоями AZO, а далее отожженных при 580°C. Толщина слоя порядка 100 нм. Размер наночастиц серебра порядка 40 нм, расстояние между наночастицами 90-100 нм. Частицы встраиваются на одинаковом расстоянии друг относительно друга.

В пленке кристаллическая фаза представляет собой *ZnO* (рис. 4, б). Легирование алюминия проявляется в качестве слабого смещения пика. Пространственная группа *P*63*mc* (186), гексагональная сингония. Постоянные решетки (расчетные) для образца *a*=3,242 Å, *b*=3,242 Å, *c*=5,195 Å (α=90°, β=90°, γ=120°). Средний размер кристаллов, рассчитанный по формуле Шеррера, составляет порядка 11 нм.



а) б)

Рис. 4. а) ПЭМ изображение образца AZO с НЧ Ag из демитилформамида
б) Рентгенограмма пленки n-AZO на подложке из плавленого кварца

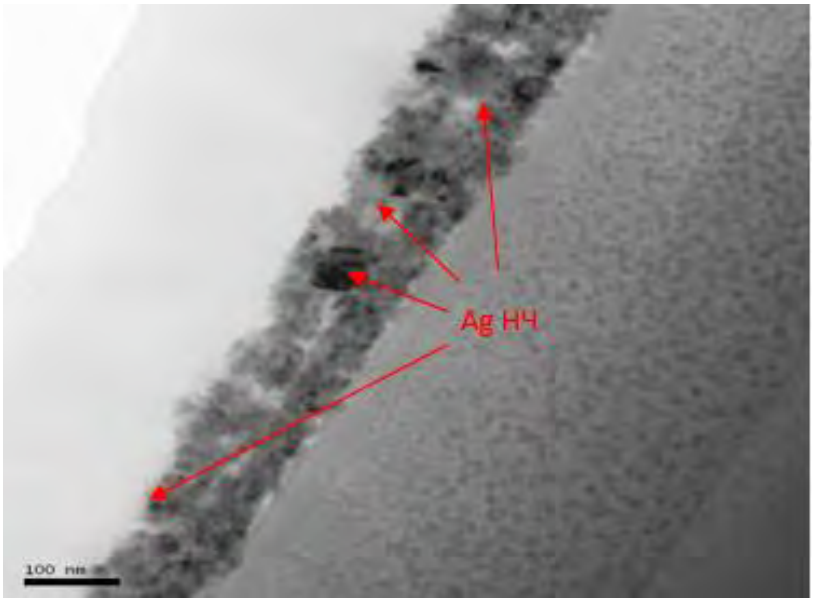


Рис. 5. ПЭМ изображения поперечного сечения композитной структуры, состоящей из десяти слоев AZO с наночастицами серебра. Диаметр наночастицы серебра 40-50 нм, расстояние между наночастицами 100 нм. Толщина одного слоя AZO 10-12 нм

Обнаруженная организация наночастиц в пленке AZO, их встраивание в структуру покрытия на равном расстоянии друг от друга, приближает экспериментально получаемые образцы покрытий к модельно заданным. Тем самым, мы можем опираться на результаты моделирования при изготовлении композитных покрытий с пиками светопоглощения на разных длинах волн (рис. 5).

На рис. 6 приведены спектральные зависимости оптической плотности для образца, состоящего из 10 слоев AZO с наночастицами на подложке из плавленого кварца при разной температуре отжига в диапазоне длин волн 380 -1100 нм.

При отжиге на температуре в 500°С появляются пики светопоглощения на длинах волн 543 нм, 689 нм и 980 нм. При отжиге на 600° С происходит расщепление пика 543 нм на два пика 494 нм и 600 нм и пик 865 нм. При отжиге на 650° С появляются пики светопоглощения 549 и 862 нм. Отжиг при 700° С индуцирует появление пиков светопоглощения на 528 и 864 нм. Отжиг при 750° С способствует появлению ярко выраженного пика на 553 нм и 821 нм.

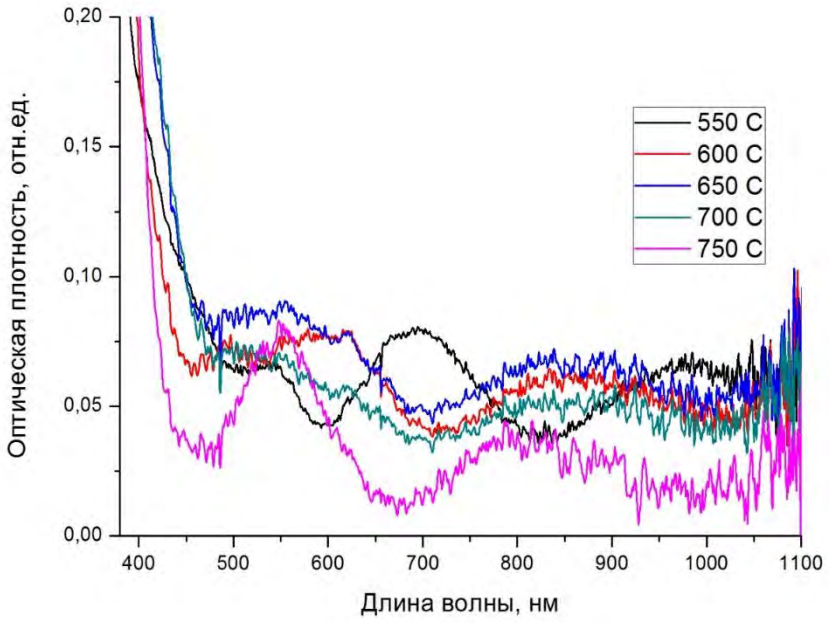


Рис. 6. Спектральные зависимости оптической плотности для образца, состоящего из 10 слоев AZO с наночастицами на подложке из плавленого кварца при разной температуре отжига полученного композитного покрытия в диапазоне длин волн 380-1100 нм

На рис. 7 приведены фотографии исследуемых образцов композитных структур. Разные оттенки тонкопленочного покрытия свидетельствуют о нахождении пиков светопоглощения на разных длинах волн в видимом диапазоне спектра.

Рис. 7. Фотографии полученных образцов композитных покрытий, состоящих из слоев AZO с внедренными наночастицами серебра

Были проведены измерения удельного поверхностного сопротивления двух пленок n-типа проводимости, состоящих из пяти слоев AZO на этаноле (таблица). При получении первого образца методом центрифугирования последовательно наносились пять слоев AZO, каждый слой высушивался при температуре 300°C, вся пленка подвергалась отжигу при 650°C в воздушной атмосфере в течении 40 минут. Удельное поверхностное сопротивление пленки составило 3,5 Ом·м. Для второго образца каждый наносимый слой после сушки отжигался при температуре 650°C в воздушной атмосфере в течении 15 минут, после чего вся пленка отжигалась при температуре 650°C в воздушной атмосфере в течении 40 минут. При этом удельное сопротивление пленки было меньше на 2 порядка 0,04 Ом·м. Отжиг в атмосфере инертного газа (аргона) позволил снизить удельное сопротивление пленки до 0,003 Ом·м.

Таблица

Значения удельного сопротивления образцов

Образец /спектр оптической плотности (рисунок)	ρ [Ом·см] в темноте	ρ [Ом·см] при освещении белым светодиодом 12 мВт
AZO (3% Al)	1,2	0,8
AZO-Ag НЧ пик 434 нм	2,7-3,2	0, 29-0,35
AZO-Ag НЧ пик 434 нм	3,5-4,7	0,36-0,3
AZO-Ag НЧ	2	0,28-0,31
AZO-Ag НЧ пик 850 нм	1,3-1,5	0, 48-0,45
AZO-Ag НЧ пик 962 нм	1,2-1,5	0,42-0,47

В результате проведенных исследований было получено, что варьируя параметры наносимых слоев AZO и слоев наночастиц серебра, вплоть для использования золей, отличающихся компонентным составом возможно получить пики светопоглощений в композитных покрытиях на длинах волн 450±20 нм, 550±20 нм, 850±20 нм, 940±20 нми покрытия с двумя пиками светопоглощения в видимой и ближней ИК области. Анализируя значения удельного поверхностного сопротивления исследуемых покрытий было определено, что внедрение наночастиц увеличивает сопротивление пленок AZO, что можно объяснить дефектами, образующимися при встраивании наночастиц. При внешнем освещении удельное поверхностное сопротивление уменьшается в 5-8 раз.

В данной работе представлена обзорная часть о плазмонах, плазмонных эффектах, различных структурах, в которых они происходят, а так же сведения о AZO и золь-гель технологии. Представлены результаты моделирования сечения поглощения многослойной структуры: оксид цинка, легированный алюминием, (AZO) – наночастицы серебра (AgNP) – AZO, методом конечных элементов в программном пакете Comsol Multiphysics. Анализ результатов моделирования показал, что проявление пиков светопоглощения в ближней ИК области в диапазоне от 800 нм до 1500 нм, вызвано смещением плазмонного пика AZO в коротковолновую область спектра и зависит от толщины слоя между слоями наночастиц в композите и толщины верхнего слоя AZO. Пики светопоглощения в видимом диапазоне относятся к собственным колебаниям наночастиц серебра, золота. Смещение пиков в длинноволновую область вызвано взаимодействием соседних наночастиц и зависит от расстояния между частицами.

Отработана золь-гель технология получения композитных структур, AZO - AgNP – AZO. Исследована морфология композитных пленок методом просвечивающей электронной микроскопии. Наличие фаз ZnO в получаемых образцах было подтверждено измерениями рентгеновской дифрактометрии, исследованы оптические и электрические свойства образцов. Метод просвечивающей электронной микрокопии показал, что толщина слоев пленки AZO из монометилового эфира этиленгликоля. Кроме того, наночастицы серебра встраиваются в структуру AZO на равном расстоянии друг от друга.

В работе показано и проанализировано, что варьированием растворителей и температурой отжига можно смещать пик плазмонного резонанса композита, при этом структура не теряет своей прозрачности, а оптические свойства никак не зависят от типа подложки.

Варьированием параметров наносимых слоев AZO и слоев наночастиц серебра, вплоть для использования золей, отличающихся компонентным составом можно получить пики светопоглощений в композитных покрытиях на длинах волн 450±20 нм,

550±20 нм, 850±20 нм, 940±20 нм и покрытия с двумя пиками светопоглощения в видимой и ближней ИК области. Анализируя значения удельного поверхностного сопротивления исследуемых покрытий было определено, что внедрение наночастиц увеличивает сопротивление пленок AZO, что можно объяснить дефектами, образующимися при встраивании наночастиц. При внешнем освещении удельное поверхностное сопротивление уменьшается в 5-8 раз.

Литература

1. Shirshneva-Vaschenko E.V., Sosnin I.M., Nuryev R.K., Gladskikh I.A., Liashenko T.G., Bougrov V.E., Romanov A.E. Electrical and optical properties of transparent conducting ZnO:Al/AgNP multilayer films // Materials Physics and Mechanics. 2016. T. 29. C. 145-149.
2. Rechberger W., Hohenau A., Leitner A., Krenn J. R., Lamprecht B., Aussenegg F.R. Optical properties of two interacting gold nanoparticles //Optics communications. – 2003. T. 220. C. 137-141.
3. Kreibig U., Vollmer M. Optical Properties of Metal Clusters: Theoretical considerations //Electronic Materials. Berlin: Springer. 1995. T. 2. C. 13-201.

ПОБЕДИТЕЛИ КОНКУРСОВ ФАКУЛЬТЕТОВ НА «ЛУЧШУЮ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКУЮ ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ СРЕДИ МАГИСТРОВ УНИВЕРСИТЕТА ИТМО»

Алхлеф Ахмед
Год рождения: 1994
Университет ИТМО,
факультет фотоники и оптоинформатики, студент группы № V4227c,
направление подготовки: 12.04.03 – Фотоника и оптоинформатика,
e-mail: ahmedalkhlef@yahoo.com
Колобкова Елена Вячеславовна
Год рождения: 1954
Университета ИТМО,
факультет фотоники и оптоинформатики,
д.х.н, доцент,
e-mail: kolobok106@rambler.ru

УДК 535.37

СПЕКТРАЛЬНО-ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ СВОЙСТВА ФТОРОФОСФАТНЫХ СТЕКОЛ, АКТИВИРОВАННЫХ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫМИ ИОНАМИ

А. Алхлеф

Научный руководитель – д.х.н, доцент **Е.В. Колобкова**

Университет ИТМО

Аннотация
В работе исследованы два серии фторофосфатных стекол с малой концентрацией фосфатов, активированных неодимом, и соактивированных парой иттербий/эрбий в зависимости от концентрации ионов активатора с целью оценки возможности их использования для оптических применений. Используя теорию Джадда-Офельта, параметры интенсивности Ω_t (t = 2; 4; 6) получены для всех стекол. Радиационное время жизни и квантовый выход были получены. Влияние разных ион-ионных взаимодействий на спектрально-люминесцентные свойства стекол было изучено.
Ключевые слова
Фторофосфатные стекла, неодимовые стекла, иттербий-эрбиевые стекла. параметры Джадда-Офельта, радиационное время жизни, квантовый выход.

Введение

Среди различных стекол, фторофосфатные стекла считаются важными матрицами, имеющими низкую энергию фононов и высокую концентрацию легированных редкоземельных ионов. Благодаря их физическим свойствам – высокая прозрачность, низкие энергия фононов и нелинейный показатель преломления – они являются привлекательными материалами для оптических применений [1].

Актуальность работы состоит в том, что она посвящена исследованию факторов, влияющие на спектрально-люминесцентные свойства фторофосфатных стекол, активированных ионами неодима и эрбия, такие факторы как концентрация активатора и разные ион-ионные взаимодействия.

Целью работы является изучение фторофосфатных стекол, активированных неодимом, и парой иттербий/эрбий в зависимости от концентрации ионов активатора и

оценка возможности их использования для оптических применений. Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

– расчет параметров Джадда-Офельта для 4 образцов первой серии и 6 образцов второй серии;

– расчет вероятности спонтанных излучательных переходов, радиационного времени жизни люминесценции и коэффициентов ветвления стекол в зависимости от вида и концентрации активатора;

– изучение механизма распада возбужденного состояния для ионов неодима;

– определение эффективности переноса энергии между сенсибилизатором и акцептором в иттербий-эрбиевых стеклах;

– расчет сечений усиления иттербий-эрбиевых стекол.

Объект исследования и методика эксперимента

Химический состав исследуемых стекол: $5Ba(PO3)_2$–(38-x) AlF_3–$18.5CaF_2$–$10MgF_2$–$10BaF_2$–$18.5SrF_2$–xNdF_3 где x= 0,5; 1; 2;5 мол. % и $5Ba(PO3)_2$–(33-x) AlF_3–$18.5CaF_2$–$10MgF_2$–$10BaF_2$–$18.5SrF_2$–$5YbF_3$–xErF_3 где x= 0,1; 0,5; 1; 2; 3; 5 мол. %.

Спектры поглощения исследуемых полированных плоскопараллельных стекол регистрировались, используя спектрофотометры Lambda 650 и Lambda 900 (фирма Perkin Elmer) в диапазоне длин волн 300 – 900 нм и 900 –1650 нм соответственно. Плотность стекол определили гидростатическим взвешиванием с точностью 10^{-3} г/см^3. Показатель преломления измеряли с помощью рефрактометра Аббе IRF-454 BM, работающего на линиях спектра F, D, C. Спектры люминесценции стекол первой серии получены путем возбуждения образцов излучением твердотельного лазера мощностью 1 Вт на длине волны 457 нм, образцы второй серии возбуждались непрерывным лазерным диодом максимальной мощностью 3 Вт на 975 нм. Спектр люминесценции регистрировался в диапазонах 800-1500 нм и 1400–1700 нм с помощью монохроматора Spectra Pro 300i (фирма Acton Research Corporation) через фотоприемник InGaAs-ID-441. Времена жизни возбужденных состояний определялись с помощью лазера Nd:YAG с модуляцией добротности LQ 529B (фирма Solar Laser) с длиной волны излучения 532 нм и длительностью импульсов около 15 нс.

Результаты и обсуждение

На основании измеренного спектра поглощения неодимовых стекол были рассчитаны экспериментальные силы линии полос, за тем получены показанные в таб. 1 параметры Джадда-Офельта используя метод наименьших квадратов по минимизированию отклонения с расчётными силами линии.

Таблица 1

Параметры Джадда–Офельта (10^{-20} см^2) для стекол с неодимом

Концентрация Nd^{3+} (10^{20} см$^{-3}$)		1,05	2,09	4,17	10,14
Ω_2		2,09	1,88	2,18	2,17
Ω_4		3,40	2,98	3,35	3,74
Ω_6		5,17	4,59	5,21	5,64
$\chi = \Omega_4/\Omega_6$		0,66	0,65	0,64	0,66

На основании полученных значений параметров Джадда–Офельта проведен расчет вероятности спонтанных излучательных переходов, радиационного времени

жизни люминесценции и коэффициентов ветвления переходов с возбужденного уровня $^4F_{3/2}$.

Из спектра люминесценции на рис. 1, было замечено, что относительные интенсивности переходов из суммарной интенсивности (43;50;7) приближают расчетным в работе значениям коэффициента ветвления (36;53;11).

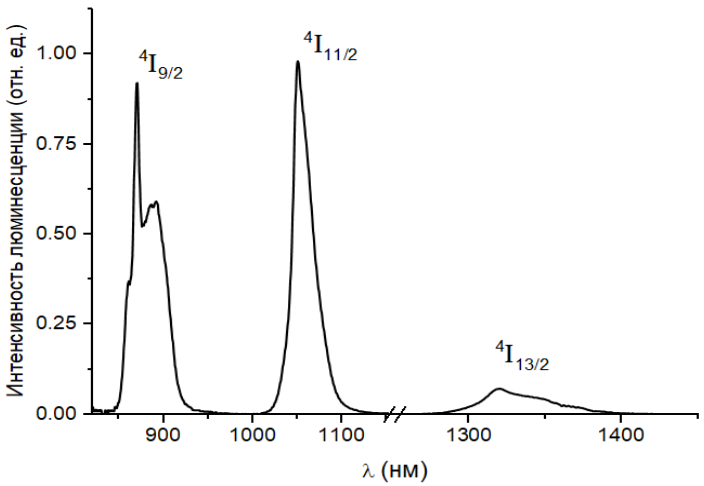


Рис. 1. Спектр люминесценции возбужденного уровня $^4F_{3/2}$

Сечение вынужденного излучения для перехода на основной уровень было рассчитано по двумя методам, по формуле Фюхтбауэра-Ладенбурга в зависимости от спектра люминесценции и по модифицированному методу соответствия [2] для обеспечения достоверности метода расчета. На рис. 2 можно увидеть, что полученные спектры сечение вынужденного излучения практически совпали.

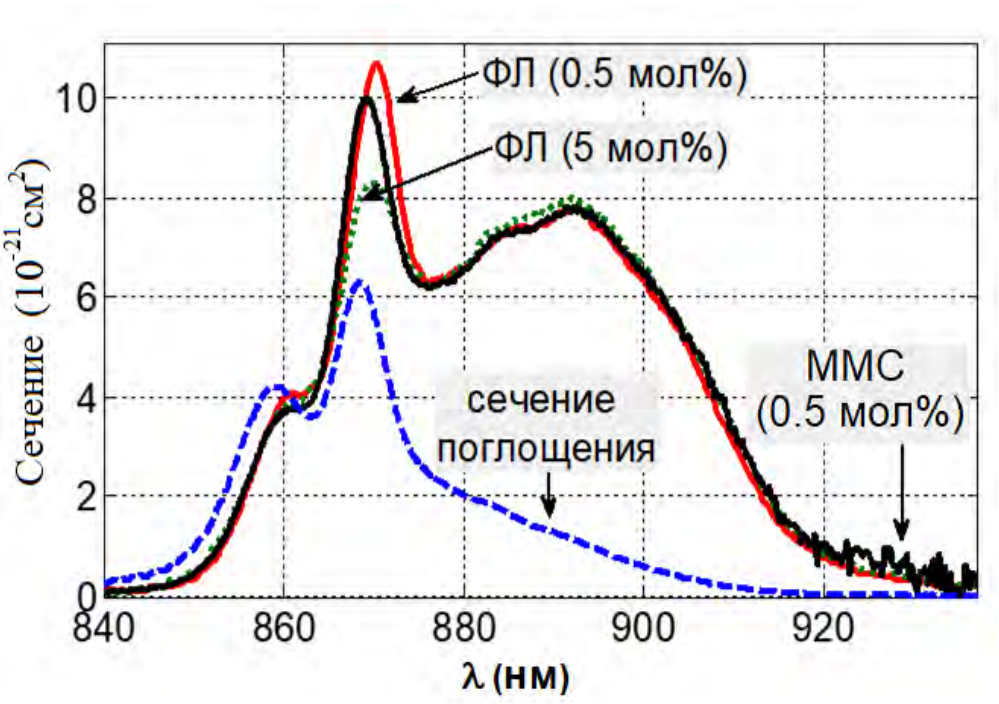


Рис. 2. Сечения поглощения $^4I_{9/2} \rightarrow {}^4F_{3/2}$ и испускания $^4F_{3/2} \rightarrow {}^4I_{9/2}$ для стекол с различным содержанием NdF_3

При исследовании кинетик затухания люминесценции был установлен неэкспоненциальный характер при большом содержании фторида неодима. Максимальное значение квантового выхода неодимовых стекол составило 95%, оно уменьшается с ростом концентрации Nd^{3+} что указывает на концентрационное тушение. Неэкспоненциальность кинетики затухания люминесценции связывается с переносом энергии от донора (возбужденного иона Nd^{3+} на уровне $^4F_{3/2}$) к акцептору (невозбужденному иону Nd^{3+} на нижнем уровне $^4I_{9/2}$). Донор-акцепторное взаимодействие осуществляется по кросс-релаксационному механизму по схеме: $^4F_{3/2}+{}^4I_{9/2}\rightarrow{}^4I_{15/2}+{}^4I_{15/2}$.

Совместное легирование иона Er^{3+} ионом Yb^{3+} обусловлено тем, что его переход поглощения $^2F_{7/2}\rightarrow{}^2F_{5/2}$ перекрывается с переходом $^4I_{15/2}\rightarrow{}^4I_{11/2}$ иона Er^{3+} в диапазоне 940–1100 нм, что значительно повышает эффективность накачки с коммерческим лазерным диодом с длиной волны 980 нм. Эффективный процесс передачи энергии от ионов Yb^{3+} к ионам Er^{3+} делают совместно легированное фторофосфатное стекло отличным активным материалом для усиления перехода ионов Er^{3+} на 1,5 мкм.

По модели Бурштейна, флуоресценция иттербия в иттербий-эрбиевых стеклах затухает как exp $(-W_{DA}t)$ где W_{DA} − скорость процесса переноса энергии. В пределах неопределенности эксперимента и ограничений модели она может модифицироваться и тогда эффективность переноса энергии η_t определяется по соотношению:

$$\eta_t = \frac{W_{DA}\tau_s}{1+W_{DA}\tau_s},$$

где – τ_s время затухания флуоресценции для стекла, легированного только Yb^{3+}.

Значения эффективности переноса энергии для исследуемых иттербий-эрбиевых стекол составили больше 94%.

Такой же метод получения параметров Джадда–Офельта был использован, но для иттербий-эрбиевых стекол при расчете экспериментальных сил линии учитывается и магнитная сила линии, которая равна нулю для неодимовых переходов, полученные параметры представлены в таб. 2.

Таблица 2

Параметры Джадда–Офельта (10^{-20} см^2) для иттербий-эрбиевых стекол

Концентрация Er^{3+} (10^{20} см$^{-3}$)	0,21	1,03	1,98	4,13	6,18	10,03
Ω_2	2,47	2,85	3,03	2,03	1,76	1,64
Ω_4	1,36	1,54	1,52	1,22	1,16	1,09
Ω_6	1,47	1,64	1,78	1,10	0,97	0,94
$\chi = \Omega_4/\Omega_6$	0,91	0,94	0,85	1,11	1,26	1,17

На основании спектра люминесценции была рассчитана эффективная ширина полосы ($\Delta\lambda_{eff}$) стекол которая является одним из важных параметров для широкополосных усилителей, используемых в системах спектрального уплотнения каналов. На рис. 3 можно заметить, что $\Delta\lambda_{eff}$ увеличивается с ростом концентрация эрбия из-за неоднородного уширения.

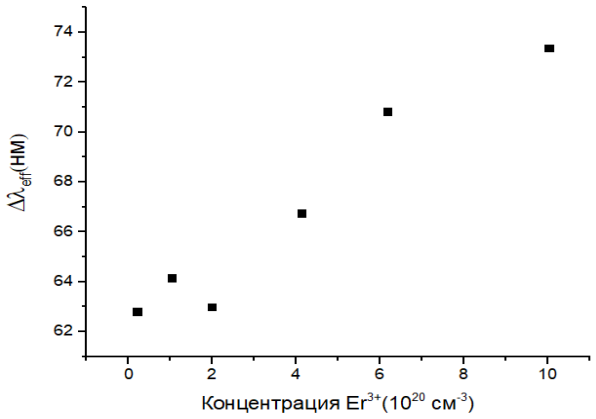


Рис. 3. Зависимость эффективной ширины полосы от концентрации эрбия

Свойства оптического усиления, такие как сечение усиления G(λ), непосредственно связаны с сечениями поглощения σ_{abs} и излучения σ_{em} [3]. G(λ) является функцией инверсии населенности, как показано в соотношении:

$$G(\lambda) = \gamma\sigma_{em} - (1-\gamma)\sigma_{abs},$$

где γ – нормализованная населенность верхнего лазерного уровня, определяемая интенсивностью накачки.

С развитием систем спектрального уплотнения каналов потребность в волоконных эрбиевых усилителях требует матрицы с плоским и широким профилем усиления. На рис. 4 представлены спектры усиления в фосфатных стеклах, исследуемых в работе [4] и фторофосфатных стеклах, исследуемых в нашей работе.

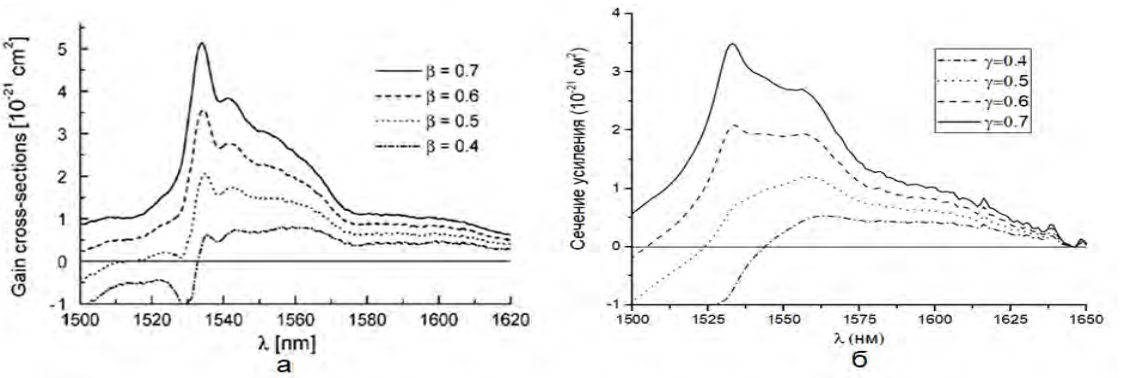


Рис. 4. Сечения усиления: фосфатных стекол (а); фторофосфатных стекол (б)

Можно заметить, что наши стекла обладают плоскими, широкими и гладкими полосами усиления по сравнению с фосфатными стеклами.

Выводы

Исследованные неодимовые стекла имеют ряд преимуществ по сравнению с другими оптическими матрицами. Преимущества включают высокий квантовый выход (55–95%), высокие радиационные (~ 550 μс) и экспериментальные (500–400 μс) времена жизни и коэффициенты ветвления (около 53%) для перехода $^4F_{3/2} \rightarrow {}^4I_{11/2}$. Процесс концентрационного тушения в неодимовых стеклах в основном определяется диполь-дипольным взаимодействием по кросс-релаксационному механизму. Значения эффективности переноса энергии в иттербий-эрбиевых стеклах были определены по

модификации модели Бурштейна, они составляют больше 94% и увеличиваются с увеличением концентрации эрбия. Исследуемые фторофосфатные иттербий-эрбиевые стекла обладают плоскими, широкими и гладкими полосами усиления по сравнению с фосфатными стеклами что делает их отличными активными материалами для усиления перехода Er^{3+} на 1,5 мкм.

Литература

1. Mortier M., Goldner P., Feron P., Stephan G.M., Xu H. New fluoride glasses for laser applications // J. Non-Cryst. 2003. V. 326. P. 505–509.
2. Yasyukevich A.S., Shcherbitskii V.G., Kisel V.E, Mandrik A.V., Kuleshov N.V. Integral method of reciprocity in the spectroscopy of laser crystals with impurity centers // J. Appl. Spectrosc. 2004. V. 71. № 2. P. 202–208.
3. Linganna K., Agawane G.L., Choi JH. Longer lifetime of Er^{3+}/Yb^{3+} co-doped fluorophosphate glasses for optical amplifier applications // Journal of Non-Crystalline Solids. 2017. V. 471. P. 65–71.
4. Philipps J.F., Töpfer T., Ebendorff-Heidepriem H., Ehrt D., Sauerbrey R. Spectroscopic and lasing properties of Er^{3+}:Yb^{3+}-doped fluoride phosphate glasses// Appl. Phys. B. 2001. V. 72. P. 399–405.

Аширов Артем Наилевич
Год рождения: 1993
Университет ИТМО,
факультет лазерной фотоники и оптоэлектроники,
студент группы № L4274,
направление подготовки: 11.04.02 – Световодная фотоника,
e-mail: tunerok93@gmail.com
Алейник Артем Сергеевич
Университет ИТМО,
факультет лазерной фотоники и оптоэлектроники,
к.т.н, доцент,
e-mail: artemal@corp.ifmo.ru

УДК 535.231.15

ИЗМЕРЕНИЕ ЭНЕРГИИ ИМПУЛЬСОВ МОЩНОГО ЛАЗЕРНОГО УЛЬТРАФИОЛЕТОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА ПЛЕНОК ОКСИДА ИНДИЯ-ОЛОВА

А.Н. Аширов

Научный руководитель – к.т.н., доцент **А.С. Алейник**

Университет ИТМО

Аннотация
В данной работе рассмотрена возможность измерения энергии импульсов эксимерного лазера. Рассмотрен фотовольтаический эффект от наклонной пленки оксида индия-олова при воздействии на нее ультрафиолетовым излучением. Предложен вариант построения измерителя энергии оптического импульса на основе наблюдаемого эффекта, а также проведены измерения его точностных характеристик.
Ключевые слова: фотоэлектрический эффект, измеритель пиковой мощности, энергия, оксид индия-олова, эксимерный лазер.

Мощные лазеры в настоящее время широко применяются как в промышленности, так и в повседневной жизни. В промышленности мощные импульсные лазеры используются для получения функциональных материалов [1], для производства волоконно-оптических устройств (волоконных брэгговских решеток) [2], скрайбирования тонкопленочных фотовольтаических панелей [3], создания устройств микрогидродинамики и прочего. В повседневной жизни мощные Nd-YAG и эксимерные лазеры получили широкое распространение в медицине, в частности: хирургия глаза, удаление волос с кожи, удаление пигментов и татуировок, косметические процедуры и прочее. Также лазеры применяются для микроинвазивной хирургии. Для всех применений лазеров требуется определение дозы излучения с целью предотвращения негативных воздействий.

Основной сложностью измерения энергии и мощности лазерного излучения является крайне короткие длительности импульса лазерного излучения и относительно высокие энергии импульсов. В настоящее время существуют два решения для измерения

энергии импульсов мощных лазеров: пироэлектрические измерители и фотодиоды. Пироэлектрические измерители используют пироэлектрический эффект, который заключается в появлении разности потенциалов при изменении температуры пластины сегнетоэлектрика. Недостатками пироэлектрических измерителей являются их высокий температурный дрейф, чувствительность к механическим ударам, относительно высокая стоимость, вследствие использования сложных сегнетоэлектрических материалов. Фотодиоды, с другой стороны, не позволяют измерять большие мощности и энергии без предварительного ослабления. В таблице показан сравнительный анализ существующих решений.

В экспериментальных исследованиях были использованы коммерчески доступные пленки производства компании НПК «Политех». Для нанесения тонких пленок оксида индия-олова (ITO) используется установка магнетронного распыления УВН-74. Мишень изготовлена из сплава индия и олова в соотношении 9:1. Подложка изготовлена из силикатного стекла (SiO_2). Подложки устанавливались на стенки барабана в камере напыления. Для повышения степени равномерности покрытия барабан вращается с частотой 200 об./мин. Рабочее давление внутри камеры во время процесса напыления составляет 10^{-3} Торр. После напыления производился отжиг пластин с покрытием оксида индия-олова при температуре 300 ^{o}C в течение 140 минут.

Таблица

Сравнительный анализ существующих решений

Название	Тип сенсора	Точность	Диапазон	Комментарий
UPD-15-IR2-FC	Фотодиод	Экв. мощность шумов 1.0 $\times 10^{-15}$	800 – 1700 нм	Необходимо предварительное ослабление измеряемого излучения, позволяет получить форму импульса
UPD-70-IR2-P	Фотодиод	Экв. мощность шумов 2.0 $\times 10^{-15}$	800 – 1700 нм	Те же
EnergyMax PowerMax-Pro 150F HD	Пироэлектрик	+/- 3%	355 - 1100 Нм	Высокий температурный дрейф, чувствительность к механическим ударам, невозможно получить форму импульса
PowerMax-Pro Sensor J-50MUV-193	Смешанный	+/- 3%	190 – 2100 Нм	Чувствительность к механическому воздействию, невозможно получить форму импульса, относительно высокая стоимость

Было показано [4], что напыление под углом (рис. 1а) позволяет выращивать нанокристаллические ориентированные структуры - кристаллиты. В данных структурах при облучении лазерным излучением, из-за фотоэмиссии возникает некомпенсированный заряд, который имеет ненулевую проекцию электрического поля благодаря наклону (рис. 1б). Благодаря этому, на сторонах пленки A и C возникает

разность потенциалов.

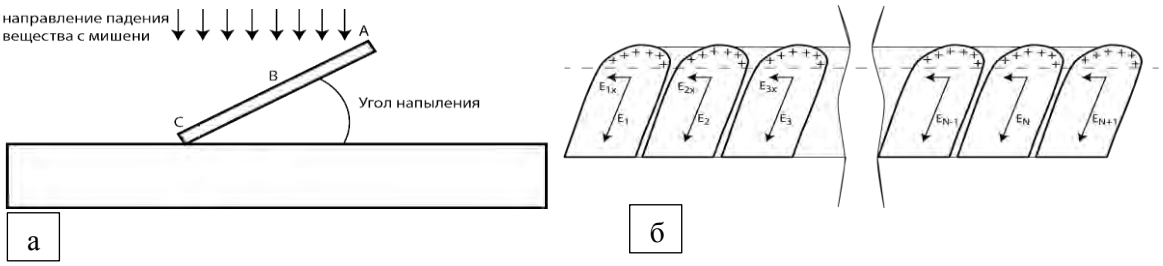


Рис. 1. Напыление пленок ITO под углом к мишени (а) и схематичное изображение ориентированных структур, возникающих в процессе напыления данным способом (б)

Величина разности потенциалов для одной и той же энергии импульса зависит от наклона с которым был записан данный образец (рис. 2а). Также ранее было показано [4], что разность потенциалов зависит от падающей на образец энергии лазерного импульса (рис. 2б).

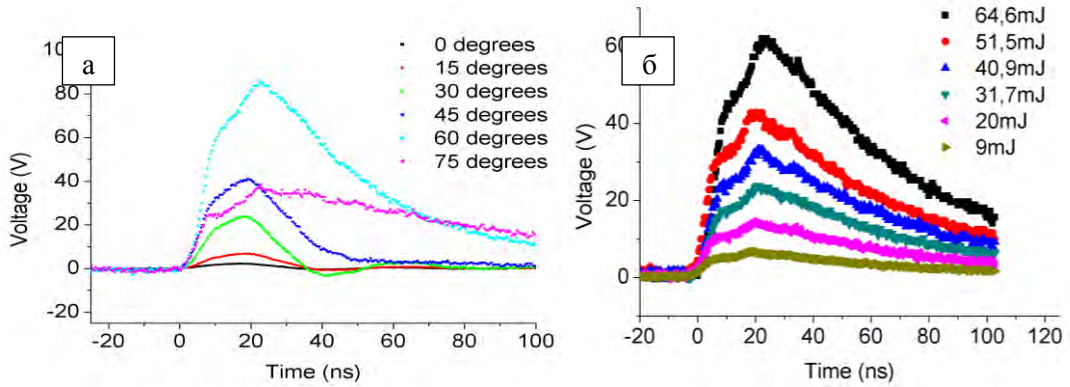


Рис. 2. Зависимость величины разности потенциалов на концах пленки при облучении от угла напыления (а) и электрический отклик пленки при разных энергиях падающего лазерного излучения (б)

Для изготовления измерительного макета были определены наиболее подходящие характеристики пленок ITO. Увеличение угла напыления пленок повышает внутреннее сопротивление пленок, что приводит к повышению постоянной интегрирования и изменению формы импульса. С одной стороны, небольшое изменение времени отклика позволяет понизить требования к быстродействию пикового детектора, что приведет к удешевлению конструкции измерителя. С другой стороны, теряется информация о временных характеристиках импульса лазерного излучения. Оптимальным углом напыления с точки зрения повышения чувствительности пленок является 60°.

Чтобы произвести снятие разности потенциалов с пленки ITO была разработана специальная оснастка, состоящая: из сборного алюминиевого корпуса, печатной платы с контактными зажимами и гнездом SMA-типа.

Из-за короткой длительности импульсов измеряемых лазеров необходимо использовать высокоскоростные аналого-цифровые преобразователи, однако стоимость таких решений высокая и с экономической точки зрения выгодно использовать схему пикового детектирования. Поэтому для обработки сигнала с чувствительной части макета была смоделирована и разработана плата пикового детектора (ПД). Данная плата содержит в себе микросхему высокочастотного детектора мощности LTC5507 и два высокоскоростных операционных усилителя ADA4817. Плата ПД позволяет

зафиксировать пришедший сигнал по уровню на время, достаточное чтобы снять показания любым низкоскоростным АЦП микроконтроллера с частотой дискретизации ~70 кГц.

Для осуществления связи с ПК, вывода информации на дисплейный модуль, а также считывания показаний с платы ПД был использован микроконтроллер Atmel AVR ATmega32u4. Для микроконтроллера и ПК были написаны программы, позволяющие держать связь посредством COM-порта, сохранять (логгировать) и визуализировать данные. Все части макета, отвечающие за обработку сигнала, были собраны в один корпус и соответствующим образом подключены (рис. 3). Выходной COM-порт макета был гальванически развязан с помощью оптронов от ПК для исключения появления «земляных петель» и уменьшения вносимых помех в работу АЦП микроконтроллера.

Рис. 3. Макет измерителя в сборе

Далее были проведены испытания макета по схеме, представленной на рис. 4. В качестве источника оптического излучения использовался KrF эксимерный лазер Coherent COMPex 102F. Длина волны лазера составляла 248 нм, длительность лазерного импульса - 22 нс. Энергия импульса лазерного излучения варьировалась от 10 до 180 мДж.

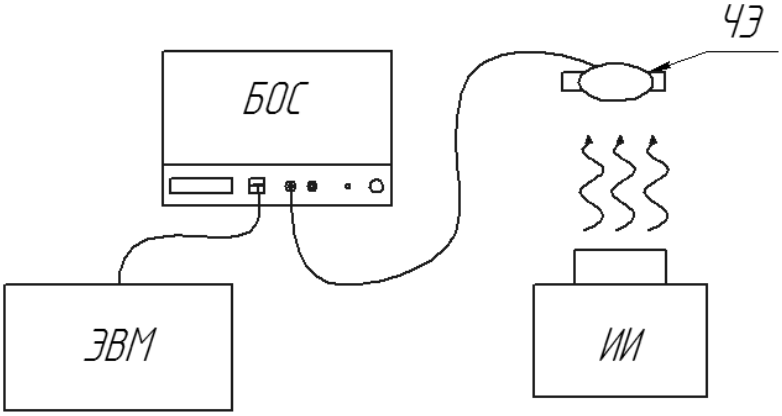


Рис. 4. Блок-схема подключения оборудования для проведения испытаний макета, где ЧЭ – чувствительная часть макета, БОС – блок обработки сигналов, ИИ – источник излучения, ЭВМ – электронно-вычислительная машина (ПК)

На рис. 5 видно, что при энергиях импульса превышающих 105 мДж, наблюдается резкий рост общего сопротивления, при воздействии лазерным излучением с частотой генерации импульсов 10 Гц в течение 30 минут. Полученная характеристика является типичной для эксимерного лазера.

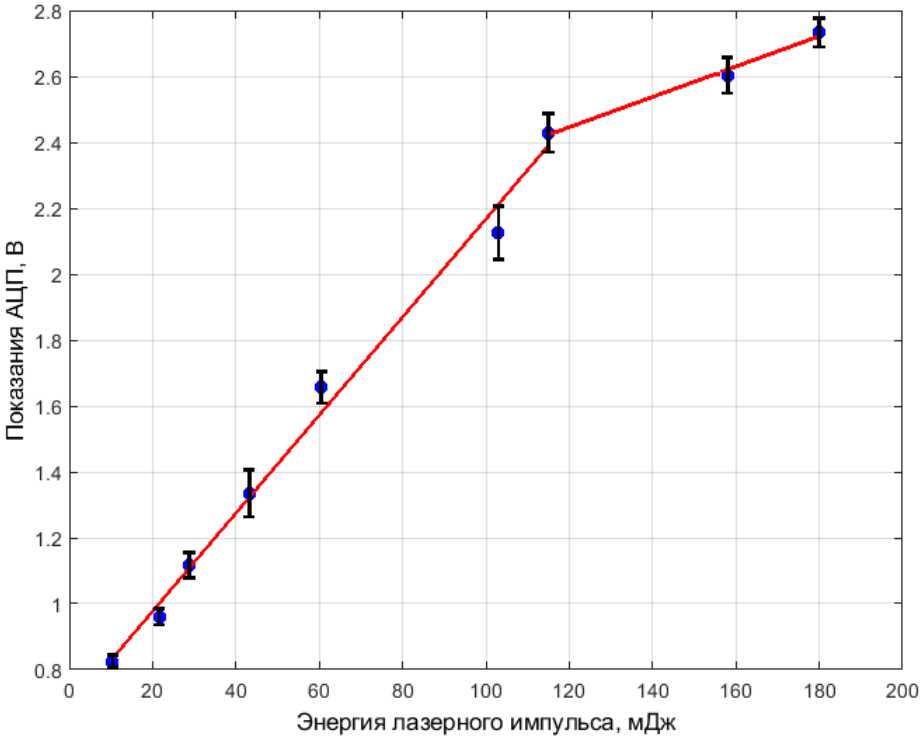


Рис. 5. Зависимость показаний АЦП (В) от энергии импульса лазерного излучения (мДж)

Для оценки величины погрешности были проведены замеры энергий импульсов разрабатываемым измерителем и пироэлектрическим измерителем Coherent UV-max. Лазерный импульс отражался от поверхности зеркала и направлялся в измеритель. Результаты измерений для фотоэлектрического измерителя представлены на рис. 6.

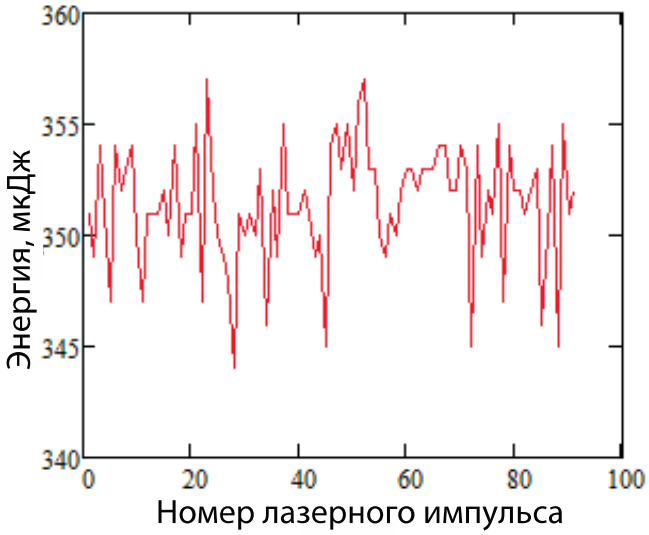


Рис. 6. Результаты одновременных измерений для испытуемого измерителя

Было рассчитано, что неопределенность измерений по 3σ не превышает ±5,19 мДж для данного диапазона энергий.

Заключение

В рамках данной работы были проведены сборка и исследовании характеристик макета измерителя энергии УФ лазера на основе фотоэлектрического эффекта пленок

оксида индия-олова. Неопределенность измерений разработанного макета не превышает ±5,19 мДж, а разработанная плата пикового детектора позволяет регистрировать импульсы лазера длительностью от 22 нс. Проведенные испытания показали, что оптимальным углом напыления, с точки зрения повышения чувствительности пленок, является 60°. На измерительном макете были измерены энергии эксимерного лазера – от 10 до 180 мДж. Поскольку пленки оксида индия-олова не обладают пироэлектрическим эффектом, то разрабатываемый измеритель не подвержен влиянию механических воздействий. Данное устройство можно устанавливать на пути следования лазерного пучка в оптическую схему. Температура чувствительного элемента оказывает меньшее воздействие на показания прибора, что позволяет использовать его для непрерывных измерений энергии. Разработанный измеритель, также в отличие от пироэлектрического детектора, не требует калибровки нулевого значения энергии.

Литература

1. Sprangle P./High-power, high-intensity laser propagation and interactions/ Sprangle P., Hafizi B. // Physics of Plasmas. 2014. Номер 21 С.
2. Dahotre N./Laser Machining of Advanced Materials/ N. Dahotre. CRC Press. Taylor Francis Group, 201. С. 236
3. Ediger M, Pettit G., Weiblinger R. / Noninvasive Monitoring of Excimer Laser Ablation by Time-Resolved Reflectometry/ Ediger M., Pettit G., Weiblinger R.// Refract Surg J. 1993. Номер 9. С.268-27.
4. Мешковский И.К., Плясцов С.А. Фотоэлектрический и фотомагнитный отклик пленок оксида индия-олова // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2015. Т. 15. № 6. С. 969–975. doi: 10.17586/2226-1494-2015-15-6-969-975

Бабаева Марина Юрьевна
Год рождения: 1995
Университет ИТМО,
факультет систем управления и робототехники,
студент группы №R4247c,
направление подготовки: 13.04.02. – Энергоэффективный,
автоматизированный электропривод,
e-mail: babayevamarina@ya.ru
Абдуллин Артур Александрович
Год рождения: 1988
Университет ИТМО,
факультет систем управления и робототехники,
к.т.н., доцент,
e-mail: artur.abdullin@corp.ifmo.ru

УДК 681.5.013

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ АЛГОРИТМОВ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА СЛОЖНЫХ МЕХАТРОННЫХ СИСТЕМ

М.Ю. Бабаева

Научный руководитель – к.т.н., доцент **А.А. Абдуллин**

Университет ИТМО

Работа выполнена в рамках темы НИР «Исследование алгоритмов управления электропривода сложных мехатронных систем»

Аннотация
В рамках данной работы рассматривается математическая модель исполнительной оси опорно-поворотного устройства телескопа альт-альт монтировки. Анализируются возмущающие воздействия, оказывающие влияние на объект управления. Проводится сравнительный анализ результатов имитационного моделирования синтезированных систем управления объектом (подчиненная система регулирования, система управления с внутренней моделью, полиномиальный регулятор). Анализируется среднеквадратическая ошибка работы систем в режиме слежения за линейным изменением задания. Оценивается устойчивость систем при условии вариации параметров объекта.
Ключевые слова: математическая модель, модальное управление, полиномиальный регулятор, подчиненное регулирование, сухое трение, ветровая нагрузка, робастность, среднеквадратическая ошибка.

Широкое распространение в промышленности получает использование прецизионного электропривода в технологических системах [1]. Одним из объектов сложного технологического устройства, требующего исключительной точности, является оптический телескоп (ОТ). Ведение круглогодичного контроля за околоземным и внеземным пространством с помощью ОТ является важной государственной задачей.

Объектом управления в рамках настоящей статьи является исполнительная ось опорно-поворотного устройства (ОПУ) телескопа альт-альт монтировки. Аналитически

математическая модель рассматриваемого объекта имеет следующее представление [2]:

$$\begin{aligned}
\frac{d\Omega_0}{dt} &= \frac{k_{inv}}{T_{inv}}u - \frac{1}{T_{inv}}\Omega_0, \\
\frac{dM}{dt} &= -\frac{1}{T_e}M + \frac{C_e C_m}{RT_e}(\Omega_0 - \Omega_1), \\
\frac{d\Omega_1}{dt} &= \frac{1}{J_1}M - \frac{1}{J_1}M_{12} - \frac{1}{J_1}M_{f1}, \\
\frac{dM_{12}}{dt} &= C_{12}(\Omega_1 - \Omega_2), \\
\frac{d\Omega_2}{dt} &= \frac{1}{J_2}M_{12} - \frac{1}{J_2}M_{23} - \frac{1}{J_2}M_{f2}, \\
\frac{dM_{23}}{dt} &= C_{23}(\Omega_2 - \Omega_3), \\
\frac{d\Omega_3}{dt} &= \frac{1}{J_3}M_{23} - \frac{1}{J_3}M_w, \\
\frac{d\alpha_1}{dt} &= \Omega_1,
\end{aligned} \tag{1}$$

где J_1, J_2, J_3 - моменты инерции первой, второй и третьей массы соответственно, где в качестве первой массы выступает ротор двигателя и часть вала оси до точки пересечения с азимутальной осью, второй массы – часть вала оси от точки пересечения с азимутальной осью до точки крепления вала в опоре и противовес, третьей – азимутальная ось без учёта противовеса, C_{12}, C_{23} – крутильная жесткость между массами, M_{f1}, M_{f2} – момент трения в опорах валов трубы объекта, M_w – ветровой момент, действующий на трубу телескопа, M - электромагнитный момент, развиваемый двигателем, M_{12}, M_{23} - момент кручения между первой и второй, второй и третьей массами соответственно, Ω_1, Ω_2 и Ω_3 - угловые скорости, характеризующие движение масс, C_e – конструктивная постоянная двигателя по ЭДС вращения, C_m – моментная постоянная двигателя, R – активное сопротивление обмотки двигателя.

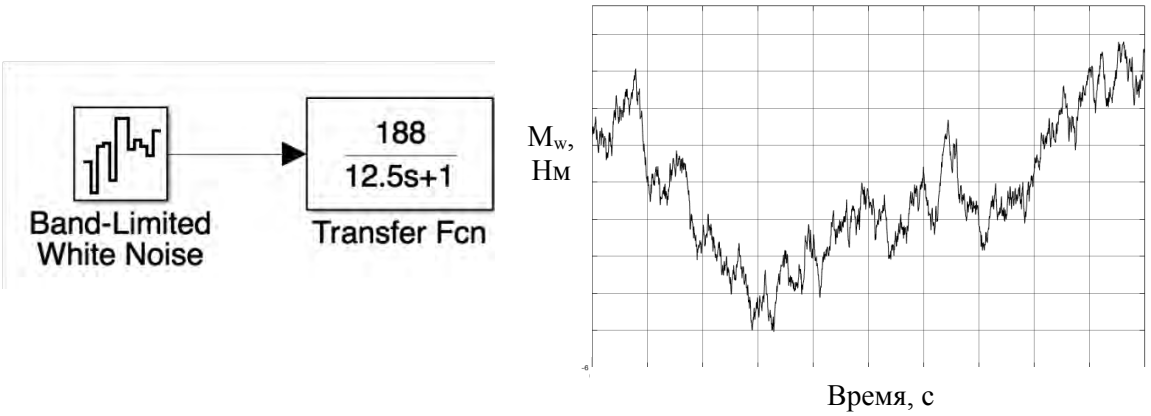
Во всех движущихся элементах механизма имеют место потери на трение, которые определяют моменты сопротивления движению, приложенные к соответствующим массам [3]. Математически модель трения можно описать следующим образом

$$M_f = \begin{cases} M_{f1}, \text{при } \Omega_1 \le \Omega_0, \\ \left(M_{friction} + \left(M_{f2} - M_{friction}\right)e^{-c_v|\Omega_0|}\right)sign(\Omega_1), \text{при } \Omega_1 > \Omega_0, \end{cases}$$

где $M_{friction}$ – момент сухого трения, M_{fl} – момент страгивания, M_{f2} – сила трения покоя, c_v – коэффициент аппроксимации перехода от трения покоя к вязкому трению, Ω_0 – некоторое пороговое значение скорости. График момента трения представлен на рис. 1.

Рис. 1. График зависимости формируемого момента трения
от скорости с учетом штрибек-эффекта

Вторым возмущающим воздействием в работе оптического телескопа является ветровая нагрузка. На основании работ [2, 4], модель ветровой нагрузки представлена в виде последовательно включенных блоков MATLAB: генератор белого шума и апериодическое звено (рис. 2).



а) б)

Рис. 2. Ветровая нагрузка: а) – модель ветровой нагрузки в MATLAB Simulink,
б) – график изменения величины ветровой нагрузки

Синтез регулятора для обеспечения требуемых свойств системы управления является возможным в том случае, когда имеется, как минимум, теоретическая возможность перевода объект из одного состояния в другое. В этой связи любое управление динамической системы эффективно, если она обладает свойствами управляемости и наблюдаемости. В рассматриваемой ранее системе (1) ранги матриц наблюдаемости и управляемости равны 3, порядок системы равен 8, следовательно можно сделать вывод о том, система является не полностью наблюдаемой и не полностью управляемой. Рассмотрим способ редукции, как один из возможных способов приведения модели объекта к полностью управляемой и наблюдаемой.

Проанализировав частотную характеристику объекта (рис. 4), можно сделать вывод о том, что в низкочастотной области объект может быть описан последовательным соединением апериодического и интегрирующего звеньев. Системный анализ редуцированной модели показал, что модель является полностью наблюдаемой и управляемой, а сравнение реакции на задающее ступенчатое воздействие исходной модели восьмого порядка и редуцированной показывает их незначительное различие

(рис. 3). Такая модель может быть использована для дальнейшего синтеза системы управления с модальным регулятором.

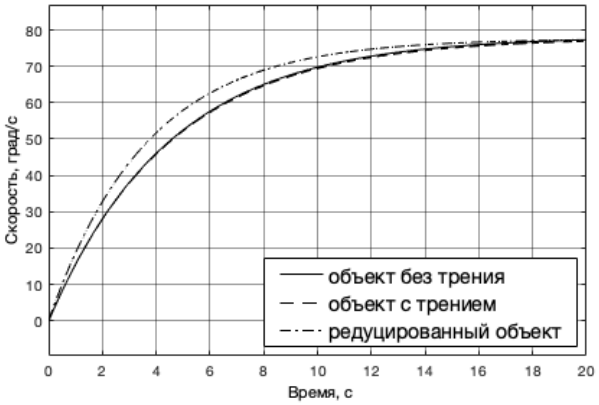
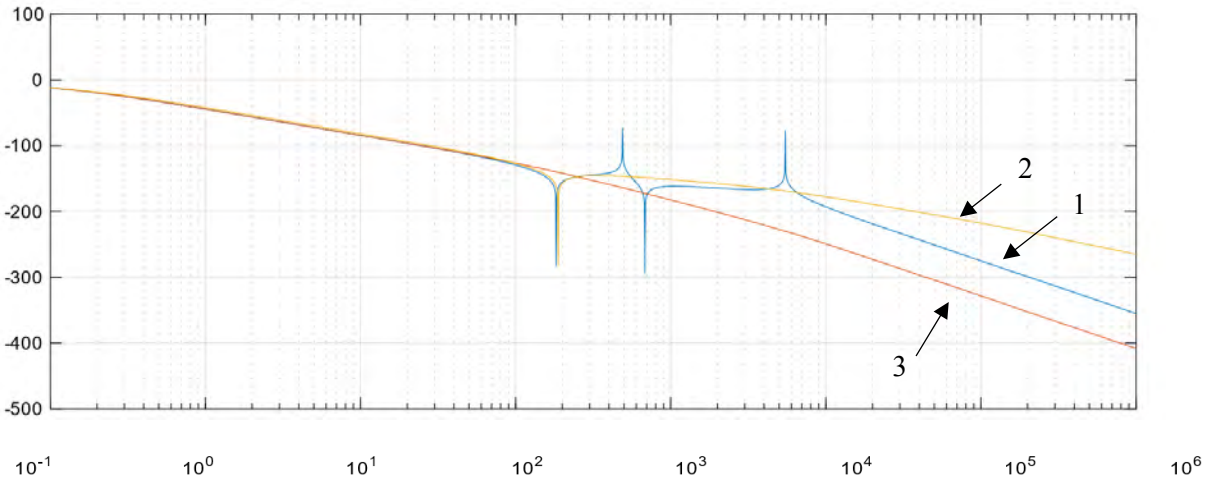


Рис. 3. Реакция на скачок задающего воздействия



Частота, рад/с

Рис. 4. Сравнение амплитудно-частотных характеристик
1 – АЧХ исходной модели, 2 – АЧХ модели с трением, 3 – АЧХ редуцированной модели

Для управления движением объекта были синтезированы три системы управления: система подчиненного регулирования, система управления с внутренней моделью и полиномиальная система управления. Был проведен ряд имитационных экспериментов в режиме слежения за линейно возрастающим задающим воздействием. Результаты моделирования представлены в таб 1.

Таблица 1

Среднеквадратическая ошибка в установившемся режиме

Система	Скорость	Среднеквадратическая ошибка, угл.сек.			
		Требуемое значение	Подчиненное регулирование	Модальное управление	Полиномиальный регулятор
Система без возмущающих воздействий	10’’/с	2,00	0,00	0,00	0,00
	1’/с	2,00			
	1°/с	5,00			
	5°/с	10,00			

Продолжение таблицы

Система	Скорость	Среднеквадратическая ошибка, угл.сек.			
		Требуемое значение	Подчиненное регулирование	Модальное управление	Полиномиальный регулятор
Система с трением	10’’/с	2,00	1,71	0,01	0,01
	1’/с	2,00	0,85	0,01	0,10
	1°/с	5,00	1,29	1,23	2,87
	5°/с	10,00	23,43	6,67	8,40
Система с трением и ветровой нагрузкой	10’’/с	2,00	1,87	0.04	0.04
	1’/с	2,00	0,93	0,68	3,75
	1°/с	5,00	1,57	1,56	4,19
	5°/с	10,00	23,43	6,70	9,40

На скорости 10’’/с в системе с подчиненным регулированием при наличии возмущающих воздействий наблюдается шаговый режим (рис. 5а). При увеличении скорости изменения задающего воздействия шаговый режим не наблюдается (рис. 5б), время переходного процесса составляет 0,64с. На скорости 5°/с в системе с подчиненным регулированием среднеквадратическая ошибка (СКО) превышает требуемое значение, заданное техническим заданием. В системе с модальным и полиномиальным управлением на низкой скорости шаговый режим отсутствует, время переходного процесса 0,45с и 0,40с соответственно.

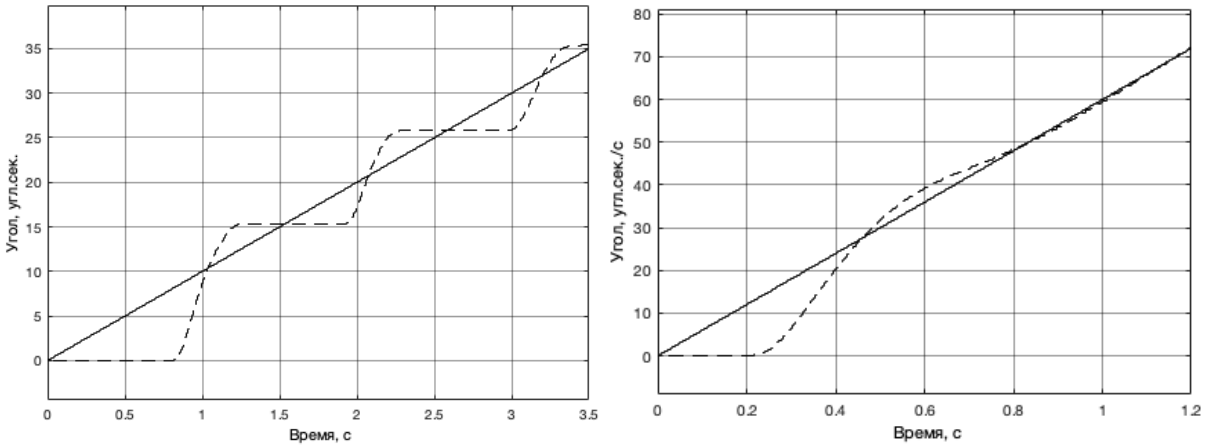
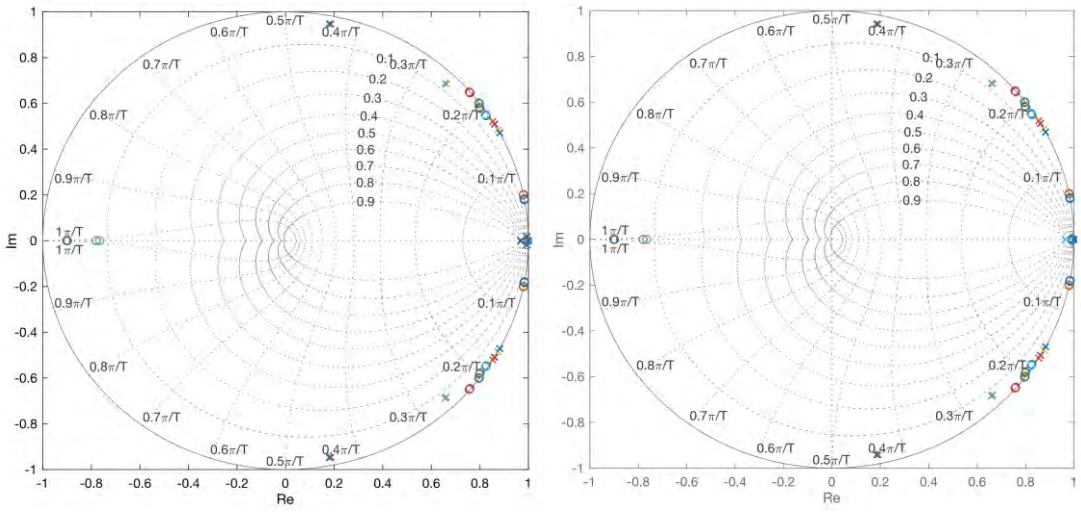


Рис. 5. Выход системы подчиненного регулирования в режиме слежения за линейно возрастающим заданием: а) со скоростью 10’’/с, б) со скоростью 1’/с

На основании полученных данных можно сделать вывод о том, что, несмотря на то, что система подчиненного регулирования является наиболее простой в реализации и настройке, она не обеспечивает требуемой техническим заданием точности в установившемся режиме для прецизионного устройства, а так же уступает в быстродействии системам с модальным и полиномиальным регулятором. В связи с этим, данные метод управления далее рассматриваться не будет.

Для анализа параметрической чувствительности системы с модальным и полиномиальным управлением, было решено принять значения моментов инерции J_1, J_2 и J_3 подверженными отклонению на величину ±20%. На рисунке 6 представлены корни замкнутых дискретных систем в угловых состояниях отклонения параметров. Как видно

на рис. 6, корни системы отклоняются, но не выходят за пределы единичной окружности, что свидетельствует о том, что системы не теряют устойчивости.



а) б)

Рис. 6. Корни замкнутой системы с а) модальным и б) полиномиальным регулятором при вариации параметров объекта

В процессе более широкого анализа робастности синтезированных систем управления, проведена серия имитационных экспериментов и рассчитана среднеквадратическая ошибка в установившихся режимах на максимальной скорости изменения задающего воздействия 5°/с. Часть полученных результатов приведена в таб. 2. Величина среднеквадратической ошибки не превысила значения, заданного техническим заданием, следовательно системы сохраняют требуемую точность при вариации параметров объекта в диапазоне ±20%.

Таблица 2

Величина среднеквадратической ошибки при вариации параметров объекта

№	Величина момента инерции, кгм^2			СКО САУ с внутренней моделью угл.сек.	СКО САУ с полиномиальным регулятором, угл.сек.
	первой массы	второй массы	третьей массы		
1	1,20·J1	1,20·J2	1,20·J3	6,3460	9,2839
2	1,20·J1	J2	1,20·J3	6,3523	9,2821
3	J1	0,80·J2	J3	6,3563	9,2860
4	J1	1,20·J2	1,20·J3	6,3461	9,2840
5	0,80·J1	0,80·J2	J3	6,3563	9,2833
6	0,80·J1	1,20·J2	1,20·J3	6,3462	9,2856

Выводы

1. Подчиненная система регулирования не обеспечивает требуемые показатели качества работы системы (СКО), заданные техническим заданием, а так же имеет низкое быстродействие по сравнению с другими рассмотренными алгоритмами управления.
2. Системы с модальным и полиномиальным управлением обеспечивают требуемое значение ошибки, указанное техническим заданием, и обладают высоким быстродействием.

3. Анализ чувствительности показал, что синтезированные системы устойчивы и робастны при ±20% отклонении параметров объекта от расчетных. Подробный анализ результатов свидетельствует о том, что наибольшее влияние на значение СКО при модальном управлении оказывает изменение значение момента инерции второй массы, а при полиномиальном регуляторе – первой.

Литература

1. Томасов В.С., Толмачев В.А., Дроздов В.Н., Денисов К.М., А.В. Гурьянов Электроприводы высокоточных оптических комплексов контроля космического пространства / // Труды VII Международной (XVIII Всероссийской) конференции по автоматизированному электроприводу. – Иваново: ФГБОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина», 2012. С. 457-462.
2. Абдуллин А.А. Разработка и исследование методов повышения точности следящих электроприводов с упругой нагрузкой // Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук, Санкт-Петербург, 2014.
3. H. Olsson K.J. Åström C. Canudas de Wit, M. Gäfvert P. Lischinsky Friction Models and Friction Compensation // European Journal of Control, Volume 4, Issue 3, 1998, Pages 176-195.
4. Демидова Г.Л. Разработка и исследование регуляторов с нечеткой логикой для следящих электроприводов оптико-механических комплексов // Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук, Санкт-Петербург, 2016.

Бужлакова С.Ю.
Год рождения: 1995
Университет ИТМО,
факультет пищевых биотехнологий и инженерии,
студент группа №Т4230,
направления подготовки: 19.04.01 – Биотехнология продуктов,
функционального назначения,
e-mail: buzhlakova.sweta@yandex.ru

УДК 664.6

РАЗРАБОТКА РЕЦЕПТУРЫ МУЧНЫХ КОНДИТЕРСКИХ ИЗДЕЛИЙ В РАМКАХ ПРОЕКТА НТИ «КОРРЕКЦИЯ МИКРОНУТРИЕНТНОГО СТАТУСА ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ СОСТОЯНИ ЗДОРОВЬЯ И ДЕМОГРАФИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАСЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ»

С.Ю. Бужлакова

Научный руководитель – к.т.н., доцент **О.Ю. Орлова**

Университет ИТМО

Аннотация
В результате проведенной коррекции рецептуры и технологии производства кекса «Английского», были подобраны новые сырьевые компоненты и технологические режимы производства, в разработанном продукте увеличено содержание микроэлементов кобальта и цинка на 35% и 30% соответственно; установлено, что ультразвуковая обработка способствует наиболее полной экстракции микроэлементов из кондитерского продукта не только с учетом введённых определенных количеств, но также и из ингредиентов.

Ключевые слова
Элементный статус, кобальт, цинк, минеральные вещества, обогащение продуктов, ультразвук.

Введение

Элементный статус является показателем, который оценивает различное количество химических элементов, содержащихся в организме, то есть положение избытка, недостатка или дисбаланса химических элементов [1].

Становление элементного статуса у организма в ходе онтогенеза предписывается его текущей физиологической потребностью в минеральных веществах, а также испытывает важное влияние сезонных, природно-климатических факторов, а также степени загрязнения окружающей среды токсичными элементами.

К существенным сдвигам в элементном «портрете» населения привели активность общественно-финансовых, природоохранных условий жизни, наравне с большим многообразием фармакологических средств и продуктов питания, обрушившихся в последнем десятилетии на жителей России.

На основании анализов исследований об элементном статусе детей, проживающих в Санкт-Петербурге. можно утверждать, что, приоритетной проблемой является массовая распространённость дефицитов микроэлементов кобальта, цинка,

марганца, меди, селена, йода [2]. Выявленные дефициты требуют проведения в городе комплекса целенаправленных профилактических мероприятий и улучшения показателей среды обитания.

Цель работы

Разработка рецептуры мучных кондитерских изделий, обогащенных микронутриентами в соответствии с рекомендациями ФАО/ВОЗ для детей в возрасте от 11 до 14 лет.

Задачи работы

1) Изучить микроэлементный статус детей в возрасте 11-14 лет, постоянно проживающих на территории г. Санкт-Петербурга и его влияние на состояние здоровья населения;
2) Провести маркетинговые исследования по тематике работы, с целью выявления предпочтений выбранной возрастной группы;
3) Провести коррекцию рецептуры традиционных мучных кондитерских изделий на предприятии ООО «Балтийский хлеб», с целью обогащения их необходимыми микронутриентами;
4) Исследовать качество сырьевых ингредиентов и качество обогащенной готовой продукции;
5) Предоставить требования к готовому продукту;
6) Оценить влияние обработки ультразвуком на экстракцию микроэлементов.

Результаты

На предприятии ООО Производсвенная корпорация «Балтийский хлеб», была разработан рецептура кекса «Английский» (таб. 1). Полученная рецептура обладает многокомпонентным составом. В каждом подобранном ингредиенте содержатся разные минеральные вещества.

Таблица 1

Рецептура кекса «Английский»

Сырье	Расход сырья на 1 шт, кг
Мука Тритикале	0,105
Сок апельсиновый	0,062
Банановое пюре	0,062
Сахар	0,045
Масло виноградной косточки	0,040
Сода	0,001
Лимонный сок	0,004
Клюква	0,030
Изюм	0,030
Выход	0,379

Для того, чтобы рассчитать какое количество микроэлементов нужно вносить в разработанный продукт, было определено, какое количество микроэлементов содержится в исходной рецептуре (таб. 2). Таким образом, вес всего продукта составляет 379 г, рекомендуемая порция продукта это 100 г. Был произведен расчет массовой доли минеральных веществ в продукте, а также в порции продукта и рассчитан процент восполнения суточной потребности организмов при потреблении данного продукта.

Таблица 2

Массовая доля минеральных веществ

Минеральное вещества	Массовая доля минеральных веществ		% процент восполнения суточной потребности
	В продукте (379 г)	В порции продукта (100 г)	Для порции продукта (100 г)
K	1074.86	283,00	18,90
Zn	3,83	1,01	8,42
Cu	1,64	0,43	54,00
Co	0,52	0,13	1,37
Ph	488,21	128,81	10,73
Fe	7,00	1,85	12,31
Mg	180,25	47,56	15,85
Mn	3,72	0,98	49,07

Анализируя полученные результаты, следует сказать, что полученный продукт кекс «Английский» в достаточном количестве содержит такие минеральные вещества как медь, марганец, калий и магний. По содержанию таких микроэлементов как кобальт, фосфор, железо и цинк продукт требует оптимизации. В рамках проекта по микроэлементному статусу, учитывая, что подростки города Санкт-Петербург в возрасте 11-14 лет испытывают массовый дефицит таких микроэлементов как кобальт и цинк, было решено, обогащать продукцию именно этими микроэлементами [3]. Расчет пищевой и минеральной ценности получили следующие значения (таб. 3, 4):

Таблица 3

Пищевая и энергетическая ценность кекса «Английский»

Содержание в 100 г продукта, г			Энергетическая ценность, ккал/кДж
Белки	Жиры	Углеводы	296/1238
4,3	11,3	44,3	

Таблица 4

Минеральный состав кекса «Английский»

Микроэлемент	Количество, мг/мкг		% от суточной потребности	
	До внесения, мг/мкг	После внесения, мг/мкг	До внесения, %	После Внесения %
Zn	1,01	4,07	8,42	38,42
Co	0,13	3,63	1,37	36,37

Таким образом, в полученном продукте кекс «Английский», увеличено

содержание таких микроэлементов как цинк и кобальт на 30% и 35% соответственно, засчет внесения БАДП «Кобальт-DS» и «Цинк-DS».

Для предварительной оценки эффективности загрузки микроэлементов в тесто, а также его потенциальной усваиваемости использовали ультразвуковую обработку [4]. Кроме того, ультразвук нашел свое применение в пищевой промышленности для наиболее полной экстракции веществ из фруктов и овощей, что дополнительно поможет учесть экстракцию микроэлементов, содержащихся в ингредиентах для теста. В связи с тем, процессы пищеварения представляют собой сложный процесс, состоящий из каскада неравновесных реакций, то ультразвук мы можем в первом приближении использовать в качестве модели для экстракции веществ в неравновесных процессах и приблизительной оценки усваиваемости веществ.

Была построена диаграмма зависимости концентраций экстрагированных катионов металлов от времени ультразвукового воздействия (рис. 1), при этом определяли общее количество экстрагированных катионов, считая, что микроэлементы выделяются пропорционально количеству их загрузки в тесто.

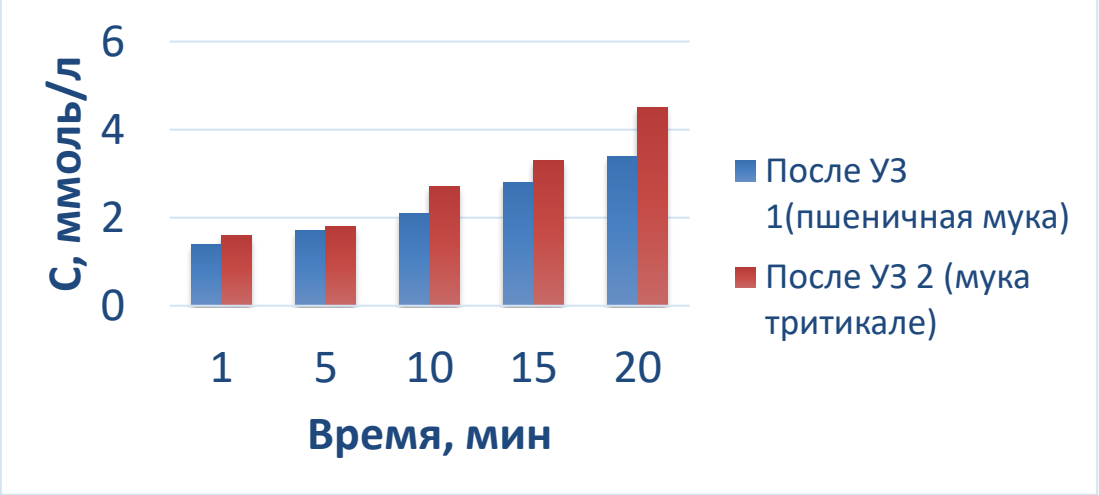


Рисунок. 1. Временная зависимость концентрации катионов металлов, экстрагированных в течение 1–20 мин ультразвукового воздействия

Таким образом, с увеличением времени ультразвуковой обработки концентрация экстрагированных микроэлементов возрастает линейно в случае пшеничной муки, и возрастает нелинейно в случае муки тритикале. Данный эффект может быть обусловлен большим содержанием марганца, кальция и железа по сравнению с пшеничной мукой.

Таким образом, установлено, что ультразвуковая обработка способствует наиболее полной экстракции микроэлементов из кондитерского продукта не только с учетом введенных определенных количеств, но также и из ингредиентов [5]. В разработанной технологии экстракции, сопряженной с ультразвуком, сокращается длительный (в течение 24 ч) процесс настаивания исследуемого образца до 5–20 мин, что обеспечивает снижение энергоемкости процесса. Кроме того, следует отметить, что возникающая в процессе кавитация обуславливает процесс экстракции в неравновесных условиях, что наиболее близко к процессам, протекающим в живых организмах, и может использоваться для первичной оценки усваиваемости микроэлементов.

Область применения

Разработанный продукт кекс «Английский» позволяет расширить ассортимент

мучных кондитерских изделий функциональной направленности. В ходе исследования решена одна из основных задач, стоящая перед предприятиями кондитерской промышленности в настоящее время, а именно, задача о создании рынка продуктов высокого качества, а также продуктов лечебно-диетического, профилактического и детского назначения, отвечающих потребностям конкретных групп населения.

В условиях элементного статуса детского населения Санкт-Петербурга, с преобладающим дефицитом таких микроэлементов как кобальт и цинк, разработан продукт, который может использоваться как дополнительный источник данных микроэлементов.

Полученный продукт обладает более усовершенствованных составом, повышенной пищевой ценность, повышенным содержанием минеральных веществ.

Предполагается производство разрабатываемого продукта на хлебопекарных предприятиях Санкт-Петербурга и Ленинградской области как блюдо, используемое в качестве десерта. Сбыт продукта предполагается в торгово-продовольственных организациях, а также лечебно-оздоровительных центрах.

Литература

1. Markert B. Instrumental element and multi-element analysis of plant samples – methods and applications. 2nded. Wiley, NewYork, 2010. 296 p.
2. Скальный А.В. Биоэлементы в медицине / Скальный А.В., Рудаков И.А. – М.: Издательский дом «Оникс 21 век»: Мир. 2010. 272 с.
3. Скальный А.В., Быков А.Т. Эколого-физиологические аспекты применения макро- микроэлементов в восстановительной медицине. Оренбург: РИК ОГУ, 2011. 198с.
4. Sonochemical Micronization of Taxifolin Aimed at Improving Its Bioavailability in Drinks for Athletes / Potoroko I.Y //Human. Sport. Medicine. 2018. Vol. 18 No. 3. P.90-100.
5. Потороко, И.Ю. Ultrasound effects based simulation of milk processing properties / И.Ю. Потороко, В.В. Ботвинникова //2nd Asia-Oceania Sonochemical Sosiety Conference. 2015. Том 07.– С. 67-68.

Варюхин Владимир Алексеевич
Год рождения: 1995
Университетт ИТМО,
факультет безопасности информационных технологий,
студент группы № N4252,
направление подготовки: 10.04.01 – Информационная безопасность,
e-mail: vladimirrus13@mail.ru
Левина Алла Борисовна
Год рождения: 1983
Университет ИТМО,
факультет безопасности информационных технологий,
к.ф.-м. наук, доцент,
e-mail: levina@cit.ifmo.ru

УДК 004.056.53

АНАЛИЗ ТРЕЙСОВ ПОЛУЧЕННЫХ ПО АТАКАМ СТОРОННИХ КАНАЛОВ

В.А. Варюхин

Научный руководитель – к.ф.-м.н., доцент **А.Б. Левина**

Университет ИТМО

Аннотация
Статья посвящена анализу атак по сторонним каналам на фитнес-трекер для домашних животных от компании Jagger&Lewis. Рассмотрена электромагнитная атака. Приведены актуальные угрозы информационной безопасности.
Ключевые слова
Атаки по сторонним каналам, трейс, Bluetooth, трекер, криптоанализ, алгоритм шифрования, запись, оконная функция, амплитуда, частота.

Забота о здоровье домашних животных приобретает все большую актуальность в настоящий момент времени. Еще в давние времена было замечено, если собака или кошка находится в состоянии болезни, то наблюдается резкое изменение его привычного образа жизни – вялость в передвижении, потеря аппетита, но часто владельцы домашних животных не могут заметить данные изменения в поведении. В связи с этим возникает угроза резкого ухудшения здоровья собаки, что также может привести и летальному исходу.

Чтобы избежать подобных ситуаций и предотвратить возможные негативные последствия были разработаны специализированные алгоритмы машинного обучения. В их задачи входит определение «ненормального» поведения питомца в зависимости от его внешних показателей (частота дыхания, сердцебиения, количество шагов и тд.).

Данные, полученные с помощью специальных устройств, называемыми фитнес-трекерами, передаются сначала на специальные агрегирующие сервера, где производится анализ полученной телеметрии. Затем результаты работы вышеупомянутых алгоритмов с подробным описанием могут быть отправлены как владельцам домашних животных, так и напрямую ветеренарным службам.

Следует отметить, что счета на услуги ветеринаров растут с каждым годом, и, как следствие, растут страховые взносы владельцам. Зарубежные страховые компании уже на протяжении 5 лет используют трекеры для расчетов стоимости страховки для домашних питомцев. Данный ошейник может помочь поддерживать свою собаку в хорошей форме, и помогает страховым компаниям снижать свои расходы.

В комплектацию данных средств мониторинга активности чаще всего включены датчики, акселерометры, микрофоны, GPS, WiFi, Bluetooth и другие модули. В связи с тем, что используется большое количество технологий, становится актуальным вопрос защищенности хранимой и передаваемой информации данного устройства. В данной работе рассматривается защищенность/уязвимость трекеров для домашних животных к атакам по сторонним каналам.

Атаки по сторонним каналам – вид атак, которые могут нарушить безопасность, используя утечки информации при физической реализации системы [1].

Во время работы через элементы, такие как: провода, трансформаторы, микросхемы проходит ток, в результате чего образуется электромагнитное поле. В случае если конструкция устройства недостаточно продуманна такие непреднамеренно созданные поля в состоянии нести полезную информацию о конкретных математических операциях шифрования, выполняемыми в исследуемый временной интервал.

Особое внимание при применении электромагнитных атак уделяют ЭМИ, которое излучается электрическими цепями, которые состоят из полупроводниковых элементов, такие как транзисторы, диоды, внутри вычислительных устройств [2].

Таким образом, задача изучения данного типа атак и способов противодействия им требует повышенного внимания.

Объект исследования: обеспечение информационной безопасности фитнес-трекера от компании Jagger&Lewis для домашних животных.

Предмет исследования: трейсы полученные при проведении атак по сторонним каналам, а именно при проведении атак по электромагнитному излучению.

Цель: изучение атаки по сторонним каналам на фитнес-трекеры и поиск эффективных способов защиты от них.

Для достижения указанной цели были поставлены следующие задачи:

- анализ аппаратной архитектуры фитнес-трекера;
- анализ программной архитектуры фитнес-трекера;
- съем электро-магнитных трейсов при работе трекера;
- анализ трейсов на предмет выявления закрытой информации;

В данной работе осуществляются следующие атаки по сторонним каналам: атака по времени и электромагнитная атака на на трекеры для домашних животных от компании Jagger&Lewis.

Исследования по теме данной работы являются актуальными, т.к. на данный момент область атак по сторонним каналам по отношению к трекерам для домашних животных еще недостаточно изучена, а значит существует угроза информационной безопасности для владельцев данных устройств.

Результатом данной работы выступает реализация электромагнитной атаки на трекер от компании Jager&Lewis, анализ полученных трейсов, а также предложены способы противодействия подобному типу атак, и методы с помощью которых можно защититься от них.

Полученные по итогам данного исследования результаты могут быть в дальнейшем проанализированы не только криптоаналитиками, которые специализируются в области исследования SCA, но и профильным организациям, которые осуществляют защиту конфиденциальной и персональной информации.

Система Jagger&Lewis представляет типичную архитектуру клиент-серверного взаимодействия. Используется 2 типа клиента: клиент-собаки (трекер) и клиент-владелец (аккаунт в мобильном приложении). Сервер является агрегатором данных присланных с ошейника. После применения специальных алгоритмов обработки владельцу отсылается актуальная информация о текущем состоянии питомца.

При первичной инициализации приложения происходит взаимная привязка трекера и аккаунта посредством Bluetooth. После требуется указать параметры WiFi для того, чтобы устройство могло автономно отправлять накопленные данные. В свою очередь мобильное приложение требует большое количество разрешений: доступ к местоположению, контактам, файловой системе.

При первом подключении Jagger&Lewis, необходимо подключить устройство к приложению для смартфона, доступному на iOS и Android.

После осуществления связи между смартфоном и трекером, приложение задает несколько вопросов, чтобы узнать как можно больше информации о собаке - например, возраст, тип, вес и нормальное потребление пищи.

Эта информация вносится в алгоритм обеспечения благосостояния, который был создан ветеринарами, и серверы компании начнут отслеживать активность и здоровье собаки. Профиль собаки и полученные данные сравниваются с обычным поведением и с аналогичными собаками, чтобы оценить их ежедневное поведение и их ценность для благополучия.

Данные отправляются через Wi-Fi на серверы компании и анализируются в зависимости от типа собаки. За прошедший год Jagger&Lewis создали базу данных, чтобы иметь возможность изучать более 300 видов собак.

С целью получения секретной информации из приложения Jagger&Lewis, был осуществлен реверс инжиниринг APK файла с помощью онлайн сервиса «DECOMPILERS ONLINE». После проведения процесса декомпиляции файла был произведен анализ используемых библиотек и модулей.

Так приложение использует следующие библиотеки:

- Bolts
- ButterKnife
- Dagger
- OKHTTP3
- Okio
- Retrofit2

Проанализировав файлы ресурсов стало известно, что приложение использует API предоставленное компанией Jagger&Lewis по адресу http://api.jagger-lewis.com/.

Угрозы безопасности, обнаруженные после исследования данных устройств, можно представить в таб. 1.

Таблица 1

Выявленные угрозы безопасности

Наименование УБИ	Описание	Объект воздействия
Угроза анализа криптографических алгоритмов и их реализации	Угроза заключается в возможности выявления слабых мест в криптографических алгоритмах или уязвимостей в реализующем их программном обеспечении.	Метаданные, системное программное обеспечение

Продолжение таблицы

Наименование УБИ	Описание	Объект воздействия
Угроза доступа к защищаемым файлам с использованием обходного пути	Угроза заключается в возможности получения нарушителем доступа к скрытым/защищаемым каталогам или файлам	Объекты файловой системы
Угроза подмены данных	Угроза заключается в подмене отправляемых данных, которые отправляются от трекера удаленному серверу, с целью обмана алгоритмов обработки для получения необходимых сведений.	Метаданные, системное программное обеспечение
Угроза доступа к смартфону	Угроза заключается в получении доступа к смартфону по используемым каналам связи (Bluetooth).	Смартфон

Электромагнитная атака на трекер производится с целью анализа трейсов для дальнейшего получения «скрытых» параметров подключения и характеристик Bluetooth в момент осуществления процесса аутентификации со смартфоном.

Схематично визуализировать данную атаку можно представить на рис. 1.

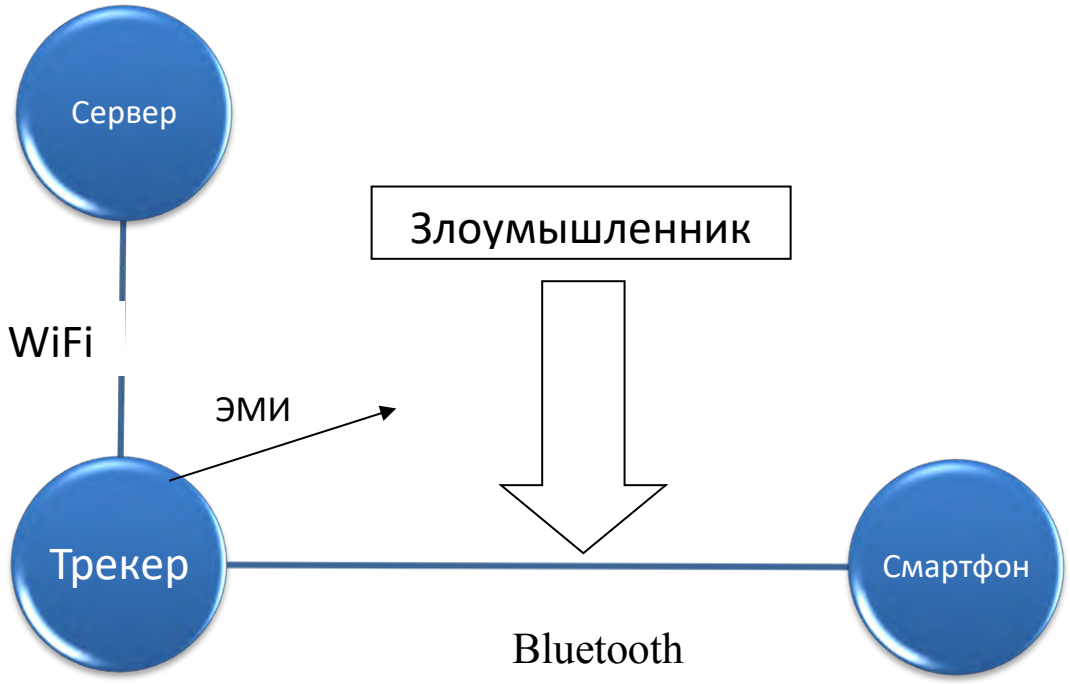


Рис. 1. Электромагнитная атака на фитнес трекер

Электромагнитная атака на фитнес-трекер для домашних животных от компании Jageer&Lewis была осуществлена с использованием следующего оборудования:

– цифровой осциллограф от компании National Instruments;
– антенна, с помощью которой производились измерения электромагнитных полей с устройства (зонд),
– программный комплекс на базе компьютера,
– программное обеспечение «RFSA – Soft Front Panel».

Данный осцилоглаф был выбран в связи с тем, что максимальная полоса пропускания равна 3 ГГц, а диапазон сигнала Bluetooth находится в интервале от 2.402 ГГц до 2.48 ГГц, что позволит записать трейсы, которые непосредственно описывают процессы аутентификации по данному протоколу.

Для того чтобы произвести получение секретных параметров Bluetooth, были осуществлено исследование трекера с использованием временной и электромагнитной атак.

Произведенное исследование в первую очередь показывает возможность осуществления подобного типа атак, с дальнейшим анализом полученных трейсов, при помощи записывающей аппаратуры для конкретной модели фитнес-трекера.

Для того, чтобы произвести дальнейший анализ трейсов, полученных в результате электромагнитной атаки, осциллограф был подключен к ЭВМ. С помощью лицензионного программного комплекса от компании National Instruments «RFSA – Soft Front Panel», который позволяет осуществлять запись сигналов с атакуемого трекера для последующего визуального анализа формы, а также для оценки амплитудных и временных характеристик.

К аналоговому входу осциллографа был подключен зонд для записи электромагнитных излучений с трекера. Запись сигнала производилась в различных режимах работы трекера – в момент поиска Bluetooth и в момент «спаривания» устройства со смартфоном. Съем всех сигналов проводился отдельно.

Записанные сигналы были переданы на ЭВМ, при помощи осциллографа, который осуществил процесс дискретизации на аналого-цифровом преобразователе. Таким образом, появилась возможность просмотра трейсов в вышеупомянутом программном обеспечении.

Для того чтобы качественно реализовать атаку по электромагнитному излучению, требуется осуществить процессы записей сигналов в нейтральном режиме и в активном/рабочем. Также необходимо выключить все устройства находящиеся в месте проведения эксперимента, за исключением оборудования, которое непосредственно требуется для проведения атаки.

Выполнение таких требований необходимо для осуществления более качественной записи сигнала, с минимизацией сторонних шумов. Исследование производилось в непосредственной близости от центрального процессора трекера, на расстоянии 0.1-0.2 см. Интервалом для сэмплирования был выбран временной промежуток в 20 наносекунд. Окно Блэкмана выступает в качестве типовой оконной функцией для всех записей.

Далее на трекере была запущена процедура «спаривания» по Bluetooth, который в свою очередь использует в качестве алгоритма аутентификации SAFER+. После запуска с помощью зонда был снят сигнал со трекера. В момент подключения устройство начинает очень активно излучать электромагнитные сигналы, которые удалось записать, что видно на полученных трейсах. Далее были записаны трейсы во время «привязки» трекера и смартфона. В данном случае на рисунке 2 видны значительные, но краткосрочные «всплески» сигнала.

Одной из ключевых проблем анализа трейсов полученных по сторонним каналам является, точное определение времени, проведения математических операций шифрования алгоритма. Если решить данную проблему не представляется возможным, то осуществить расшифрование «секрета» из спектрограмм нельзя.

Поиск данных временных интервалов может осуществляться визуально – дополнительные математические операции в процессоре отображаются «всплесками», лепестками. Так спектрограмме на рис. 2 такие моменты времени ярко выражены –

амплитуда сигнала становиться больше в момент подключения к смартфону по сравнению к сигналу в нейтральном режиме.

Анализ трейсов проводился с помощью окна Блэкмана, т.к. уровень боковых лепестков спектра данной оконной функции меньше динамического диапазона полученного при записи сигнала. Оконное преобразование осуществляется для того, чтобы можно было получить частотные компоненты из временной зависимости сигнала, что дает возможность провести его спектральный анализ.

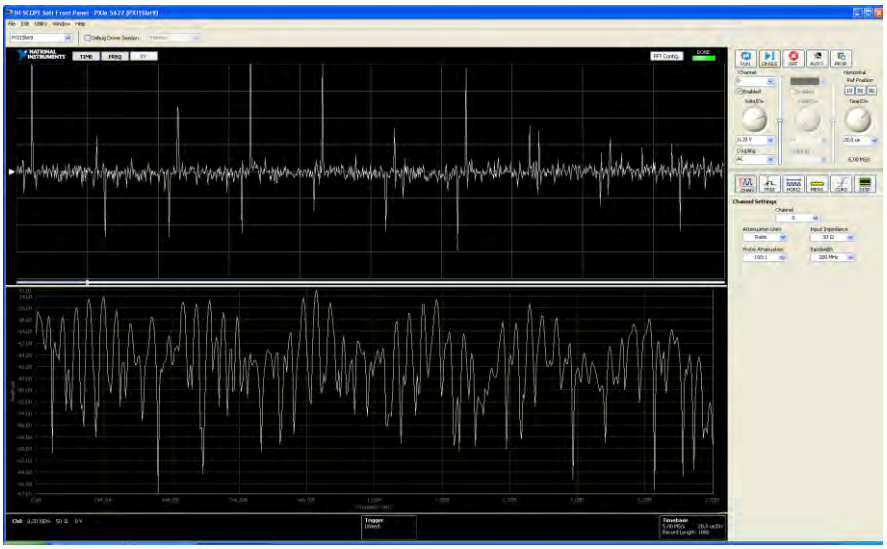


Рис. 2. Спектрограмма работы трекера в режиме «привязки» со смартфоном

Произведя анализ полученных трейсов, можно сделать вывод, что атака по электромагнитному излучению была проведена, но в связи с тем, что выбранное оборудование не позволило записать трейсы на более высокой частоте, выявить «секрет» не удастся. Для проведения качественного процесса расшифрования спектрограммы требуется записывать сигнал с большей детализацией. На данном оборудовании выделить отдельные операции, происходящие в центральном процессоре не представляется возможным.

Следует отметить, если применяемая в данной работе аппаратура делает невозможным качественно проанализировать полученные трейсы, данный факт не делает атаку с дальнейшей расшифровкой неосуществимой, поэтому для дальнейшего анализа трейсов, требуется повторить данную атаку, записав спектрограммы на более быстродейственном оборудовании. Примером такого устройства может выступать программно-аппаратный комплекс Inspector SCA от компании Riscure. Данный комплекс специально разработан для исследования микросхем на уязвимости к электромагнитным атакам.

Литература

1. Атаки по сторонним каналам [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://en.wikipedia.org/wiki/Side_channel_attack/, своб.
2. Genkin D. et al. ECDSA key extraction from mobile devices via nonintrusive physical side channels //Proceedings of the 2016 ACM SIGSAC Conference on Computer and Communications Security. ACM. 2016. P. 1626-1638.

Волкова Ксения Павловна
Год рождения: 1995
Университет ИТМО,
факультет фотоники и оптоинформатики,
студент группы № V4200,
направление подготовки: 12.04.03 – Фотоника и оптоинформатика,
e-mail: vk17@bk.ru
Глейм Артур Викторович
Год рождения: 1989
Университет ИТМО,
факультет фотоники и оптоинформатики,
к.т.н., доцент,
e-mail: aglejm@yandex.ru

УДК 535.8

КВАНТОВАЯ КОММУНИКАЦИЯ НА БОКОВЫХ ЧАСТОТАХ ПО АТМОСФЕРНОМУ КАНАЛУ МАЛОЙ И СРЕДНЕЙ ДАЛЬНОСТИ

К.П. Волкова

Научный руководитель – к.т.н., доцент **А.В. Глейм**

Университет ИТМО

Работа выполнена в рамках темы НИР № 216645 «Создание новых технологических компонентов систем управления географически распределенными ЦОДами, включая виртуализацию ресурсов (памяти, линий связи, вычислительной мощности, инженерной инфраструктуры) с использованием квантовых технологий для защиты линий связи».

Аннотация
Для функционирования устройств квантовой коммуникации на боковых частотах необходимо обеспечить синхронизацию блоков отправителя и получателя. При коммуникации по атмосферному каналу между блоками отсутствует волоконно-оптическая линия связи, поэтому необходимо передать сигнал синхронизации через систему из оптических коллиматоров. В работе рассмотрен метод спектрального уплотнения каналов квантовой коммуникации на боковых частотах в атмосферном канале малой и средней дальности.
Ключевые слова
Квантовая криптография, квантовое распределение ключа, атмосферный канал, квантовая коммуникация, спектральное уплотнение каналов.

Квантовая коммуникация – это техника передачи секретного ключа между пользователями, которая использует квантовые явления для обеспечения безопасности передачи ключа. С ее помощью можно спроектировать и создать такую систему связи, которая всегда будет обнаруживать подслушивание, поскольку, согласно теореме о запрете клонирования, перехват данных нелегитимным пользователем будет вносить изменения в систему, разрушая исходные данные. В настоящее время большое количество исследований проводится в области квантовых коммуникаций в атмосферном канале. Это актуально для тех случаев, когда невозможно проложить

волоконно-оптический канал, например, при соединении отдельно стоящих сооружений, коммуникации между островами, с летательными аппаратами или дронами. Немало исследований в этой области проводилось для достижения наибольшей длины атмосферного канала, что важно для спутниковой связи или коммуникацией с летательными аппаратами. Однако эксперименты на небольших расстояниях также имеют большое значение, поскольку могут быть использованы в условиях плотной застройки, а также решить проблему «последней мили», когда получатель расположен вне квантовой инфраструктуры [1]. В большинстве исследований с атмосферным каналом используется протокол с поляризационным кодированием последовательности квантовых битов. Использование такого протокола невозможно в волоконно-оптической линии, поскольку она не сохраняет поляризацию света. Вне лабораторных условий часто используется именно волоконная сетевая инфраструктура. Применение квантовой коммуникации в городских условиях требует интеграции с уже существующими системами, а потому требуется использовать метод кодирования битовых последовательностей, который позволит передать массив как по волоконному, так и по атмосферному каналу. Квантовая коммуникация на боковой частоте может быть использована в таких гибридных системах, поскольку ее можно передать без сильных искажений благодаря небольшой отстройки боковых частот от несущей [2]. Для функционирования устройств квантовой коммуникации на боковых частотах необходимо обеспечить синхронизацию модулирующих сигналов отправителя и получателя, синхронизировать моменты переключения фазовых состояний, а также передать информацию о начале и об окончании генерации блоков квантовых битовых последовательностей. Все эти задачи выполняет сигнал синхронизации. Поскольку рассматривается ситуация, когда невозможно проложить отдельный волоконно-оптический кабель между блоками отправителя и получателя, необходимо рассмотреть передачу сигнала синхронизации через атмосферный канал. Составление системы с отдельными коллиматорами для канала синхронизации является сложной и дорогостоящей задачей, поэтому оптимальным решением будет передать квантовый и синхронизационный сигналы в одном атмосферном канале связи.

Принципиальная схема экспериментального стенда квантовой коммуникации на боковых частотах со спектральным уплотнением представлена на рис. 1.

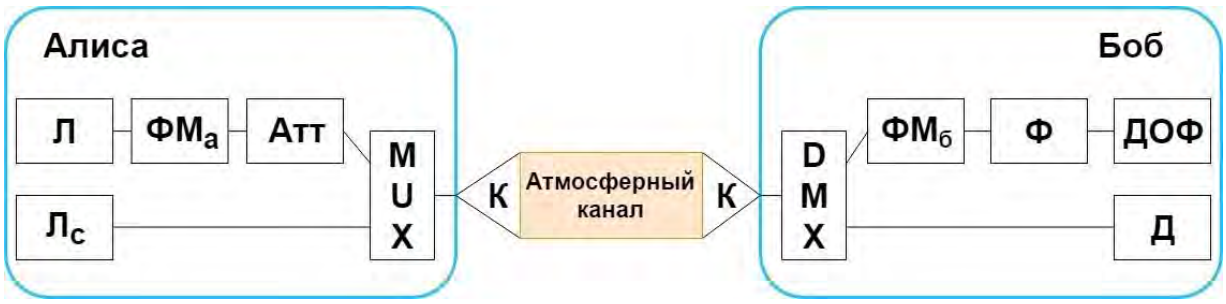


Рис. 1. Принципиальная схема мультиплексирования квантового и синхронизационного сигналов в атмосферном канале связи, Л – источник квантового сигнала, Лс – источник сигнала синхронизации, Атт – аттенюатор, ФМа – фазовый модулятор отправителя,MUX – мультиплексор, К – коллиматор, DMX – демультиплексор, ФМб – фазовый модулятор получателя, Ф – спектральный фильтр, ДОФ – детектор одиночных фотонов, Д – фотодетектор

Система состоит из модулей отправителя (Алисы) и получателя (Боба) соединенных атмосферным квантовым каналом. Полупроводниковый лазер Алисы излучает квантовый сигнал на оптической частоте ω. Этот сигнал модулируется в $LiNbO_3$

фазовом модуляторе электрическим сигналом с частотой Ω. В результате получается оптический спектр (рис. 2), состоящий из центрального пика и двух боковых частот ω + Ω и ω – Ω с фазовым сдвигом φ_A, который выбран случайным образом из двух ортогональных базисов согласно протоколу квантового распределения ключа с помощью боковой частоты. После модуляции сигнал пропускается через аттенюатор, где ослабляется таким образом, что на боковые частоты приходится в среднем 1 фотон. Затем этот сигнал мультиплексируется с сигналом синхронизации, и они проходят через атмосферный канал. На приемной стороне сигналы попадают в оптический коллиматор Боба и их демультиплексируют. Сигнал синхронизации отправляется на фотодетектор, а квантовый сигнал передается на фазовый модулятор получателя, где также вводится случайный фазовый сдвиг φ_B в соответствии с протоколом. После этого в оптическом спектральном фильтре происходит отделение боковых частот от несущей. Боковые частоты поступают на детектор одиночных фотонов. В зависимости от конструктивной интерференции, т.е. совпадения фазовых сдвигов Алисы и Боба, или деструктивной, т.е. не совпадения, мы будем наблюдать разные спектры, которые представлены на рис. 2. Детектор одиночных фотонов сработает только при конструктивной интерференции, а значит только тогда Боб сможет определить значение бита, переданного Алисой.

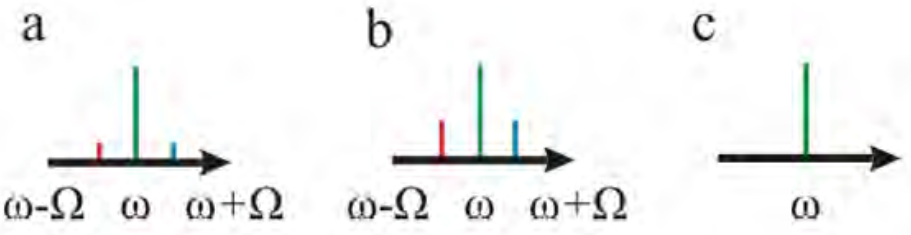


Рис. 2. Спектры оптического сигнала в системе квантовой коммуникации на боковых частотах. (a) – спектр после модуляции Алисы, (b) – конструктивная интерференция Боба (совпадение фаз), (c) – деструктивная интерференция Боба (фазы не совпали). ω – несущая частота, Ω – частота сигнала фазового модулятора [3]

Параметры разработанного экспериментального стенда представлены в таб. 1. Для ослабления мощности сигнала полупроводникового лазера использовался оптический аттенюатор, настроенный таким образом, что на каждую боковую частоту приходилось 13 пВт. Для сигнала синхронизации использовалась длина волны 1590 нм, поскольку она соответствует одному из окон прозрачности атмосферы, что обеспечит нам небольшое поглощение этого сигнала.

Таблица 1

Параметры квантовой системы

Длина волны квантового сигнала	1550 нм
Суммарная мощность несущей и боковых частот	257 пВт
Длина волны сигнала синхронизации	1590 нм
Частота смены фазы	100 МГц
Частота модуляции	4,8 ГГц
Среднее число фотонов	1
Квантовая эффективность детектора	10 %
Частота темновых отсчетов детектора	30 Гц
Потери в модуле Боба	7 дБ

Экспериментально получены значения потерь мультиплексора и демультиплексора. Эксперимент проводился с источниками двух длин волн 1550 нм и 1590 нм, которые соответствуют длинам волн квантового и синхронизационного сигналов соответственно. Мощность сигнала 1590 нм составляла 800 мкВт, мощность сигнала 1550 нм составляла 940 мкВт. В таб. 2 представлены результаты измерений на выходе мультиплексора при прямом подключении лазерного источника к нему, а также на выходе демультиплексора при прямом соединении мультиплексора и демультиплексора, т.е. без атмосферного канала.

Таблица 2

Потери мультиплексора и демультиплексора

Сигнал	Мощность на выходе MUX	Потери на MUX	Мощность на выходе DMX	Потери на MUX+DMX
1550 нм	474 мкВт	3 дБ	200 мкВт	7 дБ
1590 нм	332 мкВт	3,7 дБ	217 мкВт	6 дБ

Был проведен эксперимент с каналом малой дальности длиной 75 см (рис. 3). Измерение мощности сигналов проводилось на различных выходах демультиплексора (рис. 4). Для каждого из выходов были померены значения в трех случаях: для излучения 1550 нм, излучения 1590 нм, а также в случае мультиплексирования этих двух излучений. Результаты измерений представлены в таб. 3, где в строках указаны выходы демультиплексора, а в столбцах указаны излучения на входе мультиплексора. Данные значения были получены без ослабления сигнала до однофотонного уровня, поскольку прежде всего необходимо исследовать проникновение сигнала 1590 нм на выход 1550 нм.

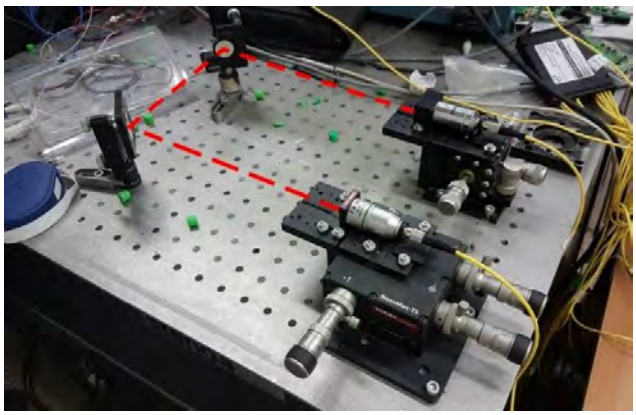


Рис. 3. Система из оптических коллиматоров для организации канала малой дальности

Рис. 4. Разделение квантового и синхронизационного сигналов демультиплексором. КК – квантовый канал, КС – канал синхронизации, MUX – мультиплексор, К – оптический коллиматор, DMX – демультиплексор

Таблица 3

Затухание сигналов в схеме малой дальности

MUX / DMX	1550 нм	1590 нм	1550 нм +1590 нм
1550 нм	-12,5 дБ	-76,5 дБ	-12,5 дБ
1590 нм	-77,8 дБ	-14 дБ	-14 дБ

Было измерено затухание сигналов в атмосферном канале с использованием волоконно-оптических коллиматоров, рассчитанных на расстояния средней дальности (рис. 5). Был проведен эксперимент в помещении с длиной атмосферного канала 5 м, результаты измерений представлены в таб. 4. Высокие потери на таком расстоянии объясняются сильными флуктуациями воздуха в помещении. Из-за замкнутости пространства возникает турбулентность воздушных потоков: сквозной ветер между дверьми и окнами лаборатории, тепловая радиация от работающих машин. Также был проведен эксперимент на улице с длиной атмосферного канала 30 м, измерения затухания представлены в таб. 5.

Таблица 4

Затухание сигналов в помещении

MUX / DMX	1550 нм	1590 нм	1550 нм +1590 нм
1550 нм	-14 дБ	-78 дБ	-14 дБ
1590 нм	-80 дБ	-16 дБ	-16 дБ

Таблица 5

Затухание сигналов на улице

MUX / DMX	1550 нм	1590 нм	1550 нм +1590 нм
1550 нм	-15,5 дБ	-80 дБ	-15,5 дБ
1590 нм	-81 дБ	-19 дБ	-19 дБ

Рис. 5. Система из оптических коллиматоров для организации канала средней дальности слева – эксперимент в помещении, справа – эксперимент на улице

Согласно проведенным экспериментам продемонстрированы потери квантового канала в разных условиях. Поскольку проникновение сигнала синхронизации в квантовый канал не зависит от длины атмосферного канала или атмосферных условий, а также ввиду низкой мощности засветки квантового канала, наиболее точные результаты ее уменьшения будут получены при минимальных потерях в системе, что соответствует каналу малой дальности.

Рассмотрены варианты уменьшения засветки квантового канала сигналом синхронизации, поскольку шумовые фотоны ухудшают видность интерференционной картины, что приводит к увеличению коэффициента квантовой ошибки по битам. Для начала была проверена возможность фильтрации сигнала, путем пропускания его через второй демультиплексор. Поскольку мощность сигнала синхронизации, который проникает в квантовый канал, очень мала, далее в экспериментах использовался детектор одиночных фотонов. В таб. 6 представлена частота срабатывания этого детектора, а также перевод величин в ватты. Как видно, таким способом была увеличена изоляция квантового канала, однако мощность сигнала синхронизации слишком велика, чтобы избавиться от проникновения полностью.

Таблица 6

Мощности сигнала синхронизации

Мощность сигнала синхронизации	1 DMX		2 DMX	
52 мкВт	18 кГц	22,5 фВт	13 кГц	16 фВт

Помимо этого, два демультиплексора вносили слишком большие потери в квантовую систему, из-за чего выходило недопустимо высокое значение коэффициента квантовых ошибок по битам.

Экспериментальным путем было получено, что минимальное значение сигнала синхронизации, при которой система работает, составляет 500 нВт, что соответствует ослаблению сигнала на 15,5 дБ. Оптимизация мощности сигнала синхронизации уменьшит количество ошибок при квантовой коммуникации.

С учетом предложенных решений был выбран оптимальный режим работы квантовой коммуникации на боковых частотах: использовался 1 демультиплексор и сигнал синхронизации ослаблялся до 500 нВт (рис. 6). В таб. 7 представлены полученные значения для скорости генерации просеянного ключа и коэффициент квантовых ошибок по битам.

Таблица 7

Параметры процесса передачи квантовых бит

Видность	0,94
Скорость генерации ключа	5,48 кбит/с
QBER	3,67%

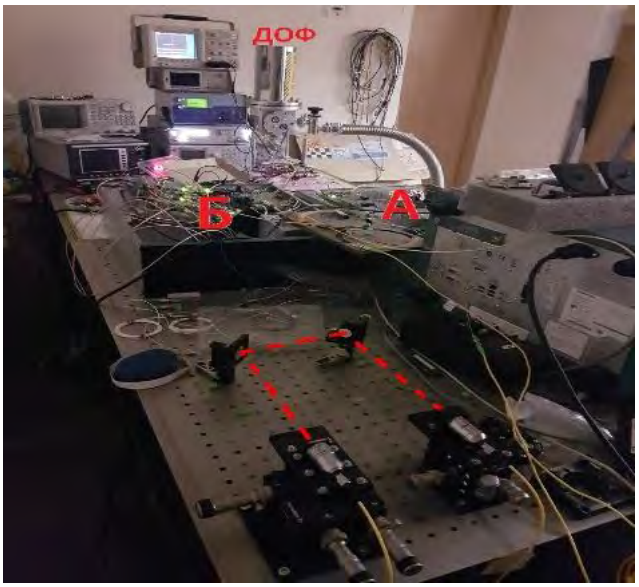


Рис. 6. Экспериментальный стенд квантовой коммуникации на боковой частоте по атмосферному каналу малой дальности. А – блок Алисы, Б – блок Боба, ДОФ – детектор одиночных фотонов

Таким образом, был разработан метод спектрального уплотнения каналов квантовой коммуникации на боковых частотах в атмосферном канале. Полученные результаты мультиплексирования квантового и синхронизационного сигналов демонстрируют успешную работу систем квантовой коммуникации на боковых частотах в гибридных системах, состоящих из волоконных и атмосферных линий, что является несомненным преимуществом для городских квантовых сетей. Дальнейшей развитием этой работы будет улучшение параметров процесса передачи квантовых бит путем уменьшения потерь в системе. Также планируется провести эксперимент с установкой системы из оптических коллиматоров на крышах соседних зданий, что продемонстрирует реализацию квантовой сети у конечного потребителя.

Литература

1. Willebrand H., Ghuman B.S. Free space optics: enabling optical connectivity in today's networks. SAMS publishing. 2002. 288 p.
2. Kynev S.M. et al. Free-space subcarrier wave quantum communication //Journal of Physics Conference Series. 2017. Т. 917. №. 5.
3. Gleim A.V. et al. Secure polarization-independent subcarrier quantum key distribution in optical fiber channel using BB84 protocol with a strong reference //Optics express. 2016. Т. 24. №. 3. С. 2619-2633.

Гайфулина Диана Албертовна
Год рождения: 1995
Университет ИТМО,
факультет безопасности информационных технологий,
студент группы N4249,
направление подготовки: 10.04.01 – Информационная безопасность,
e-mail: diana-lina95@yandex.ru
Волошина Наталия Викторовна
Год рождения: 1976
Университет ИТМО,
к.т.н., доцент факультета безопасности информационных технологий,
e-mail: nataliv@yandex.ru

УДК 004.056

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДИКИ АНАЛИЗА СЕТЕВОГО ТРАФИКА ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ АНОМАЛИЙ В КИБЕРФИЗИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

Д.А. Гайфулина

Научный руководитель – к.т.н. **Н.В. Волошина**

Университет ИТМО

Работа выполнена в рамках темы НИР № 619296 «Разработка методов создания и внедрения киберфизических систем».

Аннотация
Работа посвящена исследованию сетевого трафика в условиях неопределенных спецификаций сетевых протоколов для выявления аномалий в киберфизических системах. Предлагается подход к выявлению аномалий с использованием лексическое распознавания условно структурированных бинарных данных сетевого трафика на основе частотного анализа возможных последовательностей информационных единиц и их комбинаций. Представлены методика анализа сетевого трафика и результаты экспериментов, подтверждающих применимость предлагаемого подхода.
Ключевые слова
Выявление аномалий, анализ сетевого трафика, восстановление форматов данных, бинарные данные, проприетарные протоколы, анализ защищенности, неопределенные инфраструктуры, киберфизическая система.

Киберфизические системы (КФС) становятся с каждым годом все более востребованными из-за возможности интеграции информационных технологий и устройств взаимодействия с физическими процессами и объектами [1]. Среда передачи данных КФС включает множество сетевых протоколов и множество интерфейсов передачи данных между устройствами. Под протоколом рассматриваются алгоритмы, которые определяют последовательность сообщений между сетевыми компонентами на одном уровне и в разных узлах, а также их формат [2]. Особенностью среды передачи КФС является частое применение проприетарных протоколов с нерегламентированными спецификациями, что часто связано с желанием разработчиков устройств КФС защитить

свою интеллектуальную и коммерческую собственность. Таким образом, трафик в КФС характеризуется высокой гетерогенностью, а также структурной неопределенностью.

Для обеспечения безопасности КФС используются различные методы оценки их защищенности, в том числе анализ сетевой активности с целью выявления аномалий – ситуаций, в которых поведение инфраструктуры системы отличается от эталонного поведения. Получение всех возможных атрибутов сетевого трафика КФС позволяет построить текущий профиль сетевой активности и осуществить его верификацию в соответствии с заложенным шаблоном. Так как выделение признаков трафика для нерегламентированных протоколов затруднено, то и использование методик выявления аномалий сильно ограничено и приводит к частичному отсутствию данных в результатах оценки защищенности системы.

Целью данной исследовательской работы является повышение эффективности выявления сетевых аномалий в киберфизических системах в условиях нерегламентированных протоколов передачи данных. Для повышения качества построения модели поведения системы в условиях неопределенных протоколов передачи информации предлагается разработать методику структурного анализа сетевого трафика, позволяющую практически преодолевать данную неопределенность. В рамках работы ставятся следующие задачи: (1) определить общий подход к выявлению сетевых аномалий в КФС; (2) разработать методику выявления сетевых аномалий в КФС на основании статистических характеристик сетевого трафика; (3) разработать методику анализа сетевого трафика для определения структур протоколов передачи данных; (4) провести эксперименты по оценке эффективности предлагаемого подхода к выявлению аномалий и проанализировать результаты.

В условиях использования проприетарных протоколов передачи данных часть сетевого трафика представляется в виде упорядоченной последовательности цифровых (бинарных) данных, содержащих сообщения протоколов с нерегламентированными спецификациями. Спецификацией сообщения является информация о базовых типах данных полей сообщения, а также о группировке полей в структуры и последовательности. Таким образом, задача определения спецификаций сетевых протоколов (либо их приближений) сводится к задачам лексической разметки исходных данных по заголовкам протоколов и их полям.

Исходными данными разрабатываемой методики являются бинарные данные сетевого трафика. В результате выполнения разработанной методики бинарные данные сетевого трафика становятся размеченными по определенным полям протоколов – их лексемам. Структурный анализ бинарных данных предлагается осуществлять путем статистического анализа с использованием методов и алгоритмах извлечения ключевых слов из текстов, написанных на естественных языках.

Первый этап методики заключается в извлечении ключевых слов (лексем) – типовых последовательностей единиц информации (в данном случае, мы ограничились байтами данных). Из исходного набора данных S размерностью N байт извлекаются всевозможные комбинации байт для формирования множества «слов» DW. В сформированном словаре каждое «слово» w описывается уникальным порядковым идентификатором iw, значением vw, длиной k (в диапазоне от 2 до $|N|$ байт), и частотой наблюдения cw.

Второй этап методики осуществляет упорядочивание идентификаторов выделенных «слов». При последовательном анализе структурированных бинарных данных может возникнуть ситуация, когда очередной байт информации принадлежит одновременно двум и более возможным словам. В данном случае, в упорядоченную последовательность LI добавляется порядковый идентификатор «слова» с наибольшей частотой наблюдения (как наиболее значимой структурной единицы). Остальные слова

в данной позиции последовательности байт исключаются. Участки последовательности бинарных данных, в которых не присутствуют типовые последовательности, соответствуют нулевому идентификатору, обозначающему лексическую неопределенность данного участка.

Третий этап методики заключается в определении «цепочек слов» последовательности бинарных данных. Под «цепочкой слов» мы понимаем последовательность полей (лексем) с указанием размера и смещения относительно начала заголовка протокола для каждого из них. Список порядковых идентификаторов *LI* аналогично *первому этапу* разбивается на возможные комбинации по следующим условиям: последовательность не должна начинаться с нулевого идентификатора и должна содержать не менее двух слов. Каждая «цепочка слова» *c* в формируемом словаре *DC* описывается порядковым идентификатором *ic*, значением *vc*, длиной *z*, а также частотой наблюдения *cc*.

Четвертый этап методики позволяет упорядочить «цепочки слов» на исходных данных аналогично *второму этапу* и избежать их пересечения. В упорядоченную последовательность *LS* добавляется порядковый идентификатор «цепочки слов» с наибольшей частотой наблюдения. Участки бинарных данных, в которых не определены типовые структуры соответствуют нулевому идентификатору. Таким образом определяется предварительная структура бинарных данных по «цепочкам слов» *LS*.

На *пятом этапе* методики производится определение структуры пакетов в бинарных данных. Заголовки пакетов идентифицируются как наиболее часто наблюдаемые «цепочки слов» в последовательности, полученной на *четвертом этапе*. Определяются параметры «слов» для полей пакета *field',* такие как идентификатор *iw,* длина *k* и частота наблюдения среди сообщений *ct*.

Далее определяются границы полей в структуре сообщения путем подбора и анализа разметки с использованием словаря лексем. Таким образом, структура каждого пакета *pkt* состоит из множества полей *field*, принадлежащих выделенной структуре протокола. Анализируя возможные лексические типы полей сообщений, получается множество вариантов структур бинарных данных сетевого трафика. Таким образом, в результате выполнения разработанной методики последовательность бинарных данных становится размеченной по определенным полям протоколов формирования сообщений (лексемам).

Профиль сетевой активности описывается набором статистических характеристик, как целых сетевых пакетов, так и отдельных атрибутов, т.е. значений полей различных протоколов: частота (интенсивность) передачи/приема пакетов; среднее время между прибытием пакетов; максимальное время между прибытием пакетов; минимальное время между прибытием пакетов; стандартное отклонение времени между прибытием пакетов σ.

Для осуществления анализа каждое измерение статистической характеристики можно представить в виде точки, расположенной в пространстве множества характеристик. С помощью кластерного анализа можно объединить данные характеристики в различные кластеры и определить аномальные выбросы. Осуществляется кластерный анализ методом к-средних, в котором сперва случайным образом определяются центроиды кластеров, а затем ведется их пересчет до критерия остановки. Таким образом, в результате кластерного анализа статистических характеристик сетевого трафика в нормальном режиме работы определяются правила, описывающие значения набора эталонных характеристик трафика для построения нормального профиля поведения. Наличие данных правил, позволяет производить в реальном времени верификацию значений характеристик сетевого трафика.

Для выявления аномалий в среде передачи данных КФС определим следующие основные этапы: (1) определение структуры сетевого трафика (парсинг сетевых пакетов); (2) определение атрибутов нерегламентированных протоколов сетевого трафика; (3) вычисление статистических характеристик сетевого трафика; (4) построение профиля поведения системы; (5) верификация профиля поведения системы.

Схема архитектуры системы выявления сетевых аномалий представлена на рис. 1.

Рис. 1. Архитектура системы выявления сетевых аномалий

Предлагаемый подход к выявлению аномалий в КФС в условиях нерегламентированных сетевых протоколов был реализован на языке программирования Python и апробирована на различных наборах данных. Поставленный эксперимент состоит из следующих этапов: (1) определить исходные данные сетевого трафика КФС в различных режимах (нормальный и аномальный) для проведения эксперимента; (2) определить структуру исследуемого сетевого трафика КФС; (3) определить структуру бинарных данных НППД; (4) вычислить статистические характеристики сетевого трафика и построить профиль сетевой активности КФС для различных режимов; (5) сравнить профили нормальной и аномальной сетевой активности КФС.

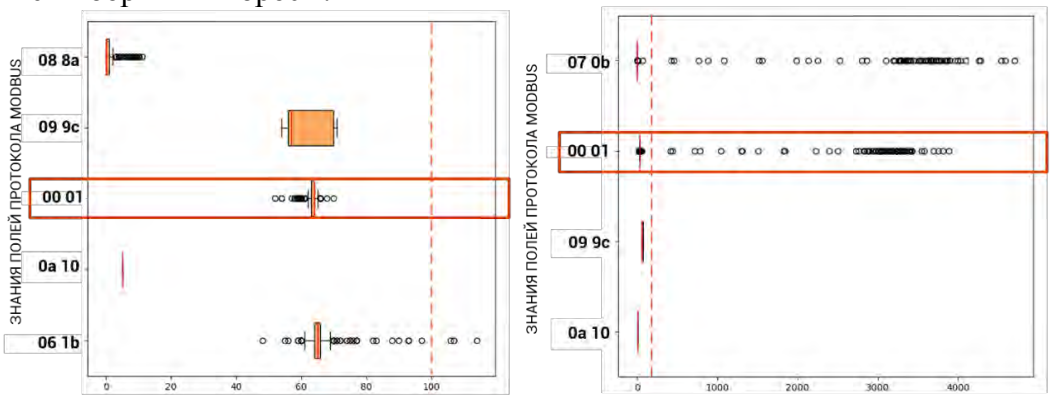
Испытательный стенд имитирует процесс работы промышленной КФС с использованием протокола MODBUS/TCP [3]. В качестве бинарных данных для анализа принимается полезная нагрузка протокола Modbus.

Исследуемые данные содержат записи сетевого трафика данной КФС для следующих сценариев: нормальный (штатный) режим работы КФС; атака «человек посередине»; MODBUS Query flooding; ICMP flooding; TCP SYN flooding. Исходные данные сгруппированные в 20 наборов суммарным размером 124,5 Мб, включающих 1428681 сетевой пакет 58 различных сетевых протоколов. В данных содержаться более 400000 значений полей специфицируемых протоколов и 28,5 Мб полезной нагрузки (бинарных данных).

В результате анализа было восстановлено несколько возможных спецификаций сообщений в сетевом трафике. Для каждой спецификации проведено сравнение с фактической структурой сообщения по полям сетевых протоколов и определено их совпадение в интервале от 66% до 91% [4]. Применение методики анализа бинарных данных позволяет получить больше атрибутов сетевого трафика для построения профиля и выявления аномалий. В среднем, около 20% прежде неразмеченных данных после внедрения методики пригодно для дальнейшего анализа (рис. 2).

Рис. 2. Результат сравнения числа полей протоколов после применения методики и исходного значения

В данном эксперимента мы используем значения первого заголовка восстановленной структуры протокола. Представленные рис. 3 графики отображают распределение вероятностей для интенсивности появления различных значений поля протокола Modbus для нормального режима и режима атаки. Частота (интенсивность) приема пакетов определяется при помощи метода скользящего среднего в виде усредненных значений исследуемого процесса – приема пакета с исследуемым атрибутом в определенным интервале времени с фиксированной шириной окна исследования. В данном эксперименте ширина окна составляет 10 секунд. Данный вид диаграммы позволяет отобразить медиану, квартили, минимальное и максимальное значение выборки и выбросы.



(а) ЧАСТОТА ПРИЕМА ПАКЕТОВ (пакет/10 сек)

(б) ЧАСТОТА ПРИЕМА ПАКЕТОВ (пакет/10 сек)

Рис. 3. Диаграммы размаха частоты приема пакетов по значениям первого поля структуры в (а) – нормальном трафике, (б) – атаке MODBUS Query flooding

Таким образом мы можем наблюдать появление большого числа выбросов для некоторых значений в представленной информации по одному из наборов данных, что может являться свидетельством о наличии сетевой аномалии.

В качестве точек для последующей кластеризации данных представляются измерения статистической характеристики интенсивности приема пакета с исследуемым значением поля Modbus (00 01). Отображение данной выборки и центроидов двух кластеров изображено на рис. 4.

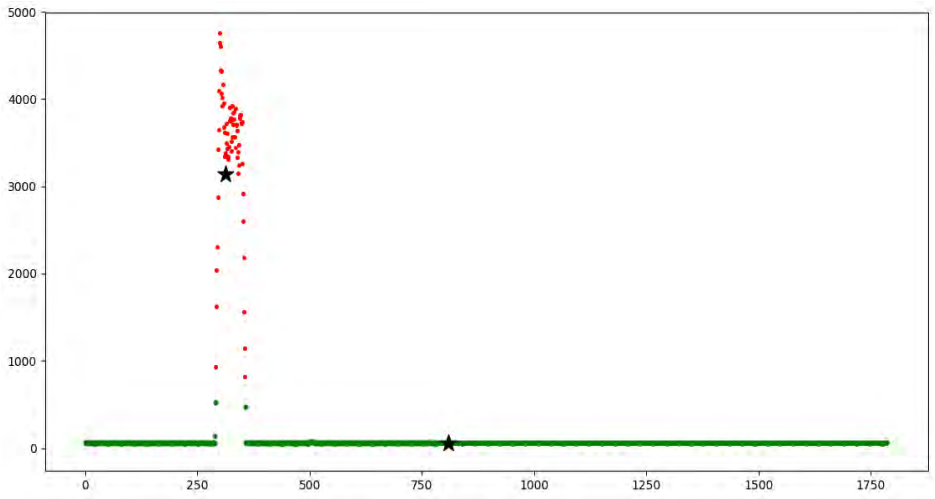


Рис. 4. Представление выявления аномалии в сетевом трафике

Таким образом, можно заключить, что на промежутке сетевого трафика между 300 и 380 секундами присутствует сетевая аномалия, что соответствует исходной информации об имитации сетевой атаки MODBUS Query flooding длиной в одну минуту в данной записи трафика. Таким образом кластерный анализ используется для нахождения экстремальных значений для определённых типов данных. Кластеризация позволит разделить множество точек, отражающих статистические характеристики сетевого трафика, на группы, и обнаружить явные выбросы в данных, являющиеся аномалиями.

Для оценки качества методики выявления сетевых аномалий в процессе функционирования необходимо определить следующие метрики [5]: скорректированный рандовый индекс (Adjusted Rand Index, ARI), скорректированная взаимная информация (Adjusted Mutual Information, AMI), гомогенность, полнота, V-мера, силуэт. Результаты представлены в таблице.

Таблица

Метрики оценки качества кластеризации

Наименование метрики	Значение
Adjusted Rand Index (ARI)	0.662295
Adjusted Mutual Information (AMI)	0.734566
Гомогенность	0.83904
Полнота	0.852974
V-мера	0,84595
Силуэт	0.14556

Положительное значение меры ARI говорит о том, что два разбиения схожи между собой, также как и положительное значение меры AMI. Высокие значения гомегенности, полноты и V-меры соответствуют высокой точности кластеризации. Значение силуэта близкое к нулю свидетельствует о том, что кластеры пересекаются и накладываются друг на друга. Таким образом вычисленные оценки демонстрируют высокую точность выявления аномалии в данных сетевого трафика.

В результате проведенных исследований разработана методика анализа бинарных данных в условиях неопределенных спецификаций сетевых протоколов, направленная на преодоление лексической неопределенности сетевого трафика. Путем применения

разработанной методики было достигнуто повышение эффективности выявления сетевых аномалий в киберфизических системах в условиях нерегламентированных протоколов передачи данных, что является целью данной работы. В основу методики заложены статистические подходы анализа информации на естественных языках, широко применяемые при интеллектуальном анализе текстов, что является основным теоретическим вкладом данной работы. Практическая значимость работы заключается в возможности выполнения предварительной обработки данных сетевого трафика для автоматизированного решения задач обнаружения аномалий, выполнения аудита безопасности, а также расследования инцидентов информационной безопасности в условиях неопределенных спецификаций сетевых протоколов.

Литература

1. Guru Row T.N. Cyber physical systems // T. N. Guru Row. – Bangalore: IISc press. 2013. 555 с.
2. Zhen Luo L. Position-based automatic reverse engineering of network protocols // Zhen Luo L., Shun-Zheng Y. / Journal of Network and Computer Applications 36, №3. 2013. pp. 1070–1077.
3. Frazão I. Cyber-security Modbus ICS dataset [Электронный ресурс] // Frazão I., Abreu P., Cruz T., Araujo H., Simoes P. IEEE Dataport, 2019. Режим доступа: http://dx.doi.org/10.21227/pjff-1a03 (26.04.2019).
4. Гайфулина Д.А. Методика предварительной обработки сетевого трафика для обнаружения аномалий в кибер-физических системах // Гайфулина Д.А., Федорченко А.В. / Информационные технологии в управлении (ИТУ-2018): Материалы 11-й конференции по проблемам управления (Санкт-Петербург, 2-4 октября 2018 г.). 2018. С. 428-432.
5. Pedregosa, A. Clustering performance evaluation¶ [Электронный ресурс] // Scikit-learn: Machine Learning in Python, Pedregosa et al. - Режим доступа: https://scikit-learn.org /stable/modules/clustering.html#clustering-performance-evaluation (26.04.2019).

Георгиева Александра Олеговна
Год рождения: 1995
Университет ИТМО,
факультет фотоники и оптоинформатики,
студент группы № V4202,
направление подготовки: 12.04.03 – Фотоника и оптоинформатика,
e-mail: georgievaalexandra95@gmail.com
Смолянская Ольга Алексеевна
Год рождения: 1978
Университет ИТМО,
факультет фотоники и оптоинформатики,
к.ф.-м.н. доцент,
e-mail: o_smolyanskaya@mail.ru

УДК 535.8

ЦИФРОВАЯ ГОЛОГРАФИЧЕСКАЯ МИКРОСКОПИЯ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ЛАЗЕРНО-ИНДУЦИРОВАННОЙ ТРАНСФЕКЦИИ КЛЕТОК

А.О. Георгиева

Научный руководитель – к.ф.-м.н., доцент **О.А. Смолянская**

Университет ИТМО

Работа выполнена в рамках темы НИР № 617033 «Разработка методов и устройств оптической и квантовой информатики».

Аннотация
В работе рассмотрена возможность применения методов цифровой голографической микроскопии к изучению лазерно-индуцированной трансфекции клеток, осуществляющейся с помощью фемтосекундного лазерного излучения. Данный подход позволит неинвазивно исследовать клеточные культуры, подвергающиеся трансфекции и отслеживать динамику их морфологии при внедрении внеклеточных субстанций в цитоплазму.
Ключевые слова
Цифровая голография, микроскопия, фемтосекундное излучение, трансфекция клеток, дифракционная фазовая микроскопия

Трансфекция обозначает внесение в клетку внеклеточных субстанций – нуклеиновых кислот, флуоресцентных молекул, белков, антител, лекарственных препаратов, которые могут позволить диагностировать на ранних стадиях или излечивать заболевания на клеточном уровне [1]. В данной работе рассматривается одна из методик – лазерно-индуцированная трансфекция, т.е. процесс введения молекул в цитоплазму клетки с помощью лазерного излучения, которое вызывает временное изменение проницаемости мембраны. В большинстве случаев, эффективность трансфекции и жизнеспособность клеток проверялась постфактум с помощью флуоресцентных красителей, что несет риск цито- и фототоксичности [2]. В связи с этим в данной работе был выбран метод цифровой голографической микроскопии для

количественного анализа клеточных культур в процессе лазерного облучения, позволяющий малоинвазивно исследовать клетки за счет регистрации фазового запаздывания, вносимого прозрачным объектом.

На данный момент существует четыре различных метода лазерной трансфекции: оптоинъекция, пермеабилизация мембраны ударной волной, вызванной лазерным излучением, фотохимическую интернализацию (введение экзогенной субстанции с помощью облучения фотосенсибилизирующего соединения) и облучение слабоинтенсивным лазерным излучением наночастиц на мембране [3]. В данной работе рассмотрен один из этих методов – оптоинъекция, основной принцип которой заключается в следующем: лазерный луч (чаще всего используется фемтосекундное лазерное излучение) фокусируется через микрообъектив с высокой числовой апертурой на клеточную мембрану, создавая в ней отверстие с оптимальным размером 0,1-1,0 мкм [4], через которое могут проходить внеклеточные субстанции, которые были помещены в ростовую среду перед непосредственно оптоинъекцией. При взаимодействии высокоинтенсивного лазерного излучения с жидкой средой, в которой находятся клетки, происходит быстрая ионизация среды в фокальном объеме, приводящая к образованию плазмы и нелинейного поглощения ей энергии лазерного излучения. Данный эффект приводит к образованию полостей с высоким внутренним давлением – кавитационных пузырьков [5], которые расширяются, перфорируют мембрану клетки, а затем стремительно сжимаются. После этого клеточная мембрана восстанавливается в течение нескольких десятков секунд [6]. Таким образом, условием оптоинъекции клеточной мембраны является генерация кавитационного пузыря в фокальном объеме. Принципиальная модель возникновения поры продемонстрирована на рис. 1.

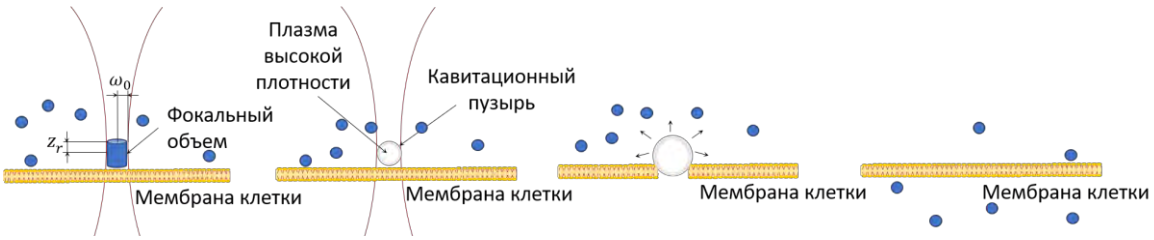


Рис. 1. Принципиальная модель возникновения поры в клеточной мембране с помощью сфокусированного лазерного излучения

С точки зрения свободных электронов, кавитационный пузырь возникает в случае, когда плотность свободных электронов превышает некоторое критическое значение. Поэтому с помощью моделирования эволюции плотности свободных электронов в жидкой среде были определены оптимальные условия оптоинъекции. В предложенной модели для простоты расчета предполагалось, что жидкость представляет собой дистиллированную воду, представляющую собой аморфный полупроводник [7]. Также сделано допущение, что для минимизации воздействия лазерного излучения на клетку и увеличения ее жизнеспособности после облучения в модели задавался только один фемтосекундный импульс. Граничные условия данной модели определялись тем, что все выполненные расчеты производились без учета изменения пространственных координат, т.е. плотность свободных электронов рассчитывалась в центральной точке фокального объема. Общая форма уравнения скорости изменения плотности свободных электронов, учитывающая многофотонную и каскадную ионизации, а также отток электронов из фокального объема из-за диффузии и рекомбинации электронов [7]:

$$\frac{d\rho}{dt} = \left(\frac{d\rho}{dt}\right)_{mp} + \eta_{casc} * \rho - g * \rho - \eta_{rec} * \rho^2, \quad (1)$$

где ρ – плотность свободных электронов, $(\frac{d\rho}{dt})_{mp}$ – скорость многофотонной ионизации, η_{casc} – коэффициент каскадной ионизации, g – коэффициент диффузии электронов из фокального объема, η_{rec} – коэффициент рекомбинации электронов.

Формулы для коэффициентов в уравнении (1) подробно описаны в работе [7].

В таблице представлены параметры, использующиеся при расчетах. Были проведены расчеты для титан-сапфирового фемтосекундного лазера.

Таблица

Значения величин, использующихся при моделировании

Величина	Единицы измерения, пояснения
λ=800	нм, длина волны
ω_0=2	мкм, радиус перетяжки лазерного излучения
$p_{cr}=10^{20}$ [5]	$см^{-3}$, критическая плотность свободных электронов
n=1,329	показатель преломления воды на длине волны 800 нм
τ=1	фс, время электрон-фононных столкновений
ΔE=6,5	эВ, ширина запрещенной зоны воды

На рис. 2 приведена динамика плотности свободных электронов в зависимости от разных параметров лазерного импульса.

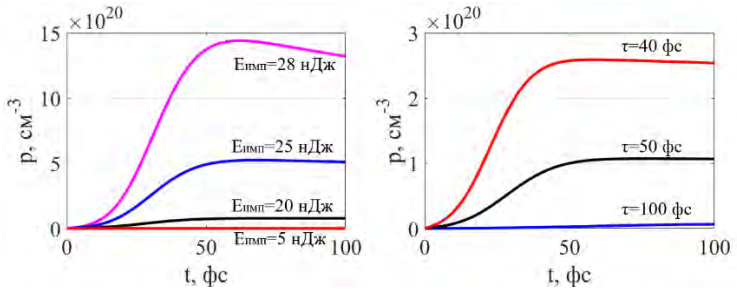


Рис. 2. Динамика плотности свободных электронов в зависимости от а) энергии импульса (длительность импульса 50 фс), б) длительности импульса (энергия импульса 21 нДж)

Согласно полученным результатам, для оптоинъекции клеточной мембраны одним фемтосекундным импульсом оптимальным является импульс с энергией 20-25 нДж и длительностью 40-50 фс. Более высокие параметры приведут к увеличению плотности свободных электронов выше критического значения, а значит, к увеличению объема плазмы, что может вызвать необратимые повреждения клеточной мембраны, а энергии меньше данного порога не приводят к возникновению оптического пробоя.

Для исследования клеточных культур *in vitro* удобно использовать оптические схемы с вертикальным направлением оптической оси. Одним из оптимальных решений является схема дифракционной фазовой микроскопии (ДФМ) [8]. Данный выбор был обусловлен исходя из следующих преимуществ: устойчивость к внешним шумам и вибрациям за счет отсутствия необходимости стабилизации опорной и объектной волны (интерферометрия общего пути), применение внеосевого метода записи цифровых голограмм, фазовый сдвиг которых регистрируется в виде полос конечной ширины за одну экспозицию, достижение максимального пространственного разрешения, ограниченного дифракционным пределом.

На рис. 3 представлена оптическая схема и фотография установки ДФМ с лазерным источником излучения.

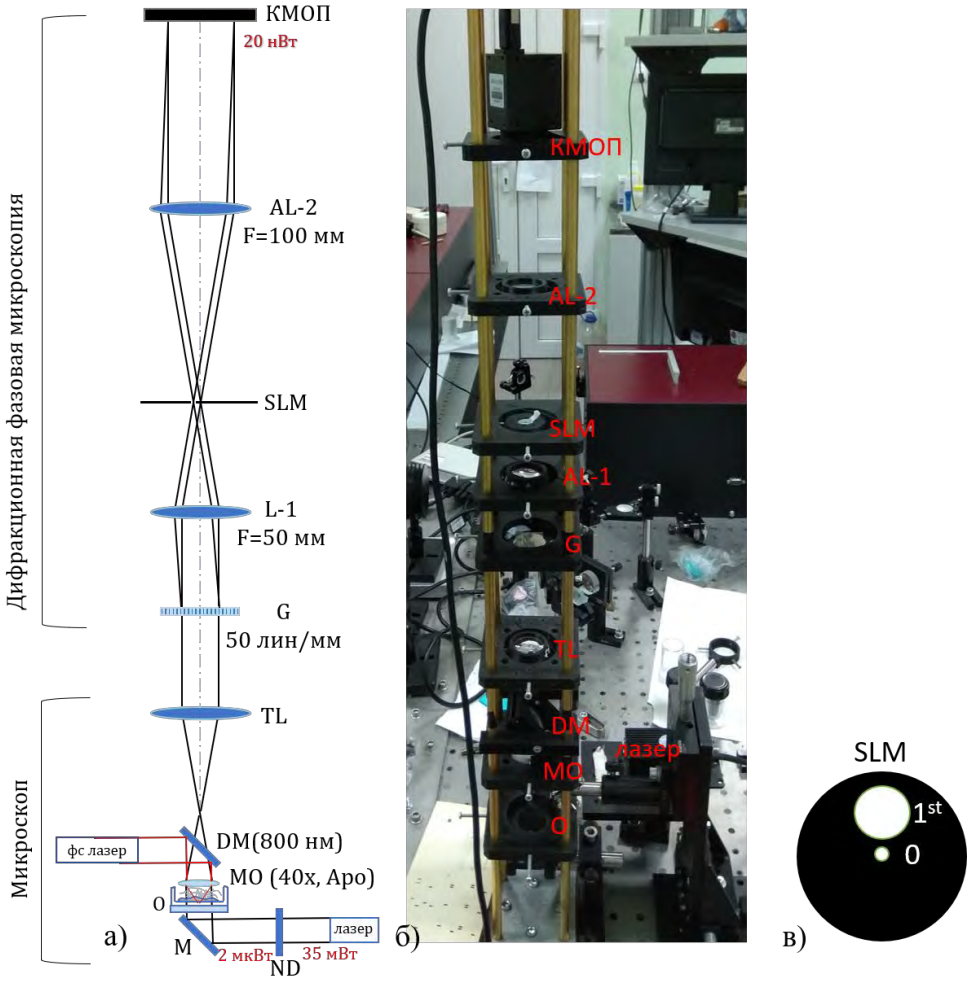


Рис. 3. (а) Оптическая схема ДФМ с лазерным источником излучения. Laser – лазер (λ=532 нм, P=35 мВт), ND – светофильтр, M – зеркало, MO – апохроматические микрообъективы (10×, NA 0,3; 40×, NA 0,65), O – исследуемый объект на трехкоординатной подвижке, DM – дихроичное зеркало (800 нм), TL – окуляр (тубусная линза), G – дифракционная решетка, AL_1, AL_2 – ахроматические линзы (ахроматические дублеты), SLM – статический пространственный модулятор света, S – регистрирующий матричный фотоприемник (КМОП-камера Mind Vision-UB130GM, с глобальным затвором, 36 fps, 1,3 мп). Красным цветом проставлены выходные мощности лазерного излучения на указанном участке оптической схемы; (б) фотография установки; (в) схематичное изображение SLM

Фемтосекундный лазер для оптоинъекции заводится в оптическую схему через дихроичное зеркало и фокусируется на клетку в чашке Петри через микрообъектив. Подробное описание принципа ДФМ приводится в работе [8]. Голограмма формируется за счет интерференции опорной и объектной волн: объектная волна формируется первым порядком дифракции от дифракционной решетки, опорная – нулевым порядком дифракции, проходящим через пинхол для низкочастотной фильтрации в статическом пространственном модуляторе света (рис. 3в). Для изготовления модуляторов было использовано три метода – прожигание в плазменном канале фемтосекундного излучения, прожигание CO_2 лазером и получение методом фотолитографии, оптимальным из которых явилось прожигание CO_2 лазером (рис. 4). Размеры отверстий для пучков определялись с помощью соотношений, полученных в работе [9] и для параметров схемы составили более 1,3 мм для объектного луча, и менее 10 мкм для опорного луча.

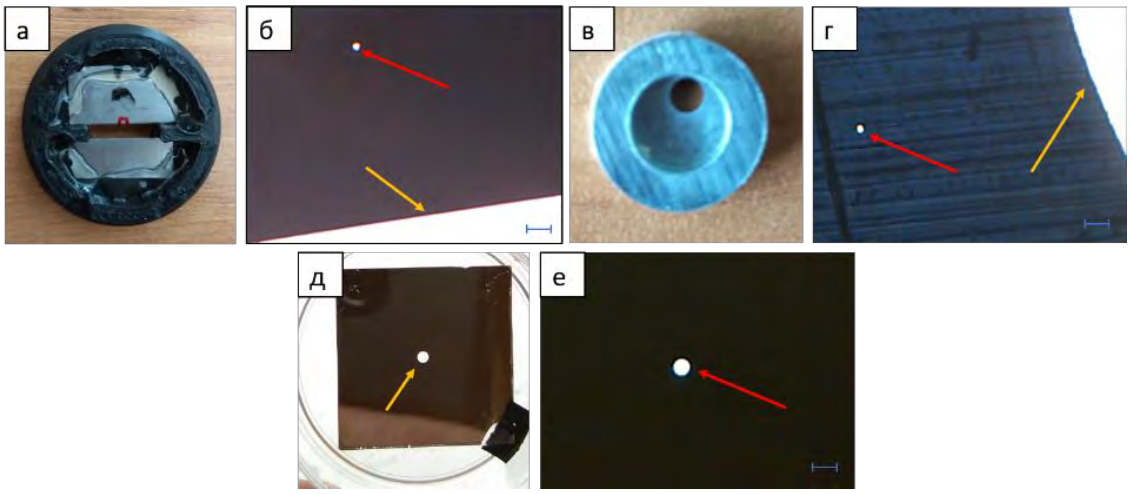


Рис. 4. Статические пространственные модуляторы света, изготовленные методами прожигания в плазменном канале фемтосекундного лазера (а) фотография б) изображение под микроскопом), прожигания CO_2 лазером (в) фотография г) изображение под микроскопом), фотолитографии (д) фотография е) изображение под микроскопом). Для б), г), е) масштаб 30 мкм

Для калибровки пространственных размеров объекта и получения точного соотношения реальных размеров объекта к размерам в регистрирующей плоскости были использованы калибровочные объекты: калибровочный слайд с микрометрической шкалой с разрешением 0,01 мм и предфильтр – полимерная пленка со сквозными порами диаметром 70 мкм (рис. 5).

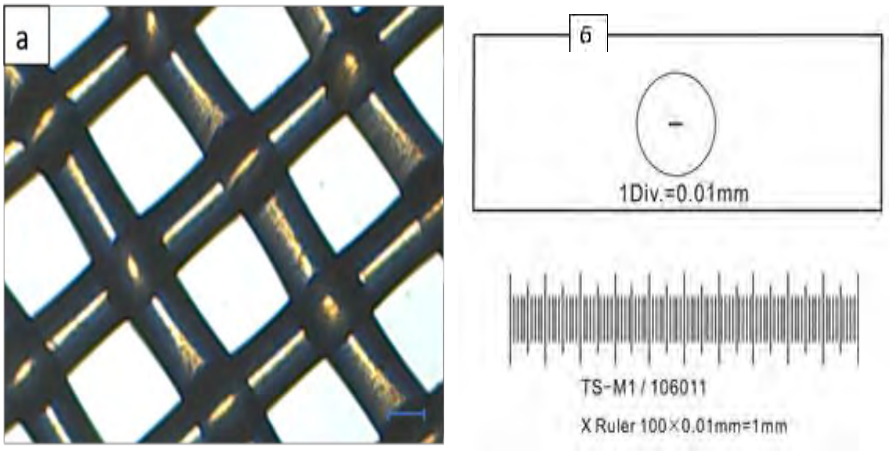


Рис. 5. а) Изображение предфильтра в световом микроскопе, масштаб 30 мкм, б) схематическое изображение калибровочного (микрометрического) слайда

Также в качестве объекта был использован препарат с фиксированными в параформальдегиде клетками HeLa. Восстановление амплитуды и фазы объектной волны из цифровых голограмм в плоскости измерения было выполнено с помощью метода наименьших квадратов [10].

На рис. 6 показаны амплитудно-фазовые распределения объектной волны, полученные для калибровочных объектов. Фазовые изображения в данном случае – это распределения разности фаз, полученные в результате вычитания фазы излучения в отсутствии объекта (фона).

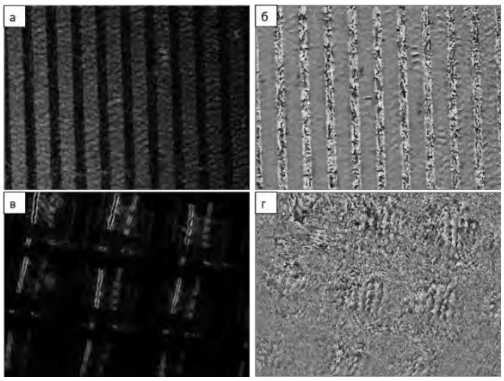


Рис. 6. а) Амплитудное и б) фазовое (с вычтенным фоном) изображение калибровочного слайда, в) амплитудное и г) фазовое (с вычтенным фоном) изображение предфильтра

Рис. 6а и 6в показывают достаточно качественное амплитудное изображение объекта, при этом для рисунка 6б распределение разности фаз более четкое и соответствует ожиданиям. Для рисунка 6г при получении распределения разности фаз большая часть информации была потеряна из-за спекл-шумов, в силу высокой когерентности излучения. Также были получены амплитудные и фазовые изображение фиксированных клеток (рис. 7).

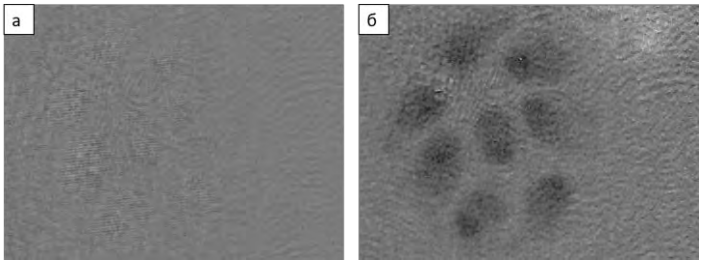
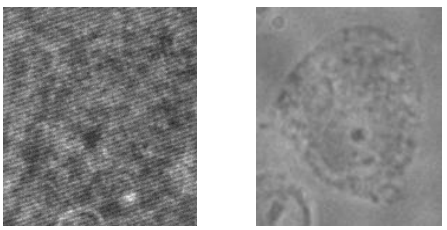


Рис. 7. а) Амплитудное изображение клеток,
б) фазовое (с вычтенным фоном) изображение клеток

Рис. 7 показывает, что в случае прозрачных объектов, которые вносят очень слабый фазовый сдвиг, таких как клетки, целесообразно использование фазовых изображений, поскольку их контрастность гораздо выше, чем для амплитудных изображений. В данном случае, фазовое изображение показывает расположение клеток, однако информация сильно искажается за счет спекл-шумов.

В связи с этим, лазерный источник излучения в оптической схеме был заменен широкополосным светодиодом (белый свет), для получения низкокогерентного излучения и снижения чувствительности установки к шумам. Были получены амплитудные изображения клеток (рис. 8).



а) б)

Рис. 8. Амплитудные изображения клетки, полученные с помощью микроскопии
а) с высококогерентным, б) с низкокогерентным источником

Рис. 8 демонстрирует, что амплитудное изображение, полученное с помощью низкокогерентного источника более качественное, возможно четко увидеть границы клетки, а также некоторые внутриклеточные субстанции. Для высококогерентного источника возможно увидеть только размытые очертания клетки. Однако, в силу недостаточной мощности светодиода, не было получено контрастных интерференционных полос в плоскости регистрации голограммы. В дальнейшем будет произведена замена светодиода на более мощный и с более узким спектром.

Было получено, что для оптоинъекции клеточной мембраны необходим один фемтосекундный импульс с энергией 20-25 нДж и длительностью 40-50 фс. Была разработана схема цифровой голографической микроскопии в конфигурации дифракционной фазовой микроскопии с когерентным (лазер) и низкокогерентным (светодиод) источниками излучения. Были получены амплитудно-фазовые изображения калибровочных объектов и фиксированных клеток HeLa для лазерной дифракционной фазовой микроскопии. Также была реализована схема дифракционной фазовой микроскопии с белым светом, которая позволила улучшить качество амплитудных изображений. В дальнейшем будет проведена работа по улучшению качества фазовых изображений клеток, а также экспериментальные исследования с живыми клетками.

Литература

1. Du X. et al. Advanced physical techniques for gene delivery based on membrane perforation //Drug delivery. 2018. Т. 25. №. 1. С. 1516-1525.
2. Stevenson D.J. et al. Transfection by optical injection //Handbook of Photonics for Biomedical science. CRC Press, 2010. С. 123-154.
3. Yao C.P. et al. Laser-based gene transfection and gene therapy //IEEE transactions on nanobioscience. 2008. Т. 7. №. 2. С. 111-119.
4. Davis A.A. et al. Optoporation and genetic manipulation of cells using femtosecond laser pulses //Biophysical journal. 2013. Т. 105. №. 4. С. 862-871.
5. Vogel A. et al. Mechanisms of femtosecond laser nanosurgery of cells and tissues //Applied Physics B. 2005. Т. 81. №. 8. С. 1015-1047.
6. Antkowiak M. et al. Quantitative phase study of the dynamic cellular response in femtosecond laser photoporation //Biomedical optics express. 2010. Т. 1. №. 2. С. 414-424.
7. Noack J., Vogel A. Laser-induced plasma formation in water at nanosecond to femtosecond time scales: calculation of thresholds, absorption coefficients, and energy density //IEEE journal of quantum electronics. - 1999. - Т. 35. - №. 8. - С. 1156-1167.
8. Popescu G. et al. Diffraction phase microscopy for quantifying cell structure and dynamics //Optics letters. 2006. Т. 31. №. 6. С. 775-777.
9. Kalyanov A., Talaykova N., Ryabukho V. Formal theory of diffraction phase microscopy //Saratov Fall Meeting 2014: International Society for Optics and Photonics, 2015. Т. 9448. С. 944817.
10. Liebling M., Blu T., Unser M. Complex-wave retrieval from a single off-axis hologram //JOSA A. 2004. Т. 21. №. 3. С. 367-377.

Голубчиков Владимир Андреевич
Год рождения: 1995
Университет ИТМО,
факультет систем управления и робототехники,
студент группы № R4295,
направление подготовки: 01.04.02 – Прикладная математика и информатика,
e-mail: 80318031q@gmail.com
Лобанов Игорь Сергеевич
Университет ИТМО,
факультет систем управления и робототехники,
к.ф.-м.н., доцент,
e-mail: lobanov.igor@gmail.com

УДК 004.89

АЛГОРИТМ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ АНОМАЛИЙ В ГЕНЕРИРУЕМЫХ ДАННЫХ ВЫСОКОНАГРУЖЕННОГО СЕТЕВОГО ПРИЛОЖЕНИЯ

В.А. Голубчиков

Научный руководитель – к.ф.-м.н., доцент **И.С. Лобанов**

Университет ИТМО

Аннотация
В работе осуществляется разработка алгоритма, использующего в себе современную реализацию нейронных сетей, а именно, сетей с долгой краткосрочной памятью, необходимого для выявления неисправностей в работе целевого программного обеспечения. Для поиска неисправностей используются генерируемые программным обеспечением журналы событий, или лог-файлы, которые содержат в себе наиболее полную информацию о работоспособности приложения.
Ключевые слова
Искусственный интеллект, машинное обучение, рекуррентные нейронные сети, алгоритм поиска аномалий, обучение с учителем, информационная система.

Развитие технологий и программных продуктов приводит к значительному увеличению компьютерных систем и, соответственно, росту количества генерируемой ими информации. Журналы событий или лог-файлы любой информационной системы являются самым содержательным источником о ее состоянии в определенные моменты времени. В них хранится информация о времени выполнения различных операций, возникающих задержках и вызовах системных методов. Однако, по причине больших размеров программного обеспечения, генерируемые лог-файлы содержат в себе сотни и тысячи мегабайт информации, что безусловно значительно усложняет их исследование на предмет неисправностей. Не смотря на существование большого количества продуктов, служащих для анализа и мониторинга работоспособности программного обеспечения, полноценно решить поднимаемую проблему не удается. Об этом могут свидетельствовать нередко появляющиеся новости о сбоях в работе различных систем, даже у таких IT-гигантов как «Facebook» и «Google». В свою очередь, появление непредвиденных ошибок в работе программного обеспечения может приводить к полной остановке работы системы, а, следовательно, к большим финансовым потерям и к потере

лояльности клиентов, что в дальнейшем приводит к еще большим финансовым потерям. В качестве примера можно привести следующие события: восемнадцатого августа две тысячи тринадцатого года произошло отключение всех служб «Google» приблизительно от одной до пяти минут [1], такая ситуация привела к уменьшению мирового интернет-трафика на 40% и потерям корпорацией более чем пятисот тысяч долларов.

Степень разработанности темы исследования остается невелика. Предлагающиеся инструменты, позволяющие автоматизировать процесс анализа журналов событий информационных систем, в большинстве случаев занимаются ведением статистики о работе приложения. В случае возникновения какой-либо аномальной ситуации, сигнал о появлении неисправности происходит после ее появления, что может привести к полной остановки работы приложения. Несмотря на активное развитие и повсеместное применение методов машинного обучения, к задаче анализа генерируемых программным обеспечением данных они не применяются. Только в последние пару лет небольшим количеством авторов [2, 3], с целью заблаговременного обнаружения неисправностей, т.е. предсказания их появления, были проведены попытки разработки системы анализа генерируемых данных с использованием методов машинного обучения, однако, до программной реализации и практического применения наработок авторам дойти не удалось.

Проектирование алгоритма поиска аномалий в генерируемых данных осуществляется в рамках конкретного приложения. Данное приложение является высоконагруженной сетевой экспертной системой и имеет архитектуру, представленную на рис. 1.

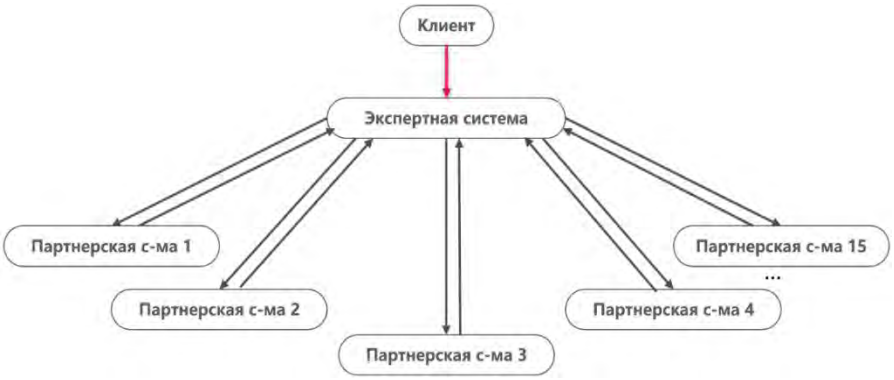


Рис. 1. Архитектура рассматриваемой экспертной системы

Система функционирует в рамках крупного Интернет-провайдера и предназначена для обработки поступающих от клиентов заявок. Большая часть функциональности системы автоматизирована и не требует участия человека. После обращения клиента начинается процесс обработки заявки, для чего осуществляется последовательное соединение и передача информации с партнерскими системами, количество которых достигает пятнадцати. В связи с размером системы часто происходят непредвиденные ошибки разного рода, одна из наиболее частых ошибок, это ошибка утечки памяти. Архитектура приложения не позволяет текущей системе мониторинга отслеживать процесс утечки памяти своевременно, а также не позволяет установить первопричину этого. Предполагается, что использование методов машинного обучения для анализа лог-файлов позволит решить задачу поиска неисправностей, благодаря способности находить взаимосвязи между событиями в большом количестве данных, с которым человек не способен совладать. Рабочий процесс системы, а именно, процессы, выполняемые в ней, происходят по определенному

алгоритму – шаблону, т.е. алгоритм обработки заявки представляет из себя цепочку процессов. Можно сказать, что связка предшествующих действий приводит к определенному следующем. Имеется предположение, что возникшее неправильное действие, т.е. то, к которому не должны приводить предыдущие, является аномалией и способно инициировать появление ошибок в будущем (рис. 2 а, б).

а б

Рис. 2. (а): Нормальный рабочий процесс приложения. Последовательность, состоящая из четырех событий: 13, 8, 22, 1 - приводит к событию 2; (б): рабочий процесс приложения, содержащий аномалию. Связка событий 13, 8, 22 и 1 должна приводить к событию 2

На основании анализа возможностей рекуррентных нейронных сетей, а именно сетей с долгой краткосрочной памятью – LSTM, был сформирован алгоритм, использующий в себе LSTM нейронные сети и способный анализировать лог-файлы экспертной системы с целью нахождения аномалий и стабилизации работы целевой экспертной системы. Алгоритм представлен на рис. 3.

Рис. 3. Алгоритм поиска аномалий в генерируемых данных

Алгоритм состоит из трех этапов, каждый из которых отвечает за анализ определенной части данных из строки лог-файла:

1. Анализ последовательности событий системы и предсказание следующего - является первым шагом в работе алгоритме поиска аномалий. С помощью многослойной рекуррентной нейронной сети, описанной в пункте 2.4, осуществляется предсказание последующих событий системы, после чего происходит сравнение предсказанного значения со значением действительным, взятым из лог-файла. В случае соответствия значений происходит переход ко второму этапу алгоритма, в противном случае ситуация считается аномалией, и информация передается на третий этап работы программы, без выполнения второго;
2. Второй этап работы программы предполагает предсказание времени выполнения события с дальнейшим сравнением его с заранее заданной величиной. Если предсказанное значение меньше, то итерация алгоритма анализа считается успешной, и

происходит переход к следующей итерации, в случае несоответствия осуществляется переход к этапу диагностики пользователя;

3. Этап диагностики человека необходим для распознавания ложных срабатываний алгоритма анализа и улучшения точности работы нейронных сетей. Пользователь удобным способом получает оповещение о том, что в генерируемых данных обнаружена аномалия, которая может явиться причиной ошибок в работе системы, и проверяет достоверность события. В случае обнаружения реальной аномалии пользователь займется ее своевременным исправлением. В случае ложного срабатывания пользователь передает эту информацию обратно алгоритму, который производит обучение нейронных сетей, с целью избегания подобного поведения системы анализа в дальнейшем. В течение времени участие пользователя в определении характера события будет сводиться к минимуму, а точность работы системы анализа увеличиваться.

В ходе экспериментов с различными конфигурациями нейронных сетей, количеством слоев, числом нейронов в каждом отдельно взятом слое была получена структура, которая позволяет реализовать механизм поиска аномалий в генерируемых данных при достаточном количестве обучающих выборок. Для основного этапа работы системы - предсказания следующего события, была разработана структура нейронной сети, представленная в таб. 1.

Таблица 1

Структура нейронной сети для предсказания следующего события

Название слоя	Количество нейронов	Функция активации
Рекуррентный слой LSTM	128	tanh (1)
Рекуррентный слой LSTM	256	tanh
Рекуррентный слой LSTM	256	tanh
Полносвязный слой Dense	Число возможных действий оператора	SoftMax (2)

$$tanh(x) = \frac{2}{1+e^{-2x}} - 1, \quad (1)$$

$$SoftMax = \sigma(x)_i = \frac{e^{x_i}}{\sum_{k=1}^{N} e^{z_k}}. \quad (2)$$

Обучение разработанных нейронных сетей осуществляется методом обучения с учителем (рис. 4). Для решения задачи поиска аномалий для целевой системы, было обучено и использовано шесть нейронных сетей разработанной структуры. Далее представлены графики их точности на этапе обучения, а также значения метрик машинного обучения точности (precision) и полноты (recall).

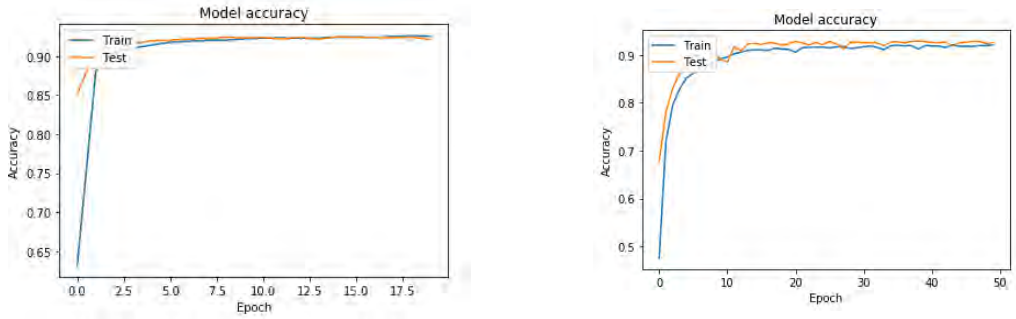


Рис. 4. Точности нескольких нейронных сетей на этапе обучения

Таблица 2

Значения метрик машинного обучения нескольких нейронных сетей

Нейронная сеть	Точность (precision)	Полнота (recall)
НС 1	$\frac{TP}{TP+FP} = \frac{501}{501+235} = 0{,}68$	$\frac{TP}{TP+FN} = \frac{501}{501+26} = 0{,}950664$
НС 2	$\frac{110}{110+26} = 0.808$	$\frac{110}{110+3} = 0{,}9734$

Стоит отметить, что при решении задачи поиска аномалий в лог-файлах информационной системы преследуется максимизация значения полноты, потому что она показывает число обнаруженных аномалий от общего числа аномалий в лог-файлах.

Для реализации логики работы предложенного алгоритма был выбран язык Python [4], так как он является лидирующим языком программирования в области машинного обучения, а также обладает большим множеством библиотек, способных выполнить любую из поставленных задач: keras, numpy, pandas, tensorflow, matplotlib, watchdog, pickle. Разработанная система анализа представляет собой набор взаимодействующих компонентов и включает в себя: модуль, необходимый для отслеживания текущего состояния журнала информационной системы и передачи данных для последующего анализа; синтаксический анализатор, служащий для чтения данных и извлечения необходимых параметров; модуль подготовки данных для анализа; модуль для предварительного обучения нейронных сетей; модуль для продолжения обучения нейронных сетей в режиме реального времени; модуль для работы с нейронными сетями; логгер.

В ходе обучения нейронных сетей на тестовых данных и апробации всей разработанной системы поиска аномалий, была выявлена способность разработанного алгоритма предсказывать появление неисправности на основе последовательности событий, происходящих в информационной системе, а именно, был получен результат, в котором система предсказала неисправность за 10 минут до ее непосредственного возникновения. Данный факт говорит о том, что внедрение разработанного механизма поиска аномалий приведет к стабилизации работы целевой экспертной системы, а также позволит снизить финансовые издержки, возникающие в результате остановок работы системы, а также благодаря снижению количества человеческого труда для отладки и поддержания работоспособности программного обеспечения. Также для упрощения взаимодействия конечного пользователя с алгоритмом поиска аномалий был разработан графический веб-интерфейс, позволяющий в удобной форме взаимодействовать с нейронными сетями, конфигурировать различные параметры нейронных сетей и настраивать email уведомления об обнаруженных неисправностях.

Литература

1. “Google goes dark for 2 minutes, kills 40% of world’s net traffic” [Электронный ресурс]. 2013. Режим доступа: https: // www.theregister.co.uk / 2013 / 08 / 17/google_outage/.

2. Du M. et al. Deeplog: Anomaly detection and diagnosis from system logs through deep learning //Proceedings of the 2017 ACM SIGSAC Conference on Computer and Communications Security. ACM, 2017. С. 1285-1298.
3. He S. et al. Experience report: System log analysis for anomaly detection //2016 IEEE 27th International Symposium on Software Reliability Engineering (ISSRE). IEEE, 2016. С. 207-218.
4. Лутц. М. Изучаем Python. Санкт-Петербург, Символ-Плюс, 2011.

Дашкевич Анна Валерьевна
Год рождения: 1995
Университет ИТМО,
факультет технологического менеджмента и инноваций,
студент группы №4247,
направление подготовки: 38.04.01. – Экономика,
e-mail: dash.anna@mail.ru
Варламов Борис Александрович
Университет ИТМО,
факультет технологического менеджмента и инноваций,
к.э.н., доцент,
e-mail: boris.varlamov@mail.ru

УДК 338.31

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРЕДПРИНИМАТЕЛЬСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ LEAN-ТЕХНОЛОГИИ

А.В. Дашкевич

Научный руководитель – к.э.н., доцент **Б.А. Варламов**

Университет ИТМО

Работа выполнена в рамках темы НИР № 617031 «Исследование и разработка методов и средств решения прикладных задач фотоники».

Аннотация
В работе рассмотрены теоретические основы повышения эффективности предпринимательской деятельности на основе использования концепции управления бизнесом, именуемой Lean-технологиями. Разработана последовательность действий для оценки влияния применения методов lean-технологии на эффективность работы компании, применимость которой доказана на примере оценки целесообразности внедрения рассматриваемых методов в сферу складской логистики.
Ключевые слова
Эффективность предпринимательской деятельности, lean-технологии, бережливое производство, потери, снижение издержек, методика оценки эффективности.

Предпринимательство – движущая сила развития как экономики, так и государства в целом. Потенциал развития национальной экономики во многом зависит от эффективности осуществления предпринимательской деятельности, поиск новых путей повышения которой становится важной задачей менеджмента организации.

В условиях экономической нестабильности, быстро меняющихся запросов потребителей пристальное внимание уделяется внутренним резервам повышения эффективности деятельности предприятия. В настоящее время с этой целью всё чаще используются методы бережливого производства, однако на данный момент отсутствует чётко выстроенная последовательность действий, позволяющая оценить экономическую целесообразность их внедрения, чем и обусловлена актуальность исследуемой темы.

Анализ теоретических основ предпринимательства позволил сформулировать авторское определение данного термина, учитывающее всю многогранность данной

категории: предпринимательская деятельность охарактеризована как самостоятельная, зарегистрированная в установленном порядке, инициативная деятельность инновационного характера, нацеленная на систематическое получение прибыли от продажи товаров, выполнения работ или оказания услуг, осуществляемая в условиях неопределённости и риска.

Обобщение теоретических положений по вопросам экономической эффективности, в основу которой заложено соотношение полученного результата и затраченных ресурсов, стало основанием для обоснования необходимости концентрации внимания на максимальном использовании внутренних возможностей организации. Это в свою очередь является ключевой идеей lean-технологии, именуемой в нашей стране бережливым производством.

Основу создания механизма бережливого производства с применением инструментов lean-технологии в компании составляет комплекс действий, включающий, в первую очередь, минимизацию потерь за счёт рационального использования всех видов ресурсов. Важную роль играет клиентоориентированный подход, а также стимулирование вовлечённости каждого сотрудника в процесс постоянного совершенствования деятельности.

В соответствии с терминологией бережливого производства, потери включают действия, для выполнения которых требуются затраты времени и ресурсов, но результатом которых не является создание ценности для потребителя [1]. При этом рассматривают семь основных видов потерь (рис. 1).

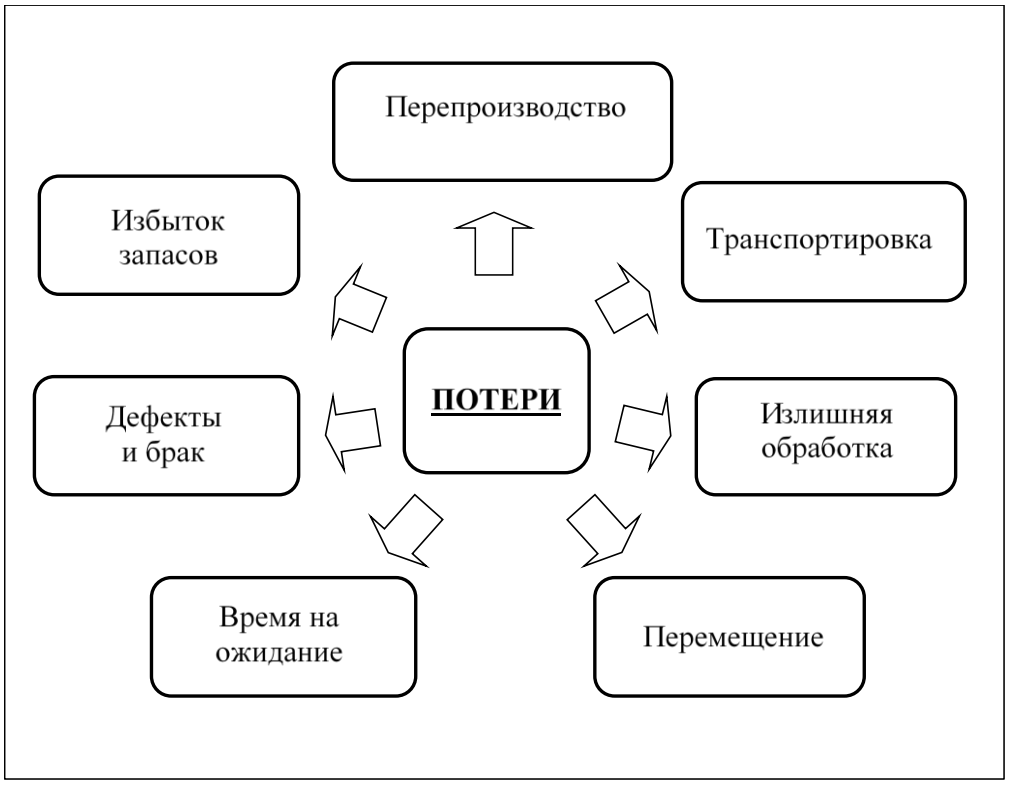


Рис. 1. Виды потерь

В первую очередь, это избыточные издержки при производстве большего количества товара, чем требуется заказчику (потери перепроизводства). Также к потерям относят и хранение избыточной величины запасов, которая существенно превышает минимально необходимое количество.

При транспортировке появляются потери в результате лишних, не обоснованных технологическим процессом перемещений как материалов, так и самого изделия. В компании зачастую возникают и дополнительные движения работников при поиске инструментов, материалов и документов из-за недостаточно продуманной организации рабочих мест и размещения оборудования – это так называемые потери при перемещении.

Простои между этапами производства включают потери времени на ожидание из-за переналадки либо поломки оборудования, несогласованности в подаче сырья и использования мощностей. Существуют также потери из-за излишней обработки, включая использование несоответствующих инструментов и оборудования, а также при создании продукции с более высокими потребительскими качествами, чем необходимо покупателю.

В ходе производственного процесса могут также появляться потери из-за дефектов, включающие исправление и доработку недостатков бракованной продукции. Кроме того, к потерям отдельные авторы добавляют также нереализованный потенциал служащих в виде неиспользуемых идей, навыков и умений сотрудников [2].

Для своевременного выявления экономических потерь и их максимального сокращения в рамках lean-технологии разработан целый ряд методов [3], использование которых оказывает влияние на различные характеристики деятельности предприятия, включая параметры качества, стоимости продукта и времени выполнения заказа (рис. 2).

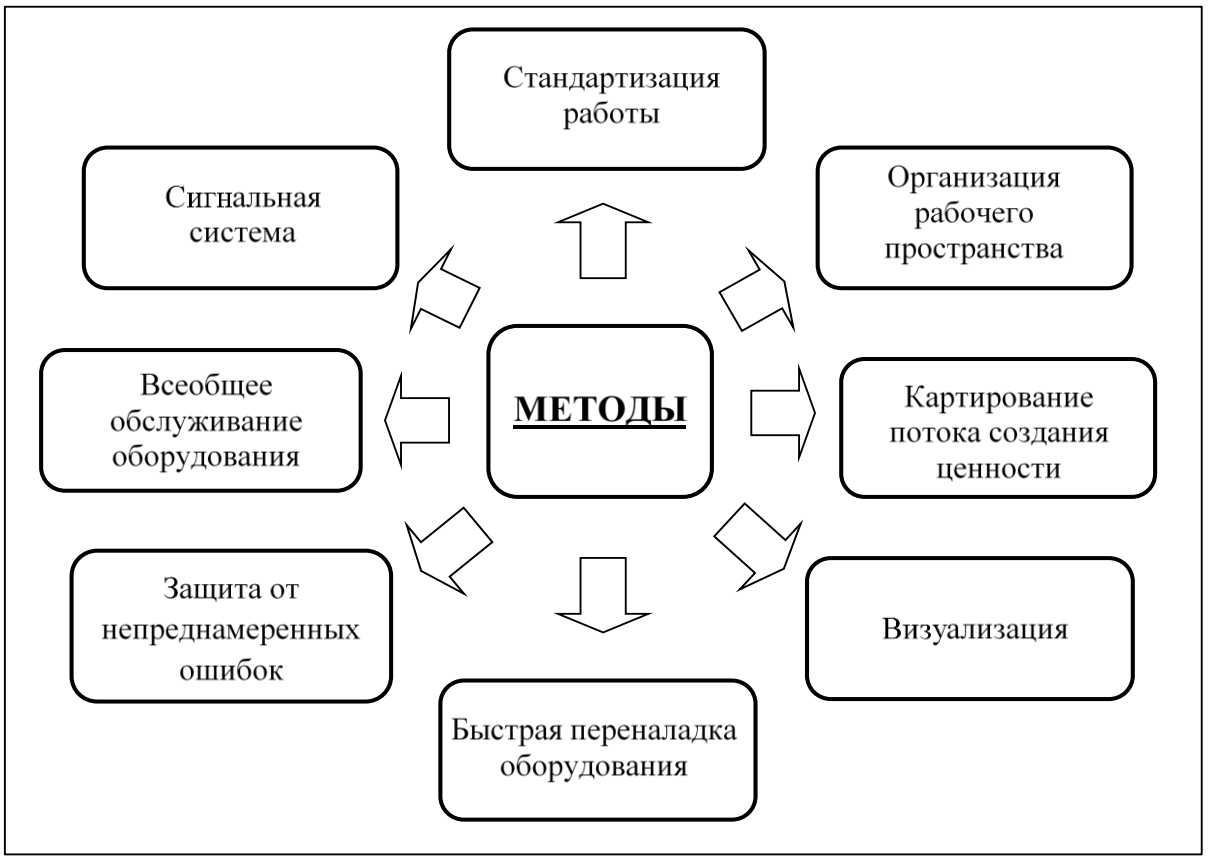


Рис. 2. Основные методы lean-технологии

Для оценки целесообразности внедрения lean-технологии разработана методика расчёта экономической эффективности, применение которой предполагает, в первую очередь, определение критериального показателя объёма денежного потока,

скорректированного с учётом затрат на реализацию проекта и формируемого за счёт экономии и дополнительно генерируемых доходов в результате использования концепции бережливого производства (рис. 3).

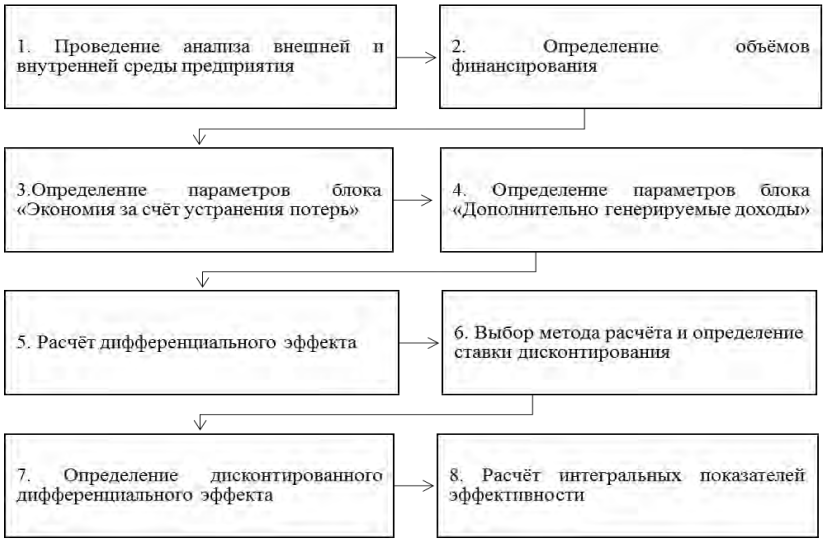


Рис. 3. Основные этапы проведения расчёта экономической эффективности применения lean-технологии

Предварительная подготовка включает проведение анализа внешней и внутренней среды компании для описания текущего состояния предприятия и установления траектории его дальнейшего развития, ведущим фактором которого признается внедрение бережливого производства.

Для определения объёмов финансирования составляется смета, в которой учитывается вся совокупность затрат. Применение концепции lean-технологии включает в большей степени проведение организационных мероприятий в компании, поэтому не предполагаются существенные капитальные затраты.

В отдельных случаях может потребоваться выполнение строительно-монтажных работ, замена устаревшего оборудования. При этом текущие затраты на внедрение бережливого производства будут включать расходы на закупку вспомогательных и расходных материалов, консультационные услуги, обучение и материальное стимулирование персонала компании.

В расчётной части осуществляется определение «Экономии за счёт устранения потерь», то есть стоимостного выражения сэкономленных ресурсов предприятия за счёт устранения отдельных видов потерь в рамках применения lean-технологии – составляющие денежного потока по проекту.

Блок «дополнительно генерируемых доходов» направлен на выявление иных видов доходов, инициируемых использованием lean-технологии, включая доходы от продажи оборудования, запасов, снижение затрат на ремонт оборудования и транспортных средств и налоговую составляющую.

После этого рассчитывается дифференциальный эффект за отчётный период как сумма поступлений в результате применения (реализации) lean-технологии в виде экономии за счёт минимизации потерь и дополнительно генерируемых доходов.

Учёт временной стоимости денег и факторов риска по проекту внедрения lean-технологии происходит за счёт использования динамических показателей, основанных на применении ставки дисконтирования.

По результатам расчёта, внедрение lean-технологии на предприятии будет

целесообразно при положительном значении дисконтированного дифференциального эффекта, скорректированного с учётом начальных инвестиций.

Полученное значение дисконтированного дифференциального эффекта является основой для расчёта интегральных показателей проекта внедрения lean-технологии, таких как период окупаемости и индекса прибыльности проекта внедрения lean-технологии.

В качестве примера использования методики расчёта экономической эффективности применения lean-технологии в складской логистике проиллюстрирована целесообразность проекта внедрения методов бережливого производства на конкретном предприятии: при капиталовложениях в размере 515 тыс. рублей на обучение, материальное стимулирование сотрудников и закупку расходных материалов, учитывая дисконтированный дифференциальный эффект от экономии в результате устранения потерь, период окупаемости вложенных средств составил два года при восьмипроцентном индексе доходности.

Применение методов стандартизации рабочего процесса, визуализации, организации рабочего пространства, защиты от непреднамеренных ошибок и обеспечения непрерывного совершенствования деятельности за счёт предоставления возможности выдвигать собственные предложения каждым сотрудником сокращает расход трудовых, материальных и временных ресурсов, стоимостная оценка которых используется при расчёте денежного потока по проекту, как основы для определения показателей экономической эффективности внедрения lean-технологии в складской деятельности.

Было установлено, что при совершенствовании складской логистики особое внимание следует уделять ликвидации потерь из-за неоправданных технологическим процессом перемещений работников склада, продукции и материалов, лишних этапов обработки продукции, хранения необоснованного количества запасов, а также оказания услуг ненадлежащего качества.

Таким образом, в качестве заключительных положений можно отметить, что основу lean-технологии, как одного из ключевых направлений повышения эффективности предпринимательской деятельности, составляет снижение затрат при сохранении уровня качества.

Кроме того, сделан упор на максимальном использовании внутренних возможностей фирмы в разрезе выявления непроизводительных действий и их минимизации. Выявлена специфика методического подхода к определению эффективности внедрения lean-технологии, как средства экономии издержек за счёт сокращения потерь с учётом фактора неопределённости и риска. При этом в качестве критерия эффективности внедрения lean-технологии принята величина денежного потока, сформированного за счёт экономии и дополнительно генерируемых доходов с учётом суммарных затрат на реализацию проекта.

Литература

1. Вумек Дж., Джонс Д. Бережливое производство. Как избавиться от потерь и добиться процветания вашей компании / Джеймс П. Вумек, Дэниел Т. Джонс. Альпина Паблишер. 2014. 472с.
2. Паскаль Д. Основы бережливого производства. Путеводитель по самой эффективной в мире системе производства / [Пер. с англ. М. Мацковской]. – «Олимп–Бизнес», 2013. 224 с.
3. Погребняк С.И. Бережливое производство. Формула эффективности. М.: Изд-во Триумф, 2013. 308 с.

Дормидонтов Дмитрий Владимирович
Год рождения: 1994
Университет ИТМО,
факультет систем управления и робототехники,
студент группы № R4283,
направление подготовки: 12.04.01 – Аддитивные технологии,
e-mail: tripikappanakote@yandex.ru
Андреев Юрий Сергеевич
Год рождения: 1984
Университет ИТМО,
факультет систем управления и робототехники,
к.т.н., доцент ФСУиР,
e-mail: ysandreev@corp.ifmo.ru

УДК 621.777.073

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ЭКСТРУДЕРА ДЛЯ АДДИТИВНОЙ УСТАНОВКИ

Д.В. Дормидонтов

Научный руководитель – к.т.н., доцент **Ю.С. Андреев**

Университет ИТМО

Аннотация
В работе проведён обзор технологии послойного наплавления, позволивший выявить факторы препятствующие широкому использованию этой технологии в высокотехнологичных областях современной промышленности. Сформированы требования и проведена разработка устройства, позволяющего минимизировать влияние большинства сдерживающих факторов и широко использовать особенности развития и текущие достижения технологии. Приведены результаты компьютерного инженерного анализа позволившего провести исследование и совершенствование конструкции устройства до изготовления прототипа.
Ключевые слова
Аддитивные технологии, технология послойного наплавления, экструдер, филамент, гранулированные термопластичные полимеры, CAE-система.

Аддитивные технологии зародились около 30 лет назад и на сегодняшний день являются одной из наиболее динамично развивающихся технологий производства материальных объектов, представляя наибольший интерес при единичном и мелкосерийном производстве изделий сложной геометрии [1]. Несмотря на то, что изделия из термопластичных полимеров и композиционных материалов на их основе используются повсеместно, наиболее распространенная аддитивная технология для изготовления деталей из термопластов имеет крайне малое применение в областях, позволяющих наиболее полно реализовать потенциал аддитивных технологий – медицине и аэрокосмической промышленности. FDM (англ. Fused deposition modeling) – технология послойного наплавления имеет широкое распространение в быту и на малых предприятиях, однако практически не представлена в высокотехнологичных областях промышленности. Основная причина этого заключается в узком ассортименте

материалов для печати, и ограничениях, накладываемых особенностями конструкции узлов аддитивных установок. Высокотехнологичные производственные предприятия заинтересованы в возможности печати по технологии послойного наплавления деталей из высокоэффективных пластиков, однако на данный момент установки, обеспечивающие такие возможности редки и крайне дорогостоящи, как материал для их работы.

Анализ технологии послойного наплавления показал, что факторы, ограничивающие распространение технологии тесно связаны с формой поставки сырья для печати. Как правило, материал для печати поставляется в виде прутка круглого сечения, называемого филаментом, намотанного на катушку. Подавляющее большинство аддитивных установок, работающих по этой технологии, использует для печати филамент диаметром 1,75 либо 3 мм. Филамент является специфичной формой поставки материала, вследствие чего лишь малая часть ассортимента термопластичных полимеров представлена в виде филамента. Помимо этого, стоимость термопластичного полимера в формате прутка многократно превышает стоимость гранулированного полимера.

Существующие экструдеры, использующие гранулированное сырьё малочисленны и представлены преимущественно в составе аддитивных установок с закрытой документацией и большой рабочей областью, требуемой лишь для малой части производственных предприятий. Также рассмотренные экструдеры имеют габариты, сравнимые с малыми настольными аддитивными установками, что делает невозможным адаптацию их конструкций для применения на прочих установках.

При проведении аналитического обзора аддитивного оборудования отмечено, что FDM установки, позиционируемые производителями как промышленные, на деле обладают функционалом бытовых пользовательских устройств, не давая возможности произвольно влиять ни на формирование управляющей программы, ни на сам процесс печати. Более того, в целях заведомого обеспечения заявленного качества печати, производители ограничивают ассортимент применяемых материалов. С другой стороны, установки, разрабатываемые в рамках проектирования с открытыми наработками, хоть и создаются как пользовательские устройства, по гибкости настройки в намного большей степени отвечают требованиям к промышленному оборудованию. Таким образом, работы связанные с разработкой программного и аппаратного обеспечения для рассматриваемой технологии целесообразно проводить с учётом возможности применения на широком круге оборудования, и публикуя конструкторскую документацию и исходный код.

В свете изложенного, видится перспективной разработка экструдера аддитивной установки, использующего гранулированное сырьё. Экструдер должен иметь открытую документацию, а также малые габаритные размеры и массу для возможности использования его на большинстве современных аддитивных установках, работающих по технологии послойного наплавления. Помимо этого экструдер должен обладать возможностью печати высокотемпературными термопластичными полимерами. Создание универсального экструдера, с возможностью кастомизации под конкретного эксплуатанта позволит использовать существующие механизмы развития конструкции узлов аддитивных установок и обмен опытом о назначении режимов печати внутри уже существующего сообщества.

Компоновку изделия целесообразно разрабатывать с учетом конструкции уже существующих решений компактной экструзии термопластов из гранул, как для получения филамента, так и непосредственно при печати. Существующие экструдеры не отвечают всем предъявляемым требованиям, однако ввиду решения схожих задач, разработанное устройство несомненно будет иметь с ними схожие черты.

Устройство представляет собой вертикальный одношнековый экструдер. Шнек, вращаясь в корпусе перемещает материал из верхней его части к нижней. Нижняя часть корпуса содержит барабан для крепления нагревательных элементов и резьбовое отверстие для унифицированного сопла. Малые габариты экструдера потребовали введения высокопроизводительной системы охлаждения для поддержания требуемой рабочей температуры подшипникового узла, приводного устройства и каретки аддитивной установки. Применение жидкостного охлаждения позволило минимизировать размеры системы охлаждения при сохранении требуемой производительности за счёт высокой теплоёмкости жидких теплоносителей. Бункер с сырьём, а также радиатор и помпа системы охлаждения располагаются за пределами аддитивной установки и соединяются с экструдером шлангами, для уменьшения его массы и габаритных размеров. Крепление нагревательных элементов на барабане, сопрягаемом с корпусом по конической поверхности позволяет передавать тепловую энергию во всём рабочем диапазоне температур, а также применять нагревательные элементы требуемой конкретному эксплуатанту мощности, включая возможность применения нагревательного устройства собственной разработки.

Шнек постоянной производительности позволяет производить быструю остановку и реверс для обеспечения ретракта. Уменьшение глубины каналов нарезки позволяет осуществлять равномерный прогрев материала, а уменьшенная площадь сечения канала компенсируется применением многозаходной нарезки увеличенного шага.

Симметричная конструкция кронштейнов позволяет изменять положение приводного устройства и фланца для присоединения шланга подачи материала относительно кронштейна крепления к каретке аддитивной установки с шагом 45°. Это позволяет адаптировать экструдер под особенности конкретной установки. Устройство экструдера представлено на рис. 1.

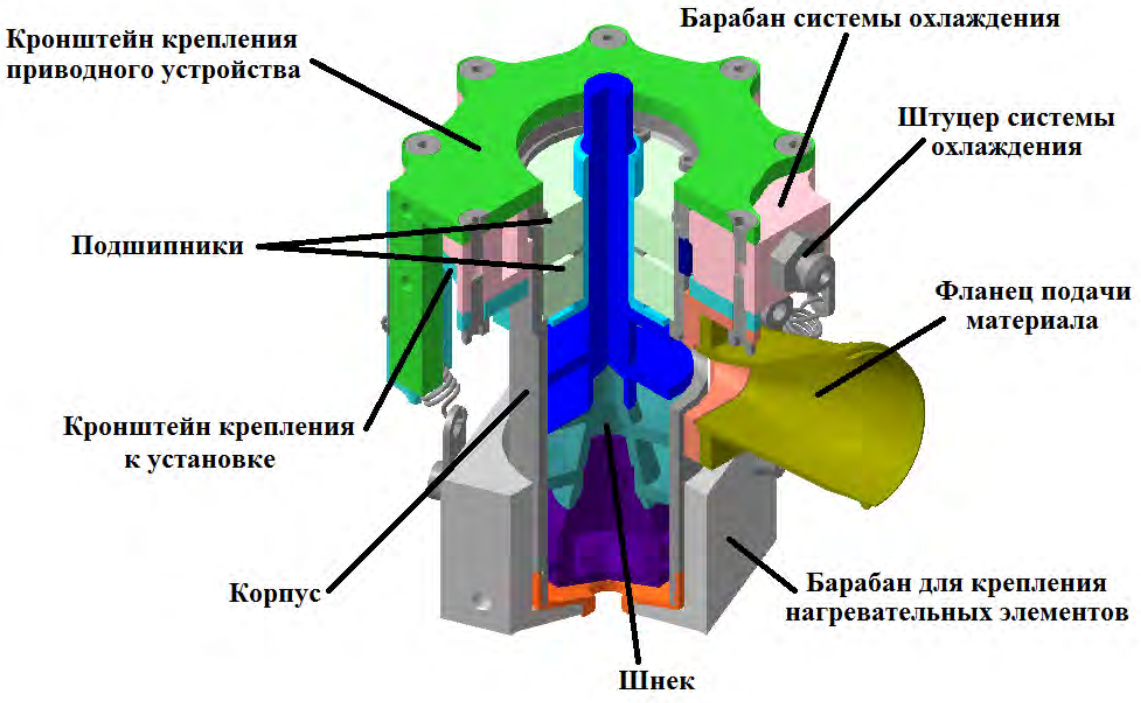


Рис. 1. Устройство экструдера

При проектировании экструдера важно конструктивно обеспечить высокую эффективность работы зоны загрузки, выражающуюся отношением осевого перемещения сырья к радиальному [2, 3]. Радиальное перемещение сырья обусловлено ненулевой силой трения между гранулами термопластичного полимера и стенками канала шнека. Для обеспечения требуемого отношения необходимо решить задачу, заключающуюся в увеличении коэффициента трения сырья о поверхность корпуса относительно такового о поверхности каналов шнека. Стандартным решением данной задачи является уменьшение шероховатости поверхности шнека и размещении продольных открытых каналов на внутренней поверхности корпуса. Однако в силу особенностей эксплуатации и технологических ограничений в ходе проводимой работы применение данного решения не представлялось возможным.

Поскольку коэффициент трения термопластичных полимеров по стали растёт с увеличением температуры, возможно обеспечение требуемого отношения коэффициентов температурным режимом работы зоны загрузки, а именно разницей между температурами поверхностей корпуса и шнека.

Для сокращения временных и материальных затрат при разработке проведён инженерный анализ путём компьютерной симуляции, что позволило определить температуру деталей экструдера до создания прототипа.

Анализ проводился в системе MSC Patran с решателем MSC Nastran. Задача теплопроводности решалась методом конечных элементов. Особенности разбиения элементов конструкции на конечноэлементную сетку привели к необходимости изменения электронных моделей для корректного проведения анализа.

Результат симуляции (рис. 2) продемонстрировал равенство температур шнека и корпуса в области загрузки, что означало необходимость доработки конструкции. Требуемая доработка должна заключаться в изменении теплопроводности шнека выше, либо ниже области загрузки. Поскольку форма и материал шнека определены особенностями его работы, доработку целесообразно производить изменением внутренней структуры узла. Шнек выше области загрузки испытывает максимальные нагрузки на изгиб и скручивание, поэтому ослабление этой области полостью для введения стержня высокой теплопроводности нерационально.

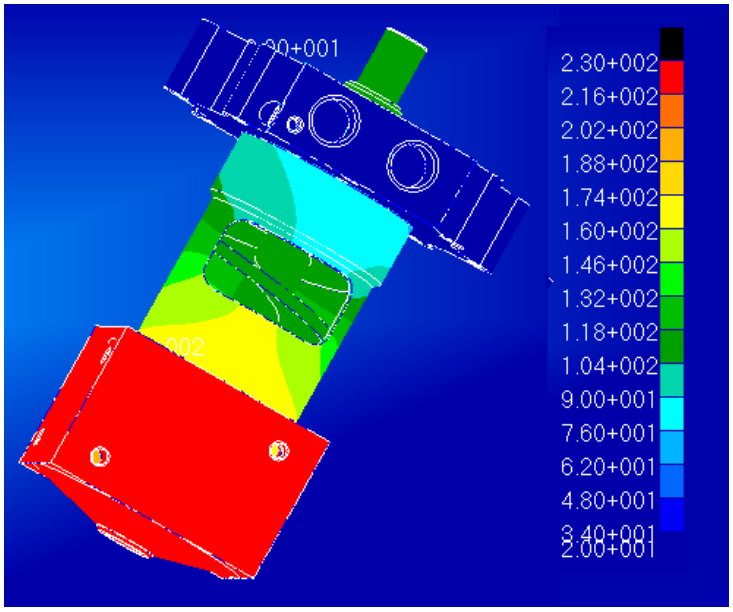


Рис. 2. Результат температурного анализа конструкции (на шкале справа температура в °С в формате значения и степени 10 соответственно)

Уменьшение теплопроводности шнека ниже области загрузки было достигнуто введением в конструкцию полости. Данное решение не привело к существенному снижению технологичности в условиях единичного и мелкосерийного производства, поскольку в рамках проводившейся технологической подготовки производства было принято решение о преобразовании шнека в сборочную единицу.

Результаты анализа изменённой конструкции (рис. 3) продемонстрировали снижение температуры шнека в области загрузки экструдера, что свидетельствовало о правильности принятых конструкторских решений. Достаточность предпринятых мер по обеспечению корректной работы зоны загрузки разработанного экструдера возможно определить по результатам испытаний прототипа.

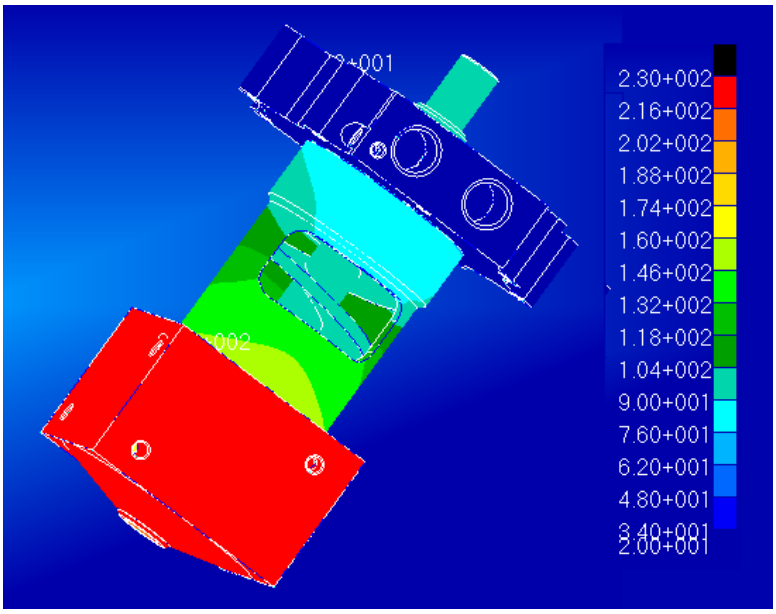


Рис. 3. Результат температурного анализа изменённой конструкции (на шкале справа температура в °C в формате значения и степени 10 соответственно)

Анализ, проведённый в ходе данной работы, позволил сформировать требования к экструдеру аддитивной установки, применение которого будет способствовать дальнейшему распространению технологии послойного наплавления в том числе на высокотехнологичных промышленных предприятиях. Применение систем компьютерного инженерного анализа при проектировании экструдера продемонстрировало целесообразность применения таких систем при разработке новых устройств для снижения временных и материальных затрат.

Литература

1. Зленко М.А. Аддитивные технологии в машиностроении /М.В. Нагайцев, В.М. Довбыш // пособие для инженеров. М. ГНЦ РФ ФГУП «НАМИ», 2015. 220 с.
2. Валетов В.А. Аддитивные технологии (состояние и перспективы) Учебное пособие. СПб.: Университет ИТМО, 2015. 63 с.
3. Раувендааль К. Основы экструзии / Пер. 2-ого анл.изд. Спб.: ЦОП «Профессия», 2011. 280 с.

Дорофеева Мария Игоревна
Год рождения: 1996
Университет ИТМО,
факультет программной инженерии и компьютерной техники,
студент группы Р4261,
направление подготовки: 09.04.02 – Информационные системы,
и технологии,
e-mail: marie.dorofeeva@yahoo.com
Шуклин Дмитрий Анатольевич
Год рождения: 1979
Университет ИТМО,
факультет программной инженерии и компьютерной техники,
к.п.н., доцент,
e-mail: dmshuklin@niutmo.ru

УДК 004.51

СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ДИЗАЙНА ПЛАТФОРМ МАССОВЫХ ОТКРЫТЫХ ОНЛАЙН-КУРСОВ (МООК)

М.И. Дорофеева

Научный руководитель –к.п.н., доцент **Д.А. Шуклин**

Университет ИТМО

Аннотация
В статье представлен краткий обзор проведенного исследования на тему «Структурно-функциональный анализ дизайна платформ массовых открытых онлайн курсов». Обоснована актуальность исследования и важность дизайна в формировании UX, рассмотрено влияние когнитивных процессов на дизайн веб-сайтов, выделены значимые для восприятия факторы дизайна. На основе факторов проведен структурно-функциональный анализ визуального дизайна платформ МООК, по результатам которого были сделаны выводы.
Ключевые слова
Веб-дизайн, МООК, опыт пользователя, визуальное восприятие, функциональность, образовательные платформы, UI, UX.

Современное электронное образования находится под воздействием веб-технологий, мультимедиа и глобализации, что становится причиной ухудшения визуальной коммуникации в интернете: дизайн образовательных веб-сайтов теряет свою функциональную простоту и удобство. Это негативно сказывается на легкости восприятия информации при взаимодействии с образовательным сайтом. Образовательные электронные ресурсы создаются с целью удовлетворить одну из важнейших человеческих потребностей – получение новых знаний. Наибольшей популярностью пользуются массовые открытые онлайн-курсы (МООК), количество студентов которых продолжает расти. Одна из проблем МООК состоит в том, что достаточно малое количестве студентов завершают обучение до конца. Одной из причин

этого может быть отрицательный пользовательский опыт на образовательных платформах [1].

В настоящее время, основным фокусом внимания UX-проектировщиков (User eXperience – опыт пользователя) являются, поведенческие сценарии и действия пользователя, связанные с интерактивностью интерфейсов. Это несомненно улучшает эргономические показатели цифровых продуктов, но при таком подходе нередко упускается влияние визуального дизайна на опыт пользователя, постепенно нивелируется значимость эффективности визуальной составляющей [2].

Не менее значимую роль в формировании опыта пользователя играет визуальная коммуникация. Большинство исследований, посвященных данной проблеме, сосредоточено на изучении влияния отдельных аспектов дизайна, не рассматривая системное значение визуального восприятия для формирования успешного опыта пользователя [3].

Таким образом, целью работы явилось исследование визуального дизайна платформ МООК и изучение возможностей его улучшения, чтобы позитивно повлиять на опыт пользователя, а следовательно и на образовательный процесс. Предметом исследования является эффективность дизайна МООК-платформ, что подразумевает функциональность дизайн-решений, информативность интерфейса. В контексте образовательных задач, главными требованиями к дизайну образовательного сайта является обеспечение ясной образовательной коммуникации средствами дизайна.

Взаимодействие с веб-сайтом главным образом строится на способности человека воспринимать визуальную информацию – визуальном восприятии, за что отвечают когнитивные процессы в мозгу. Визуальная организация (дизайн) веб-сайта отвечает за легкость и доступность считывания информации, интуитивность использования, влияя на опыт пользователя через когнитивное восприятие. Очевидно, что на качество пользовательского опыта влияют однозначность и ясность представления информации, ее объем и сложность, которые могут вызывать ошибочные действия пользователя. Это в свою очередь говорит о том, что чем меньше когнитивная нагрузка (умственная мощность, используемая человеческой памятью) при работе с интерфейсом, тем приятнее и успешнее будет опыт пользователя [4]. А частое несоответствие между ожиданиями пользователя и действиями системы приводит к раздражению, фрустрации и отказу от пользования продуктом.

Существует немало эргономических принципов проектирования интерактивных систем, направленных на предотвращение проблем взаимодействия и основанных на человеческой психологии и физиологии: закон Хика, закон Миллера, эвристики Я. Нильсена, принципы проектирования взаимодействия Б. Тогнациини и др. Однако в рамках исследования дизайна, значимым будет являться принцип минимализма в выразительных средствах. Человеко-ориентированный подход к дизайну цифровых продуктов не допускает жертвовать удобством использования и функциональностью в угоду более яркому и привлекательному внешнему оформлению [5].

Но это не означает пренебрежение эстетическими качествами внешнего оформления веб-сайта, скорее речь о том, что субъективизм визуального восприятия должен служить целям взаимодействия [2].

Дизайн должен быть информативным или функциональным. Лишняя информация снижает наглядность, мешает работе, провоцирует появление ошибок и усложняет поиск нужной информации.

Все выше сказанное говорит о важности функционального минимализма в визуальном дизайне образовательных сайтов. Это ставит вопрос о способе определения степени функциональности дизайна, т.е. соответствия визуальных решений целям взаимодействия. Для этого необходимо определить дизайн-эргономические критерии

для качественного анализа дизайна, исходя из факторов, непосредственно оказывающих влияние на восприятие.

Для исследования эффективности визуального дизайна сайтов МООК и обнаружения несовершенных дизайн-решений был проведен анализ с помощью структурно-функционального подхода. Данный метод был выбран из-за необходимости системной оценки дизайна. Поскольку визуальное восприятие – явление комплексное, анализировать дизайн сайта необходимо как целостную систему. Метод структурно-функционального анализа применительно к дизайну сайтов был предложен Александром Якуниным и основан на способности человеческого внимания распределяться между двумя когнитивным состояниями – режимом общей ориентации и режимом концентрации [3].

Согласно психофизическим особенностям человека, при взаимодействии с интерфейсом он задействует разные виды внимания: произвольное и непроизвольное. Это позволяет рассматривать дизайн сайта с двух позиций и выделить два уровня визуальной организации – макроуровень и микроуровень – сохраняя при этом системность.

Были выделены следующие факторы визуальной организации, которые одновременно являются критериями для определения степени функциональности дизайна:

Макроуровень;
приоритизация областей экрана;
модульная структура;
распределение негативного пространства;
иерархия типографики;
цветовая гамма;
Микроуровень;
количество используемых гарнитур;
удобочитаемость;
контрастность текста и фона;
интерпретируемость знака;
аффорданс интерактивных элементов.

Факторы были разработаны на основе и с учетом: фундаментальных основ графического дизайна, принципов гештальт-психологии, принципов эргономики в проектировании пользовательского интерфейса, а также на основе рекомендаций от других исследователей и практиков в области веб-дизайна и юзабилити. На основе данных факторов, была составлена балльная система оценивания, представленная в таблице. Балл начисляется исходя из показаний параметра, т.е. степени соответствия установленной норме. Это позволит как провести сравнительный анализ по критериям, так и вывести итоговый балл для веб-платформы, показывающий степень эффективности визуального дизайна сайта с точки зрения юзабилити, получается суммированием показателей анализируемых страниц (таблица).

Для исследования были выбраны наиболее популярные платформы МООК: Coursera, EdX, Udacity, Futurelearn. В работе рассмотрены страницы обучающих платформ, соответствующие режиму обучения: после регистрации или входа в систему обучения. Причиной этому ключевая цель исследования – изучение дизайна портала с точки зрения удобства, способствующее образовательным целям пользователя. Поэтому страницы сайтов общего назначение, такие как главная, каталог курсов, страница описания курса, предназначенные для привлечения новых студентов, в данном исследовании не рассматриваются.

Таблица

Критерии структурно-функционального анализа: система оценивания

	Критерий	Балл
1	Приоритетные области экрана (соответствие паттернам восприятия)	
	Максимально используется	3
	Минимально используется	1
	Не используется	0
2	Модульная структура (использование модульной сетки)	
	Ярко выражена	3
	Слабо выражена	1
	Отсутствует	0
3	Распределение негативного пространства	
	Умеренно используется	3
	Неумеренно, слишком много «воздуха»	1
	Недостаточно	0
4	Иерархия типографики	
	Контентная область	
	Ярко выражена	3
	Слабо выражена или имеются ошибки	1
	Отсутствует	0
	Интерфейсная часть	
	Ярко выражена	3
	Слабо выражена или имеются ошибки	1
	Отсутствует	0
5	Цветовая гамма	
	Монохромная палитра или использование 1 контрастного цвета	3
	Использование 2 дополнительных цветов	1
	Использование более 2 дополнительных цветов	0
6	Количество используемых гарнитур	
	Использование 1 гарнитуры	3
	Использование 2 гарнитур	1
	Использование более 2 гарнитур	0
7	Удобочитаемость	
	Оптимальное соотношение кегля и интерлиньяжа (в 1,3-1,6 больше кегля текста), оптимальная длина строки (50-80 символов включая знаки пунктуации и пробелы)	3
	Или оптимальное соотношение кегля и интерлиньяжа, или оптимальная длина строки	1

Продолжение таблицы

	Критерий	Балл
7	Удобочитаемость	
	Неоптимальное соотношение кегля и интерлиньяжа (выходит за диапазон 1,3-1,6), неоптимальная длина строки (меньше 50 или больше 80 символов)	0
8	Контрастность текста и фона	
	Высокий контраст текста и фона	3
	Средний контраст текста и фона	1
	Слабый контраст текста и фона	0
	Высокий контраст текста и фона	3
	Средний контраст текста и фона	1
	Слабый контраст текста и фона	0
	Начертание, насыщенность	
	Использование нормального и жирного начертаний	3
	Использование светлого и сверхсветлого начертаний	0
9	Интерпретируемость знака (иконки, пиктограммы)	
	Общепринятое обозначение или знак легкоинтерпретируем	3
	Знак интерпретируем или имеет подпись	1
	Значение знака неочевидно и текстовое сопровождение отсутствует	0
10	Аффорданс интерактивных элементов	
	Большинство элементов имеют явные или шаблонные аффордансы	3
	Большинство элементов имеют метафорические или скрытые аффорданс	1
	Интерактивность большинства элементов распознается только при наведении курсора	0
	Дополнительно	
	Имеется ложный аффорданс	-1

На рис. 1 представлен общий рейтинг платформ по результатам анализа. Видно, что наилучшей визуальной организацией обладает платформа Udacity, а самую худшую оценку получил сайт edX.

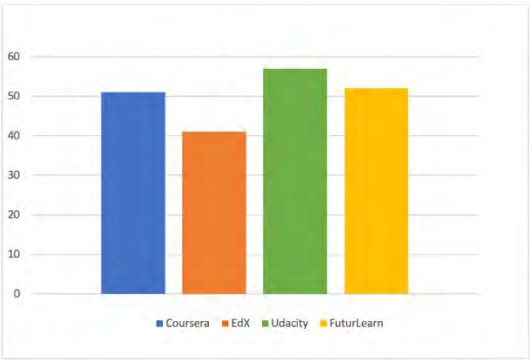


Рис. 1. Сравнение результатов структурно-функционального анализа: общий зачет

Исходя из полученных данных, можно заключить, что самый высокий средний балл имеет критерий №8 «Контрастность текста и фона» (рис. 2). Однако и на микроуровне имеется критерий с низким значением – №7 «Удобочитаемость». Самыми проблемными областями на макроуровне уровне оказались работа с цветом (№5) и негативным пространством (№3). При этом лучший средний балл по итогам анализа имеет микроуровень организации веб-страницы. Худшие значения с точки зрения эргономичности и юзабилити показал макроуровень.

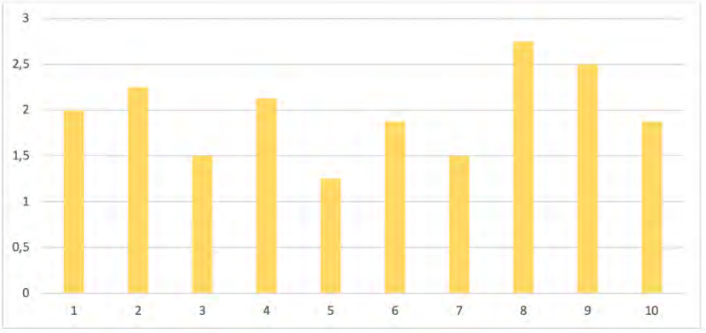


Рис. 2. Сравнение показателей структурно-функционального анализа: средние значения критериев

Основным результатом данной работы является оценка соответствия представлениям о функциональном дизайне МООК-платформ с последующим выявлением несовершенных решений. Среди главных недостатков в визуальной организации МООК-платформ были выделены: выбор цветовой гаммы, распределение негативного пространства, обеспечение удобочитаемости. Критерии структурно-функционального анализа могут использоваться в исследовании дизайна других образовательных платформ. Главный вывод проведенного исследования: формирование успешного опыта взаимодействия с цифровым продуктом для достижения образовательных целей пользователя тесно связано с качеством визуального дизайна, которое определяется степенью эффективности дизайн-решений и строится через соблюдение принципов, лежащих в основе визуального восприятия человека.

Литература

1. Калимуллина О.В. Современные цифровые образовательные инструменты и цифровая компетентность: анализ существующих проблем и тенденций / Калимуллина О.В., Троценко И.В. // Открытое образование. 2018. № 3. С. 61-73.
2. Купер А., Рейман Р. Кронин Д. Носсел Кр. Интерфейс. Основы проектирования взаимодействия. 4-е изд. Спб: Питер, 2019. С. 460.
3. Якунин А.В. Композиционно-графическая модель веб-сайта как системообразующий фактор формирования «опыта взаимодействия». // Инновационное развитие: ключевые проблемы и решения: сборник статей Международной научно-практической конференции. Уфа: РИО МЦИИ ОМЕГА САЙНС – 8 декабря 2015. Ч.2. С.174-176.
4. Nicholas C. The Shallows: What The Internet Is Doing To Our Brains – W. W. Norton & Company. 2011. P. 120.
5. Шеховцева А.Н. Базовые принципы, применяемые в мультимедийном проектировании // Молодежь и XXI век. Материалы V Международной молодежной научной конференции в 3-х томах. 2015. Т. 3. С. 370-377.

Дубинич Евгений Александрович
Год рождения: 1995
Университет ИТМО
факультет безопасности информационных технологий,
студент группы № N4253,
направление подготовки: 10.04.01 – Информационная безопасность,
e-mail: Dzys95@mail.ru
Канжелев Юрий Алексеевич
Год рождения: 1962
Университет ИТМО,
факультет безопасности информационных технологий,
к.т.н., доцент,
e-mail: kanzhelev@gmail.com

УДК 004.056

РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ ОЦЕНКИ И РЕГУЛИРОВАНИЕ РИСКОВ НАРУШЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ФЛУД-АТАКУЕМЫХ СЕРВЕРОВ КОМПЬЮТЕРНЫХ СЕТЕЙ

Е.А. Дубинич

Научный руководитель – к.т.н., доцент **Ю.А. Канжелев**

Университет ИТМО

Аннотация
В работе рассмотрена и предлагается модель для оценки вероятности успеха атаки и величины возникающего в данном случае ущерба. Получено аналитическое выражение для огибающей риска. Рассмотрены возможности и предложены рекомендации для его регулирования.
Ключевые слова
Флуд-атаки, анализ рисков, информационная безопасность, атаки, оценка ущерба.

Введение

Системы мгновенного обмена сообщениями (англ. Instant messengers или IM) получили широкое распространение в сети Интернет, так как позволяют общаться людям, находящимися в различных точках мира в режиме реального времени. Для общения с помощью IM достаточно иметь доступ в Интернет и программу-клиент для мгновенного обмена сообщениями, многообразие которых довольно велико. Помимо обмена текстовыми сообщениями, подобные программы могут предоставлять еще и дополнительные функции, такие как: просмотр персональной информации собеседника, различные режимы пребывания пользователя в Сети, передача аудио и видеоинформации и др. Те или иные клиентские программы пользуются разной популярностью в разных регионах мира.

Рассмотрим более подробно систему мгновенного обмена сообщениями на примере сети XMPP.

Отличается данная сеть от других IM-сетей децентрализованной структурой. Она состоит из большого числа изолированных и публичных серверов, а также клиентов, которые к ним подключаются. Соединения производятся как между серверами, так и

между клиентами и сервером. Связь с другими IM-сетями производится опционально с помощью шлюзов на стороне сервера. Подключение к серверу реализуется с помощью протокола TCP, который также используется для взаимодействия серверов между собой.

Главными задачами сервера в сетях XMPP является установка и поддержка соединений с прочими объектами в виде XML-потоков между ними, а также маршрутизация данных между объектами. Большинство серверов также осуществляют хранение клиентской информации (списка контактов клиентов, данных о присутствии клиента). Каждый сервер идентифицируется сетевым адресом. Взаимодействие серверов подобно протоколу обмена SMTP.

Коммуникации между серверами являются опционными и осуществляются с помощью XML-потоков, сопряженных с TCP-соединениями.

Клиенты в сетях XMPP, как было указано выше, подключаются к серверу посредством протокола TCP. Каждый клиент обладает уникальным идентификатором, который подобен адресам электронной почты, вначале которого идет имя пользователя на конкретном сервере, затем знак «@» и имя сервера. На основании уникального идентификатора клиента определяется его принадлежность к тому или иному серверу. Любой ресурс обладает идентификатором XMPP-адреса (к примеру, <test@domen/home> или <test@domen/work>), это обусловлено схемой адресации. Рекомендованным портом является 5222, для связи клиента и сервера (закреплено для IANA).

Шлюзы формируются и поддерживаются сервером. Основная задача, для использования шлюзов, передача информации, из XMPP-сети в сети, не поддерживающие XMPP, а также обратно. Примерами служат шлюзы для электронной почты, и сервисы AIM, ICQ, MSN Messenger или Yahoo! Instant Messenger.

Процедура передачи сообщения в сети XMPP выглядит следующим образом:

– Клиент передает сообщение на сервер. На данном этапе происходит транслирование текста в формат XML на стороне клиента и пересылка его серверу.

– Сервер получает сообщение, распаковывает и дешифрует его, после чего-либо отправляет сообщение другому клиенту либо другому серверу, если адрес клиента-получателя не принадлежит данному серверу.

Как и другие популярные услуги в сети Интернет, системы мгновенного обмена сообщениями доступны для злоумышленников, что и позволяет с их использованием осуществлять следующие виды деструктивных воздействий:

– Кража паролей от учетных записей клиентских программ систем мгновенного обмена сообщениями путем простого перебора символов (методом грубой силы) или же путем обмана пользователей.

– Распространение вредоносного программного обеспечения посредством ГМ-систем путем отправления сообщений со ссылками, при переходе на которые пользователь попадает на вредоносные веб-страницы, с которых предлагается скачать и установить вредоносное программное обеспечение или же этот процесс происходит в фоновом режиме при открытии страницы в сети Интернет.

– Рассылка сообщений, содержащих нежелательную рекламу (спам-рассыл ки).

– IM-flood атаки, целью которых является насыщение канала передачи информации серверов передачи IM-сообщений путем исчерпания их системных ресурсов (центрального процессора, дисковой или оперативной память или каналов связи) и тем самым приведения их в недоступное состояние.

Так как IM-flood атаки могут привести сервер в недоступное состояние и тем самым нанести определенный ущерб большому количеству пользователей, взаимодействующих с данным сервером, данный тип атак является наиболее деструктивных из всех вышеперечисленных деструктивных воздействий, реализуемых в 1M-сетях.

Рассмотрим атаки типа «EM-flood» более подробно.

Для их организации используется программа IM-Flooder, основной функцией которой и является забивание бесполезными сообщениями системы мгновенного обмена сообщениями. При реализации атаки типа «IM-flood» количество поступающих к жертве запросов может быть различным и приводить как к частичной, так и к полной потере работоспособности ресурсов жертвы. Атака производится с множества учетных записей в сети автоматизированным путем, так как при отправке сообщений от одного или нескольких клиентов жертва может игнорировать сообщения от них.

Рассмотрим алгоритм работы программы IM-Flooder.

Первым этапом является проникновение в систему. Проникновение может производиться несколькими способами:

– установкой программы самим пользователем, ошибочно полагающим, что перед ним необходимая ему программа;

– распространение IM-Flooder с использованием «социального инжиниринга»;

– внедрение IM-Flooder на сайты производителей программного обеспечения посредством использования уязвимостей, допущенных при создании данных сайтов;

– скрытное проникновение через уязвимости в операционных системах и программном обеспечении, установленном на компьютере пользователя сети.

Далее идет запуск IM-Flooder, при котором данная программа самостоятельно устанавливает себя на компьютере жертвы путем помещения себя в указанный злоумышленником каталог, регистрации в реестре как автоматически запускающийся процесс или внедрения в библиотеку, которая загружается при старте операционной системы каким-либо программным обеспечением, установленным на зараженном компьютере. Далее происходит перехват одного из сокетов системы и последующее отслеживание данных, передаваемых по данному сокету от злоумышленника, причем данные передаются таким образом, что пользователь не получает никаких уведомлений о действии IM-Flooder.

Целью данного воздействия является отказ в обслуживании IM-сервера. Атаки носят потоковый характер и при пуассоновском приближении уместно использовать полумарковские модели. Поэтому смоделируем данную атаку с помощью сети Петри-Маркова, где Sj - позиции, а tj - переходы процесса [1–5].

Моделирование атаки, с помощью программы IM-Flooder

Предлагается модель для оценки вероятности успеха атаки и величины возникающего в данном случае ущерба. Получено аналитическое выражение для огибающей риска. Рассмотрены возможности и предложены рекомендации для его регулирования.

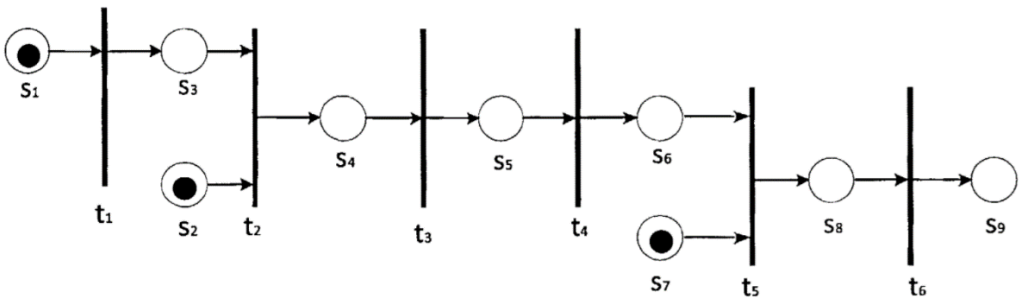


Рис. 1. Граф сети Петри-Маркова

Граф данной сети представлен на рис. 1, где:

S1 - злоумышленник имеет информацию для формирования команды вредоносной программе IM-flooder;

t1 - формирование команды для компьютера с вредоносной утилитой IM-flooder;

S2 - устройство с вредоносной утилитой IM-flooder готово принять команду;

S3 - команда для устройства с вредоносной программой IM-flooder готова;

t2 - отправка команды устройству с вредоносной утилитой IM-flooder;

S4 - устройство с вредоносной утилитой IM-flooder приняло команду;

t3 - обработка принятой команды;

S5 - команда обработана;

t4 - настройка вредоносной программы IM-flooder и формирование сообщений, в соответствии с принятой командой;

S6 - вредоносная программа настроена и сообщения для отправки сформированы;

S7 - атакуемый IM-сервер готов принять сообщения;

t5 - отправка сообщений на атакуемый IM-сервер;

S8 - работа IM-сервера затруднена из-за большого количества сообщений;

t6 - переполнение обработчика сообщений атакуемого IM-сервера;

S9 - работа IM-сервера невозможна.

Возможности и рекомендации с целью регулирования рисков при осуществлении атаки с применением утилиты IM-Flooder

Рассмотрим возможности регулирования огибающей функции риска, используя аналитическое выражение:

$$\text{Risk}(t+\frac{\Delta t}{2})=$$

$$\begin{cases} \dfrac{\lambda_0(nT_0+T)(t-t_0)(\lambda_{\text{оф}}-3\lambda_i\lambda_o)^2(\frac{\Delta t}{\tau})(\exp(-\frac{t_0}{\tau}))}{((nT_0+T)-t_0)(3\lambda_i\lambda_0\lambda_{\text{оф}}-\lambda_{\text{оф}}^2 t_{\text{в}})(\lambda_{\text{оф}}t_{\text{в}}+\lambda_i\lambda_{\text{о}}\lambda_{\text{оф}}t_{\text{в}})}, t_0 \le t < t_{\text{в}}; \\ \dfrac{((\lambda_a+\lambda_n)t_{\text{в}}+\lambda_{\text{оф}}(t_{\text{з}}-t_{\text{в}})t)(\lambda_{\text{оф}}-3\lambda_i\lambda_o)^2(\frac{\Delta t}{\tau})(\exp(-\frac{t_0}{\tau}))}{(3\lambda_i\lambda_{\text{о}}\lambda_{\text{оф}}t_{\text{в}}-\lambda_{\text{оф}}^2 t_{\text{в}})(\lambda_{\text{оф}}t_{\text{в}}+\lambda_i\lambda_{\text{о}}\lambda_{\text{оф}}t_{\text{в}}+\lambda_a+\lambda_n)}, \ t_{\text{в}} \le t < t_{\text{з}} \\ \dfrac{(-\lambda_i\lambda_o t^2+(\lambda_{\text{оф}}t_{\text{з}}-\lambda_{\text{оф}}t_{\text{в}}-\lambda_i\lambda_{\text{о}}t_{\text{з}})t+(\lambda_a+\lambda_n)t_{\text{з}})(\lambda_{\text{оф}}-3\lambda_i\lambda_0)^2(\frac{\Delta t}{\tau})(\exp(-\frac{t_0}{\tau}))}{(3\lambda_i\lambda_{\text{о}}\lambda_{\text{оф}}t_{\text{в}}-\lambda_{\text{оф}}^2 t_{\text{в}})(\lambda_{\text{оф}}t_{\text{в}}+\lambda_i\lambda_{\text{о}}\lambda_{\text{оф}}t_{\text{в}}+\lambda_a+\lambda_n)}, t \ge t_{\text{з}}. \end{cases}$$

где: λа — интенсивность атаки;
λо – интенсивность обработки поступающих сообщений/запросов;
λп – интенсивность поступления полезных сообщений/запросов
λi – интенсивность отправки сообщений /-го источника;
λоф – интенсивность поступления сообщений;
n — число адресов, с которых реализуется атака;
To – время на включение 1-ого атакующего в спам-лист;
T – время перенастройки сервера;
to – момент успеха атаки;
tВ – момент времени, к которому сформирован спам лист и сервер перенастроен;
tЗ – момент включения средств защиты.

Часть из параметров риска, представленных выше, являются внешними для атакуемой сети, среди них: λа, λi, λоф, to. Управлять ими представляется затруднительным в рамках атакуемой КС. В свою очередь, интенсивность поступления полезных сообщений λп регулировать нецелесообразно, так как данные сообщения имеют ценность для пользователей атакуемой КС.

Внутренними параметрами для атакуемой сети, которые можно регулировать в рамках процесса управления риском при осуществлении атаки флуд-атак с применением вредоносной программы IM-flooder, являются: λ_0, T_0, T, t_B, и t_3.

Рассмотрим методы регулирования данными параметрами с целью снижения риска реализации данных флуд-атак.

Параметры λ_0, t_B, T зависят от производительности атакуемого сервера системы и связанного с ним оборудования КС, увеличивая их, можно добиться уменьшения значений огибающей функции риска осуществления флуд-атак с применением вредоносной программы IM-flooder, это возможно посредством:

– замены дисковых накопителей атакуемого сервера сети на более производительные;

– замены функционирующих в атакуемой сети сетевых устройств на более производительные;

– увеличения объема обрабатываемой информации в сети посредством увеличения вычислительной мощности хостов сети.

На рис. 2 приведены графики огибающей функции риска при снижении параметра t_B посредством увеличения вычислительной мощности хостов сети, увеличении параметра λ_0 посредством смены работающих в атакуемой сети сетевых устройств, снижении T посредством увеличения производительности функционирующих на атакуемом сервере дисковых накопителей на величину Δt_B, $\Delta\lambda_0$, ΔT соответственно.

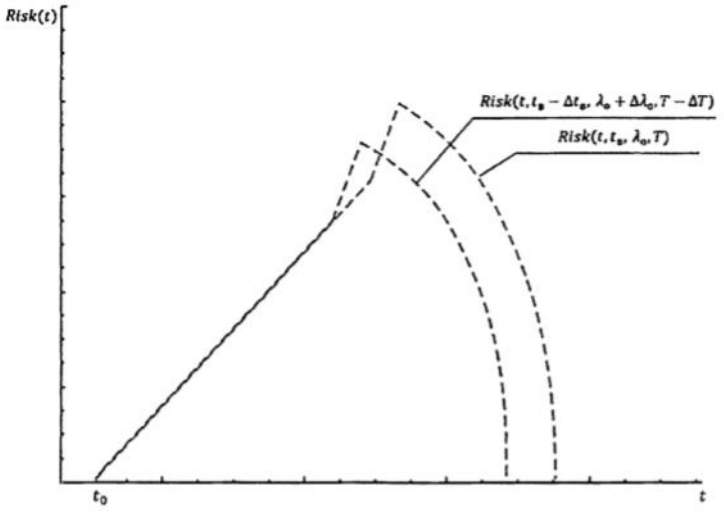


Рис. 2. Графики, огибающей риска при снижении t_B, увеличении λ_0 и снижении T на величину Δt_B, $\Delta\lambda_0$, ΔT соответственно

Вторую группу параметров сети, которыми возможно управлять, составляют параметры T_0 и t_3, зависящие от производительности и корректности настроек устройств защиты информации, установленных в атакуемой сети. Управляя настройками средств защиты информации, можно добиться следующих результатов:

– снизить время на добавление одного атакующего в спам-лист;

– снизить время реагирования и подключения средств защиты информации при осуществлении атаки.

На рис. 3 приведены графики функции риска в случае осуществления управляющих воздействий на вышеописанные параметры и снижения параметра T_0 путем увеличения вычислительной мощности средств защиты информации СКС и

снижении параметра t_3 с помощью реконфигурации средств защиты информации СКС на величину ΔT_0 и Δt_3 соответственно.

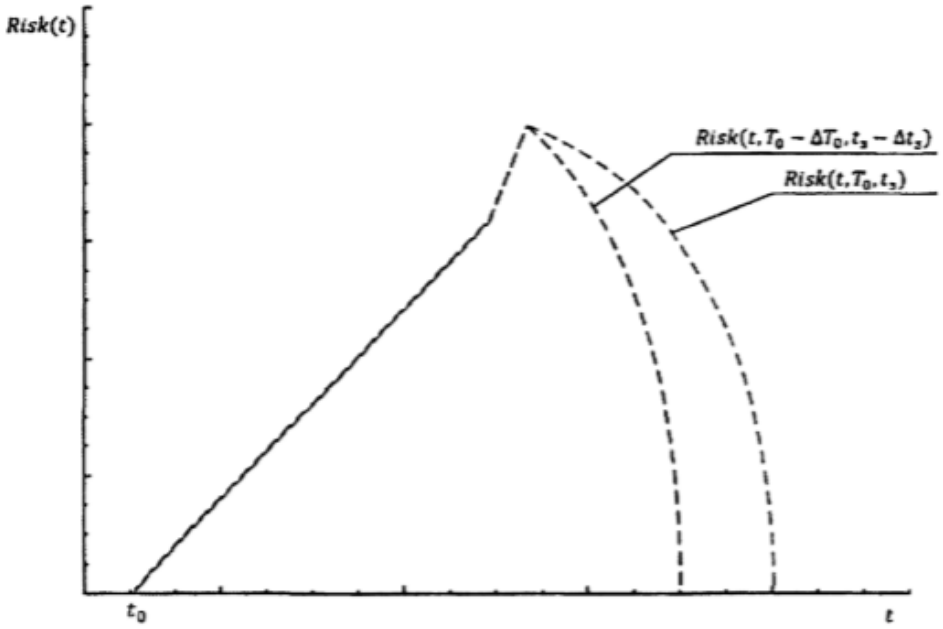


Рис. 3. Графики, огибающей риска при снижении T0 и снижении T на величину ΔT_0 и $\Delta t3$ соответственно

Таким образом, для предложенных способов регулирования внутренних параметров защищаемого СКС, продемонстрирована (рис. 2 и 3) эффективность их использования для понижения значений огибающей функции риска атакуемого СКС при реализации в отношении ее серверов флуд-атак с использованием вредоносной программы IM-flooder.

Заключение

В главе разработана модель флуд-атаки с использованием вредоносной программы IM-flooder, которая позволяет определить накопленные вероятности наступления ущерба. Определены функция ущерба для атаки типа «IM-флуд» и огибающая риска, включая оценку возможности ее регулирования.

По результатам проведенных в работе исследований были получены вытекающие результаты:

– При использовании анализа процесса осуществления флуд-атак с применением сетей Петри-Маркова приобретены аналитические формулировки возможности успеха для атак «IM» на серверы компьютерных сетей.

– Для проанализированных видов флуд-атак аналитически оценены размеры появляющихся ущербов, с учетом процедур противодействия.

– Приобретены аналитические риск-модели серверов компьютерных сетей для флуд-атак. Сформированы рекомендации по регулированию рисков серверов компьютерных сетей, в условиях противодействия предоставленным атакам.

– Обусловлены перспективы практического применения предложенных риск-моделей для увеличения защищенности серверов различного направления, а также - выработаны практические рекомендации для регулирования рисков флуд-атак на эти объекты.

Литература

1. Аверченков В.И. Автоматизация проектирования комплексных систем защиты информации [Текст] / В.И. Аверченков, М.Ю. Рытов // Информация и безопасность. 2007. Т. 10. Вып. 4. С. 582-584.
2. Адрианов В.В. Обеспечение информационной безопасности бизнеса [Текст] / Адрианов В.В., Зефиров С.Л., Голованов В.Б., Голдуев Н.А. М.: ЦИПСиР, 2011. 373 с.
3. Алферов А.П. Основы криптографии [Текст] / Алферов А.П., Зубов А.Ю., Кузьмин А.С., Черемушкин А.В. М.: Гелиос АРВ. 2002. 480 с.
4. Аржаков А.М. Проблемы управления рисками [Текст] / Аржаков А.М., Ельчанинова Ю.В., Ковалев П.Н., Коваленко Д.М., Медведев В.И., И.М. 2010. Вып. 7. С. 305-310.
5. Балдин К.В. Управление рисками: Учеб. Пособие [Текст] / Балдин К.В., Воробьев С.Н. М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2005. 511с.

Ефимова Валерия Александровна
Год рождения: 1995
Университет ИТМО,
факультет информационных технологий и программирования,
студент группы № М4239,
направление подготовки: 01.04.02 – Технологии разработки программного обеспечения,
e-mail: valeryefimova@gmail.com
Фильченков Андрей Александрович
Год рождения: 1988
Университет ИТМО,
факультет информационных технологий и программирования,
к.ф.-м.н., доцент,
e-mail: aaafil@mail.ru

УДК 004.932.2

ПОРОЖДАЮЩИЕ МОДЕЛИ ДЛЯ ГЕНЕРАЦИИ НАБОРОВ ДАННЫХ, ПОВЫШАЮЩИХ КАЧЕСТВО ДЕТЕКЦИИ И РАСПОЗНАВАНИЯ ТЕКСТА НА ИЗОБРАЖЕНИИ

В.А. Ефимова

Научный руководитель – к.ф.-м.н., доцент **А.А. Фильченков**

Унитверситет ИТМО

Аннотация
Распознавание текста на изображениях требуется во множестве областей, но для достижения высокой точности распознавания требуется обучение на огромных наборах данных. Наборы реальных изображений с размеченным текстом содержат недостаточно объектов. Решением будет автоматическая генерация таких изображений и разметки. В данной работе изображения предлагается генерировать с помощью порождающих состязательных моделей, в которые добавлена ошибка на распознавание текста. Сгенерировано 3 набора данных и приведены результаты, которые показывают модели детекции, обученных на них, на наборе данных ICDAR MLT.
Ключевые слова
Глубокое обучение, порождающие состязательные сети, распознавание текста, детектирование текста, синтетические данные.

1. Введение

С текстом, размещенным на изображении, современный человек сталкивается каждый день в рекламных объявлениях, в журналах или же в социальных сетях. Распознавание такого текста – сложная и широко используемая задача, важная часть взаимодействия между человеком и компьютером. Автоматическое распознавание текста позволяет компактно хранить информацию, осуществлять поиск слов или фраз, анализировать текст, а также форматировать текст и применять к нему электронный перевод или преобразование в речь. Что используется, например, в системах автоматического управления автомобилями.

В общем случае извлечение текста из изображения разделяется на две стадии: определение местоположение текста, его локализацию или детекцию (англ. detection, localization) и распознавание слов (англ. recognition).

Часто текст на изображении размещен вручную. Мы хотим синтезировать набор данных для дальнейшего использования – автоматического распознавания текста. В этой области доступных наборов данных крайне мало, существуют наборы данных ICDAR, Street View Text и KAIST Scene Text Database. Число таких изображений мало, в сумме порядка 20000 для всех языков, а словарь представленного текста ограничен. Сбор вручную подобного набора данных дорог и требует значительных затрат по времени.

Решением этой проблемы будет автоматическое размещение текста на изображении. Синтезирование таких изображений обосновано, так как большинство текстов в реальном мире создано с помощью компьютера. Таким способом мы сможем генерировать наборы данных огромных размеров, что позволит использовать для распознавания текста алгоритмы глубокого обучения и создавать более полные и качественные модели. Кроме того синтезирование изображений с текстом позволяет точно определять окружающую рамку (англ. bounding box) текста, что важно для большинства систем распознавания.

Синтетические наборы изображений с текстом уже существуют: MJSynth [1] и SynthText in the Wild [2]. Но в первом случае текст генерируется без фонового изображения, а во втором — результат далек от фотореалистичного.

Цель данной работы — разработать алгоритм создания синтетического набора данных, чтобы повысить качество распознавания текста на изображении. Задача — создание набора данных, который будет состоять из изображений с фотореалистично вписанным текстом на них. Данная задача разбивается на три подзадачи, имеющих одну цель, но на вход алгоритма подается разное: дан текст и область, куда его вписывать; дано изображение и маска текста (попиксельная разметка областей с текстом); дано изображение с текстом и новый текст.

2. Синтетические наборы изображений

Синтетические наборы данных используются в различных областях, для обучения порождающих моделей, или же для обучения глубоких сверточных нейронных сетей. Синтетически сгенерированные наборы для распознавания текста использовались во многих исследованиях по распознаванию текста [1, 3]. Доступны синтетически сгенерированные наборы данных [3, 4]. Результаты, представленные во многих работах, показывают, что даже без тренировки на реальных данных текст на них может быть распознан с высоким качеством [2, 3, 5].

В работе [1] представлен набор данных MJSynth на 8919273 объекта, он содержит изображения слов высотой 32 пикселя, то есть описывается только генерация текста, а не вписывание его в изображение. Но для размещения текста на изображении создан подход с помощью нахождения положения объектов в 3D SynthText in the Wild [2]. С помощью сверточных нейронных сетей строится карта глубины, изображение сегментируется и разбивается на области, в которых можно размещать текст.

Многие модели для детекции текста обучены на наборе данных SynthText, но после этого требуют дообучения на реальных данных. Без такого дообучения они показывают неудовлетворительные результаты.

3. Предложенный подход

Процесс обучения сверточных моделей направлен на минимизацию функции ошибки, с помощью которой можно оценить качество получаемых результатов. Кроме того, обучение происходит автоматически, а основные усилия уходят на создание

эффективной функции потерь. Другими словами, нужно правильно передать сверточной сети, что именно мы хотим минимизировать. Если поступать наивно и задавать целью модели минимизацию евклидового расстояния между предсказанными и истинными пикселями, то, как правило, результатом становится размытая картинка [6, 7]. Создание функции потерь — открытая задача, которая, как правило, требует экспертных знаний. Поэтому крайне желательно просто указать высокоуровневую цель, например «сделать результат неотличимым от реальности», а функцию потерь получать автоматически. Именно так работают предложенные недавно порождающие состязательные модели (GAN) [8]. Размытые изображения не будут допускаться, поскольку они выглядят явно поддельными. Таким образом, порождающие модели широко используются для генерации новых изображений, применим их и к нашей задаче с некоторыми изменениями архитектуры.

Рассмотрим общую идею модификации условной порождающей состязательной сети, ее схема представлена на рис. 1. Шаг с учетом результатов распознавания добавлен в оригинальную архитектуру, так как текст должен оставаться читаемым. Генератор должен синтезировать изображения с четким текстом, а не передавать на оценку дискриминатору размытый текст, в таком случаем тот сможет легко отличить подделку, а обучение не будет успешным.

Допустим, на вход сети подаются объекты: текст, который нужно будет вписать, и область на изображении, в которую нужно будет вписать текст. Буквой *G* обозначен генератор, который синтезирует новое изображение с уже вписанным текстом. Далее синтезированное изображение оценивается с помощью системы распознавания текста (на рис. *R*), а результат распознания учитывается при обучении генератора и оценке изображения дискриминатором *D*. Все это повторяется заданное число раз.

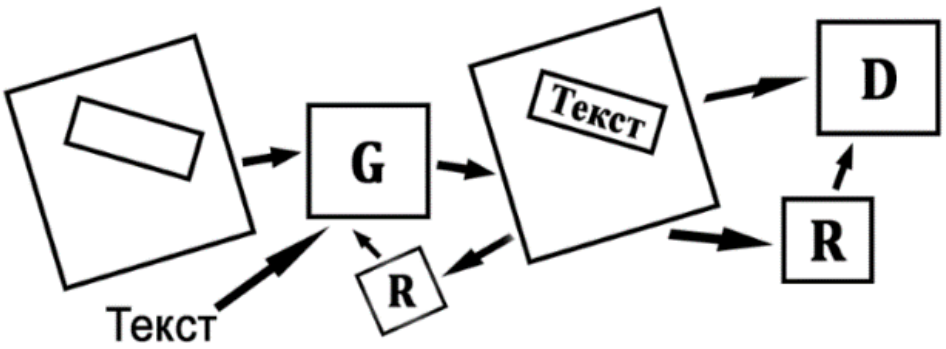


Рисунок. 1. Схема предложенного метода

Для распознавания текста использовался фреймворк E2E-MLT [9]. Мы модифицировали формулу ошибки условного GAN, добавив в нее ошибку распознавания текста: $\widehat{L_{GAN}} = L_{GAN} + L_R$. В случае генерации изображения по уже заданному фону мы добавим ошибку похожести сгенерированного текста на фоновое изображение: $\widehat{L_{GAN}} = L_{GAN} + L_R + L_S$. То есть текст не должен оставаться однотонным, он должен повторять структуру изображения, в которое вписан. Для этих целей идеально подошла модель EdgeConnect [10].

Мы ввели модуль для распознавания текста, который внес соответствующую ошибку. Учитывалось количество распознанных слов на сгенерированном изображении и реальном, их длина и побуквенное расстояние. Расстояние между строками вычислялось по формуле для расстояния Левенштейна.

3.1. Генерация изображений с текстом на основе меток

В данном случае на вход сети подаются текст и координаты прямоугольной области, в которую следует вписать текст. В качестве базовой архитектуры нейронной сети была использована архитектура Pix2Pix [11]. В нее был добавлен учет ошибки на распознавание текста, как описано в предыдущем разделе, что было достигнуто добавлением слоев в сеть генератора. В ходе экспериментов было отмечено, что генерируемые изображения очень далеких от приемлемых, то есть нужно более точно указать сети, где и какие объекты генерировать. Так было введено три типа попиксельных меток: текст, табличка, на которой расположен текст и окно/витрина. Дальнейшее улучшение нецелесообразно, так как намного проще взять существующее изображение и вписать туда текст, или же генерировать на изображении только объект, на котором будет размещен текст (табличка/вывеска/плакат).

3.2. Генерация изображений с текстом на основе изображения и маски

Было проанализировано множество генеративных моделей и моделей для дорисовывания изображения, в результате для фотореалистичного вписывания текста была выбрана модель EdgeConnect, так как она генерирует итоговое изображение на основе краев объектов на нем. Но, вместе с тем, нужно сохранить текст читаемым, то есть учесть при генерации его края и сохранить текстуру и линии исходного изображения. Маску мы можем получить, например, используя подход SynthText. Данный же подход дополнит существующий, позволив не просто наложить текст с некоторыми стилями шрифта, но и встроив в само изображение с учетом контуров объектов.

На вход подаются изображение и маска текста, который нужно вписать. На основе маски стоится более широкая маска (шире на 10-15 пикселей. Это нужно для того, чтобы при вписывании текста изменилась и область вокруг. На основе исходной маски стоится изображение краев текста, которое впоследствии накладывается на края, полученные по исходному изображению. Так мы можем учесть структуру/текстуру фона при генерации текста. Далее новая маска, реальное изображения и созданные границы подаются на вход второй части модели EdgeConnect, которая отвечает за генерацию вписанной области по краям. В структуру модели был добавлен блок для распознавания текста на изображении и введена соответствующая. Предполагается, что данный подход сможет улучшить вписывание текста, обучить модель находить на изображениях более сложный для чтения, а соответственно распознавания, текст.

3.3. Генерация изображений с текстом на основе изображения с другим текстом

Часто наборы изображений с текстом для языков не из латинской группы имеют маленький размер, что недостаточно для обучения качественной модели. Выходом из этой ситуации станет замена латинского текста на, например, арабский, что позволит существенно расширить обучающую выборку для мультиязычных моделей детекции. В данном случае на вход сети подается изображение с уже вписанным текстом, которое далее подается на вход модели детекции текста, она находит окружающую рамку текста, и контуры текста.После этого входное изображение и найденная область передаются в часть EdgeConnect, которая восстанавливает края на закрытой маской области. На выходе мы получаем края исходного изображения и восстановленные края. Далее на эти края накладываются контуры текста, полученное изображение идет на вход части EdgeConnect по восстановлению изображений, также ей на вход подается исходное изображение и найденная с помощью модели детекции маска.

Разработанная модель может быть применена для замены текста на произвольном языке, который локализует модель детекции, на текст на другом языке. Это позволит существенно расширить наборы изображений для нелатинских языков, которых сейчас практически нет.

4. Экспериментальное исследование

Все эксперименты производились на сервере характеристиками: 16-ядерный процессор Intel(R) Core(TM) i7-6900K CPU 3.20GHz, 128 GB RAM, 4 видеокарты GeForce GTX 1080 Ti.

Опишем детали реализации и обучения предложенных моделей.

1. Такой подход имеет место, но позволяет генерировать недетализированные изображения, что нецелесообразно для современных систем распознавания. Тем не менее, таким образом был сгенерирован набор данных на 3000 изображений с текстом размером 256x256 пикселей. В дальнейшем сравнении он обозначен LGD1.

2. Была использована модель EdgeConnect. В модель была добавлена ошибка на распознавание, она вычислялась с помощью подхода E2E-MLT. Модель вначале была натренирована в течение 40 эпох на наборе данных KAIST, но эти изображения содержат текст на табличках, тогда как целью работы является реалистичное размещение текста на любых поверхностях. Был собран набор изображений из 100 объектов, содержащий в том числе надписи на асфальте, песке и на кирпичных стенах. На этом наборе производилось дообучение модели в течение 7 эпох. В результате был сгенерирован набор данных на 3000 изображений с текстом, размер изображений соответствовал исходным. Фон для них был взят из фонов для набора данных SynthText, и маски сгенерированы на основе этой модели. В дальнейшем сравнении он обозначен MGD2.

3. Для применения данного подхода был выбран набор данных ICDAR 2013 как уже размечен, то есть не требующий дополнительного шага с детекцией текста. Текст был случайным образом взят из истинных меток к SynthText на арабском языке, который использовался для тренировки модели E2E-MLT. Для детекции текста использовалась модель SegLink [12]. Она возвращает ориентированную окружающую рамку, так что текст вписывался под наклоном. В данном случае была использована модель из предыдущего подхода. В результате был сгенерирован набор данных на 3000 изображений с текстом размером 256x256 пикселей на основе изображений из ICDAR 2013 и 2015, и на основе изображений из Google Search Images. В дальнейшем сравнении полученный набор изображений обозначен DGD3.

5. Оценка сгенерированных изображений

Качество сгенерированных данных измерим с помощью f1-меры и меры DetEval, которое будет достигнуто при обучении на сгенерированных данных. В сравнение вошли алгоритмы детекции Textboxes++ [13] и SegLink [12]. Они были предобучены на подмножестве набора данных SynthText, мы по отдельности обучили эти модели деткции на сгенерированных наборах изображений. Тестирование производилось на подмножестве изображений для арабского и английского языков из набора данных ICDAR MLT [14].

В таб. 1 представлено итоговое сравнение для детекции текста на английском и арабском языках. Модель не использует генератор случайных чисел, ее веса обучены и сохранены, тестирование каждый раз производится на фиксированном множестве изображений, то есть весь процесс детерминирован, поэтому дисперсии результатов не наблюдается.

Таблица 1

Результаты детекции текста при обучении на сгенерированных наборах данных

Модель	Язык	F_1	precision	recall	DetEval
Textboxes++ (SynthText + 3000)	англ.	0,5667	0,776	0,4463	0,5337
Textboxes++ (SynthText + 3000)	араб.	0,4561	0,6527	0,3505	0,4251
Textboxes++ (SynthText + LGD1)	англ.	0.46	0,8734	0,3122	0,3572
Textboxes++ (SynthText + MGD2)	англ.	0.6711	0,8669	0,5475	0,6528
Textboxes++ (SynthText + DGD3)	араб.	0,4886	0,7254	0,3683	0,4543
SegLink (SynthText + 3000)	англ.	0,4643	0,7206	0,3425	0,4134
SegLink (SynthText + 3000)	араб.	0,365	0,5999	0,2623	0,3428
SegLink (SynthText + LGD1)	англ.	0,2306	0,4327	0,1572	0,212
SegLink (SynthText + MGD2)	англ.	0,5849	0,8378	0,4493	0,5536
SegLink (SynthText + DGD3)	араб.	0,4578	0,5952	0,3731	0,4362

Жирным шрифтом выделено максимальное значение в столбце для языка

Набор данных LGD1 содержит изображения малого разрешения, даже соседние пиксели изображения из него имеют сильный разброс по цвету, что вызывает множественную детекцию неверных областей. Из таблицы видно, что лучших результатов достигла модель Textboxes++, обученная на наборе изображений MGD2. Набор данных DGD3 также содержит изображения малого разрешения, для большего разрешения удовлетворительных результатов достичь не удалось, что и повлекло за собой низкое значение метрик, хоть и дало незначительное улучшение качества детекции.

Показателем натуралистичности сгенерированных изображений будет средняя оценка асессоров, как это, например, было сделано при оценке набора данных SynthText. Был проведен опрос 100 человек, которые оценивали 5 случайных изображений из MGD2 и 5 случайных изображений из SynthText. Асессору предлагалось оценить натуралистичность и органичность вписанного текста на каждом из 10 изображений числом от 1 до 5. Результаты были усреднены по изображениям и по людям, в результате получены данные, представленные в таб. 2. Считалась относительная оценка, за максимум взят случай, когда все асессоры поставили всем изображениям оценку 5.

Таблица 2

Асессорская оценка изображений из SynthText и из MGD2

Набор изображений	Оценка
SynthText	0,37 ± 0,21586
MGD2	0,747 ± 0,19724

Из таб. 2 видно, что асессоры оценили изображения с огромной дисперсией, но сгенерированные изображения оценены лучше, чем исходные. Из этого можно заключить, что они более натуралистичны.

6. Заключение

В данной работе мы предложили три новых метода для генерации реалистичных изображений с текстом и показали актуальность этой задачи. Было проведено масштабное исследование с целью выбора подходящих для данной задачи генеративных моделей, в результате которого были выбраны современные модели Pix2Pix и EdgeConnect. Их архитектура была изменена посредством добавления модуля

распознавания текста. Предложенные алгоритмы были использованы для генерации трех наборов данных по 3000 изображений каждый. На этих наборах были обучены две модели детекции: Textboxes++ и SegLink. Показано, что обучение на наборе данных, сгенерированном по фоновому изображению и маске текста, приносит существенный выигрыш для детекции текста на английском языке. Обучение на наборе данных, сгенерированном по изображениям с текстом и набору арабских текстов, существенного выигрыша не приносит, хоть и незначительно улучшает результаты детекции. В дальнейшем планируется улучшить третий подход генерации изображения по изображению с текстом на нем, посредством определения направляющих этого текста и применения трансформации к вписываемому тексту. Кроме того, разработан четвертый подход, который позволит генерировать большую часть изображения вокруг вписываемого текста, а именно табличку, оставляя неизменным прочий фон. Но данный подход требует сбора данных и выдаст довольно специфичные изображения, поэтому не был.

Литература

1. Synthetic data and artificial neural networks for natural scene text recognition /M. Jaderberg [и др.] // arXiv preprint arXiv:1406.2227. – 2014.
2. Gupta A., Vedaldi A., Zisserman A. Synthetic data for text localisation in natural images // Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. 2016. С. 2315–2324.
3. End-to-end text recognition with convolutional neural networks / T. Wang [идр.] // Pattern Recognition (ICPR), 2012 21st International Conference on. IEEE. 2012. С. 3304–3308.
4. Character recognition in natural images. / T.E. De Campos, Babu B.R., Varma M. [и др.] // VISAPP (2). 2009. Т. 7.
5. Textboxes: A fast text detector with a single deep neural network / M. Liao [идр.] // Thirty-First AAAI Conference on Artificial Intelligence. 2017.
6. Context encoders: Feature learning by inpainting / D. Pathak [и др.]// Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition. 2016. С. 2536–2544.
7. Zhang R., Isola P., Efros A.A. Colorful image colorization // European conference on computer vision. Springer. 2016. С. 649–666.
8. Generative adversarial nets / I. Goodfellow [и др.] // Advances in neural information processing systems. 2014. С. 2672–2680.
9. Bušta M., Patel Y., Matas J. E2E-MLT-an unconstrained end-to-end method for multi-language scene text // arXiv preprint arXiv:1801.09919. 2018.
10. EdgeConnect: Generative Image Inpainting with Adversarial Edge Learning /K. Nazeri [и др.] // arXiv preprint arXiv:1901.00212. 2019.
11. Image-to-image translation with conditional adversarial networks / P. Isola [идр.] // Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition. 2017. С. 1125–1134.
12. Shi B., Bai X., Belongie S. Detecting oriented text in natural images by linking segments // Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. 2017. С. 2550–2558.
13. Liao M., Shi B., Bai X. Textboxes++: A single-shot oriented scene text detector// IEEE transactions on image processing. 2018. Т. 27, № 8. С. 3676–3690.
14. Icdar2017 robust reading challenge on multi-lingual scene text detection and script identification-rrc-mlt / N. Nayef [и др.] // 2017 14th IAPR International Conference on Document Analysis and Recognition (ICDAR). Т. 1. IEEE.2017. С. 1454–1459.

Зенкина Юлия Владимировна
Год рождения: 1995
Университет ИТМО,
факультет пищевых биотехнологий и инженерии,
студент группы №Т4230,
направления подготовки: 19.04.01 – Биотехнология продуктов функционального назначения,
e-mail: yzenkina@mail.ru

УДК574.64

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ МЕТОДАМИ БИОТЕСТИРОВАНИЯ (НА ПРИМЕРЕ РЕКИ НОВАЯ)

Ю.В. Зенкина

Научный руководитель – к.т.н., доцент **Л.А. Надточий**

Университет ИТМО

Аннотация
В работе проведены эксперименты по биотестированию воды с применением тест-объектов из разных царств биологических объектов (растительного и животного происхождения), моделирующие воздействие на важнейшие трофические уровни исследуемой экосистемы р. Новая. Исходя из полученных результатов, были сформированы рекомендации для применения биотестирования для водных объектов.
Ключевые слова
Биотестирование, тест-объекты, острая токсичность, хроническая токсичность, река Новая.

Введение

В современных условиях антропогенного давления на окружающую среду проблема сохранения водных экосистем, как наиболее подверженных интенсивному негативному воздействию промышленных и пищевых производств, имеет большое значение. Центральным звеном этой проблемы являются вопросы обеспечения своевременного и эффективного контроля качества природных и, особенно, сточных вод предприятий, являющихся основным источником загрязнения водных ресурсов [1]. Для такого контроля в настоящее время широко используются методы биоиндикации и биотестирования с использованием различных гидробионтов.

Для оценки степени техногенного воздействия на водные экосистемы наряду с методами химического анализа используют биотестирование, как интегральный показатель токсического загрязнения среды. В качестве тест-организмов могут быть выбраны представители различных трофических уровней: водоросли, зоопланктон, моллюски, рыбы. С водой, сбрасываемой промышленными предприятиями, в водоёмы попадает большое количество поверхностно-активных веществ, металлов, органических веществ и различных токсинов. К большинству этих факторов антропогенного происхождения биологические объекты не подготовлены: их защитные системы не могут противостоять многим загрязнителям, попадающим в организм с воздухом, водой, пищей [2]. Всё это приводит к нарушению трофических цепей в экосистемах, появлению патогенных и больных организмов, что в конечном итоге оказывает негативное влияние

на биологические системы и представляет угрозу для здоровья человека. Учитывая всё вышесказанное, представляется важным организация контроля состояния окружающей среды [3]. В качестве объекта были выбраны воды реки Новая как резонансный экологический объект Санкт-Петербурга, привлекший внимание из-за массовой гибели уток летом 2018 года.

Цель работы

Исследование токсичности вод реки Новая в г. Санкт-Петербурге на трансформированных и нетрансформированных участках русла с использованием широкого спектра тест-объектов для определения уязвимых компонентов экосистемы.

Задачи работы

1) Произвести отбор тест-организмов животного и растительного происхождения, пригодных для проведения эксперимента по оценке качества речной воды;

2) Исследовать острую токсичность воды р. Новая на трансформированных и нетрансформированных участках русла по реакции выбранных тест-организмов (дафнии *D. magna*, хлорелла *Chlorella vulgaris*, ряска малая *Lemna minor L.* и рыбы рода *Danio rerio*);

3) Изучить хроническую токсичность воды р. Новая на трансформированных и нетрансформированных участках русла по реакции дафний *D. magna*;

4) Провести сравнительный анализ результатов биотестирования воды из трансформированных и нетрансформированных участков русла р. Новая и данных по химическому загрязнению воды из трансформированных и нетрансформированных участков русла р. Новая.

Результаты

Биотестирование выполнено с помощью комплекса из 2 растительных и 2 животных тест-объектов, являющихся наиболее часто применяемыми в биотестировании. Подбор объектов выполнен так, чтобы они отражали не только общую токсичность, но и токсичность непосредственно для разных компонентов экосистемы р. Новая (таб. 1).

Таблица 1

Принципы подбора групп тест-организмов для биотестирования

Объект	Экологическая группа	Трофическая группа	Систематическая группа
Daphnia magna	Планктонные организмы	Консументы 1 порядка	беспозвоночные
Danio rerio	Планктонные организмы	Консументы 2 порядка	позвоночные
Chlorella vulgaris Beijer	Планктонные организмы, бентосные	Продуценты	Низшие растения
Lemna minor	Нейстон	Продуценты	Высшие растения

Подобранная таким образом группа тест-организмов позволяет оценить наибольшее воздействие загрязнения воды на жизненность наиболее значимых компонентов водной экосистемы.

Сравнительный анализ острой реакции тест-объектов проведен с помощью оценки токсичности в баллах от 0 до «-2»: «-2» - сильно токсичная, «-1» -

среднетоксичная, 0 – не токсичная.

Такая шкала была использована применительно к оценке реакции всех тест-объектов, так как для каждого тест-объекта стандартные методики имеют разную подробность трактовки результата – от 2 до 3 вариантов. Нами был принят максимальный вариант, в соответствии с которым сравнительная оценка острой реакции разных тест-объектов (таб. 2).

Таблица 2

Сравнительная оценка острой реакции различных тест-объектов на воду из р. Новая

Тест-объекты	Нетрансформированная часть русла	Трансформированная часть русла
Daphnia magna	-1	-1
Danio rerio	-2	-1
Chlorella vulgaris Beijer	-2	-1
Lemna minor	-2	-1

Сравнительный анализ показал, что 3 из 4 тест-объектов значительно сильнее подвергались токсическому действию воды из нетрансформированного участка русла реки Новая, расположенного в наибольшей близости от источника загрязнения и имеющего наибольшие концентрации загрязнителей, согласно данным химического анализа (таб. 3). На расположенной ниже по течению от источника трансформированной части русла с меньшей, хотя все равно высокой, концентрацией загрязнителя, острая реакция всех 4 тест-объектов соответствовала воде средней токсичности.

Таблица 3

Результаты химического анализа

Химические показатели воды	ПДК*	Трансформированная часть русла		Нетрансформированная часть русла	
		мг/дм^3	превышение ПДК, разы	мг/дм^3	превышение ПДК, разы
pH	8,5	8,37	0,9	8,35	0,9
ХПК, мг О/дм^3	30	723,3	24	483,6	16
Fe^{3+}, мг/м^3	0,1	0,17	1,7	0,1	1
Na+, мг/м^3	20	0,02	0	0,04	0,002
K+, мг/м^3	10	0,009	0	0,013	0,0013
NO^{3-}, мг/м^3	40	0	0	0	0
NH^{4+}, мг/м^3	0,4	0,004	0,01	0,02	0,05
этиловый спирт**	0,01	0,056	5,6	54	5400
этиленгликоль**	0,25	80	320	160	640

Основными загрязнителями являются этиловый спирт и этиленгликоль,

многократно превышающие предельно допустимые концентрации (ПДК) в водоемах рыбохозяйственного значения, в соответствии с Нормативами качества воды водоемов рыбохозяйственного значения, утверждённые приказом Минсельхоза России от 13.12.2016 № 552. Превышение ПДК также отмечено для таких показателей, как ХПК, содержание аммония и трехвалентного железа.

Характер загрязнения – преимущественно органическое и биогенное загрязнение. В нетрансформированной части русла показатели превышения ПДК исследованных веществ.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что в отобранных пробах природной воды в реке Новая были обнаружены специфические вещества (этиловый спирт, этиленгликоль) в концентрациях, существенно превышающих предельно допустимые. Смешанный характер загрязнения воды с преобладанием органического компонента (этилового спирта и этиленгликоля) наблюдается на обоих участках русла – трансформированном и нетрансформированном. Концентрация загрязнителей значительно выше на нетрансформированном участке русла в связи с тем, что он находится ближе к источнику основного загрязнения – выпуску сточных вод ООО «Воздушные ворота», с которыми в реку попадает этиленгликоль и этиловый спирт. Точки взятия проб воды относительно выпуска сточных вод данного предприятия удалены на 500-700 м в верхней нетрансформированной части русла, и на 2,5 км вниз по течению в трансформированной части русла. С этим связано более низкое содержание загрязнителей в трансформированной части русла, более удаленной от источника. Снижение концентрации может быть связано с испарением загрязнителя и его биотрансформацией в экосистеме, хотя в исследованный период оба процесса замедлены ввиду низких температур и наличия сплошного ледового покрова на реке.

Исследование качества воды реки Новая на хроническую токсичность с помощью тест-объекта *Daphnia magna* показало, что вода из обоих участков русла оказывает хроническое токсическое действие, причем даже разбавленная в 3 раза вода из нетрансформированного участка русла (точка 2) оказывает серьёзное влияние на плодовитость рачков (рис. 1).

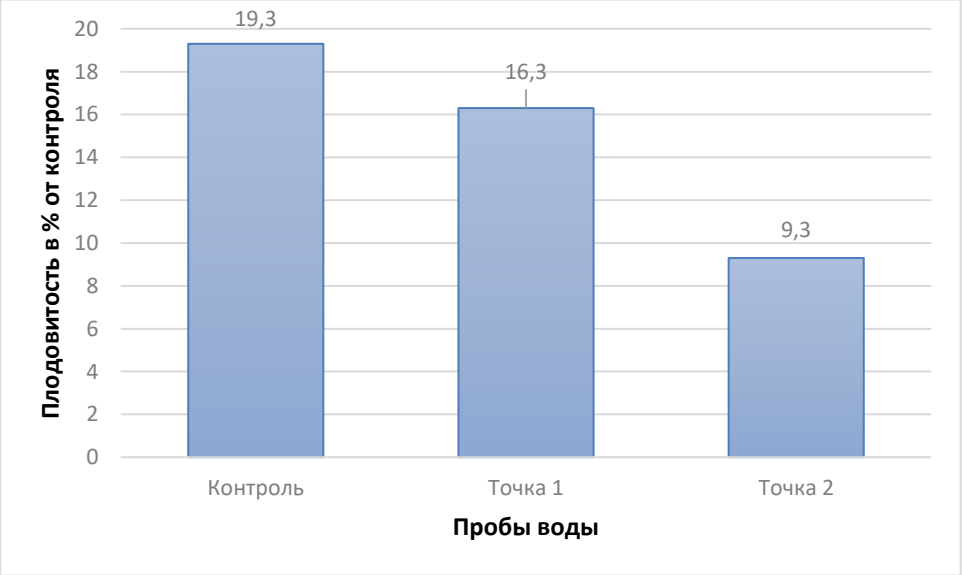


Рисунок 1. Плодовитость дафний за 24 дня

Область применения:

В настоящее время применение в качестве тест-объектов живых организмов имеет

широкие перспективы не только для оценки опасности отходов, но и для оценки токсичности сточных вод, что подтверждается уже имеющимся практическим применением тест-объектов для этих целей, хотя не все из них являются пока обязательными. В связи с этим особенную актуальность приобретает вопрос подбора оптимального комплекса тест-объектов для тестирования с учётом разницы в реакциях на различные загрязнители, как между групп, так и царств живых организмов. В настоящее время исследования, касающиеся подбора групп тест-объектов, практически не проводятся, несмотря на их острую необходимость и широко известную трудность трактовки результатов биотестирования, связанную с этой проблемой, являющейся результатом отсутствия научного обоснования в этой области.Полученные результаты свидетельствуют о необходимости совершенствования обязательных или рекомендованных к применению систем биотестирования в сторону расширения числа используемых объектов во избежание ошибок, связанных с индивидуальной чувствительностью модельных организмов к разным группам загрязнителей.

Литература

1. Александрова В.В. Биотестирование как современный метод оценки токсичности природных и сточных вод: Монография. / Александрова В.В. // Нижневартовск: Изд-во Нижневарт. гос. ун-та, 2013. 119 с.
2. Ашихмина Т.Я. Комплексный экологический мониторинг объектов хранения и уничтожения химического оружия. / Ашихмина Т.Я. //– Киров: Вятка. 2002. 544 с.
3. Биологический контроль окружающей среды: биоиндикация и биотестирование / Мелехова О.П. [и др.] // – Издательский центр Академия Москва: 2010. 288 с.

Иванов Владимир Александрович
Год рождения: 1989
Университет ИТМО,
факультет пищевых биотехнологий и инженерии,
студент группы №Т4217,
направление подготовки: 19.04.02 – Продукты питания из растительного сырья,
e-mail: Skeeter-Spb@mail.ru
Федоров Александр Валентинович
Год рождения: 1958
Университет ИТМО,
факультет пищевых биотехнологий и инженерии,
д.т.н.,
e-mail: afedorov@corp.ifmo.ru

УДК 663.4

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПИВА ВЕРХОВОГО БРОЖЕНИЯ С ДОБАВЛЕНИЕМ ОВСА И ОВСЯНОГО СИРОПА

В.А. Иванов

Научный руководитель – д.т.н. **А.В. Федоров**

Работа выполнена в рамках темы НИР №617027 «Ресурсосберегающие экологически безопасные биотехнологии функциональных и специализированных продуктов на основе глубокой переработки продовольственного сырья».

Аннотация
В работе рассмотрен плёнчатый овёс, как источника биологически активных веществ, разработана технология получения овсяного сусла, путём биомодификации плёнчатого овса, с дальнейшим сгущением для получения овсяного сиропа, разработана технология пива верхового брожения с добавлением овсяного сиропа и овсяного сусла позволяющая решить проблемы возникающие при использовании овса, как несоложённый материал в пивоварении.
Ключевые слова
Овёс, биологически активные вещества овса, овсяный сироп, ферментативный гидролиз овса, ферментные препараты, пиво с овсом.

Овёс был наиболее распространённым пивоваренным злаком в средние века, но потерял своё значение в пивоварении, так как ячмень лучше подходил для солодоращения и производства пива. На сегодняшний день пивовары используют овёс только в некоторых специальных сортах пива, таких как овсяный стаут, а также для улучшения вкусоароматического профиля напитка.

Использование овса в качестве добавки для производства безалкогольных и слабоалкогольных напитков может быть инновационным, но также и сложным. При замене ячменного солода (основного источника фермента) несоложёным овсом эндогенная активность ферментов становится ограничивающим фактором. Овсяный сироп можно получить из овсяного солода, при этом модификация крахмала происходит за счёт действия ферментов присутствующих в солоде. Однако овсяный солод на территории России не производится. При этом овсяный сироп можно получить

ферментным гидролизом непосредственно из несоложёного овса с внесением ферментных препаратов [1–5].

Поэтому целью работы являлось:

1) разработать технологию получения овсяного сиропа;

2) разработать технологию пива верхового брожения с добавлением овса и овсяного сиропа.

В соответствии с поставленной целью решали следующие задачи:

1) обосновать выбор овса как перспективный несоложённый материал для пивоварения;

2) разработать технологию получения овсяного сусла и получить опытную партию на промышленном предприятии для его дальнейшего сгущения;

3) разработать рецептуру пива верхового брожения с добавлением овсяного сиропа;

4) проанализировать влияние добавления овсяного сиропа на физико-химические и органолептические показатели готового пива.

Первая экспериментальная часть работы была выполнена на промышленном предприятии «Пивоваренная компания «Балтика», вторая – на мини пивоваренном заводе (МПЗ) и лаборатории факультета пищевых биотехнологий и инженерии Университета ИТМО.

Получение овсяного сиропа

Для получения овсяного сусла ферментным гидролизом на оборудовании Пивоваренной компания «Балтика» был проведён ряд лабораторных исследований. Для исследований получали конгрессное сусло по методике EBC с плёнчатым овсом и различной концентрацией ферментных препаратов (образец №1-4), а так же образец №5 в качестве источника ферментов использовали 60% солода тип А. Полученные данные исследований 5 образцов представлены в таб. 1. Кроме этого, во всех пяти образцах исследовалось процентное содержание сахаров непосредственно после затирания (таб. 2), и при хранении в холодильнике при 10°С в течение 14 дней (таб. 3).

Таблица 1

Показатели проведённых испытаний в лаборатории «Балтика»

Показатели	Образец №1	Образец №2	Образец №3	Образец №4	Образец №5
Овёс, г	50	50	50	50	20
Солод, г	0	0	0	0	30
Ламинекс Супер 3G, г/кг	0,45	0,45	0,45	0,9	0
Амилекс 5T, г/кг	1,7	1,2	0,7	2	0
Диазим X4, г/кг	0,6	0,8	1,4	1	0
Мутность, ед. EBC	123	175	187	100	7,8
Сухие вещества фильтрата, %	5,89	5,89	6,00	5,90	7,75
Плотность фильтрата, г/см^3	1,021372	1,021388	1,021825	1,021440	1,028905
Вязкость, мПа*с	1,24	1,24	1,25	1,20	1,50
Экстрактивность на АВС, %	55,8	55,8	56,9	55,9	72,7
Объем фильтрата, мл	60	42	47	67	300

Таблица 2

Профиль сахаров на 1 день

Показатели, %	Образец №1	Образец №2	Образец №3	Образец №4	Образец №5
Глюкоза	7,4	8,7	13,5	10,9	4,2
Фруктоза	0,3	0,3	0,3	0,4	0,6
Мальтоза (DP2)	21,9	20,7	19,4	24,0	33,3
Мальтотриоза (DP3)	7,2	6,6	5,1	6,5	8,6
Декстрины (DP4+)	15,5	15,6	15,4	15,3	22,1

Таблица 3

Профиль сахаров на 14 день

Показатели, %	Образец №1	Образец №2	Образец №3	Образец №4	Образец №5
Глюкоза	7,3	8,6	13,6	10,0	4,3
Фруктоза	0,7	0,7	1,0	0,6	0,7
Мальтоза (DP2)	22,3	21,1	20,3	22,4	34,4
Мальтотриоза (DP3)	7,2	6,7	5,4	6,0	8,9
Декстрины (DP4+)	15,8	15,9	15,5	14,1	23,0

Таким образом можно сделать несколько выводов:

1) При затирании плёнчатого овса с ферментами вязкость полученного сусла меньше на 0,25 мПа*с, при этом фильтруемость хуже в 5 раз по сравнению с суслом, в котором использовался ячменный солод тип А и овёс.

2) При затирании овса с солодом экстрактивность выше на 17%, чем при затирании овса с ферментами, при этом декстринов в таком сусле содержаться на 5,5%, мальтозы на 12% больше, чем в сусле только из овса и ферментов.

3) Мутность полученного сусла из овса и ферментов в 20 раз больше, чем в сусле, полученном при использовании ячменного солода и овса.

4) В процессе хранения во всех образцах имеется незначительные изменения в составе сахаров, что говорит об отсутствии активности ферментов или из незначительной активности.

На втором этапе экспериментов требовалось установить влияние замены части солода плёнчатым овсом на экстрактивность сусла, а также влияние режима затирания на выход СВ. Для этого решено использовать режим затирания №1 (рис. 1) и №2 (рис. 2) с использованием 40%, 50%, 60%, 70% плёнчатого овса и базовым солодом Пэйл Эль Шато. Гидромодуль в опытах составлял 1:4.

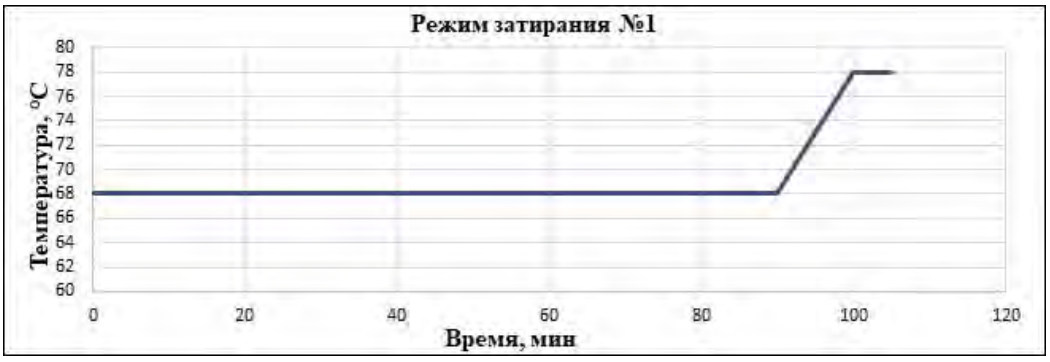


Рис. 1. Режим затирания №1

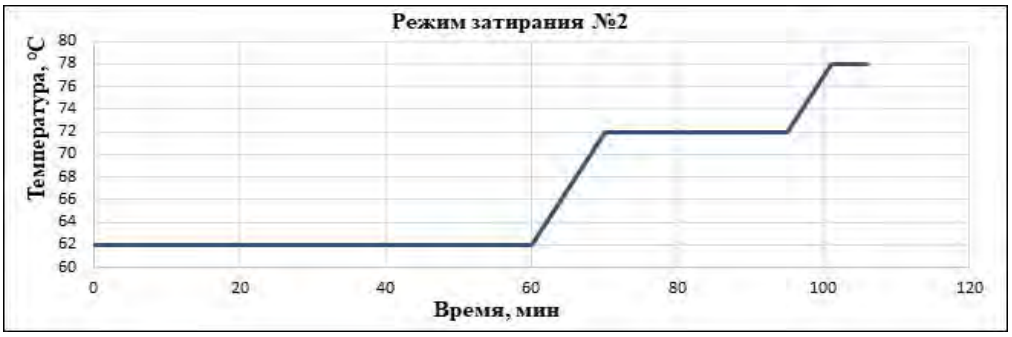


Рис. 2. Режим затирания №2

По окончанию затирания в полученном сусле определялось содержание сухих веществ. Исходя из полученных результатов можно заключить что с увеличением доли плёнчатого овса в заторе уменьшается конечное содержание сухих веществ, при этом режим затирания не влияет на конечное содержание СВ при содержании 40% овса в заторе (рис. 3). При увеличении доли овса в заторе предпочтение отдаётся режиму затирания №2.

Рис. 3. Содержание СВ в сусле с заменой части солода овсом

Получение овсяного сусла ферментным гидролизом. Проведение затирания плёнчатого овса с целью получения овсяного сусла производили на МПЗ «Балтика». Для проведения ферментного гидролиза овса был использован режим затирания №3 (рис. 4).

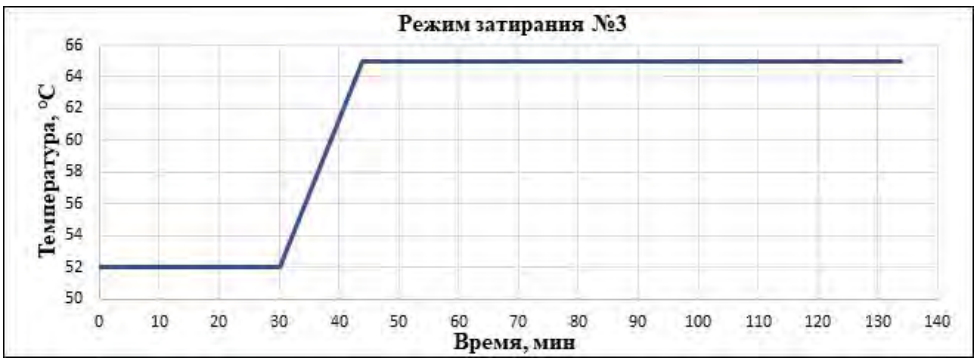


Рис. 4. Режим затирания №3

Ферментные препараты использовались в следующих дозировках:

- Ламинекс Супер 3G 0,45 г/кг;
- Амилекс 5T 0,7 г/кг;
- Диазим X4 1,4 г/кг.

На подготовительном этапе овёс пропускали через двух вальцовую дробилку и получали сплющенное зерно. Затем овёс взвешивали и засыпали в специальные мешки, после чего данные мешки прошивали со всех сторон. Далее мешки помещали в заторный аппарат и подавали предварительно нагретую вода до 54°С (соотношение гидромодуля 1:3). После набора необходимого количества воды в заторный аппарат вносились ферментные препараты в необходимом количестве. Затем проводили белковую пауза при t=52°С в течение 30 минут. После чего нагревали затор до t=65°С и проводим мальтозную паузу в течение 90 минут. Полученное сусло перекачивали в варочный чан, а сам затор промывали водой, подогретой до 85°С. Полученное сусло с содержанием СВ 14,7% кипятили в течение 10 минут. После кипячения горячее сусло перекаченное в стальные кеги передали в цех на сгущение до содержания сухих веществ 25%.

Дальнейшее сгущение овсяного сусла с содержанием 25% СВ производили в лаборатории ИТМО с помощью ротационного испарителя EV311 фирмы LabTech. В колбу объёмом 1000 мл помещали 300 мл овсяного сусла и выпаривали при постоянной температуре 75°С. Скорость вращения колбы составляла 200 оборотов в минуту, а время выпаривания 60 минут. По окончанию выпаривания массовая доля сухих веществ в овсяном сиропе составляла 50±1%.

Технология пива верхового брожения

Для получения пива верхового брожения с овсом был проведён анализ характеристики описания Овсяного стаута приведённого в BJCP 2015 года, на основе которого был сделан сенсорный профиль, показанный на рис. 5.

Рис. 5. Сенсорный профиль пива

На основе данного профиля были подобраны солода, а сама структура засыпи представлена в таб. 4

Таблица 4

Структура засыпи

Солод	Засыпь, %
Пэйл Эль Шато (Бельгия)	50
Овёс	25
Шоколад (Великобритания)	9
Кара Голд Шато (Бельгия)	8,5
Блэк (Великобритания)	4
Спешл Би Шато (Бельгия)	3,5

Для разработки пива с заданными характеристиками был выбран хмель Стерлинг (Sterling). Время кипячения сусла составляло 60 минут. Хмель для горечи вносился за 45 минут до окончания варки и для аромата за 5 минут до окончания варки. BJCP указывает диапазон горечи в овсяном стауте в диапазоне 25-40 IBU, исходя из этого наше холодное сусло должно иметь расчётную горечь 35 IBU.

Для затирания выбраны следующие паузы:

1. 45°C на 10 мин (цитолитическая). Универсальная пауза, при которой работают пептидаза, β-глюканаза, фитаза.
2. 52°C на 15 мин (белковая). Анализ солода показал оптимальное значение аминного азота в солоде, чтобы сохранить белки для пенообразования паузы выбираем непродолжительную. Но делаем, поскольку используем специальные солода.
3. 63°C на 20 мин. Пауза очень долгая для максимального расщепления крахмала до сбраживаемых сахаров.
4. 68 °C 40 минут мальтозная пауза без глюкан-солюбиазы
5. 72 °C на 20 мин (йодная проба) до полного осахаривания.
6. 78 °C 5минут инактивация ферментов

Для сбраживания сусла был выбран штамм дрожжей лаборатории White Labs – WLP004 Irish Ale Yeast, брожение проводилось при температуре 20°C. После окончания брожения проводили карбонизацию при температуре 15°C в течение 7 дней, после чего пиво анализировали (таб. 5) и ставили на хранение в холодильник с постоянной температурой 7°C.

Таблица 5

Показатели готового пива

Показатели	Пиво с овсом	Пиво с добавлением 25% экстракта овса	Пиво с добавлением 50% сиропа овса
Начальное содержание СВ, %	14,7	15,2	15,6
Конечное содержание СВ, %	8,2	7,7	7,9
Содержание спирта, мас. %	4,36	4,59	4,74
Видимая степень сбраживания, %	70,06	71,03	71,49
Действительная степень сбраживания, %	58,49	59,34	59,76
Горечь, ед. EBC	45,2	35,3	43,0
Цвет, ед. EBC	296,5	313,5	331,7

В проделанной научно-исследовательской работе были достигнуты следующие результаты:

1. Подобраны ферментные препараты для проведения гидролиза плёнчатого овса
2. Доказано, что в полученном овсяном сусле отсутствует активность ферментов.
3. Разработан режим затирания для биомодификации овса с целью получения овсяного сиропа.
4. Разработана рецептура пива и режим затирания;
5. Доказано что добавление 33,5 г овсяного сиропа с содержанием СВ 50% за 10 минут до окончания варки сусла из расчёта на 1 л холодного сусла улучшает органолептические показатели готового пива, даёт приятные винные нотки во вкусе и аромате, при этом не даёт запаха затхлости как при использовании плёнчатого овса.

Литература

1. Klose C. Brewing with 100% oat malt [Text] / Klose C. [etc.] // Journal of the Institute of Brewing. 2011. Vol. 117. P. 411–421.
2. Чекина М.С. Разработка технологии затирания солода из овса [Текст] / Чекина М.С., Меледина Т.В., Хлыновский М.Д. // Пиво и напитки. 2015. № 6. С. 44-48.
3. Меледина Т.В. Несоложеные материалы в пивоварении [Текст]: учебное пособие / Меледина Т.В., Матвеев И.В., Федоров А.В. Санкт-Петербург: Университет ИТМО, 2017. 66 с.
4. Gangopadhyay N. A Review of Extraction and Analysis of Bioactives in Oat and Barley and Scope for Use of Novel Food Processing Technologies [Electronic resource] / N. Gangopadhyay [etc.] // Molecules. 2015. Vol. 20. № 6. P. 10884–10909.
5. Webster, F.H. Oats: Chemistry and technology [Text] / eds. Webster F.H., Wood P.J. – U. S. A.: AACC International, Inc, 2011. 376 p.

Игошина Валерия Мерабовна
Год рождения: 1995
Университет ИТМО,
факультет безопасности информационных технологий,
студент группы № N4253,
направление подготовки: 10.04.01 – Информационная безопасность,
e-mail: igvalery@yandex.ru
Кузнецов Александр Юрьевич
Год рождения: 1989
Университет ИТМО,
факультет безопасности информационных технологий,
к.т.н.,
e-mail: al.ur.kouznetsov@gmail.com

УДК 004

РАЗРАБОТКА МЕТОДА ИДЕНТИФИКАЦИИ ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ НА ОСНОВЕ СИСТЕМНОЙ ИНФОРМАЦИИ МОБИЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ

В.М. Игошина

Научный руководитель – к.т.н. **А.Ю. Кузнецов**

Аннотация
Целью работы является идентификация пользователей для разграничения доступа на основе информации с мобильных устройств. Была поставлена задача классификации, изучены методы искусственных нейронных сетей и логистической регрессионной модели, на основе указанных методов разработаны и программно реализованы алгоритмы, проведены эксперименты. Данные экспериментов были проанализированы, в результате чего было выявлено, что метод искусственных нейронных сетей лучше справился с задачей идентификации, чем метод логистической регрессии.
Ключевые слова: искусственные нейронные сети, логистическая регрессионная модель, идентификация пользователей, задача классификации, информационная безопасность

Ежегодно появляются новые и всё более изобретательные способы для несанкционированного доступа к информации, вместе с тем развиваются и методы борьбы с нарушителями. На настоящее время существует ряд развивающихся тенденций, среди которых отмечается, что кибер-атаки чаще станут нацелены на людей, а не на сети; вредоносные инструменты совершенствуются, их эффективность всё более повышается; машинное обучение продолжает активное участие в задачах блокировки новых угроз [1].

Статистика показывает, что в настоящее время мобильные устройства являются наиболее предпочтительными для пользователей, нежели настольные компьютеры: большинство обыденных действий, финансовых операций, рабочих и личных переписок совершается с помощью них. Одновременно с тем мобильные устройства стали популярны для атак и попыток несанкционированного доступа. В связи с этим защита мобильных устройств является важным и перспективным направлением информационной безопасности.

Целью работы являлась идентификация пользователей для разграничения доступа на основе информации с мобильных устройств. В результате работы было осуществлено решение следующих задач:

1. Исследование методов искусственной нейронной сети и логистической регрессионной модели.
2. Разработка методов идентификации пользователей.
3. Разработка программных приложений, основанных на предложенных методах.
4. Проведение экспериментов, анализ полученных результатов.

Процедура идентификации пользователя является важным пунктом для осуществления безопасного функционирования какой-либо системы. В данной работе целью идентификации является определение полномочий пользователя – права доступа к данным и выбора режима их использования. С помощью данного механизма реализуется защита информации от несанкционированного доступа со стороны внутренних или внешних пользователей информационной системы или злоумышленников.

Для решения проблемы идентификации была поставлена задача классификации, в которой требуется отнести объекты к определённым классам. Объектами являются пользователи, обладающие мобильными устройствами, а классами — решения «дать доступ» или «запретить доступ». Предположим, пользователю требуется осуществить вход в информационную систему с какого-либо мобильного устройства, а системе безопасности определить, разрешить данный запрос или отклонить. Пусть для принятия решения с мобильного устройства будет собираться информация, которую можно представить в виде вектора значений признаков. В данном случае для определения того, будет ли предоставлен пользователю доступ с конкретного мобильного устройства, анализируются данные, представленные в таб. 1.

Таблица 1

Характеристики объекта

Признак	Расшифровка	Значение
x_1	Присутствие на территории предприятия	0 – нет, 1 – да
x_2	Наличие GPS на устройстве	0 – нет, 1 – да
x_3	Тип и возможность подключения к сети	0 – без подключения, 1 – Интернет, 2 – Интранет, 3 – Интернет и Интранет
x_4	Наличие камеры на устройстве	0 – нет, 1 – да
x_5	Наличие противовирусного ПО на устройстве	0 – нет, 1 – да
x_6	Безопасность: тип защиты/блокировки устройства	0 – без блокировки, 1 – пароль, 2 – графический ключ, 3 – отпечаток пальца, 4 – распознавание лица, 5 – несколько типов

Математическую постановку задачи можно описать так: задано множество объектов X – пользователей мобильных устройств, множество допустимых ответов Y,

представляющих собой номера классов: 0 – запретить доступ, 1 – разрешить доступ. Определена целевая функция, которая представлена как отображение $y^*: X \to Y$. Пары объект-ответ (x_i, y_i) будут являться прецедентами. Совокупность пар $X^m = \{(x_1, y_1), \dots, (x_m, y_m)\}$ будет обучающей выборкой. Признак f объекта x – это результат измерения некоторой характеристики объекта, то есть признаком называется отображение $f: X \to D_f$, где D_f – множество допустимых значений признака. Для решения задачи требуется построить такую решающую функцию $a: X \to Y$, которая приближала бы целевую функцию $y^*(x)$ как на объектах обучающей выборки, так и на всём множестве X, или такой алгоритм, который способен был бы классифицировать случайный объект $x \in X$.

Для решения задачи классификации были разработаны два алгоритма на основе методов искусственных нейронных сетей и логистической регрессионной модели.

Искусственная нейронная сеть (ИНС) – это вычислительная модель, основанная на структуре и функциях биологических нейронных сетей. ИНС можно представить как систему простых процессов, соединённых и взаимодействующих между собой. Данные процессы получают входные сигналы, перерабатывают их и посылает другим процессам. Соединив эти процессы в большую сеть, можно добиться выполнения сложных задач [2].

Для решения задачи классификации была построена схема искусственной нейронной сети, описанная на рис. 1. Значения $\{x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6\}$ являются входными сигналами-признаками, по которым будет определяться класс пользователя, то есть выходной сигнал – переменная отклика y. Объекты $y_1, y_2, y_3, y_4, y_5, y_6$ являются собственно нейронами, а стрелки, соединяющие входные сигналы и нейроны между собой – синапсами.

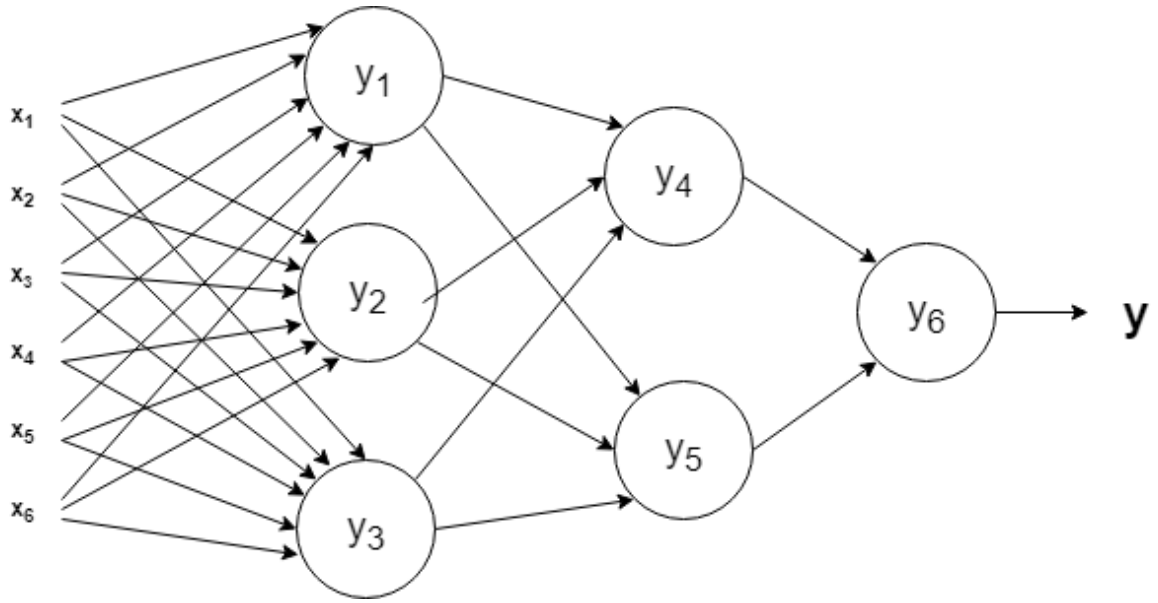


Рисунок 1. Схема искусственной нейронной сети

Состояние нейрона определяется по формуле (1):

$$S = \sum_{i=1}^{n} x_i w_i, \quad (1)$$

где n – число входов, x_i – значение i-ого входа нейрона, w_i – вес i-ого синапса. Значение аксона нейрона вычисляется по формуле $Y = f(S)$, где f – активационная функция, здесь использовалась классическая сигмоида – это гладкая монотонная возрастающая

нелинейная функция, применяемая для «сглаживания» значений некоторой величины, формула (3):

$$f(x) = \frac{1}{1+e^{-\alpha x}}, \quad (3)$$

где a – параметр сигмоиды, влияющий на крутизну передаточной функции нейронов. Чем меньше a, тем более пологим становится сигмоида, вырождаясь в горизонтальную линию.

Для обучения нейронной сети использовался метод обратного распространения ошибки. Нейронные сети обратного распространения *(backpropagation)* довольно удобный инструмент для поиска закономерностей, составления прогнозов или качественного анализа. В нейронной сети обратного распространения содержится несколько слоёв нейронов, где каждый нейрон слоя i связан с каждым нейроном слоя $i + 1$, то есть используется полносвязная нейронная сеть. Ошибка распространяется от выходного слоя к входному, то есть противоположно направлению распространения сигнала при нормальном функционировании сети [3, 4]. Задача обучения нейронной сети в общем случае сводится к нахождению определённой функциональной зависимости $Y = F(X)$, где X – входной вектор данных об объекте, а Y – выходное значение [2]. Для ограничения пространства решений поиска при обучении ставится задача минимизации целевой функции ошибки нейронной сети – здесь она находится по методу наименьших квадратов по формуле (4):

$$E(w) = \frac{1}{2}\sum_{j=1}^{n}(y_i - d_i)^2, \quad (4)$$

где y_j – значение j-ого выхода нейросети, d_j – целевое значение j-ого выхода, n – число нейронов в выходном слое.

Обучение нейронной сети обратного распространения производится методом градиентного спуска, это означает, что на каждой итерации происходит изменение веса по формуле (5):

$$\Delta w_{ij} = -h\frac{\partial E}{\partial w_{ij}}, \quad (5)$$

Расчёт ошибки для выходного слоя производился по формуле (6):

$$\delta_j^{(N)} = \left(y_i^{(N)} - d_i\right)\frac{dy_i}{dS_j}, \quad (6)$$

Для расчёта ошибок n-ого слоя была определена рекурсивная формула (7) при условии, что известно значение следующего $(n + 1)$-ого слоя.

$$\delta_j^{(n)} = \left[\sum_k \delta_k^{(n+1)} w_{jk}^{(n+1)}\right]\frac{dy_i}{dS_j}, \quad (7)$$

В итоге был определён алгоритм обучения нейронной сети:

1. Взять в качестве входного сигнала нейронной сети один из векторов входных значений, определить для него значения выходных сигналов нейронов по формуле (1).
2. Определить ошибку $\delta_j^{(N)}$ для выходного слоя нейронной сети по формуле (6), следом определить изменения весов Δw_{ij} выходного слоя N с помощью формулы (5).

3. Рассчитать ошибки $\delta_j^{(n)}$ и изменения весов $\Delta w_{ij}^{(n)}$ для скрытых слоёв нейронной сети по формуле (7).

4. Скорректировать веса нейронной сети, используя формулу (5).

5. Если получаемая ошибка существенна, то вернуться на шаг 1, иначе – завершить.

Вторым инструментом для решения задачи классификации стал метод, основанный на логистической регрессионной модели. Логистическая регрессия – это один из статистических методов классификации, разновидность множественной регрессии, суть которой заключается в анализе связи между несколькими независимыми переменными и зависимой переменной. Важным элементом является то, что предсказывается непрерывная переменная со значениями на отрезке $[0, 1]$ при любом значении независимой переменной. В частности, предсказывается вероятность того, что произойдёт требуемое событие [5].

Выдвигается гипотеза о том, что пользователь принадлежит к классу $y = 1$. Применяется метод логистической регрессионной модели. Логистическая регрессионная модель основывается на следующем принципе: модель прогнозирует лишь вероятность того, что переменная отклика примет значение номера класса, в данном случае $y = 1$, а не само значение переменной отклика — указанного класса [5]. Сначала требуется спрогнозировать значение переменной отклика для массива объектов обучающей выборки. Вероятность с учётом нескольких предикаторов была вычислена по формуле (8):

$$p(y = 1|x) = \frac{1}{1+e^{-(\beta_0+\beta_1 x_1+\beta_2 x_2+\cdots+\beta_m x_m)}}, \quad (8)$$

Далее требуется определить коэффициенты $\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_m$, то есть определить своеобразные веса, которые влияют на вероятность разрешения доступа для пользователя. Коэффициенты находились с помощью метода максимального правдоподобия. На практике вместо максимизации самой функции правдоподобия решается задача максимизации её логарифма, она эквивалента самой функции, однако удобнее для практических вычислений, она представлена формулой (9):

$$\ln\big(L(\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_n)\big) = \sum_{i=1}^{n}(y_1 ln\, p_i + (1 - y_i)\ln(1 - p_i)), \quad (9)$$

Был найден вектор коэффициентов $(\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_n)$, который определяет значимость каждого фактора. На основе вычислений была определена вероятность того, что при взятом в частном случае наборе факторов $x_1, x_2, \dots, x_m$ прогнозируемый признак $y = 1$ – пользователь принадлежит классу с номером 1 – «разрешить доступ». В зависимости от значения упомянутой вероятности гипотеза о том, что доступ пользователю разрешён, либо принимается, либо отвергается по предположению, что $y = 0$, то есть пользователь принадлежит классу «запретить доступ».

Изначально имелась задача, характеризующаяся следующей ситуацией: есть пользователь информационной системы, который осуществляет попытку входа с мобильного устройства. Системе требуется определить, разрешить пользователю доступ или запретить. Принятие решения о разрешении доступа принимается на основе информации с мобильного устройства. В связи с этим ставится задача классификации, которая должна присвоить пользователю класс «разрешить доступ» или «запретить доступ» в зависимости от значений признаков, указанных в таб. 1.

Для решения задачи были разработаны и программно реализованы два метода: метод, построенный на механизме искусственных нейронных сетей, и метод, построенный на логистической регрессионной модели. Метод нейросетей был

реализован на языке программирования C# в среде разработки Microsoft Visual Studio. Обучающие, тренировочные и тестовые данные хранились в базе данных под управлением СУБД Microsoft SQL Server. Реализация метода логистической регрессионной модели была осуществлена на языке программирования для статистической обработки данных R.

После обучения нейронной сети и определения коэффициентов в случае логистической регрессии для сравнения методов был проведён ряд экспериментов:

Эксперимент 1: приложение искусственной нейронной сети было запущено на тренировочном множестве, на котором проходило обучение.

Эксперимент 2: приложение искусственной нейронной сети было запущено на тестовом множестве, которое не участвовало в обучении.

Эксперимент 3: приложение логистической регрессии было запущено на тренировочном множестве, на котором происходило обучение.

Эксперимент 4: приложение логистической регрессии было запущено на тестовом множестве, которое не участвовало в обучении.

В результате экспериментов была получена определённая статистика. Процентное соотношение результатов применения методов представлено в таб. 2. В пояснение к таблице стоит отметить, что: True — метод верно определил класс пользователя. False — метод ошибочно определил класс пользователя.

Таблица 2

Сравнение результатов работы методов

Множество	Нейронная сеть		Логистическая регрессия	
	True	*False*	*True*	*False*
Тренировочное множество	95,24%	4,76%	73,53%	26,47%
Тестовое множество	97,13%	2,7%	72,35%	27,65%

Как видно из таб.2, результаты говорят о следующем: искусственная нейронная сеть лучше справилась с задачей классифицирования. Процент верных ответов как на тренировочном, так и на тестовом множестве у нейросети выше, чем у логистической регрессионной модели.

Помимо подсчёта верных ответов, был проведён анализ в рамках проверки статистических гипотез для выявления ошибок первого и второго рода.

Пусть есть выборка объектов – пользователи мобильных устройств. Поставлена бинарная задача проверки статистических гипотез:

– Нулевая гипотеза H_0: пользователь принадлежит к классу «разрешить доступ».

– Альтернативная гипотеза H_1: пользователь принадлежит к классу «запретить доступ».

Ошибка первого рода – «ложная тревога» – происходит в том случае, когда метод отвергает нулевую гипотезу, хотя она истинна, то есть метод присуждает пользователю класс «запретить доступ», хотя в реальности доступ должен быть разрешён.

Ошибка второго рода – «пропуск цели» – происходит в том случае, когда метод не отвергает нулевую гипотезу, хотя она ложна, то есть метод присуждает пользователю класс «разрешить доступ», хотя в реальности доступ должен быть запрещён.

С помощью данного метода проверки можно сделать вывод об эффективности применяемых методов. В таб. 3 представлено процентное соотношение принятия и отвержения гипотез обоими методами.

Таблица 3

Проверка статистических гипотез

Гипотеза	Нейронная сеть	Логистическая регрессия
Гипотеза H_0 верно принята	64,71%	60,29%
Гипотеза H_0 неверно принята (ошибка второго рода)	5,88%	16,18%
Гипотеза H_0 верно отвергнута	26,47%	13,25%
Гипотеза H_0 неверно отвергнута (ошибка первого рода)	2,94%	10,28%

Из сводки таблицы видно, метод искусственной нейронной сети в целом лучше справился с работой. Процент принятия ложных гипотез и отвержения истинных ниже, чем у логистической регрессионной модели, а процент принятия истинных гипотез и отвержения ложных выше. По этим результатам можно сделать вывод, что прогноз искусственной нейронной сети лучше, чем у регрессионной модели.

Стоит заметить, что достоинством метода искусственных нейронных сетей также является адаптация к изменениям. С течением времени некоторые признаки могут увеличивать свою значимость, а некоторые – терять. В связи с этим возможность обучения нейросети, обновления весов и её умение адаптироваться к новым условиям будет являться несомненным плюсом. При появлении новых признаков или исключении старых после доработки программного кода можно без серьёзных потерь дообучать нейросеть до новых условий и того же уровня показателей точности прогноза.

В связи с этим можно сказать, что метод искусственных нейронных сетей, который являлся основным при разработке метода идентификации пользователей на основе информации мобильных устройств, положительно зарекомендовал себя.

Литература

1. Wang Y., Streff K., Raman S. Smartphone Security Challenges // Computer. 2012. N45. С. 52–58.
2. Хайкин С., Нейронные сети. Полный курс / Хайкин С. М.: Вильямс, 2018. 1104 с.
3. Короткий С., Нейронные сети: основные положения / С. Короткий. СПб, 2002. 10 с.
4. Короткий С., Нейронные сети: алгоритм обратного распространения / С. Короткий. СПб. 2000. 15 с.
5. Ng A. CS229 Lecture Notes: Machine Learning [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://cs229.stanford.edu. (Дата обращения: 10.02.2019).

Ильина Виктория Сергеевна
Год рождения: 1995
факультет пищевых биотехнологий и инженерии,
студент группы № Т4207,
направление подготовки: 19.04.02. Продукты питания из растительного сырья, качество и безопасность пищевых продуктов,
e-mail: vica.ilina@yandex.ru
Бараненко Денис Александрович
Год рождения: 1981
Университет ИТМО,
факультет пищевых биотехнологий и инженерии,
к.т.н., доцент (квалификационная категория «ординарный доцент»),
e-mail: denis.baranenko@itmo.ru

УДК 664

РАЗРАБОТКА ИНКАПСУЛИРОВАННЫХ ПИЩЕВЫХ ИНГРЕДИЕНТОВ ПРОФИЛАКТИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ХВОЙНОГО СЫРЬЯ

В.С. Ильина

Научный руководитель – к.т.н., доцент **Д.А. Бараненко**

Университет ИТМО

Работа выполнена в рамках темы НИР № 617027 «Ресурсосберегающие экологически безопасные биотехнологии функциональных и специализированных продуктов на основе глубокой переработки продовольственного сырья».

Аннотация
В статье обоснована возможность использования хвойного сырья для обогащения продуктов питания биологически активными веществами, технологические параметры их инкапсулирования, исследованы физико-химические и органолептические свойства полученных инкапсулированных ингредиентов в составе продуктов питания. Проведены доклинические исследования профилактического действия инкапсулированных ингредиентов из хвои в отношении нейродегенеративных заболеваний, определены параметры их использования в составе пищевых продуктов для обеспечения профилактического действия.
Ключевые слова
Инкапсулирование, хвойное сырье, полипренолы, нейродегенеративные заболевания, профилактический эффект.

В решении проблемы обеспечения населения необходимыми витаминами, минеральными веществами и биологически активными веществами огромную роль играет обогащение продуктов питания. Для получения витаминов и биологически активных веществ зачастую используется натуральное органическое сырье, например, такое сырье как хвоя. Высокое содержание в хвое физиологически активных веществ определяет ее большую ценность как сырья-источника различных биологически активных веществ для применения в фармацевтической промышленности, а также в

пищевой промышленности в составе функциональных пищевых продуктов. В зеленой хвое среди наиболее важных для организма человека физиологически активных веществ особое значение имеют витамины, каротиноиды, полипренолы и фитостерины. Данные физиологически активные пищевые ингредиенты не всегда хорошо сохраняются при внесении в продукт питания, именно поэтому требуется дополнительная разработка методов защиты биологически активных ингредиентов в составе функционального пищевого продукта, одним из которых является метод инкапсулирования. В настоящее время отсутствует информация об инкапсулировании биологически активных веществ из хвои для внесения в состав продуктов питания с целью обеспечения профилактического эффекта, поэтому данная тема является актуальной [1–5].

Исходя из изученных данных о биологически активных веществах в составе хвои ели обыкновенной и методах инкапсулирования, были сформированы следующие цели и задачи. Цель работы – разработка пищевых инкапсулированных биологически активных ингредиентов профилактического действия с применением хвойного сырья. В соответствии с этой целью были сформулированы следующие задачи: исследовать химический состав хвои ели обыкновенной в качестве ресурса для получения пищевых биологически активных веществ; разработать технологические параметры инкапсулирования биологически активных веществ из хвои; исследовать физико-химические и органолептические свойства полученных инкапсулированных биологически активных ингредиентов из хвои в составе продуктов питания; провести доклинические исследования профилактического действия инкапсулированных биологически активных ингредиентов из хвои в отношении нейродегенеративных заболеваний; определить параметры использования инкапсулированных биологически активных веществ из хвои в составе пищевых продуктов.

Для осуществления эксперимента в качестве объекта исследования были выбраны хвоя ели обыкновенной, собранная в начале сентября в Ленинградской области, и экстракт полипренолов из хвои. Объект исследования экстракт полипренолов из хвои содержит суммарно 95 % полипренолов. Полипренолы – это длинноцепочечные спирты, которые состоят из изопреновых остатков, являются нативными биорегуляторами и находятся в небольших количествах в растительных тканях. Полипренолы из растительной пищи в животном организме метаболизируются в печени в долихолы. Роль полипренолов состоит в связывании и переносе олигосахаридов от нуклеотидфосфосахаров к полипептидам с образованием их комплексов. Данный процесс общий для клеток всех живых организмов, нарушения в нем приводят к расстройству деятельности организмов. Внимание ученых к полипренолам и долихолам связано с проявлением ими биологической активности с учетом практически полного отсутствия нежелательных побочных эффектов и очень низкой токсичности, поэтому не устанавливается их предельно допустимая концентрация, однако, существует рекомендуемая суточная норма потребления, составляющая 54 мг/сут. Полипренолы являются иммунорегуляторами, обладают противоязвенной и ранозаживляющей активностью, восстанавливают функцию печени, снижают концентрацию холестерина в крови, инициируют репарацию клеток, а главное – предотвращают возникновение нейродегенеративных заболеваний.

При исследовании хвои ели обыкновенной определялось содержание экстрактивных биологически активных веществ и дубильных веществ согласно ГОСТ 24027.2-80 «Сырье лекарственное растительное. Методы определения влажности, содержания золы, экстрактивных и дубильных веществ, эфирного масла».

При проведении эксперимента по созданию инкапсулированных биологически они были получены на инкапсуляторе BUCHI-390. Капсулируемый биологически активный компонент из хвойного сырья распределяли в масляной фазе. Материалом

оболочки был выбран альгинат натрия. Для отвердевания стенки капсулы использовалась химическая обработка, а именно раствор лактата кальция. Дополнительный защитный слой вокруг капсул получали за счет использования раствора хитозана. Для создания инкапсулированных биологически активных ингредиентов из хвои альгинат натрия разводили в дистиллированной воде комнатной температуры до полного растворения. Отдельно смешивали экстракт полипренолов из хвои с масляной фазой. В получившийся раствор альгината натрия вносится масляная фаза, а также эмульгатор для наилучшего распределения частичек масла в растворе (использовался эмульгатор Tween-80). Полученная смесь гомогенизируется на диспергаторе ULTRA-TURRAX для более однородного распределения и уменьшения шариков масла. После гомогенизирования смесь оставляют на 30…40 минут при комнатной температуре для избавления от пузырьков воздуха. Далее смесь заливают в стеклянную емкость, из которой она попадает в инкапсулятор. Из форсунки инкапсулятора капли смеси попадают в раствор лактата кальция, находящегося на магнитной мешалке. Получившиеся капсулы находятся в растворе лактата кальция в течение 40 минут при постоянном перемешивании. Затем капсулы фильтруют от раствора лактата кальция через лавсан, промывают от остатка раствора дистиллированной водой и помещают в раствор хитозана на 30…40 минут, после чего их снова отделяют от раствора, промывают и отправляют на высушивание.

При проведении доклинических исследований оценивались: влияние рациона питания с инкапсулированным биологически активным ингредиентом на воспроизведение УРПИ в условиях экспериментальной модели амнезии, вызванной введением скополамина (холинергическая модель Альцгеймера); влияние рациона питания на пространственное обучение в водном тесте Морриса в условиях экспериментальной модели амнезии, вызванной введением скополамина; влияние рациона питания на поведение в тесте «открытое поле» в условиях экспериментальной модели амнезии, вызванной введением скополамина. Крыс случайным образом разделяют на экспериментальные группы по 8-10 особей в каждой: 1-я группа – контрольные интактные крысы, то есть не подвергшиеся экспериментальному действию, получающие стандартный пищевой рацион; 2-я группа – крысы с экспериментальной моделью патологического состояния, получающие стандартный пищевой рацион; 3-8 группы – крысы с экспериментальной моделью патологического состояния, получавшие пищевой рацион, содержащий инкапсулированные биологически активные ингредиенты по следующим режимам: 3-я группа – введение в корм инкапсулированного биологически активного ингредиента и одновременное моделирование патологического состояния; 4-я группа – введение в корм инкапсулированного биологически активного ингредиента и кормление в течение 7 сут, затем формирование модели патологического состояния; 5-я группа – введение в корм инкапсулированного биологически активного ингредиента и кормление в течение 14 сут, затем формирование модели патологического состояния. Для групп 3-5 предусмотрено однократное за сутки введение 100 % суточной дозы инкапсулированного биологически активного ингредиента в утренние часы (9…11 часов). Для оценки влияния кратности введения инкапсулированного биологически активного ингредиента на эффективность формируются группы 6-8, аналогичные по режимам группам 3-5, но с двукратным введением в сутки (по половине суточной дозы) в утренние часы (9-11 часов) и в вечернее время (17-18 часов).

Для органолептического анализа инкапсулированных пищевых ингредиентов в составе продуктов питания микрокапсулы были внесены в два продукта – паштет мясной и йогурт с наполнителями. Оценка органолептических характеристик продуктов питания с содержанием инкапсулированных биологически активных ингредиентов проводилась группой из пяти дегустаторов по основным пяти показателям: вкус, аромат,

консистенция, цвет, внешний вид. В ходе анализа была использована пятибалльная шкала для количественной оценки выбранных показателей. Дегустаторы независимо оценивали каждый из показателей контрольных продуктов (без инкапсулированных биологически активных ингредиентов) и продуктов, содержащих микрокапсулы. Данные по оценке каждого продукта дегустаторы заносили в индивидуальные дегустационные листы. Далее дегустационные листы изымались, и подсчитывался средний балл по каждому показателю, при этом коэффициент весомости для каждого из показателей был выбран в размере: вкус – 0,3; аромат – 0,2; консистенция – 0,3; цвет – 0,1; внешний вид – 0,1. По результатам оценки строился график-профилограмма зависимости органолептических свойств от наличия в продукте инкапсулированных биологически активных веществ.

Для оценки доступности сырьевых источников для производства биологически активных веществ хвои был исследован химический состав хвои ели обыкновенной. Все эксперименты были проведены в трехкратной повторности. Влажность свежей хвои ели обыкновенной составляет 60,6 ± 2,0 %, таким образом, 40 % хвои ели обыкновенной составляют сухие вещества, включающие биологически активные вещества, в том числе экстрактивные. В свежей хвое ели обыкновенной определено 10,3 ± 0,9 % экстрактивных веществ, содержащих большое количество биологически активных веществ, а также 1,6 ± 0,1 % дубильных веществ, обладающих высокой антиоксидантной активностью. Таким образом, из хвои ели обыкновенной, собранной в Европейской части России, в результате технологических операций, позволяющих выделить биологически активные вещества, могут быть получены значительные объемы биологически активных ингредиентов (в том числе экстракты полипренолов), достаточные для использования их в пищевой промышленности.

При разработке технологических параметров инкапсулирования биологически активных ингредиентов из хвои изменялись следующие показатели: материал стенки капсул и концентрация раствора, процент внесения липидной фракции от общей массы раствора, эмульгатор, режим диспергирования, диаметр форсунки, давление и частота, материал раствора-отвердителя и его концентрация. Оптимальным режимом инкапсулирования был выбран режим, при котором были использованы следующие параметры: материал стенки капсул – 1,5 % раствор альгината натрия, процент внесения липидной фракции от общей массы раствора – 18 %, эмульгатор – Tween-80 (1 % от общей массы раствора), режим диспергирования – 5 минут при 9500 об/мин и 15 минут при 21500 об/мин, диаметр форсунки – 120 мкм, давление 0,6 Бар и частота 1500 Гц, материал раствора-отвердителя – 4 % раствор лактата кальция. Данный режим был использован в дальнейшем при создании инкапсулированного ингредиента для доклинических исследований и органолептической оценки. В результате были получены микрокапсулы размером до 400 мкм, выдерживающие широкий диапазон pH, содержащие в 0,6 г 125 мкг витамина D3 (500 МЕ) и 2375 мкг полипренолов, необходимых для нейропротекторной активности биологически активных веществ, при этом отличающиеся нейтральным вкусом, термостабильные, выдерживающие до 100 °С. Капсулы, полученные при инкапсулировании, представлены на рис. 1.

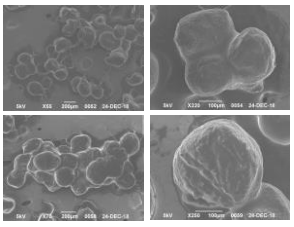


Рис. 1. Микрокапсулы (электронный микроскоп Jeol JSM-6390 LA)

Для определения возможности внесения инкапсулированных пищевых биологически активных ингредиентов из хвои в пищевой продукт проводилась их органолептическая оценка в составе продуктов питания, в качестве которых были выбраны традиционные продукты питания – молочный (йогурт) и мясной (паштет). После проведения органолептической оценки контрольных продуктов и продуктов, содержащих инкаспулированные биологически активные ингредиенты, имеем результаты, представленные на рис. 2. Исходя из результатов органолептической оценки, при внесении микрокапсул в состав продукта незначительно изменяется консистенция (в случае паштета мясного) и консистенция и вкус (в случае йогурта). Данные изменения практически не влияют на итоговый коэффициент органолептической оценки качества продуктов питания, что говорит о возможности свободного внесения инкаспулированного ингредиента в продукты питания в требуемом количестве.

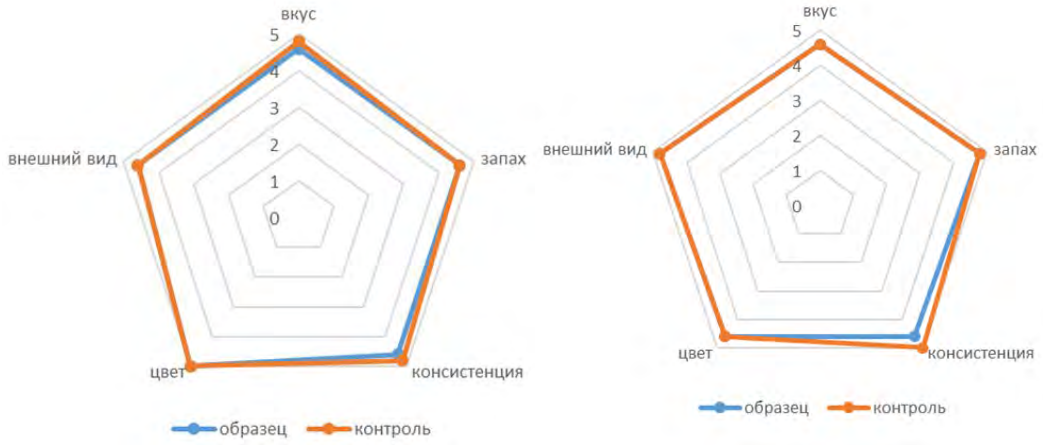


Рис. 2. Профилограммы сравнения контрольного образца йогурта и йогурта, содержащего инкапсулированный ингредиент (слева) и контрольного образца паштета и паштета, содержащего инкапсулированный ингредиент (справа)

Для проведения доклинических исследований были выбраны мужские особи лабораторных крыс. К стандартному корму крыс добавляли согласно группе 0,06 г инкапсулированного биологически активного ингредиента, содержащего в инкапсулированном виде 12,5 мкг витамина D3 (500 МЕ) и 237,5 мкг полипренолов (1/10 часть человеческой суточной дозировки). В тесте УРПИ установлено, что введение скополамина приводит к нарушению воспроизведения условной реакции пассивного избегания в условиях модели скополаминовой амнезии по сравнению с контрольной группой. Введение микрокапсул в рацион питания в различных режимах позитивно влияло на способность животных воспроизводить выработанный навык УРПИ. В водном тесте Морриса (тест на пространственное обучение) установлено, что введение скополамина приводит к нарушению пространственного обучения в тренировочной и опытной сессиях по поиску скрытой платформы в условиях модели скополаминовой амнезии по сравнению с контролем. Введение микрокапсул в рацион питания в различных режимах восстанавливало способность животных к пространственному обучению, что выражалось в сокращении времени поиска скрытой платформы в тесте Морриса.

Таким образом, в ходе работы был исследован химический состав хвои ели обыкновенной в качестве ресурса для получения пищевых биологически активных веществ. При исследовании свежей хвои ели обыкновенной были получены следующие результаты: влажность 60,6 ± 2,0 %; содержание экстрактивных веществ 10,3 ± 0,9 %;

содержание дубильных веществ 1,6 ± 0,1 %. Исходя из полученных данных, можно говорить о том, что из хвои ели обыкновенной, собранной в Европейской части России, в результате технологических операций, позволяющих выделить биологически активные вещества, могут быть получены значительные объемы биологически активных ингредиентов (в том числе экстракты полипренолов), достаточные для использования их в пищевой промышленности.

Были разработаны технологические параметры инкапсулирования биологически активных веществ из хвои, а именно экстракта полипренолов, на инкапсуляторе BUCHI-390: при инкапсулировании экстракта полипренолов из хвои лучшим был выбран режим, при котором были использованы 1,5 % раствор альгината натрия; 18 % липидной фракции (от общей смеси), в состав которой входят биологически активные вещества из хвои (экстракт полипренолов 95 %) и витамин D3; 1 % эмульгатора Tween-80; форсунки диаметром 120 мкм; давление при инкапсулировании 0,6 Бар; частота 1500 Гц; 4 % раствор лактата кальция; 4 % раствор хитозана.

Были исследованы физико-химические и органолептические свойства полученных инкапсулированных биологически активных ингредиентов из хвои в составе продуктов питания. В результате были получены микрокапсулы размером до 400 мкм, выдерживающие широкий диапазон pH, содержащие в 0,6 г 125 мкг витамина D3 (500 МЕ) и 2375 мкг полипренолов, необходимых для нейропротекторной активности биологически активных веществ, при этом отличающиеся нейтральным вкусом, термостабильные, выдерживающие до 100 °С. Органолептический анализ инкапсулированных биологически активных ингредиентов из хвои показал, что в составе йогурта микрокапсулы незначительно влияли на вкус и консистенцию продукта, в составе паштета мясного микрокапсулы незначительно влияли лишь на консистенцию продукта. Данные изменения практически не влияют на итоговый коэффициент органолептической оценки качества продуктов питания, что говорит о возможности свободного внесения инкаспулированного ингредиента в продукты питания в требуемой концентрации

Были проведены доклинические исследования профилактического действия инкапсулированных биологически активных ингредиентов из хвои в отношении нейродегенеративных заболеваний на крысах с использованием различных методик. По результатам доклинических исследований можно сделать заключение о том, что введение микрокапсул в рацион питания животных с моделью скополаминовой амнезии оказывает позитивное влияние на их когнитивные функции в условиях двух разных типов обучения, т.е. на модели непространственного обучения (тест УРПИ) и на модели пространственного обучения (водный тест Морриса), устраняя частично или полностью амнезию в зависимости от схемы применяемого рациона питания. Это свидетельствует о том, что микрокапсулы оказывают влияние как на гиппокамп и миндалину (лимбическую систему головного мозга), а также и на кору больших полушарий.

Были определены параметры использования инкапсулированных биологически активных веществ из хвои в составе пищевых продуктов. Требуемое количество инкапсулированных биологически активных ингредиентов из хвои в размере 0,6 г, обеспечивающих нейропротекторную активность, может быть свободно внесено в традиционные молочные (йогурт) и мясные (паштет) продукты питания на порцию в 100 г, полностью обеспечивая суточную потребность в полипренолах и практически не влияя на органолептические свойства продуктов, такие как вкус, консистенция, запах внешний вид и цвет. При этом, благодаря физико-химическим свойствам полученных микрокапсул, продукт в дальнейшем может быть пастеризован и заложен на хранение до 6 месяцев.

Исходя из полученных результатов, можно сделать вывод об эффективности применения биологически активных ингредиентов из хвойного сырья в качестве профилактики нейродегенеративных заболеваний и рекомендовать инкапсулированные биологически активные ингредиенты из хвои для внесения в состав функциональных продуктов питания.

Литература

1. ГОСТ 24027.2-80 «Сырье лекарственное растительное. Методы определения влажности, содержания золы, экстрактивных и дубильных веществ, эфирного масла».
2. Бухтияров А.Г., Елизарова О.Н. Методика изучения условнорефлекторной деятельности белых крыс при хроническом действии малых пороговых количеств яда. М., НИИ санитарии и гигиены им. Ф.Ф. Эрисмана, 1960. 25 с.
3. Ягодин В.И. Основы химии и технологии переработки древесной зелени / Под ред. Холькина. Ю.И. Л.: Издательство ЛГУ, 1981. 224 с.
4. Filomena Nazzaro, Pierangelo Orlando, Florinda Fratianni, Raffaele Coppola: Microencapsulation in food science and biotechnology. Current Opinion in Biotechnology 2012, 23:182–186.
5. Shahidi F. and X.Q. Han. Encapsulation of food ingredients. Critical Reviews in Food Science and Nutrition 1993, 33: p. 501-547.

Исмагилов Азат Олфатович
Год рождения: 1995
Университет ИТМО,
факультет фотоники и оптоинформатики,
студент группы № V4202,
направление подготовки: 12.04.03 – Фотоника и оптоинформатика,
e-mail: ismaz.95@outlook.com
Андреева Ольга Владимировна
Год рождения: 1944
Университет ИТМО,
факультет фотоники и оптоинформатики,
к.ф.-м.н., доцент, с.н.с.
e-mail: olga_andreeva@mail.ru

УДК 535.015

ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НАНОПОРИСТЫХ МАТРИЦ ИММЕРСИРОВАННЫХ БИОЛОГИЧЕСКИМИ ЖИДКОСТЯМИ

А.О. Исмагилов

Научный руководитель – к.ф.-м.н., доцент **О.В. Андреева**

Университет ИТМО

Аннотация
В работе представлены результаты, демонстрирующие возможности использования нанопористых силикатных матриц для диагностики биологических жидкостей. При ислледования процесса иммерсирования нанопористых силикатных матриц предложены методики, позволяющие использовать нанопористую силикатную матрицу в качестве вмещающей матрицы, в свободном объёме пор которой могут находится частицы, размер которых меньше размера пор, что продемонстрировано на примере иммерсирования раствором коллоидного серебра. Сам процесс иммерсирования позволяет исследовать свойства и характеристики жидкостей, при наличии результатов, полученных на образцах сравнения (в работе исследовались физраствор и раствор фруктозы). Использование нанопористых силикатных матриц в качестве подложки для исследования веществ методом поверхностно усиленной спектроскопии вынужденного комбинационного рассеяния, при напылении золотого слоя оптимальной толщины на поверхность позволяет достигнуть усиления на 2 порядка. Основным фактором, влияющим на усиление, является шероховатость рельефа поверхности.
Ключевые слова
Нанопористые матрицы, спектроскопия, вынужденное комбинационное рассеяние, наночастицы, биологические жидкости.

Исследование на уровне клетки уже давно интересуют научное общество. Развитие науки и технологий позволяют исследовать до единичных молекул вещества и даже изучать отдельные цепочки ДНК [1]. Однако дальнейшее развитие подразумевает использование новых материалов и технологий. Один из типов материалов, применяемой в данной области являются нанопористые структуры, которые, благодаря

своим свойствам и параметрам, позволяют производить исследования невозможные в других масштабах [2]. Известно большое количество методов диагностики, в том числе оптических, позволяющих исследовать образцы на уровне клетки, каждый из которых имеет свои плюсы и минусы [3]. Сочетание новых методик и материалов позволят развиваться в области ранней диагностики социально-значимых заболеваний и изготовлению приборов и систем, доступных массовому потребителю. Свойства и характеристики нанопористых силикатных матриц позволяют работать в данной области, а исследовательские работы по данному вопросу проводятся при международным сотрудничестве [4–6]. Исходя из этих факторов и была сформулирована цель работы: Исследование возможности применения нанопористых силикатных матриц для диагностики и контроля параметров биологических жидкостей.

Для достижения поставленной цели было необходимо решить ряд задач, представленных на слайде:

1. Рассмотреть возможность оценки оптических параметров биологических жидкостей при их введении в нанопористую силикатную матрицу.

2. Применение нанопористой силикатной матрицы в качестве подложки для диагностики биологических жидкостей методом поверхностно усиленной спектроскопии вынужденного комбинационного рассеяния (SERS).

3. Разработка методики исследования поверхностного рельефа нанопористых силикатных матриц применительно к задаче получения максимальных значений усиления сигнала гигантского комбинационного рассеяния (ГКР) при модифицировании поверхности нанопористых силикатных матриц серебром и золотом.

4. Подготовить базу для разработки методики модифицирования поверхности нанопористых силикатных матриц благородными металлами (серебро, золото) с учетом технологического режима получения нанопористых силикатных матриц и особенностей нанопористых образцов.

Объектом исследование являются комплексы различных конфигураций, состоящих из нанопористой силикатной матрицы и биологических жидкостей. В таб. 1 представлены характеристики нанопористых силикатных матриц, достигаемые при соблюдении технологии изготовления разработанной в научной группе «Оптическая диагностика».

Таблица 1

Характеристики образцов нанопористых матриц НПМ-7 и НПМ-17 толщиной 1 мм

Характеристики		НПМ-7	НПМ-17
Средний размер пор		7 нм	17 нм
Свободный объём пор		(24 – 26) %	(52 – 54) %
Удельная поверхность пор		(100 – 120) $м^2/г$	
Светопропускание образца при $\lambda > 600$ нм	В воздухе	(90 – 92)%	
	В иммерсии (этанол)	(98 – 100) %	

В качестве биологических жидкостей выбраны жидкости и растворы, содержащиеся в человеческом организме (вода, физраствор, раствор фруктозы) и растворы, применяемые в биомедицинских исследованиях, например красители и растворы коллоидных частиц серебра.

Для исследования возможности проникновения частиц, размер которых меньше размера пор матрицы, нанопористая силикатная матрица полностью погружалась в исследуемую жидкость, таким образом достигается максимальный контакт с жидкостью, и в случае наличия частиц, размер которых меньше размера пор они попадут в свободный

объём пор. Для исследования возможности проникновения в свободный объём пор частиц, размер которых меньше размера пор вмещающих матриц, был выбран раствор коллоидного серебра.

Методом динамического рассеяния света на установке Horiba LB-550 производились измерения распределения частиц по размерам водного раствора коллоидного серебра (производства Silver Wings). На рис. 1 слева данное распределение представлено на вставке, на которой видно, что в растворе присутствуют частицы примерно от 10 нм до 100. Критерием, по которому определялось успешное проникновение частиц в свободный объём пор являлись спектральные характеристики нанопористой силикатной матрицы. Для этого были получены спектры оптической плотности исследуемого раствора и спектры нанопористой силикатной матриц до этапа иммерсирования и после иммерсирования.

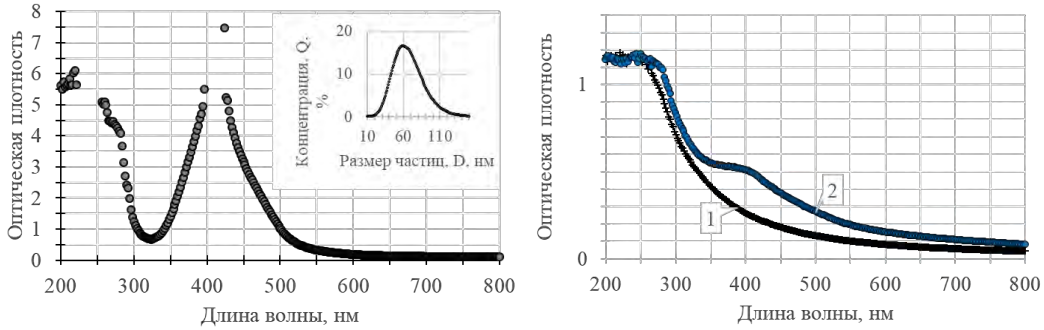


Рис. 1. Слева: Спектр оптической плотности водного раствора коллоидного серебра, которым иммерсировалась НПМ. На вставке распределение частиц по размерам данного раствора; справа: 1 – Спектр оптической плотности образца НПМ, прошедшего подготовительный отжиг. 2 – Спектр оптической плотности образца НПМ, прошедшего этапы иммерсирования, сушки, промывки

Полученные данные были использованы для расчета изменения оптической плотности, произошедшей после иммерсирования нанопористых матриц исследуемым раствором, в данном случае раствором коллоидного серебра, рис. 2.

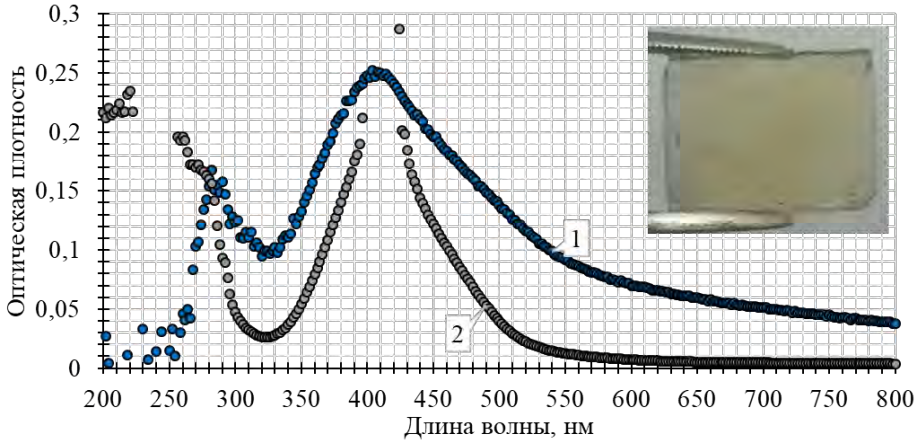


Рис. 2. Кривая 1 – Изменение спектральной оптической плотности образца НПМ, при введении наночастиц серебра; Кривая 2 – Спектр оптической плотности исходного водного раствора коллоидного серебра (уменьшенный в 25 раз). На вставке изображение нанопористой силикатной матрицы НПМ-17 после введения наночастиц серебра и сушки

Таким образом, мы можем заметить, что для обеих кривых характерно уменьшение оптической плотности на 330 нм и увеличение оптической плотности на 410 нм, что характерно для частиц коллоидного серебра. Результаты данного эксперимента подтверждают возможность проникновения частиц, размер которых меньше размера пор нанопористых силикатных матриц, в свободный объём пор, что позволяет для разных целей, как для исследования свойств частиц, так и для изготовления НПМ с частицами коллоидного серебра.

Для исследования поведения биологической жидкости при попадании на поверхность НПМ, производилась запись процесса на видеокамеру.

В качестве исследуемой жидкости были выбраны физраствор, который представляет собой электролит, необходимый для поддерживания осмотического давления в жидкости, которая содержится во всех клетках организма, а также раствор фруктозы, на данный момент применяемый в биомедицинских исследованиях, благодаря своим антибактериальным свойствам.

При проведении эксперимента в реальном времени наблюдаются следующие явления:

1) В воздушно-сухом состоянии (поры заполнены воздухом) образец прозрачен. 2) Когда на образец падает капля, жидкость начинает заполнять поры, и образец мутнеет до того момента, пока капля жидкости не заполнит собою соответствующий объем образца. При этом образец становится прозрачным, но жидкость не вытекает из образца, а распределяется по его объему. 3) Высыхание жидкости, которое начинается с поверхностей образца, сопровождается замутнением.

После полного высыхания образец снова становится прозрачным. Для дальнейшего использования матрицы проводится процедура отжига.

В результате получены зависимости размера прозрачной области от времени с момента попадания капли на поверхность образца приведённые на рис. 3.

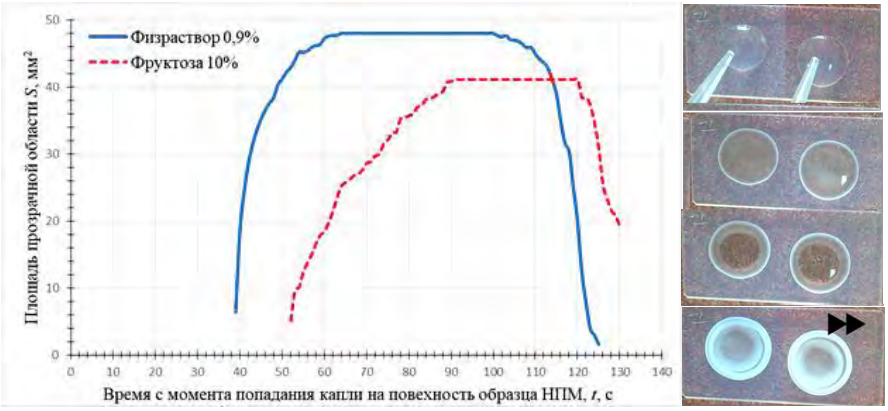


Рис. 3. Зависимость размера прозрачной области (S) от времени (t) с момента попадания капли на поверхность образца НПМ-17, и фотографии различных этапов эксперимента

Поведение биологической жидкости при попадании на поверхность НПМ, проникновение в свободный объём и время существования прозрачной области зависят от свойств биологической жидкости.

Таким образом, нанопористая структура матриц позволяет проникать малым объёмам жидкости ~мкл внутрь матрицы и оставаться в ней. При этом светопропускание образца позволяет проводить исследования оптическими методами.

Нанопористые силикатные матрицы, обладающие рядом оригинальных свойств, оказались востребованы в качестве подложек для определения малых количеств веществ

методом поверхностно усиленной спектроскопии вынужденного комбинационного рассеяния. Преимущества представляют следующие свойства:

1. Объём образца включает 30-50% силикатного стекла оставляя свободным 50-70% объёма, что значительно уменьшает помехи, вызываемые флюоресценцией материала подложки, и исключает наличие неконтролируемых ингредиентов в образце.

2. Шероховатая поверхность образцов НПМ со случайным распределением неоднородностей, способствует получению высоких значений коэффициента усиления локального поля при напылении на поверхность благородных (монетных) металлов.

Данная часть работы проводилась при международном сотрудничестве коллективов из Университета ИТМО, Россия и Университета Райерсона, Канада.

В научной группе «оптическая диагностика» были изготовлены образцы нанопористых силикатных матриц. Коллегами из Канады, были получены спектры вынужденного комбинационного рассеяния и оценены интенсивности сигнала исследуемого вещества, красителя Crystal Violet концентрацией 0,0001%, на образцах нанопористых силикатных матриц без напыления и с золотым напылением различной толщины. Образец-подложка представляет собой нанопористую матрицу, на поверхность которой напылён слой благородного металла (серебро, золото). Исследуемое вещество наносится на подложку. Типичная схема прибора для исследования представлена на рис. 4.

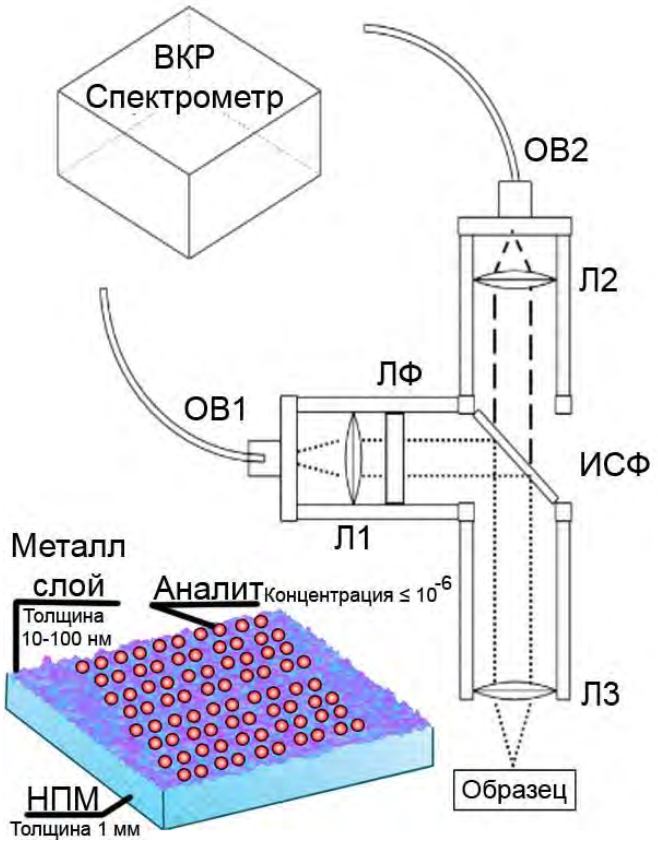


Рис. 4. Схема эксперимента по получению спектров ВКР
с использованием нанопористых силикатных матриц

Результатом является сигнал вынужденного комбинационного рассеяния, на котором виден пик, обусловленный наличием частиц аналита – раствора красителя Crystal Violet (по известным значениям банка данных рамановских спектров).

Были исследованы два типа нанопористых матриц с диаметром пор 7 нм и 17 нм с разной толщиной напыления.

Как видно из приведенных на рис. 5 и таб.2 данных наличие металлической поверхности позволило усилить сигнал больше чем на два порядка, а на образцах НПМ-7 усиление получено при меньшей толщине напыляемого слоя.

Таблица 2

Усиление интенсивности сигнала ВКР при различных толщинах напыляемого слоя

Время напыления, мин.	Толщина слоя, нм	Усиление интенсивности сигнала ВКР, ISERS/IRS	
		НПМ-7	НПМ-17
0	0	1	1
1.5	12	141	32
3	25	165	41
6	50	-	45
9	75	3	12

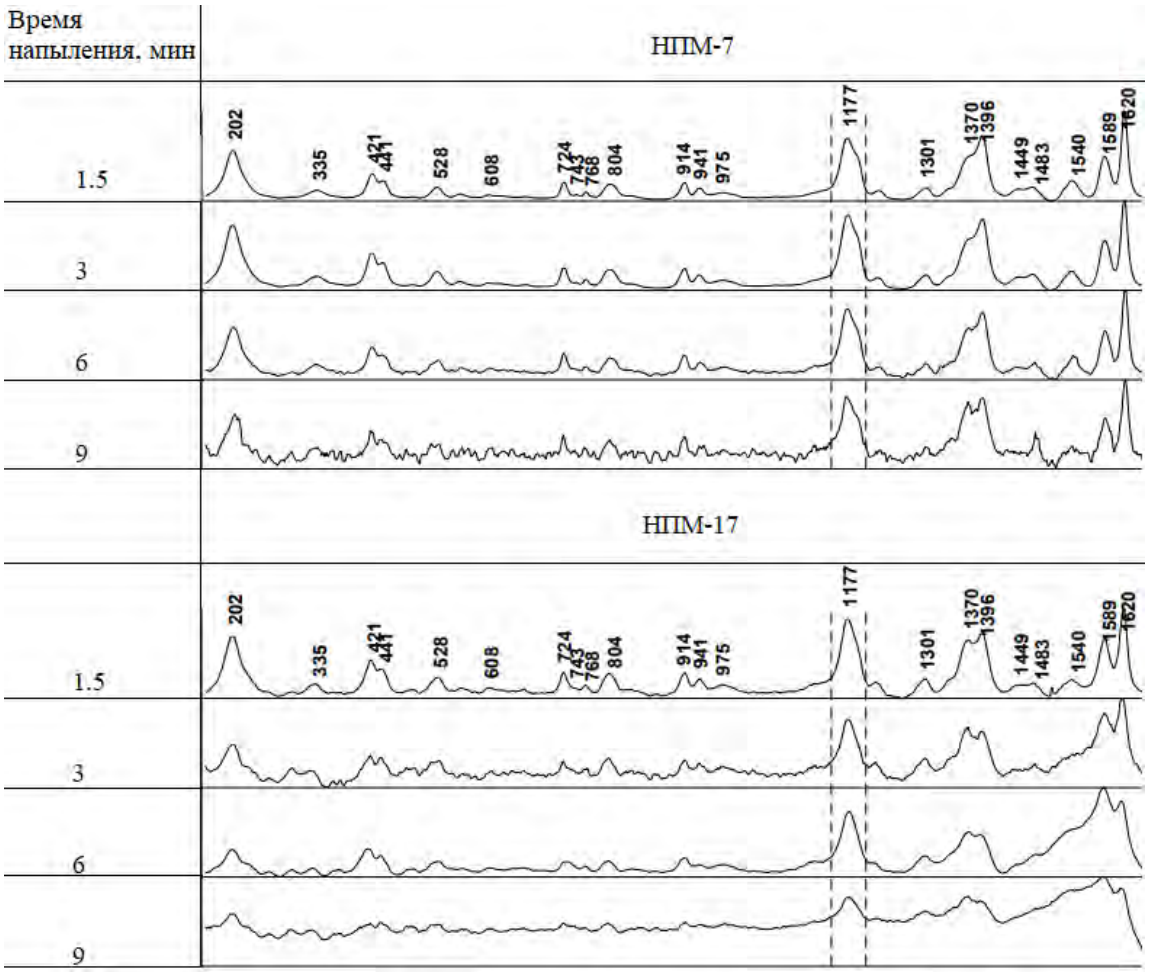


Рис. 5. Спектры ВКР при исследовании водного раствора красителя Crystal Violet на НПМ с разной толщиной слоя напыления. Значения нормированы на максимум

Полученные данные позволяют сделать вывод о том, что для каждого образца существует определённая толщина, при котором достигается максимальное усиление

интенсивности излучения ВКР. Для НПМ-7 максимальное усиление сигнала наблюдается при меньшей толщине и в разы больше максимального усиления сигнала для НПМ-17.

Параллельно был проведён контроль рельефа поверхности нанопористых силикатных матриц с помощью атомно-силового микроскопа, и так как характеристики нанопористых матриц разных типов влияют на изменения, происходящие с рельефом поверхности нанопористых силикатных матриц при напылении металлического слоя, необходимо исследовать связь данных усиления сигнала с параметрами шероховатости поверхности для каждого рассматриваемого случая.

При обработке снимков поверхности, демонстрирующих разные параметры усиления, было обнаружено, что только параметр СКО изменяется в значительной степени.

По полученным значениям были построены графики зависимости СКО и проведено сравнение со значениями интенсивности сигнала вынужденного комбинационного рассеяния при использовании нанопористых силикатных матриц с разной толщиной золотого слоя, регулируемой временем напыления, рис. 6.

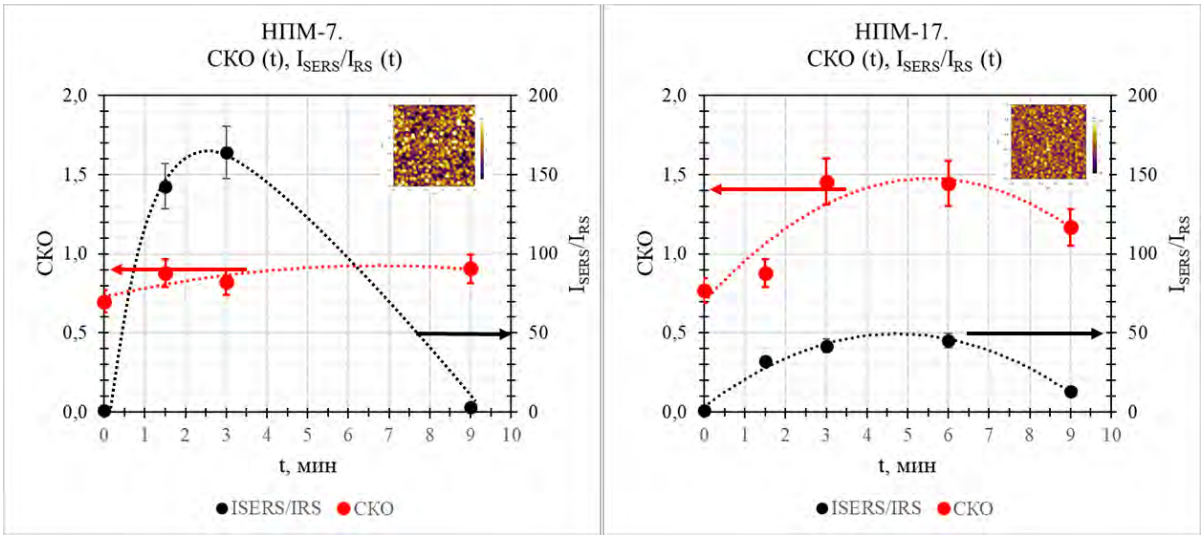


Рис. 6. Зависимости значения среднеквадратичного отклонения (СКО) рельефа поверхности и усиления интенсивности сигнала ВКР от времени напыления золотого слоя на нанопористые силикатные матрицы. На вставках приведены примеры изображений поверхности нанопористых силикатных матриц, полученных с помощью АСМ

Для НПМ-17 показано, что имеется корреляция между параметрами шероховатости и изменениями усиления сигнала SERS

Заключение

1. Показано, что изменение характеристик биологических жидкостей (на примере физраствора и раствора фруктозы) приводит к изменению скорости их проникновения в свободный объём пор, что может быть использовано для эффективного контроля параметров жидкостей, в том числе визуального, при использовании малых объёмов, порядка мкл.

2. Доказано, что в свободный объём нанопористых силикатных матриц НПМ-17 (средний размер пор ~ 17 нм, свободный объём пор 50 ÷ 60 %) возможно ведение наночастиц серебра с сохранением коллоидной структуры, что может быть использовано в практических приложениях.

3. Продемонстрировано перспективность использования нанопористых силикатных матриц с напылением металла в качестве подложек для диагностики веществ в малых концентрациях методом поверхностно усиленной спектроскопии вынужденного комбинационного рассеяния (SERS):

• При использовании подложек с напылением золота диагностировано наличие исследуемого вещества (Crystal Violet) в концентрации 10^{-6}.

• Рассмотрены параметры шероховатости нанопористых силикатных матриц (НПМ-7 и НПМ-17) и обнаружена корреляция среднеквадратичного отклонения параметра шероховатости со значениями усиления сигнала гигантского комбинационного рассеяния для НПМ-17.

Литература

1. Ru-Jia Yu, Yi-Lun Ying, Rui Gao, Yi-Tao Long, Confined Nanopipette Sensing: From Single Molecules, Single Nanoparticles, to Single Cells // Angew. Chem. Int. Ed. 2019. 58. p. 3706.
2. Nathaniel L. Rosi, and Chad A. Mirkin, Nathaniel L. Rosi, and Chad A. Mirkin // Chem. Rev. 2005. 105 (4). pp. 1547–1562.
3. Тучин В.В., Оптическая биомедицинская диагностика. Том 1-2. // Москва: Физмалит. 2007.
4. Федеральный интернет-портал «Нанотехнологии и наноматериалы»: [Электронный ресурс] // 2012. Режим доступа: http: // www. portalnano.ru/read/tezaurus/definitions/nanofluidics, свободный. яз. рус.
5. Reto B. Schoch, Jongyoon Han, and P. Renaud., Transport phenomena in nanofluidics // Rev. Mod. Phys. 2008. 80. p. 839.
6. Joshua Edel, Ivanov Aleksandar, MinJun Kim. Nanofluidics: Edition 2. // Nanoscience. Royal Society of Chemistry. 2016. 320.

Касьянов Владимир Владимирович
Год рождения: 1996
Университет ИТМО,
факультет прикладной оптики,
студент группы В4264,
направление подготовки: 18.04.02 Зеленые технологии на предприятиях ТЭК,
e-mail: redvvk@gmail.com
Усманова Фания Гайнулхаковна
Год рождения: 1978
Университет ИТМО,
факультет прикладной оптики,
к.х.н., доцент,
e-mail: fania1909@gmail.com

УДК 519.688

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ АСФАЛЬТОСМОЛОПАРАФИНОВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ В НАСОСНО-КОМПРЕССОРНЫХ ТРУБАХ МЕТОДОМ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

В.В. Касьянов

Научный руководитель - к.х.н., доцент **Ф.Г. Усманова**

Университет ИТМО

Аннотация
В работе рассмотрено применение наиболее распространенных методов прогнозирования изменения стабильности асфальтосмолопарафиновых отложений при движении нефти в насосно-компрессорных трубах скважин Приобского месторождения с целью определить глубину начала отложения и вид твердых органических отложений с целью выработки наиболее точного метода прогнозирования осаждения асфальтосмолопарафиновых отложений и борьбы с ними.
Ключевые слова
АСПО, математическое моделирование, Приобское месторождение, стабильность церезинов, стабильность асфальтенов.

На сегодняшний день, проблема образования твердых органических отложений на поверхности нефтедобывающего оборудования особенно актуальна. Продукция скважин на поздних этапах эксплуатации обладает существенно большей обводненностью, концентрацией асфальтосмолопарафиновых веществ и меньшей фракцией С4-С10. Такая разность химического состава добываемой нефти сказывается не только на прибыли от её переработки, но также существенно увеличивает риск осаждения твердых органических веществ в виду потери ими стабильности при изменении термобарических и физико-химических условий их передвижения вдоль ствола скважины. Существующие эмпирические методы определения условий осаждения АСПО отличаются высокой стоимостью и малой точностью ввиду того, что они не учитывают изменения объема нефти при её транспорте. Теоретические методы, к которым, в первую очередь, относится моделирование, являются значительно менее

ресурсоемкими, а их точность растет по мере увеличения объема знаний о факторах, влияющих на стабильность тех или иных твердых органических веществ.

АСПО – асфальтосмолопарафиновые отложения, это группа веществ, отличающихся от остальных компонентов нефти высокой молекулярной массой и особенностями при транспортировке. Как правило, существует два принципиальных механизма образования твердых органических осадков на поверхности нефтедобывающего оборудования: механизм образования линейной парафиновой структуры и механизм образования асфальтено-смоляных точечных осадков. Для каждого из механизмов существуют свои методы прогнозирования, учитывающие физико-химические особенности каждой группы веществ.

По характеру осложнения, нефти можно отнести к одной и трех групп: парафиновые, асфальтеновые и смешанные. Классификация нефти по типу осложнений требует знания только долей АСПО в её составе. Согласно данной классификации (приведенной в таб. 1), исследуемые нефти относятся к осложненным асфальтеновым типом осадков.

Таблица 1

Классификация нефти по виду отложений

Тип АСПО	Обозначение	Процент примесей, %
Асфальтеновый	А1	0-0,2
	А2	0,2-0,5
	А3	0,5+
Парафиновый	П1	0-0,2
	П2	0,2-0,5
	П3	0,5+
Смешанный	СМ1	0-0,2
	СМ2	0,2-0,5
	СМ3	0,5+

Для прогнозирования вероятности осложнения добычи нефти асфальтеновыми отложениями были использованы следующие математические методы: Чунга (Chung) [1], Де Боэра (De Boer) [2], и Вэнга (Wang) [3].

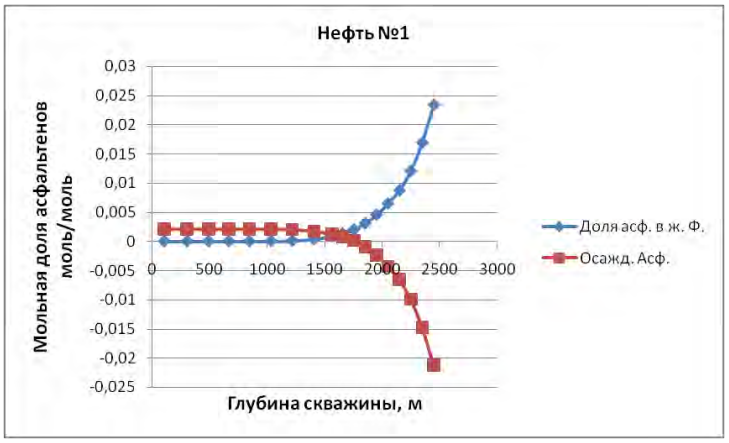


Рис. 1. Прогнозирование осаждения асфальтенов методом Чунга

Согласно методу Чунга, движение нефти рассматривается как движение восходящего двухкомпонентного потока, состоящего из твердой (асфальтеновой) и жидкой (растворитель) фаз. Так как физико-химические свойства асфальтенов до сих изучены не до конца, в рамках метода предложено два пути поиска свойств твердой фазы потока: опыт с титрованием асфальтеновой композиции данной нефти с помощью С7 парафиновой фракции и, либо положить поток асфальтенов как поток вещества, наиболее похоэего на них по своим физико-химическим свойствам, но изученным лучше. Таким веществом, согласно [1] является нафталин. Выходным параметром данного метода является мольная доля компонента твердой фазы в жидкой фазе, а объем отложений рассчитывается по разности общего мольного содержания компонента твердой фазы в потоке нефти и его содержания к жидкой фазе. Результаты моделирования представлены в виде графика (рис. 1).

Согласно полученным результатам, осаждение имеет место на глубине порядка 1650 метров от устья скважины.

Несколько иные результаты получаются при прогнозировании методом Де Боэра. Данный метод является по сути графическим, для его применения необходимо знать градиент плотности и давления кипения для исследуемой нефти. Корреляционный график можно построить индивидуально для каждой скважины, однако, допустимо использования оригинального графика Де Боэра (рис. 2).

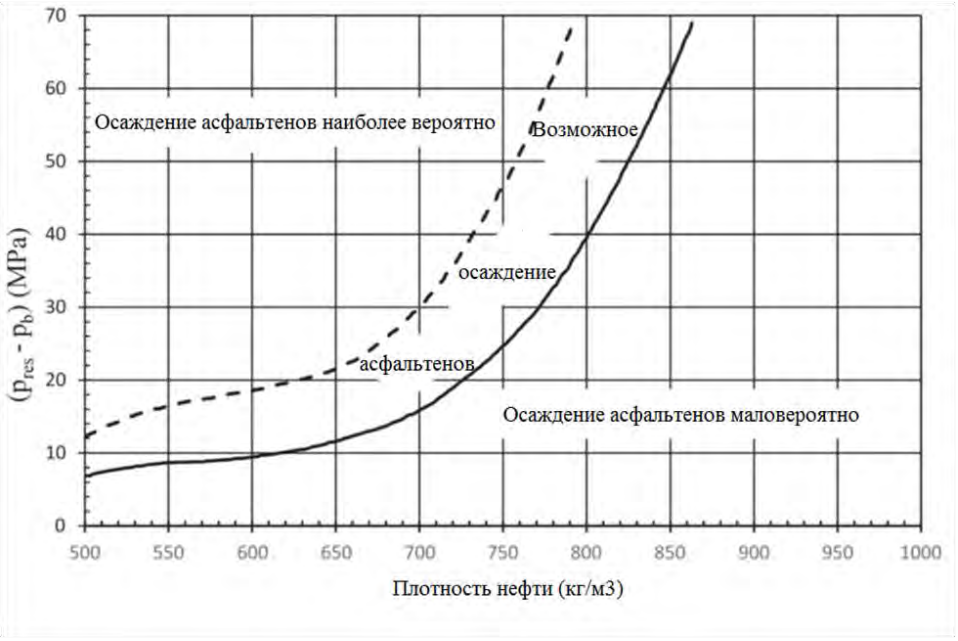


Рис. 2. Прогнозирование осаждения методом Де Боэра

Расчет, произведенный в рамках настоящего исследования показал, что риск осложнения по асфальтеновому типу для исследуемой нефти минимален. Что не согласуется с данными, полученными методом Чунга и Вэнга.

Метод Вэнга основан на той же идее, что и метод Чунга, однако является более подробным и обладает меньшим набором входных данных. В рамках данного метода также производится расчет коэффициентов растворимости твердой и жидкой фаз потока, после чего производится расчет содержания компонентов твердой фазы в жидкой и, соответственно объема отложений. Результаты моделирования представлены на рис. 3.

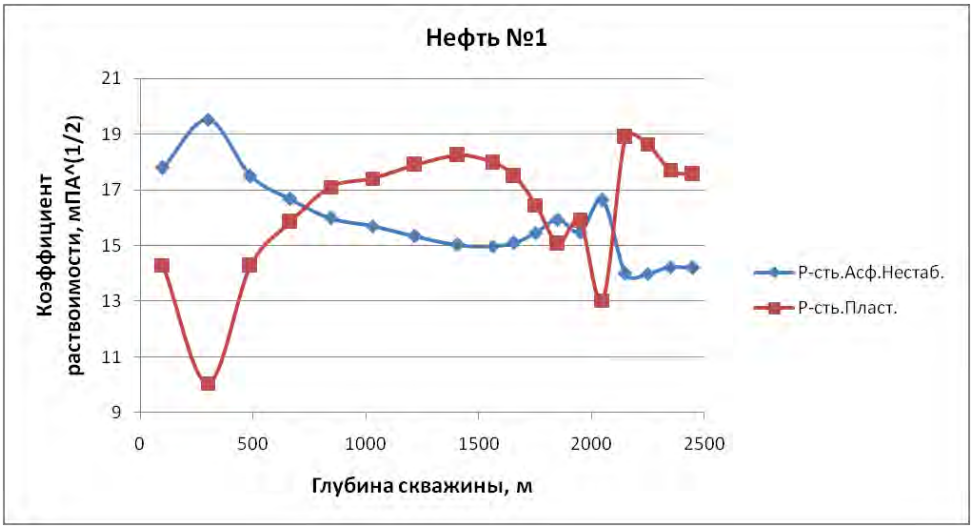


Рис. 3. Прогнозирование осаждения методом Вэнга

Согласно полученным результатам, осаждение имеет место на глубине 2100 метров и прерывается на 1900. Далее есть зона высокого риска осаждения асфальтенов на глубине от 1800 до 1700 метров. Также велика вероятность отложения в приустьевой зоне начиная с глубины 750 метров и до самого устья.

Оценка стабильности парафинов производилась на основании следующих методик: Пердерсена (Perdersen) [4], Хошанова-Ширджанова [5] и метода УфаНИПИНефти [6].

Метод Пердерсена позволяет оценить наибольшую теоретически возможную мольную долю парафинов в твердой фазе согласно уравнению (1):

$$Z_i^S = Z_i^{tot}\left[1 - (A + B * M) * \left(\frac{\rho_i - \rho_i^P}{\rho_i^P}\right)^C\right] \quad (1)$$

где ζ_i^S и ζ_i^{com} – мольные фракции компонента i в твердой фазе и во всей скважинной нефти в целом, соответственно, M – молярная масса осаждающегося компонента, ρ_i^P – плотность углеводорода с такой же молекулярной массой, что и у псевдокомпонента, ρ_i – плотность псевдокомпонента. A, B и C были определены путем сопоставления экспериментальных и расчетных данных этой модели

A = 0,8824;

B = 5,353*10^4;

C = 0,1144;

ρ_i = 0,3915+0,0675*ln(M_1);

Согласно данному методу, глубина отложения для исследуемой нефти находится как бы выше устья (отрицательные значения), что трактуется как минимальный риск осаждения парафинов в условиях исследуемых скважин.

Метод Хошанова-Ширджанова состоит из нескольких этапов первый из которых – расчет коэффициента теплопередачи (2)

$$K = \frac{1}{d} * \left(\frac{q}{1{,}29 + 0{,}36q} + 0{,}43\right) \quad (2)$$

где d – внутренний диаметр НКТ, q – массовый дебит (рассчитывался по формуле Дюпюи для совершенно раскрытого пласта);

Затем следует расчет глубины отложения парафиновых веществ (3):

$$H_{wax} = H_{well} - \left(H_k + H_{hyd} + H_{ws} - 200wc\right) \quad (3)$$

где $H_k = M_1 * \frac{y}{a} * \left(1 + \left(M_2 + \frac{M_3}{y}\right)^{M_4}\right)$ $H_{hyd} = 250 * (g - 0{,}8)^2$ $H_{ws} = 70 * \left(\frac{wc}{1-wc}\right)^{1,5}$, H_{well} - глубина до верхних дыр перфорации wc – обводненность нефти, C – удельная теплоемкость нефти, y – вспомогательный коэффициент, от которого зависят значения M(1-4), представляющий собой отношение разности температур на устье и истоке скважины к произведению геотермального коэффициента на коэффициент альфа: $\alpha = \frac{\pi * K * d}{q * C_{mix}}$, в котором K – коэффициент теплопередачи, d – внутренний диаметр НКТ, q – массовый дебит, а Cmix – удельная теплоемкость нефти;

Таким образом было получено значение глубины парафинизации -1295 метров. Это говорит об отсутствии риска осаждения парафинов в модельной скважине.

Метод РН-УфаНИПИНефти подразумевает поиск точки пересечения кривых температуры парафинизации и температуры внутри скважины. Первый параметр рассчитывается по формуле (4):

$$T_{wati} = T_{wat} + 0{,}031P - 0{,}098G \quad (4)$$

где, $T_{wat} = 38 - 1{,}91 * \frac{y_a + y_s}{y_p}$, P – давление, G – газовый фактор, y_a, y_s, y_p – доли асфальтенов, смол и парафинов в составе нефти.

Температура внутри скважины может быть, как рассчитана, но в условиях данной работы она была известна в виде градиента с известной радиальной координатой. Результаты прогнозирования представлены в графическом виде на рис. 4.

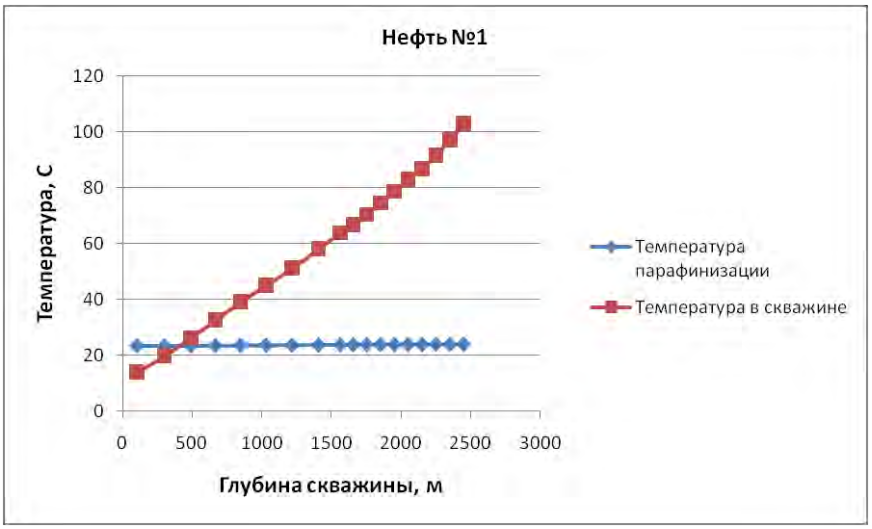


Рис. 4. Прогнозирование осаждения методом УфаНИПИнефть

Согласно данному графику, отложение парафинов имеет место лишь в приустьевой зоне, на глубине порядка 400 метров, то есть, согласно теории осаждения парафинов, маловероятно в условиях исследуемой нефти.

На основе данных, полученных путем моделирования, можно сделать несколько следующих заключений:

1) для исследуемой нефти не характерно осаждение отложений парафинового типа;

2) для исследуемой нефти характерно осаждение отложений асфальтенового типа на глубине от 2100 до устья скважины;

3) более подробный прогноз возможно осуществить путем использования уточнённых методов прогнозирования, учитывающих особенности нефти Приобского месторождения.

Литература

1. Chung T.-H. (1992, January 1). Thermodynamic Modeling for Organic Solid Precipitation. Society of Petroleum Engineers. pp. 869-874.
2. Hirschberg A., deJong L.N.J., Schipper B.A., and Meijer J.G.: "Influence of Temperature and Pressure on Asphaltene Flocculation," m. (June 1984) pp. 283-293.
3. Al-Safran E. (2017, December 13). Prediction of asphaltene precipitation risk in oil wells using a coupled hydro-thermodynamic model. BHR Group. pp. 10-13.
4. Pedersen K.S., Prediction of cloud point temperatures and amount of wax precipitation. SPE 27629. Soc. Pet. Engrs., Richardson, TX 1993. pp. 4.
5. Хошанов Т. Выбор рациональной технологии удаления смолопарафиновых отложений растворителем / Хошанов Т., Ширджанов Н. // Нефтепромысловое дело. 1981. № 3. С. 14-16.
6. Шадрина П.Н. Совершенствование технологий борьбы с асфальтосмолопарафиновыми отложениями на нефтепромысловом оборудовании высоковязких нефтей: дис. ... канд. техн. наук: 25.00.17. Уфа. 2017. С. 89-94.

Ковалевский Владислав Александрович
Год рождения: 1996
Университет ИТМО,
факультет лазерной фотоники и оптоэлектроники,
студент группы № L4236,
направление подготовки: 16.04.01 – Техническая физика,
e-mail: kovalvlad9@gmail.com
Волхонский Владимир Владимирович
Год рождения: 1948
Университет ИТМО,
факультет лазерной фотоники и оптоэлектроники,
направление подготовки: 16.04.01 – Техническая физика,
д.т.н.,
e-mail: Volkhonski@mail.ru

УДК 004.925.3

ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ АЛГОРИТМОВ СЖАТИЯ НА КАЧЕСТВО ПЕРЕДАВАЕМОГО ТВ-ИЗОБРАЖЕНИЯ

В.А. Ковалевский

Научный руководитель – д.т.н. **В.В. Волхонский**

Университет ИТМО

Работа выполнена в рамках темы НИР № 04062019081238 «Исследование параметров алгоритмов сжатия на качество передаваемого ТВ-изображения».

Анотация
На качество передаваемого изображения влияет совокупность настроек камеры и параметров применяемого алгоритма сжатия. Проведение экспериментов по оценке качества изображения при постоянном и переменном битрейте с помощью метрики PSNR и обработка полученных результатов позволяют сформулировать рекомендации для наиболее эффективной работы алгоритмов сжатия и передачи качественного телевизионного изображения. Внедрение данных рекомендаций в систему видеонаблюдения позволит существенно снизить нагрузку на каналы связи, а также без замены оборудования получать изображения более высокого класса при сохранении имеющегося битрейта.
Ключевые слова
Алгоритмы сжатия, метрика PSNR, битрейт, качество ТВ – изображения.

Целью работы является анализ влияния различных параметров алгоритмов сжатия MJPEG и H.264 на качество передаваемого телевизионного изображения, а также разработка рекомендаций настроек камер для более эффективной работы алгоритмов сжатия.

Для достижения цели в представленной работе были выделены и решены следующие задачи:

– исследование влияния степени компрессии алгоритма сжатия на качество передаваемого телевизионного изображения;

– исследование влияния на алгоритмы сжатия таких параметров как: яркость, контрастность, резкость, насыщенность цветов;

– исследование влияния постоянного и переменного битрейта на качество передаваемого телевизионного изображения при работе с разными алгоритмами;

– разработка рекомендаций для достижения качественного передаваемого изображения при работе алгоритмов сжатия.

Для детального анализа выбранных алгоритмов сжатия передаваемого изображения необходимо выявить ключевые параметры, способные повлиять на качество передаваемого изображения. Для проведения эксперимента в рамках представленной работы были выбраны такие параметры, как настройки яркости, контрастности, насыщенности цветов и резкости. Также основным показателем качества передаваемой графической информации обозначено значение битрейта.

В качестве сцен выбраны два изображения (см. рис. 1 и рис. 2).

Рис. 1. Сцена номер один (простая) применяемая в эксперименте

Первая сцена (см. рис. 1) является «простой», так как на изображении преимущественно преобладают в значительной степени однотонный цвета, а наличие других цветов относительно общего размера сцена сцены считается допустимо малым. Модуляция движения осуществляется путем перемещения изображения по горизонтали вправо и влево.

Рис. 2. Вторая сцена (сложная) применяемая в эксперименте

Вторая сцена (см. рис. 2) является «сложной» в связи с обилием различных цветов. Имитация движения осуществляется аналогичным способом. В качестве исследуемых камер выбраны камеры фирмы AXIS, P1354 и M 3006 - V серия [1–5]. Для подключения использовался POE коммутатор LPOE – 402 – S [7]. Эксперимент проводился в помещении, где используются люминесцентные лампы. Эффект мерцания исключен программно. Сравнение проводилось при постоянном значении компрессии в 30. Перед началом эксперимента настройки камеры были сброшены до заводских.

Значения яркости, контрастности, насыщенности цветов и резкости устанавливались равными 50, степень компрессии 30 (таб. 1).

Таблица 1

Значения битрейта при значениях параметров равных 50 «простая» сцена

Bit rates [Mbit/s]							
AXIS P 1354				AXIS M 3006-V			
MJPEG		H.264		MJPEG		H.264	
Still	Moving	Still	Moving	Still	Moving	Still	Moving
12	12	0.2	2	50	50	5.5	10

Полные результаты проведенного эксперименты представлены в ВКР № 04062019081238 [10].

На основании полученных данных можно сделать вывод, что такие параметры как яркость, контрастность, резкость оказывают существенное влияние на битрейт, а значит и на работу алгоритмов сжатия.

Во втором эксперименте остаётся рассмотреть сложную сцену с использованием одной камеры AXIS P1354. Значения яркости, контрастности, резкости и насыщенности цветов сброшены до заводских настроек. Стандартно эти параметры выставляются равными 50.

Теперь, изменяя степень компрессии, посмотрим, как будет меняться битрейт. Значения компрессии выбираются 0, 30, 60, 90%. Оборудование и условия проведения эксперимента остаются аналогичными.

Параметры подключения оборудования остались прежними. Съем информации осуществлялся через стандартное окно браузера для каждой камеры.

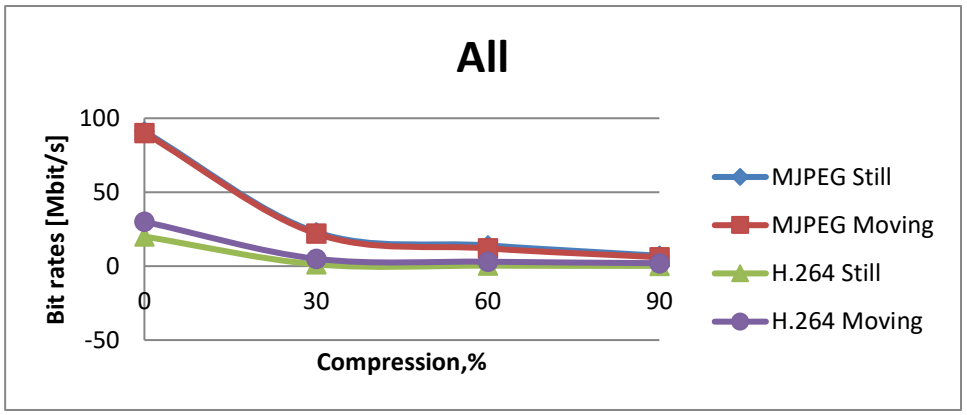


Рис. 3. График. Зависимость битрейта от степени компрессии, для MJPEG и H.264 при спокойной сцене и сцене с движением

Как видно из (рис. 3) графиков, при большой степени компрессии показания

битрейта крайне малы, что, безусловно, является плюсом для любой системы видеонаблюдения.

Во второй части эксперимента измерялся показатель PSNR для различных видеороликов. Для камер AXIS и Panasonic [6] были записаны одинаковые видеоролики, в которых производилась имитация движения с помощью изображений из первой части эксперимента. Для каждой камеры были записаны 4 видеоролика при различных алгоритмах сжатия. Первый ролик в формате MJPEG, второй – H.264. Ролики записывались при переменном битрейте. Длительность ролика составила 1344 кадра. При корректировке длительность ролика снизалась до 17 секунд (408 кадров). Далее с помощью кодека StreamEye Studio выставлялись постоянные показания битрейта равные: 100, 225, 340, 460, 700, 938, 1140, 1340, 1840, 2340 кб/сек. Таким образом, получилось 40 роликов для каждой камеры при начальных четырех.

Для записи видеоролика на камере AXIS M 3006 - V использовалась программа AXIS Camera Station, а также стандартное окно браузера. Во время работы с камерой Panasonic WV-SF539 использовались программа Panasonic Security Viewer, а также стандартное окно браузера. Все параметры были сброшены к заводским настройкам для большей точности эксперимента. Эксперимент проводился в помещении, без естественного освещения, влияние искусственного освещения (люминесцентные лампы) было исключено. Подключение осуществлялось с помощью PoE инжектора FARADAY 24W/POE [8], а также с помощью внешнего источника питания ARD 12 [9]. Подсчет PSNR выполнялся с программой luv_avi.

В первом случае сравнивались два ролика с имитацией простой сцены в формате MJPEG, при различных значениях битрейта (см. рис. 4-6). Синим цветом обозначена камера AXIS M3006 - V, черным обозначена камера Panasonic WV – SF539.

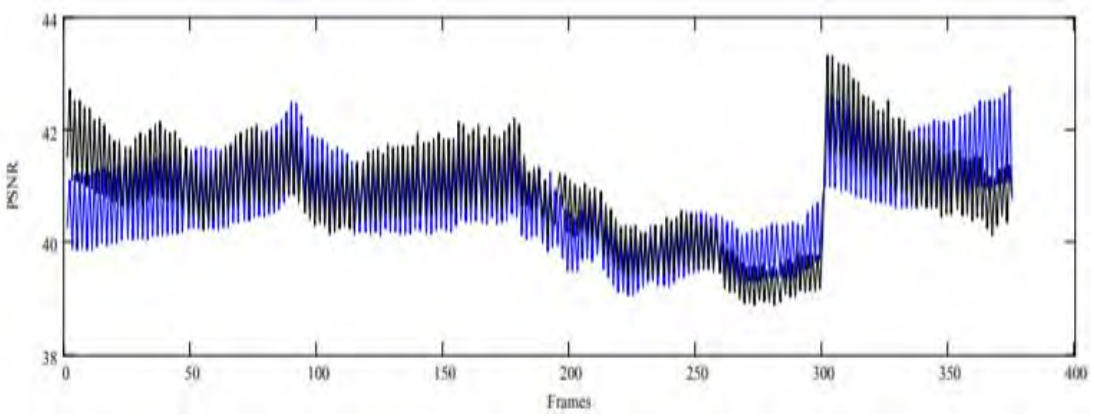


Рис. 4. Показания PSNR при значении битрейта 100 кбит/сек

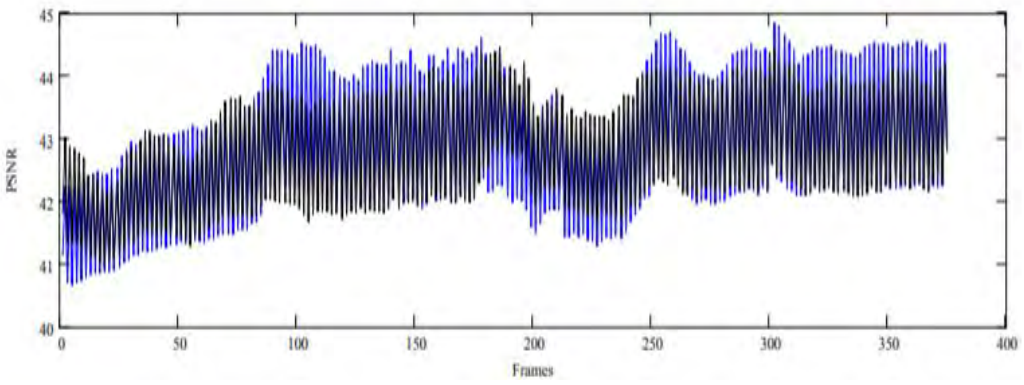


Рис. 5. Показания PSNR при значении битрейта 700 кбит/сек

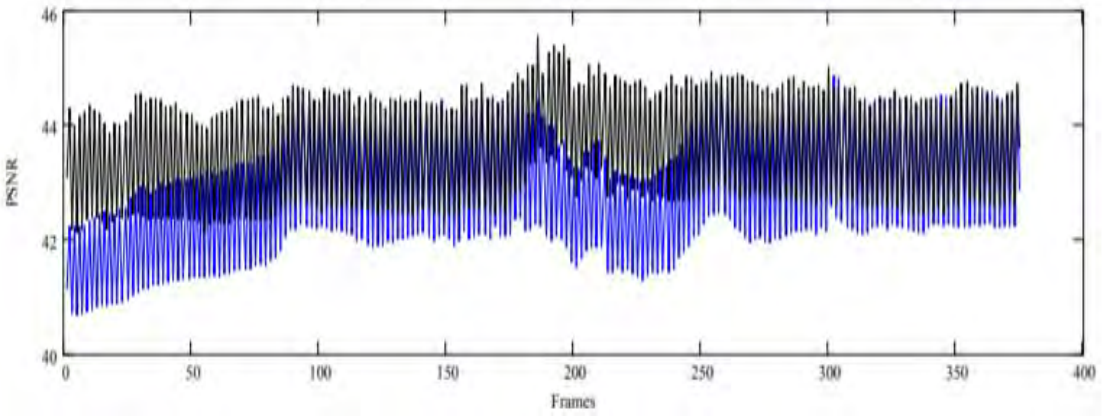


Рис. 6. Показания PSNR при значении битрейта 2340 кбит/сек

Анализируя, полученные данные можно сделать вывод о том, что на разных видеорядах кодеки показывают разные результаты. В связи с тем, что видеоряды показывают случаи благоприятные и неблагоприятные для каждого из кодеков, существует возможность оценить эффективность работы каждого. По результатам сравнения кодек на основе стандарта H.264 показал явное преимущество над стандартом MJPEG. Кодек на основе H.264 разрабатывался с целью улучшения помехоустойчивости и большей эффективности передачи прямоугольного видео, особенно это заметно при задании малых значений битрейта. Существенное влияние в пользу H.264 оказали инструменты, устраняющие временную избыточность, именно поэтому можно выделить наиболее перспективные направления для дальнейшего улучшения качества передаваемого изображения, а именно:

1. применение альтернативных методов сжатия без потерь;
2. использование различных реализаций арифметического кодирования;
3. применение альтернативныхвайвлет преобразований;
4. внедрение выделения объектов и описание их;
5. исспользование динамических опорных кадров и динамических кадровых частот.

Проведенные эксперименты по оценке качества изображения при постоянном и переменном битрейте с помощью метрики PSNR и обработка полученных результатов позволяют сформулировать рекомендации для наиболее эффективной работы алгоритмов сжатия и передачи качественного телевизионного изображения.

Литература

1. Алексеев С.А., Волхонский В.В., Суханов А.В. Телевизионные системы наблюдения. Основы проектирования. Учебное пособие. Санкт- Петербург: СПб.: Университет ИТМО, 2015. 126 с. 100 экз.
2. Рекомендации Р 78.36.002-2010 "Выбор и применение систем охранных телевизионных" (утв. МВД РФ 7 мая 2010 г.) Введены с 7 мая 2010 г. Взамен Р 78.36.002-99.
3. Тропченко А.Ю., Тропченко А.А. Методы сжатия изображений, аудиосигналов и видео: Учебное пособие. СПб: СПбГУ ИТМО, 2009. 108 с.
4. Лукин А. Шумоподавление изображений [Электронный ресурс] - Режим доступа: https://www.graphicon.ru/oldgr/ru/research/denoising/index.html. (Дата обращения 05.04.2019).

5. AXIS P1354, M 3006-V [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.axis.com/ru-ru/products/network-cameras. (Дата обращения 05.04.2019).
6. Panasonic WV – SF539 [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://security.panasonic.com/ru/products_technology/products/wv-sf539/. (Дата обращения 05.04.2019).
7. LPOE – 402 – S [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.vidatec.ru/lpoe-402. (Дата обращения 05.04.2019).
8. FARADAY 24W/POE [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://videoglaz.ru/inzhektory-poe/faraday/faraday-24wpoe. (Дата обращения 05.04.2019).
9. ARD 12 [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://arlight.ru/catalog/v-zashchitnom-kozhukhe-2-kanala-752/blok-pitaniya-ard-150-24v-12v-4a-100w-50w-014115.html. (Дата обращения 05.04.2019).
10. ВКР Ковалевский В.А. Исследование влияния параметров алгоритмов сжатия на качество передаваемого ТВ-изображения 12 [Электронный ресурс]. Режим доступа: https: // isu.ifmo.ru/ pls / apex/ f?p = 2143:7:126408270059308::NO:RP:DISS_ACTION,DISS_TYPE,DISS_YEAR,DISS_FACULTY,DISS_KAFEDRA: structure, mag,2019,772,all. (Дата обращения 05.04.2019).

Коршунова Наталья Александровна
Год рождения: 1995
Университет ИТМО
факультет пищевых биотехнологий и инженерии,
студент группы №Т4217,
направление подготовки: 19.04.02 – Продукты питания
из растительного сырья,
e-mail: korshun236@mail.ru
Баракова Надежда Васильевна
Год рождения: 1954
Университет ИТМО,
факультет пищевых биотехнологий и инженерии,
к.т.н., доцент,
e-mail: n.barakova@mail.ru

УДК 543.6:663.253

СОВРЕМЕННЫЕ СПОСОБЫ ИДЕНТИФИКАЦИИ ВИНОГРАДНЫХ ВИН

Н.А. Коршунова

Научный руководитель – к.т.н., доцент **Н.В. Баракова**

Университет ИТМО

Работа выполнена в рамках темы НИР № 617027 «Ресурсосберегающие экологически безопасные биотехнологии функциональных и специализированных продуктов на основе глубокой переработки продовольственного сырья».

Аннотация
В работе разобраны основные виды фальсификации вин и методы выявления фальсификационных продуктов. Также, в работе рассматриваются два перспективных метода выявления поддельного вина: метод определения буферной емкости и средняя ИК-спектрометрия. Приводятся данные экспериментов и исследований по применению данных методов и выявлению поддельных вин.
Ключевые слова
Биотехнология, фальсификация вин, методы идентификации, буферная емкость, ИК-спектрометрия.

В настоящее время Фальсификация виноградных вин распространена в связи с высокой стоимостью продукта и возможной высокой прибылью от реализации поддельного вина. В качестве основных методов фальсификации можно выделить четыре следующих видов:

– видовая фальсификация. Проявляется в виде полной или частичной замены одного виноматериала на другой, более низкого качества;

– качественная фальсификация. Заключается в снижении качества исходного продукта путём изменения состава или изменения технологии в сторону удешевления продукта;

– количественная фальсификация. Выражается в изменении количественных характеристик продукта, например, заполнение тары меньшим объемом вина в сравнении с требуемым объемом;

– информационная фальсификация связанна с предоставлением неверной информации о продукте потребителю [1].

Для выявления фальсифицированного продукта проводят идентификацию. Под идентификацией понимают установление соответствия физико-химических и органолептических показателей реализуемых товаров требованиям нормативной и технической документации на данный продукт. На данный момент существует три основных группы методов выявления поддельных вин: органолептические, физико-химические и биологические.

Органолептические сравнительно быстро и просто реализуются [2], однако характеризуются субъективностью и сложностью выделения отдельных оттенков вкуса и аромата.

Следующими является группа физико-химических методов. Эта группа содержит в себе такие методы, как: методы титрования и инструментальные методы [3].

Титрометрические методы позволяют проводить идентификацию вин по гостированным показателям, которые не всегда позволяют выявить степень фальсификации. Поэтому ряд источников делает акцент на разработке новых физико-химических методов.

Международная организация виноградарства и виноделия предлагает проводить идентификацию вин с помощью определения их буферной емкости. Это тирометрический показатель, характеризующий буферную способность вина как раствора, способного противодействовать изменению pH при внесении в раствор кислоты или основания.

Инструментальные методы позволяют осуществить более глубокое изучение образцов вина и проведении их идентификации. Однако, большинство методов, в том числе хроматографических, дают только количественную оценку образцов [3].

Современные тенденции разработки инструментальных методов анализа вин направлены на создание простых и быстрых методов идентификации, объединяющих количественный и качественный анализ, таким методом является ИК-спектроскопия. Метод основан на избирательном поглощении электромагнитного излучения видимого, ультрафиолетового или инфракрасного диапазона длин волн нерассеивающими системами – растворами, газами и тонкими пленками твердых веществ.

Для работы были выбраны два следующих метода: метод определения буферной емкости и ИК-спектрометрия. Целью работы является оценка эффективности новых современных методов определения буферной емкости и ИК-спектрометрии для идентификации виноградных вин. В качестве основных задач на ВКР были выделены следующие пункты:

1. оценка возможности идентификации виноградных вин по показателю буферной емкости;
2. оценка возможности определения количественных показателей вин в среднем ИК-диапазоне;
3. оценка возможности выявления фальсификации виноградных вин по качественному анализу ИК спектров;
4. разработка нового показателя для идентификации вин.

Объектами исследования стали образцы вин, произведенные на АПК (агропромышленная фирма) «Фанагория». Были выбраны образцы красного, розового и белого сухого вина.

На первом этапе работы были исследованы исходные образцы вин. В образцах

гостированными методиками были определены показатели качества, указанные в таблице.

В данных образцах были сняты ИК-спектры и измерена буферная емкость. В спектрометре были заложена возможность измерения показателей качества виноматериалов (таблица).

Таблица

Физико-химические показатели

Вино	Объемная доля этилового спирта, % об.	Масс. конц. сахаров, г/дм^3	Масс. конц. титруемых кислот, г/дм^3	Масс. конц. летучих кислот, г/дм^3	Показатель pH, ед. pH	Масс. конц. свободного диоксида серы, г/дм^3	Масс. конц. общего диоксида серы, г/дм^3
Белый №1	11,8	2,0	5,8	0,5	3,33	31	99
Белый №2	11,7	2,4	5,7	0,6	3,34	31	104
Красный №1	13,4	2,5	5,2	0,6	3,55	42	66
Красный №2	12,9	1,8	5,4	0,5	3,49	36	79
Розовый	10,9	3,6	7,2	0,6	2,92	7	94

Для идентификации вин было решено проводить оценку качественной характеристики виноматериалов. Для этого были сняты спектры каждого исходного образца виноматериала. Качественный анализ спектра белого виноматериала отображен на рис. 1.

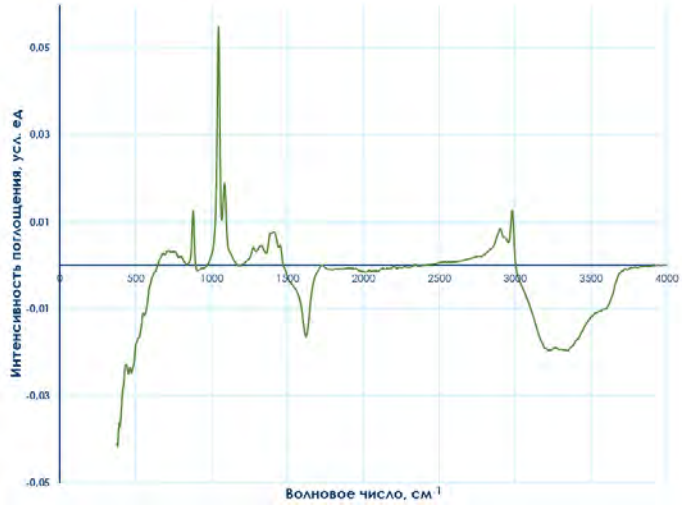


Рис. 1. Инфракрасный спектр белого виноматериала

Аналогичные полосы поглощения наблюдались в спектрах всех образцов. Снятые спектры в дальнейшем использовались в качестве контрольных.

На втором этапе работы был применен метод определения буферной емкости и метод ИК-спектроскопии для оценки фальсификации вин. Была проведена искусственная фальсификация путем разбавления виноматериала.

После измерения буферной емкости разбавленного вина, её значение стало

меньше в среднем на 7,4 мг-экв/дм^3, чем значения буферной емкости исходного вина [4].

Для оценки степени фальсификации с помощью метода ИК-спектроскопии были спектры разбавленных образцов и сравнила их с контрольными спектрами исходных образцов путем наложения спектров друг на друга. На спектре, изображенном на рис. 2, разбавление отражалось в снижении интенсивности поглощения в областях, отражающих содержание спиртов, фенольных соединений, органических кислот, аминосодержащих соединений и альдегидов, кетонов. При добавлении воды содержание перечисленных компонентов виноматериала снижалось, что отражено в спектрах снижения интенсивности соответствующим компонентам полос.

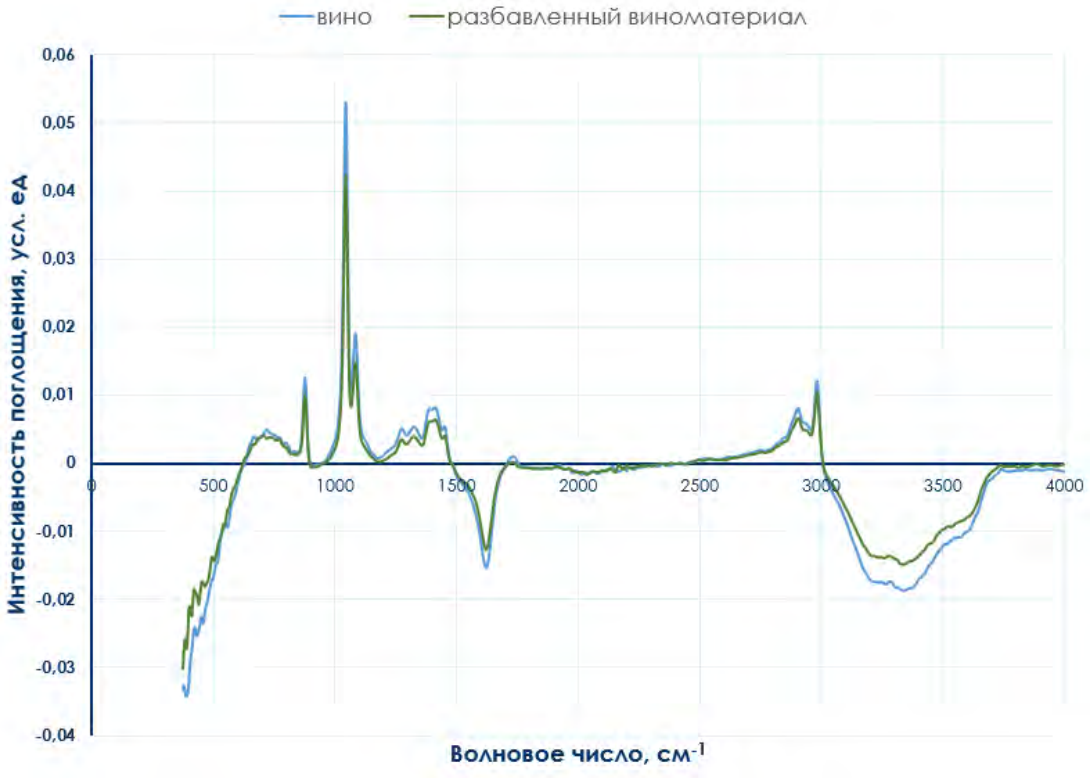


Рис. 2. Спектры исходного белого вина и разбавленного белого виноматериала

На третьем этапе работы в разбавленные виноматериалы были внесены органические кислоты для доведения показателя титруемой кислотности до значения, регламентируемого ГОСТ. На данном этапе изучалось влияние различных органических кислот на значение буферной емкости виноматериалов.

Сопоставляя данные исследования буферной емкости образцов, можно отметить, что винная кислота оказывает большее влияние на буферную емкость, чем лимонная и янтарная.

Восстановление содержания титруемых кислот путем добавления органических кислот в большинстве случаев не позволяет восполнить сниженную буферную емкость исходного вина. Использование лимонной кислоты, которая экономически более приемлема для производителя суррогатного продукта, не дает получить исходный показатель буферной ёмкости. Применение винной и яблочной в ряде случаев позволяет вернуть исходное значение буферной ёмкости. Таким образом, показатель буферной емкости недостаточно информативен для идентификации разбавленного виноматериала.

Затем оценивалось изменение спектров белого, красного и розового виноматериалов при внесении в них органических кислот. Так, например, на спектрах

было заметно, что при добавлении лимонной кислоты интенсивность поглощения характеристических полос поглощения гидроксильных и карбонильных групп для виноматериала стала близка к исходному значению. Однако ряд характеристических полос не вернулись к исходному значению интенсивности поглощения, а остались на уровне разбавленного виноматериала [5]. При анализе спектра на рис. 3 была найдена полоса 1110–1130 $см^{-1}$, которая не меняет своей интенсивности при внесении органических кислот.

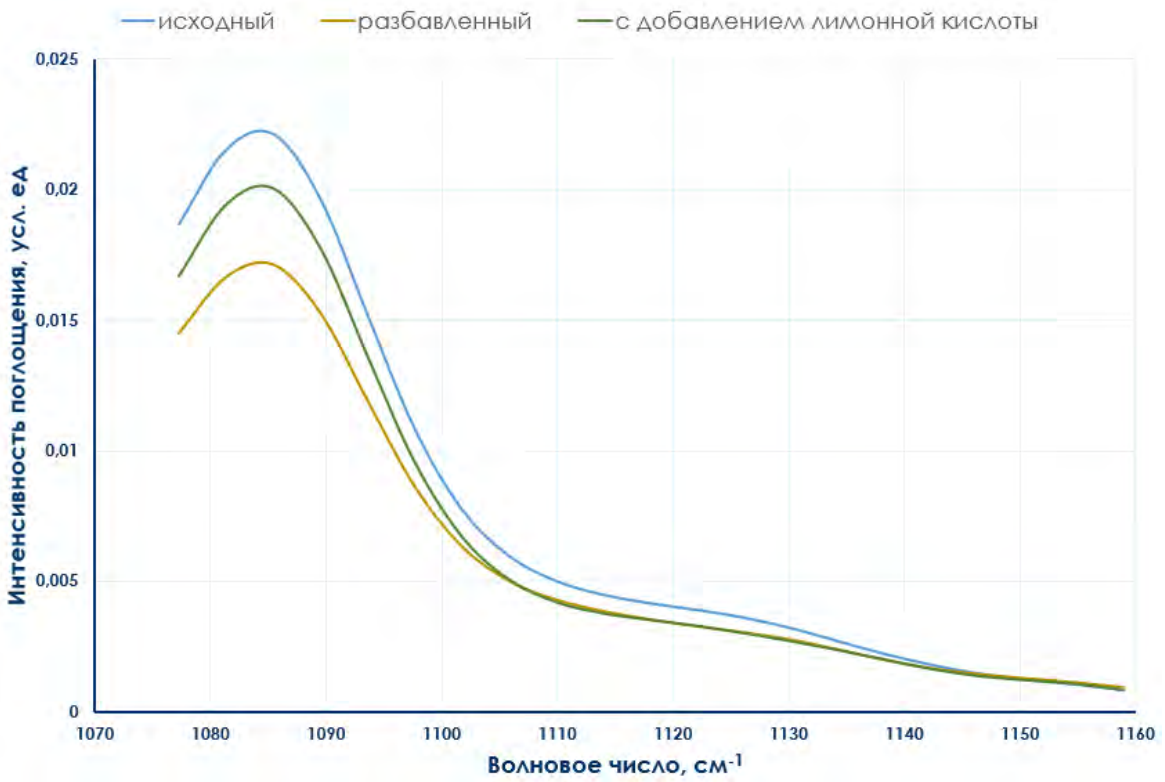


Рис. 3. Часть спектра красного виноматериала

В данной полосе в основном поглощают алифатические эфиры, эфиры ароматических кислот и соединения связанной серы. При добавлении органических кислот в разбавленный виноматериал содержание соединений серы и эфиров не восстанавливается, а поскольку их достаточно много в виноматериалах это отражается на спектре. Полученную информацию можно использовать для создания критерия подлинности вин путем нахождения соотношения интенсивности поглощения в найденной полосе.

По итогам работы, рекомендуется сопровождать в нормативной документации на вино значением показателя буферной емкости и ИК-спектром напитка или создать базу значений показателей буферной емкости и базу ИК-спектров вин по регионам происхождения вин.

В качестве основных выводов можно выделить следующие пункты:

– для идентификации виноградных вин возможно использование такого показателя, как буферная емкость вина в том случае, если коррекцию показателя титруемой кислотности вина проводить органическими кислотами: лимонной или яблочной. При коррекции содержания титруемых кислот в вине винной кислотой, фальсификацию вина можно и не установить;

– для идентификации вина по региону происхождения по значению буферной емкости вина необходимо собрать базу данных значений буферной емкости вин, произведенных из винограда различных мест произрастания;

– при применении ИК-спектроскопии при анализе виноградных вин появляется возможность определения как количественных, так и качественных показателей;

– по качественной характеристике виноградных вин – их спектру, полученному в среднем ИК-диапазоне, возможно провести идентификацию вина. Причем качественный анализ позволяет узнать больше о химическом составе вина, который отражен в профиле спектра вина;

– результаты, полученные при выполнении данных исследований, имеют практическое применение.

– ИК-спектроскопия позволяет проводить идентификацию вина экспресс-методом;

– данный метод является экономически и экологически целесообразным.

Литература

1. Пархоменко А.И. Идентификация и обнаружение фальсификации вин в таможенных целях // Образование и наука без границ: социально-гуманитарные науки. 2016. № 3. С. 298–301.
2. Аникина Н.С. Разработка методической базы для идентификации подлинности виноградных виноматериалов и вин // Виноградарство и виноделие. 2009. Т. 39. С. 90–92.
3. Якуба Ю.Ф., Каунова А.А., Темердашев З.А., Титаренко В.О., Халафян А.А. Виноградные вина, проблемы оценки их качества и региональной принадлежности // Аналитика и контроль. 2014. Т 18. № 4. С. 344–372.
4. Аникина Н.С., Жилякова Т.А., Михеева Л.А., Погорелов Д.Ю., Рябинина О.В. Изучение буферной системы подлинных виноградных виноматериалов и вин // Магарач. Виноделие и виноградарство. 2015. №. 1. С. 31.
5. Гугучкина Т.И., Якуба Ю.Ф., Бирюкова С.А. Особенности выявления подлинности виноградных вин с помощью органических и фенолкарбоновых кислот // Научные труды Северо-Кавказского Федерального научного центра садоводства, вино-градарства, виноделия. Т. 18. 2018. С. 190–193 г.

Кулакова Анастасия Олеговна
Год рождения: 1995
Университет ИТМО,
факультет технологического менеджмента и инноваций,
студент группы № U4290,
направление подготовки: 27.04.05 «Инноватика»,
e-mail: a.kulakova95@yandex.ru
Максимова Татьяна Геннадьевна
Год рождения: 1960
Университет ИТМО,
факультет технологического менеджмента и инноваций,
д.э.н., профессор,
e-mail: maximovatg@gmail.com

УДК 330.322.54

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИННОВАЦИОННОГО ПРОЕКТА ПО СОЗДАНИЮ И ВНЕДРЕНИЮ ТРЕХМЕРНОЙ ГЕОИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

А.О. Кулакова

Научный руководитель – д.э.н., профессор **Т.Г. Максимова**

Университет ИТМО

Аннотация
Работа посвящена анализу практической применимости методов оценки эффективности инвестиционных проектов к инновационному проекту по созданию и внедрению геоинформационной системы. В работе проведена оценка эффективности инновационного проекта, оценены потенциальные сценарии развития проекта и даны рекомендации по адаптации существующих методик к оценке инновационных проектов.
Ключевые слова
Экономика, инновации, инновационный проект, оценка эффективности, методы оценки эффективности, геоинформационная система, метод анализа иерархий.

Введение

Для поддержания конкурентоспособности в современных условиях компаниям необходимо постоянное обновление и совершенствование производимого продукта [1]. С этой целью организации реализуют инновационные проекты. Так как любой инновационный проект связан со значительными капиталовложениями, то встает вопрос о целесообразности совершения данных затрат, т.е. об оценке эффективности инновационного проекта. Проблема оценки экономической эффективности инновационно-инвестиционных проектов изучается учеными уже несколько веков. Основы анализа эффективности инвестиций были заложены Дж. М. Кейнсом и К.Р. Макконеллом и далее развивались в трудах такие зарубежных ученых, как Г. Бирман и С. Шмидт, В. Беренс и П.М. Хавранек, Д. Норкотт и др. Началом теоретических исследований инноваций принято считать теорию волн Н.Д. Кондратьева, понятийный аппарат и классификация инноваций, а также выделение «инноватики» в отдельную науку впервые произошло с появлением трудов Й. Шумпетера, затем инновации в

различных их аспектах и проявлениях изучались Дж. Берналом, П. Сорокиным и С. Кузнецом, Г. Меншем, Ф. Хайеком, Ю. Яковцом и А. Тойнби. Инновации представляют собой динамичный процесс и потому вызывают особый интерес и исследуются и современными учеными, среди них Р.А. Фатхутдинов, А.В. Сурин, О.П. Молчанова, С.В. Валдайцев, Р. Айрес, Д. Уэст, М. Боджэрс, Ч. Весснер, Л. Лейдесдорф, Г. Хоровитт. Разработка практического аспекта оценки экономической эффективности инновационно-инвестиционных проектов нашла свое отражение в трудах таких отечественных и зарубежных экономистов, как Л. А. Бекларян, В. М. Аныпин, М.А. Бендиков, С.В. Валдайцев, И. В. Липсиц, П.Л. Виленский, В.В. Ковалев, В.Г. Медынский, В.Л. Попова, В.Н. Лившиц и др. Данные ученые внесли существенный вклад в разработку современных методов оценки эффективности инноваций, в теорию экономики инноваций и инновационного менеджмента.

Тем не менее, хотя и существует большое количество научных публикаций и исследований по теме оценки эффективности инновационно-инвестиционных проектов, практически все они предлагают использование традиционных, универсальных методик, что существенно снижает возможность учета специфических параметров инновационных проектов при оценке их эффективности. Сохраняются неразработанные аспекты, связанные с адаптацией существующих методик к оценке инноваций. Это предопределяет актуальность исследуемой проблемы и обусловливает постановку цели работы.

Объектом исследования является инновационный проект. Предметом – совокупность методов оценки эффективности инвестиционных проектов. Целью работы является анализ практической применимости методов оценки эффективности инвестиционных проектов к инновационному проекту по созданию и внедрению геоинформационной системы.

Анализ методов оценки эффективности проектов

Все существующие методы оценки эффективности проектов можно разделить на две группы: традиционные и специальные. Традиционные методы оценки на практике являются наиболее используемыми в силу сравнительной простоты расчетов. В зависимости от учета фактора времени и временной стоимости денег традиционные методы можно разделить на статические и динамические.

Статические методы представляют собой самый простой вариант оценки эффективности инвестиционного проекта. Они применяются для быстрой оценки проекта и чаще всего используются для проектов с непродолжительным сроком реализации. Статические методы дают оценку на определенный момент времени, без учета снижения ценности денежных средств с течением времени. Основным достоинством статических методов является простота и удобство расчетов. Показатели наглядны, их смысл очевиден. Расчет данных показателей позволяет сделать быстрые выводы об эффективности, заведомо «отбросить» неэффективные проекты. Несмотря на перечисленные плюсы, статические методы оценки эффективности обладают существенными минусами. К ним относятся: отсутствие учета фактора времени, невозможность сравнения проектов с разной продолжительностью жизненного цикла, невозможность сравнивать проекты из разных отраслей, а также неприменимость некоторых методов при оценке компаний с высокой долей заемного капитала в источниках финансирования.

Динамические методы оценки учитывают различную временную стоимость денег, и потому позволяют дать более точную оценку и сделать более точные выводы об эффективности. В отличие от статических методов оценки эффективности, в которых ключевым показателем в расчетах является прибыль, расчет динамических показателей

опирается на денежный поток. Кроме того, динамические методы позволяют учесть риски, присущие проекту, с помощью ставки дисконтирования. Динамические методы позволяют сделать выводы о превышении поступлений от реализации проекта над затратами на его реализацию, оценить фактическую «выгоду» и проанализировать имеющийся запас финансовой прочности. Тем не менее данные методы оценки обладают такими недостатками как: игнорирование факта различия рисков на разных этапах жизненного цикла проекта, высокая зависимость от точности прогнозирования денежных потоков и от адекватности расчета ставки дисконтирования, невозможность оценки преимуществ проекта за пределами срока его реализации, оценка проекта с использованием усредненных показателей, не учитывающих все возможные риски.

Специальные методы оценки классифицируются следующим образом:

1) Финансовые методы, к которым относят экономическую добавленную стоимость (EVA), метод полной стоимости владения (TCO), метод определения совокупного экономического эффекта (TEI), метод ускоренного экономического обоснования (REJ) [2].

2) Качественные методы, которые позволяют учесть, как финансовые, так и нефинансовые показатели. Среди качественных методов выделяют:

– метод сбалансированной системы показателей (BITS);

– метод управления портфелем активов (PM) [2].

3) Вероятностные (эвристические) методы, позволяющие рассмотреть сразу несколько вариантов развития проекта. Вероятностные методы представлены только методом реальных опционов (ROV).

Среди достоинств специальных финансовых методов оценки эффективности стоит выделить их универсальность, за счет которой появляется возможность сравнивать альтернативные проекты. Кроме того, методы данной группы в полной мере учитывают эффекты от реализации проекта, так как опираются на большое число различных характеристик проекта. Однако специальные финансовые методы (как и традиционные методы оценки) делают излишний акцент на оценке количественных параметров, упуская из вида качественные параметры реализации инновационного проекта. К тому же некоторые из них сложно реализовать на практике, они малоприменимы и требуют введения большого числа поправок.

Несомненным достоинством качественных методов оценки является возможность учета нефинансовых характеристик проекта при оценке его эффективности. Качественные методы позволяют оценить потенциал проекта и его влияние на стратегическое развитие компании. Существенными недостатками данных методов являются сложность в подборе и оценке качественных параметров и немалая доля субъективизма при принятии решений об эффективности.

Метод реальных опционов позволяет рассмотреть различные варианты развития проекта, дает возможность корректировки некоторых параметров уже в ходе реализации проекта. Стоит отметить, что метод реальных опционов строится на допущении о возможности срочной и быстрой реализации опциона, однако на практике, как известно, это не всегда возможно. Метод не учитывает риски от нереализации того или иного опциона.

Адаптация существующих методов к оценке инновационного проекта

Инновационный проект обладает рядом специфических характеристик, которые не позволяют в полной мере оценивать его с помощью существующих методик. Инновационному проекту присущи качественные параметры, которые не всегда влекут за собой коммерческий эффект. Тем не менее, данные параметры необходимо учитывать, как на стадии принятия проекта, так и на этапе оценки его эффективности.

Инновационный проект всегда связан с высокими рисками и неопределенностью на всех стадиях жизненного цикла проекта, в силу чего возникает ограничение в доступе к используемым источникам финансирования, а стоимость этих источников будет завышена. Любой инновационный проект начинается со стадии НИОКР, на котором инвестиции в проект высоки, а отдача от проекта не поступает, в силу чего имеет место бесприбыльный период.

На основе вышеизложенного можно выделить ряд положений в существующих методиках, которые нуждаются в изменении и адаптации.

Ставка дисконтирования должна учитывать различия в источниках финансирования в зависимости от стадии реализации проекта, т.е. ставка дисконтирования должна отражать состав используемых источников финансирования и их стоимость.

Ставка дисконтирования подвержена влиянию субъективных факторов. Зачастую риски оцениваются руководством или аналитиками компании, в норму закладывается минимальный риск, стоимость привлекаемых средств финансирования занижается в зависимости от интересов и целей оценщика.

Риски инновационного проекта изменяются в зависимости от стадии жизненного цикла проекта. Ставка дисконтирования содержит поправку на риск, которая должна меняться и актуализироваться в зависимости от отрасли проекта, его специфики, продолжительности и присущих ему уникальных рисков.

Как известно, «деньги в настоящем дороже денег в будущем». Так как инновационные проекты, как правило, имеют более продолжительный срок реализации и окупаемости, то имеют место ошибки при оценке эффективности [3]. Проекты, имеющие более продолжительный срок реализации, не выдерживают сопоставления будущих результатов, учтённых в «обесцененных» деньгах, с затратами, произведенными на ранних этапах реализации проекта и учтенными в более «дорогих» деньгах. В результате долгосрочные проекты признаются неэффективными и отклоняются на самых ранних этапах. Необходимо применение иной методики, нежели дисконтирование.

Расчет будущих денежных потоков опирается на некие усредненные оценки и реализуется с некоторыми ограничениями и допущениями. В силу чего оценка не является истиной, а представляет собой некий ориентир на будущее, от которого могут быть отклонения в любую сторону, в том числе достаточно существенные.

Существуют некоммерческие инновационные проекты, основной целью которых является не получение прибыли, а социальные функции, например, улучшение качества жизни населения. Часто таким проектам уделяется внимания меньше, так как оценить социальную значимость на раннем этапе проекта очень сложно, а рассчитать экономическую эффективность традиционными методами и вовсе невозможно. В таких ситуациях зачастую предпочтение отдается коммерческим проектам, выгодным в краткосрочной перспективе, но в долгосрочной перспективе являющихся менее рентабельными.

Оценка эффективности инновационного проекта

Для проведения оценки был выбран проект «Трёхмерная геоинформационная система». Данный проект представляет собой трехмерную геоинформационную модель предприятия и реализуется с целью автоматизации процессов учета, анализа и управления информацией по материальным активам.

Основными пользователями системы являются вспомогательные службы предприятия, технологи, специалисты инженерного центра.

Общий срок реализации проекта составляет 6 лет (2014-2019 гг.).

Объем финансирования равен 57 712 000 руб. Финансирование осуществляется за счет собственных средств.

Ставка дисконтирования рассчитанная по методу CAPM составляет 14,48%.

После проведения ряда расчетов, были определены основные показатели эффективности реализации проекта:

1) Стартовые инвестиции в проект, согласно расчетам, полностью покрылись в 2016 году. Таким образом, срок окупаемости проекта составит 3 года.

2) После расчетов дисконтированных денежных потоков был рассчитан дисконтированный срок окупаемости, он составит 4 года.

3) NPV = 35 235 605,68 руб. Положительный NPV позволяет говорить об эффективности проекта. При этом в целевом проекте можно заработать почти на 35 млн. руб. больше, чем в альтернативном, что является высоким показателем.

4) PI = 1,61. PI>1, следовательно, проект эффективен. Инвестиции рентабельны, на каждый рубль вложенных средств приходится 1,61 руб. отдачи. Доходность превышает инвестиции более чем в 1,5 раза.

5) IRR=31,19%. IRR>i, что позволяет сделать вывод об имеющемся запасе финансовой прочности и эффективности реализации проекта. 31,19%>14,48% более чем в 2 раза, что говорит о надежности вложения средств в целевой проект.

Таким образом, по всем ключевым показателям проект является эффективным и рекомендуемым к реализации.

Оценка сценариев развития проекта

На данный момент проект находится в работе и не является завершенным. Заключен ряд дополнительных договоров и соглашений на доработку системы, вследствие выполнения которых улучшится интерфейс ГИС, появится возможность более полным образом отслеживать материальные активы предприятия.

Существует несколько альтернативных сценариев развития проекта. Для обоснования выбора оптимального сценария с точки зрения основной цели развития ГИС – Повышение конкурентоспособности предприятия – использован метод анализа иерархий [4]. Данный метод предполагает построение иерархии, на верхнем уровне которой находится цель реализации проекта, второй уровень иерархии занимают задачи, которые проект позволяет решить, третий уровень – направления решения задач, нижний уровень иерархии занимают сценарии развития проекта. Далее строятся матрицы попарных сравнений задач, направлений и сценариев, позволяющие сопоставить элементы между собой и выявить их значимость для вышестоящего уровня иерархии. Затем вычисляются весовые коэффициенты для направлений и для сценариев и определяется наилучший сценарий развития проекта. Итоговые веса сценариев представлены в таблице.

Таблица

Оценка сценариев развития проекта

Содержание сценария	Вес сценария
Сценарий 1. Поддержание системы на текущем уровне. Данный сценарий не предполагает усовершенствования системы по части ведения учета материальных активов, но позволит отслеживать те материальные активы, которые уже включены в систему и использовать разработанные базы.	0,28

Продолжение таблицы

Содержание сценария	Вес сценария
Сценарий 2. Развитие проекта, включение в систему более мелких элементов. Сценарий предполагает включение в систему материальных объектов более мелких уровней, что позволит в еще большей степени автоматизировать процесс управления материальными активами и приблизиться к созданию цифрового двойника предприятия.	0,33
Сценарий 3. Сужение системы до более крупных материальных объектов. Сценарий предполагает абстрагирование от мелких материальных объектов и сосредоточение на крупных объектах строительства, что значительно упростит интерфейс системы и облегчит процесс ее понимания рядовыми пользователями.	0,13
Сценарий 4. Реализация смежного проекта с акцентом на объекты инженерной системы коммуникации. Сценарий предполагает выделение из текущего проекта второго проекта, направленного на отслеживание положения и состояния объектов инженерной коммуникации. Данный вариант позволит в большей степени отслеживать состояние объектов и повысит безопасность работы на предприятии.	0,26

Лучшим сценарием, с точки зрения реализации цели проекта, является Сценарий 2, менее успешную реализацию цели обеспечивает Сценарий 1, Сценарий 3 является худшим для реализации цели проекта.

Таким образом, для повышения конкурентоспособности предприятия рекомендуется осуществить развитие проекта до более мелких элементов системы.

Рекомендации по повышению эффективности проекта

Если обобщить все факторы, оказывающие влияние на эффективность проекта, то можно разделить их на две группы: те, что оказывают влияние на денежный поток (слева на рис. 1) и те, что оказывают влияние на ставку дисконтирования (справа на рис. 1). Для повышения эффективности проекта необходимо максимизировать денежный поток и минимизировать ставку дисконтирования. Говоря об управлении данными факторами, нельзя не сказать об их взаимозависимости и взаимосвязи. В общем виде процесс управления факторами эффективности проекта сводится к управлению рисками данного проекта.

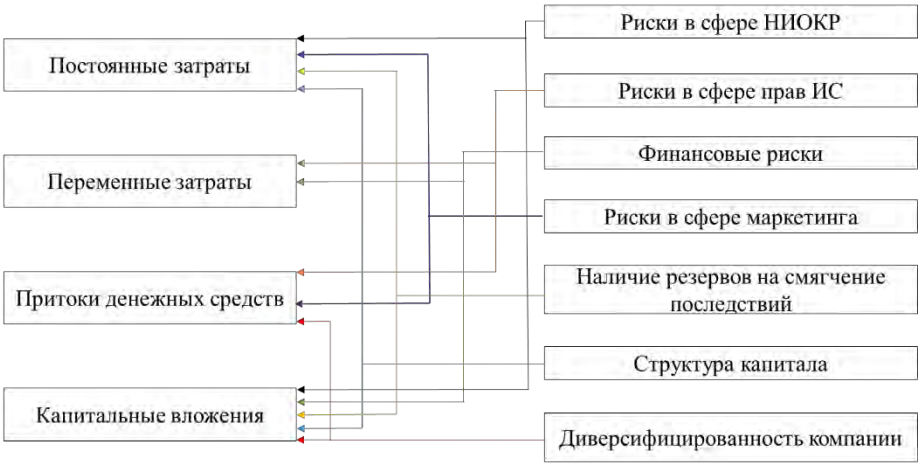


Рисунок. 1. Взаимосвязь между параметрами денежного потока и ставки дисконтирования

В рамках повышения эффективности проекта рекомендуется осуществить мероприятия по управлению рисками. В целях управления несистематическими рисками необходимо: осуществлять тщательный отбор контрагентов; резервировать время, выделяя критичные стадии проекта; использовать концепцию открытых инноваций; проводить патентные исследования и пользоваться системой зонтичного патентования; работать над корпоративной культурой и подписывать соглашения о неразглашении; диверсифицировать источники финансирования; учитывать психологический аспект восприятия цены потребителем; тщательно выбирать канал сбыта и средства продвижения на основании анализа особенностей продукции [5]. В целях управления систематическими рисками стоит определить оптимальную структуру капитала и заключить договоры на финансирование по таким ставкам, которые позволят минимизировать WACC.

Выводы

На основании выполненных исследований разработаны рекомендации по адаптации существующих методик к оценке эффективности инновационных проектов, которые позволят получать более достоверные оценки. В работе были предложены способы повышения эффективности инновационного проекта, доказана значимость данных идей на примере проекта по созданию и внедрению геоинформационной системы на предприятии.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что доказана необходимость внесения изменений в существующие методики, изложены основные идеи по внесению данных изменений. В работе были выявлены и проанализированы факторы, оказывающие непосредственное влияние на эффективность проекта и предложены методы и способы управления выявленными факторами.

Значение полученных результатов исследования для практики подтверждается тем, что разработана методика управления факторами эффективности проекта, оценена эффективность проекта по созданию и внедрению геоинформационной системы, выявлены и проанализированы сценарии развития проекта, обоснован и осуществлен многокритериальный выбор наилучшего сценария. Полученные результаты систематизированы и доведены до сведения руководства предприятия.

В ближайшей перспективе исследования по данной тематике могут быть посвящены разработке новых методик оценки, учитывающих предложенные рекомендации по адаптации и специфические особенности инновационных проектов. Итогом таких исследований видится универсальная методика, одновременно позволяющая учесть все ключевые (отличительные) параметры проекта и подходящая для оценки любого инновационного проекта.

Литература

1. Мухина Т.Н., Минайченкова Е.И., Филатов В.В. Актуальные проблемы управления инновационной активностью предприятий // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Экономика и экологический менеджмент. 2015. № 2. С. 184-193.
2. Анисифоров А.Б., Анисифорова Л.О. Методики оценки эффективности информационных систем и информационных технологий в бизнесе: учебное пособие // СПб.: Санкт-Петербургский государственный политехнический университет. 2014.
3. Максимова Т.Г., Скорых С.В. Проблемы достоверности информации для оценки финансового состояния и экономической эффективности деятельности

современных промышленных акционерных обществ // Теория и практика общественного развития. 2017. № 1. С. 88-91.
4. Саати Т. Л. Принятие решений. Метод анализа иерархий // Саати Т.Л. М.: Радио и связь, 1993. 278 с.
5. Спиридонова Е.А. Управление инновациями: учебник и практикум для бакалавриата и магистратуры / Е.А. Спиридонова. М.: Издательство Юрайт, 2018. 298 с.

Кутлугульдина Лира Гарифовна
Год рождения: 1996
Университет ИТМО,
факультет систем управления и робототехники,
студент группы № R-4230,
направление подготовки: 24.04.02 – Системы управления движением и навигация,
e-mail: lgk242@gmail.com
Юльметова Ольга Сергеевна
Год рождения: 1984
Университет ИТМО,
АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор»,
к.т.н., доцент,
e-mail: olga@yulmetova.ru

УДК 67.02

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ СОЗДАНИЯ КОНТРАСТНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ДЛЯ ДЕТАЛЕЙ И УЗЛОВ ГИРОПРИБОРОВ

Л.Г. Кутлугульдина[1]

Научный руководитель – к.т.н., доцент **О.С. Юльметова**[1,2]

АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор»[2], Университет ИТМО[1]

Работа выполнена в рамках темы НИР «Исследование и разработка методов создания контрастных изображений для деталей и узлов гироприборов».

Аннотация
В работе исследуются и разрабатываются методы создания контрастных изображений на поверхности сферических узлов с помощью лазерного маркирования на базе поверхности нитрида титана и ниобия.
Ключевые слова
Лазерное маркирование, гироскоп, оптическая система съема.

Введение

Повышение качества изделий точного приборостроения, в том числе гироскопических приборов, требует целенаправленного роста уровня их производства путем разработки новых технологий, способных решить технологические задачи по обеспечению стабильности и управляемости функциональных характеристик изделий.

Стабильность функциональных характеристик в ряде случаев определяется постоянством шероховатости поверхности. Поэтому одним из возможных путей повышения качества изделий является исследование корреляции характера шероховатости и эксплуатационных параметров изделия.

В гироприборостроении широкое применение нашли гироскопы с неконтактным подвесом ротора. Неконтактный гироскоп относится к гироскопическим устройствам сверхвысоких точностей (10-6-5•10-4 °/ч). Разработка гироскопа с неконтактными подвесами началась в середине 20 века. В неконтактных подвесах реализуется состояние левитации, т.е. состояние, при котором ротор гироскопа «парит» в силовом поле подвеса

без какого-либо механического контакта с окружающими телами. Современные гироскопы с неконтактными подвесами – это сложнейшие приборы, которые вобрали в себя новейшие достижения техники.

Роторы являются основным конструктивным элементом шаровых гироскопов и представляют собой доведенный сферический узел, на наружную поверхность которого наносится контрастный рисунок, необходимый для функционирования оптоэлектронной системы съема (ОСС) информации.

Особенностью технологического процесса изготовления роторов ШГ является необходимость обеспечения требований по точности сферы (номинальный диаметр и несферичность) и величине дисбаланса - до десятых и сотых долей микрометра при имеющейся тенденции к миниатюризации изделия, что определяется перспективами его использования в аэрокосмической технике. При этом на стадии формообразования заготовки ротора необходимо предусматривать формирование элементов, обеспечивающих создание требуемого соотношения осевого и радиального моментов инерции ротора, что осуществляется перераспределением масс составных частей ротора относительно его геометрического центра. На окончательно обработанной наружной поверхности заготовки ротора осуществляется формирование функциональных элементов, например, тонкопленочного износостойкого покрытия для улучшения условий посадок ротора (в том числе и аварийных) и светоконтрастного растрового рисунка в виде полос, представляющих собой отрезки сферических винтовых линий, для съема сигнала с ротора посредством оптоэлектронной системы гироскопа [1–6].

Формирование изображения на роторе гироскопа является важным этапом создания гироскопа. От точности рисунка, его качества, контрастности зависит конечная точность создаваемого гироскопа.

Точность рисунка определяется технологией его формирования. При этом важным аспектом исследований является процесс изучения структурно-фазовых изменений поверхности в процессе нанесения изображений. Достаточно объективным инструментарием зарекомендовал себя термодинамический анализ и кинетическая оценка химических взаимодействий.

Для улучшения технико-экономических показателей гироприбора на роторах шаровых гироскопов предварительно методом катодно-ионной бомбардировки формируется тонкопленочное функциональное покрытие– износостойкое покрытие нитрида титана на роторах БЭСГ, сверхпроводящего ниобия на сферических заготовках роторов КГ. Данные покрытия выполняют свои функции по обеспечению износостойкости или сверхпроводимости, а также служат базой для формирования оптических рисунков.

Аналитический обзор методов создания контрастных изображений показал, что лазерное оксидирование является предпочтительным методом формирования светоконтрастного изображения на поверхности ротора шарового гироскопа, поскольку данная технология обладает преимуществом по всем критериям сравнения, начиная от экономичности процесса заканчивая точностными характеристиками полученного изображения.

Термодинамический анализ и кинетическая оценка химических взаимодействий

При лазерном оксидировании цветоообразование осуществляется за счет структурно-фазовых превращений поверхностного слоя. Идут химические реакции. При этом задачей маркирования является получение растрового рисунка толщиной меньше, чем слой тонкопленочного покрытия. Таким образом, в случае некачественного маркирования появляется возможность стравить поверхностный слой с сохранением целостности ротора.

Наиболее значимым функциональным параметром растрового рисунка является его оптическая контрастность, а в качестве основного параметра процесса лазерной обработки, определяющая контрастность, выступает мощность лазерного излучения.

Наиболее объективным методом оценки вероятности протекания какого-либо химического взаимодействия является определение изобарно-изотермического потенциала данной реакции.

Как было указано ранее, для улучшения технико-экономических показателей гироприбора на ротора исследуемых гироскопов наносится износостойкое покрытие нитрида титана, в случае БЭСГ, и слой ниобия, в случае КГ. Для дальнейших исследований были рассмотрены все возможные реакции взаимодействия нитрида титана и ниобия с кислородом, которые могут протекать при лазерном маркировании. Кислород был выбран, поскольку он вступает в реакции быстрее, чем остальные компоненты воздушной среды.

В таб. 1 и 2 представлены результаты расчета изобарно-изотермического потенциала для ряда реакций в системе нитрид титана – кислород и ниобий – кислород соответственно.

Таблица 1

Результаты расчета изобарно-изотермического потенциала в системе нитрид титана – кислород

Номер реакции	Уравнения реакции	Изобарно-изотермический потенциал (ΔG), кДж, для температуры	
		289 К	1000 К
1	$TiN+O_2=TiO+NO$	-761,75	-768,82
2	$TiN+1/2*O_2=TiO+1/2*N_2$	-849,58	-850,935
3	$TiN+5/4*O_2=1/2*Ti_2O_3+NO$	-980,62	-954,413
4	$TiN+3/4*O_2=1/2*\ Ti_2O_3+1/2*N_2$	-1068,4	-1036,53
5	$TiN+3/2*O_2=TiO_2+NO$	-1148,3	-1094,03
6	$TiN+O_2=TiO_2+1/2*N_2$	-1236,1	-1176,14

Таблица 2

Результаты расчета изобарно-изотермического потенциала в системе ниобий – кислород

Номер реакции	Уравнения реакции	Изобарно-изотермический потенциал (ΔG), кДж, для температуры	
		289 К	1000 К
1	$Nb + ½*O_2 = NbO$	–379,36	–316,95
2	$Nb + O_2 = NbO_2$	–739,62	–608,28
3	$Nb + 5/4*O_2 = ½*Nb_2O_5$	–882,17	–724,75

Важным условием протекания реакции является отрицательное значение изобарно-изотермического потенциала. При этом вероятнее всего будет протекать та реакция, изобарно-изотермический процесс которой минимален.

Таким образом, исходя из полученных данных мы можем определить, что для ротора БЭСГ наиболее вероятной будет реакция с образованием TiO_2, а для ротора КГ – с Nb_2O_5.

Однако наряду с вероятностью протекания реакции важна скорость ее протекания. Поскольку если вероятности протекания двух реакций примерно одинаковы, то результат будет определять скорость реакции. Кинетическую оценку мы можем определить, опираясь на уравнение Аррениуса и энергию активации.

По полученным расчетам были сделаны следующие выводы:

- наибольшей скоростью протекания реакции в системе TiN–O обладает TiO_2, далее Ti_2O_3 и с меньшей скоростью протекает реакция с образованием TiO;
- наибольшей скоростью протекания реакции в системе Nb–O обладает Nb_2O_5, далее NbO_2, затем NbO.

Экспериментальное исследование

В ходе экспериментальной проверки исследование выполнялась на воздухе с использованием системы прецизионной лазерной маркировки Минимаркер на базе иттербиевого импульсного волоконного лазера с длиной волны лазерного излучения 1,06 мкм.

В ходе исследования были выявлены оптимальные режимы для двух экспериментальных образцов – бериллиевый и ниобиевый диски, позволяющие модифицировать поверхность без деформации. Варьируемыми параметрами обработки являлась мощность P (от 1 до 20 Вт), скорость перемещения лазерного луча V (от 1 до 1000 мм/с), частота f (от 10 до 99 кГц) и длительность T импульсов (от 4 до 200 нс).

Оптимальные режимы, позволяющие модифицировать поверхность без деформации представлен в таб. 3 и 4.

Таблица 3

Набор оптимальных параметров установки для берилия

T, нс	f, кГц	W, Вт	V, мм/с	D, мкм	Плотность, лин/мин	Число проходов
4	99	5	85	50	250	1-4

Таблица 4

Набор оптимальных параметров установки для ниобия

№ режима	T, нс	f, кГц	W, Вт	V, мм/с	D, мкм	Плотность, лин/мин	Число проходов
1	4	99	4	100	50	1000	1
2	4	99	2	100	50	1000	3-5

Рентгенофазовый анализ

Для определения точной формулы соединений, образующихся после лазерного маркирования покрытия нитрида титана, были проведены рентгенофазовые исследования на дифрактометре «Brooker D8 Discovery».

На рис. 1 представлены результаты рентгенофазового анализа базовой поверхности покрытия нитрида титана и модифицированного слоя после трех и четырех

проходов лазером, так как именно эти два режима обеспечивают требуемую контрастность и являются перспективными для практического использования.

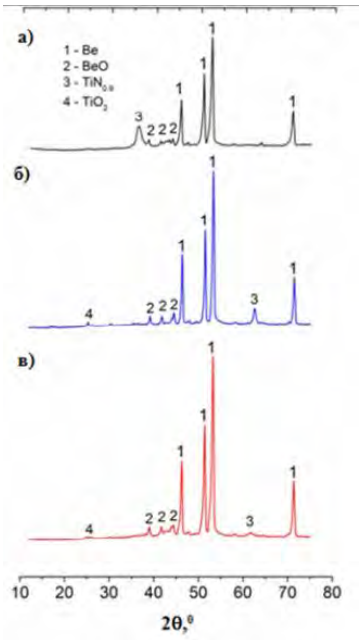


Рис. 1. Дифрактограммы поверхности нитрида титана после первого (а), второго (б) и четвертого (в) проходов

После лазерной обработки поверхности нитрида титана в результате теплового воздействия наблюдается рост анатаза – то есть оксида титана, что подтверждает теоретические расчеты.

На рис. 2 представлена дифрактограмма ниобия до и после лазерной обработки.

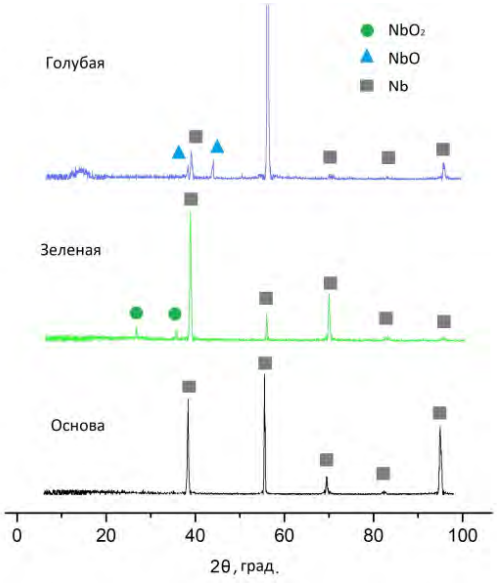


Рис. 2. Дифрактограммы ниобия до и после лазерного оксидирования

По результатам анализа дифрактограммы ниобия можно сделать вывод, что после лазерной обработки поверхности образца с использованием режимов из таб. 4 при однопроходной обработке формируется оксид ниобия *NbO* и *NbO2*.

Таким образом, сформированные на основе термодинамических расчетов прогнозы подтвердились, а проведение рентгенофазового анализа позволило установить соответствие цвета оксида с его стехиометрической формулой и определить режимы его получения.

Контроль шероховатости

При формировании рисунка на роторе гироскопа важным аспектом является минимизация деформации поверхности изделия.

Топология поверхности и ее шероховатость были оценены путем построения трехмерных топографий и расчетом стандартных параметров шероховатости на измерительной станции Hommel Tester T8000.

Полученные результаты оценки шероховатости поверхности представлены в таб. 5.

Таблица 5

Стандартные параметры шероховатости лазерного рисунка и базовой поверхности покрытия нитрида титана

Параметры шероховатости, мкм	R_a	R_q	R_z	R_{max}
До лазерной обработки	0,05	0,08	0,38	0,52
После 4-х проходов лазером	0,05	0,08	0,39	0,58

где R_a – среднее арифметическое отклонение профиля, Rq – среднеквадратическое отклонение профиля, R_z – высота неровностей профиля по 10 точкам, R_{max} – наибольшая высота поверхностей профиля.

Из таб. 5 видно, что набор параметров шероховатости остается практически неизменным после лазерной маркировки, что свидетельствует о том, что формирование цветового изображения осуществлялось путем локального лазерного оксидирования, не вызывая процесса испарения.

На рис. 3 представлена совокупность профилограмм поверхности ниобиевого образца до и после лазерной обработки с получением цветных оксидных пленок. При этом для оксидных пленок профили поверхности были получены вдоль и поперек хода лазерного луча.

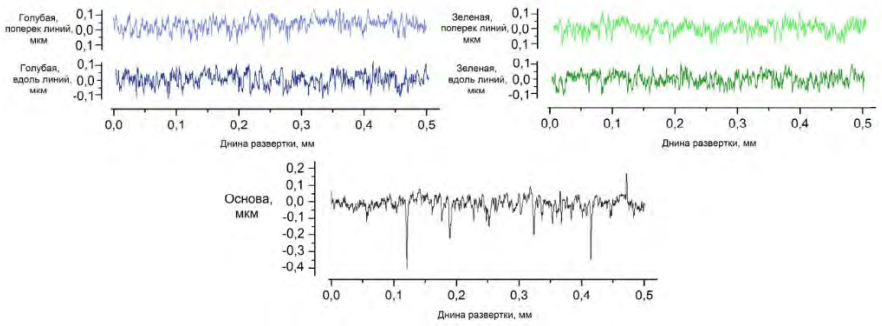


Рис. 3. Профили поверхности ниобиевого образца до и после лазерной обработки

Анализ профилограмм, представленных на рис. 3, свидетельствует о том, что лазерная обработка сглаживает поверхностные дефекты, создавая эффект полировки.

Лазерная обработка при меньшей мощности лазерного воздействия и большем числе проходов более эффективна. Таким образом, режимы, представленные в таб. 4, могут также быть использованы для финишной лазерной полировки ниобиевых поверхностей.

Заключение

В настоящее время бескарданный электростатический гироскоп находит применение в различных областях техники. Основным конструктивным элементом прибора является оптическая система съема информации со сферическим ротором. К ротору гироскопа предъявляется комплекс требований и особое внимание уделяется оптическому рисунку, предопределяющему оптический съем информации об угловом положении ротора в составе гироскопа. Требования к точности ротора повышаются и это требует осуществить поиск новых методов создания светоконтрастного изображения, наносимого на гироузел. От контрастности рисунка, его глубины, четкости зависит точность считываемой оптическими системами съема информации, а как следствие точность всего гироприбора.

Лазерное маркирование является перспективным методом создания рисунка на узлах гироскопических приборов и имеет ряд значительных преимуществ по сравнению с традиционными методами маркировки прецизионных сферических узлов.

В ходе исследований и экспериментов была разработана химическая модель, описывающая процесс формирования светоконтрастного изображения на поверхности ротора гироскопа методом лазерного маркирования, основанная на термодинамическом анализе и кинетической оценки с применением уравнения Аррениуса. Разработанные методы формирования контрастного рисунка на роторах шаровых гироскопов позволили обеспечить функциональность ОСС за счет контрастности полученных изображений, сохранив при этом форму ротора, а также обеспечили возвратность технологии за счет возможности стравливания поверхностного слоя нитрида титана и ниобия, в случае деформации рисунка и повторного его нанесения.

Литература

1. Шульман, Г.Е. Шаровые гироскопы [Текст]: (Обзор зарубежной литературы)/ Шульман Г.Е. Ленинград: Судостроение. 1979. 92 с.
2. Yulmetova O.S. Composition analysis of thin films formed on beryllium surfaces under pulsed laser action by the method of chemical thermodynamics / O.S. Yulmetova, A.G. Scherbak // International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2018. Vol. 97. No. 9–12. P. 3231–3236.
3. Способ изготовления ротора электростатического гироскопа // Патент 2498224 РФ. 10.11.2013 / О.С. Юльметова, А.Г. Щербак, В.П. Вейко и др.
4. Сафонов А.Л., Сафонов Л.И. Прямоугольные электрические соединители. Лазерная маркировка электрических соединителей / Сафонов А.Л., Сафонов Л.И. // Технологии в электронной промышленности №4. - 2010.
5. Юльметова, О.С. Ионно–плазменные и лазерные технологии в гироскопическом приборостроении: автореф. дисс. … д-ра техн. наук: 05.11.14 / Юльметова О.С. СПб. 2019. 244 с.
6. Ландау, Б.Е. Совершенствование методов оценки формы ротора как фактор повышения точности электростатического гироскопа / Ландау Б.Е., Леонова Т.Г., Федорович С.Н., Филиппов А.Ю. // Материалы XXXI конференции памяти выдающегося конструктора гироскопических приборов Н. Н. Острякова. 2018. С. 345–351.

Миропольцев Максим Андреевич
Год рождения: 1996
Университет ИТМО,
факультет фотоники и оптоинформатики,
студент группы № V4235,
Направление подготовки: 12.04.03 – Фотоника и оптоинформатика,
e-mail: miropoltsev.m@gmail.com
Маслов Владимир Григорьевич
Год рождения: 1945
Университет ИТМО,
факультет фотоники и оптоинформатики,
д.ф.-м.н.,
e-mail: maslov04@bk.ru

УДК 537.632.5

ИССЛЕДОВАНИЕ СПЕКТРОВ МАГНИТНОГО КРУГОВОГО ДИХРОИЗМА ДВУМЕРНЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ КОЛЛОИДНЫХ НАНОКРИСТАЛЛОВ СЕЛЕНИДА КАДМИЯ

М.А. Миропольцев

Научный руководитель – д.ф.-м.н. **В.Г. Маслов**

Университет ИТМО

Аннотация
В работе исследовались закономерности, проявляющиеся на спектрах магнитного кругового дихроизма нанопластин CdSe. Для оценки параметров наблюдаемого магнитооптического эффекта была предложена и выполнена аппроксимация спектров поглощения и магнитного кругового дихроизма. По результатам аппроксимации были определены параметры Фарадея, эффективные g-факторы экситонных состояний, а также энергии расщепления Зеемана исследуемых образцов. Нами было продемонстрировано, что магнитный круговой дихроизм может стать перспективным методом для дополнительного экспериментального изучения широкого класса наноматериалов.
Ключевые слова
Коллоидные нанопластины, двумерные наноматериалы, селенид кадмия, эффект Зеемана, магнитный круговой дихроизм

В последнее время коллоидные полупроводниковые нанопластины (НПЛ) стали одним из самых многообещающих типов флуоресцирующих нанокристаллов. Особый интерес представляют коллоидные нанопластины селенида кадмия (CdSe). Свойства, которые отличают их от более широко известных в академической и индустриальной среде квантовых точек – это узкая полоса фотолюминесценции и очень короткие времена жизни. Данные особенности делают НПЛ более перспективными для ряда практических применений, в числе которых – высокоскоростные светоизлучающие элементы и фотодетекторы с тонкой настройкой длинноволнового края поглощения.

Несмотря на большое количество работ, выполненных за последнее десятилетие, нанопластины еще далеки от использования в реальных системах. Одна из причин этого

– недостаточное понимание внутренних процессов, происходящих в этих объектах. Обычно экспериментальное изучение энергетической структуры нанокристаллов осуществляется посредством абсорбционной и фотолюминесцентной спектроскопии. Тем не менее, иногда данные методы не позволяют получить исчерпывающую информацию о высокоэнергетических электронных переходах в нанокристаллах, поскольку многие переходы перекрываются и не могут быть разрешены. В этом случае источником дополнительной информации может стать спектроскопия магнитного кругового дихроизма (МКД).

Магнитный круговой дихроизм – это явление неодинакового поглощения света с левой и правой круговой поляризацией, вызванное в объекте магнитным полем, ориентированным вдоль направления распространения света. МКД основан на эффекте расщепления электронных уровней (эффект Зеемана) и может содержать различную информацию об энергетической структуре изучаемых систем. Во-первых, применение МКД в качестве аналитического инструмента может помочь более точно идентифицировать положение полос оптических переходов в нанокристаллах. Во-вторых, спектры разностного поглощения в магнитном поле открывают доступ к простому экспериментальному определению зеемановского расщепления и g-факторов наблюдаемых возбужденных состояний. В-третьих, МКД может содержать прямые или косвенные данные о симметрии и вырождении электронных уровней исследуемого образца.

Насколько нам известно, для коллоидных нанопластин CdSe магнитный круговой дихроизм не был изучен недостаточно. Стоит отметить, что это касается и ряда других наноматериалов: за исключением некоторых работ метод МКД применялся редко, в то время как научные группы признают его потенциал [1]. В данной работе мы исследуем магнитный круговой дихроизм нанопластин CdSe с толщинами 5 и 6 монослоев полупроводника. Мы предлагаем упрощенный вариант аппроксимации спектра поглощения и используем молекулярный формализм для численной обработки спектра МКД. Приведенный анализ позволил выполнить оценку параметров Фарадея, эффективных g-факторов экситонных состояний, а также энергии расщепления Зеемана исследуемых образцов.

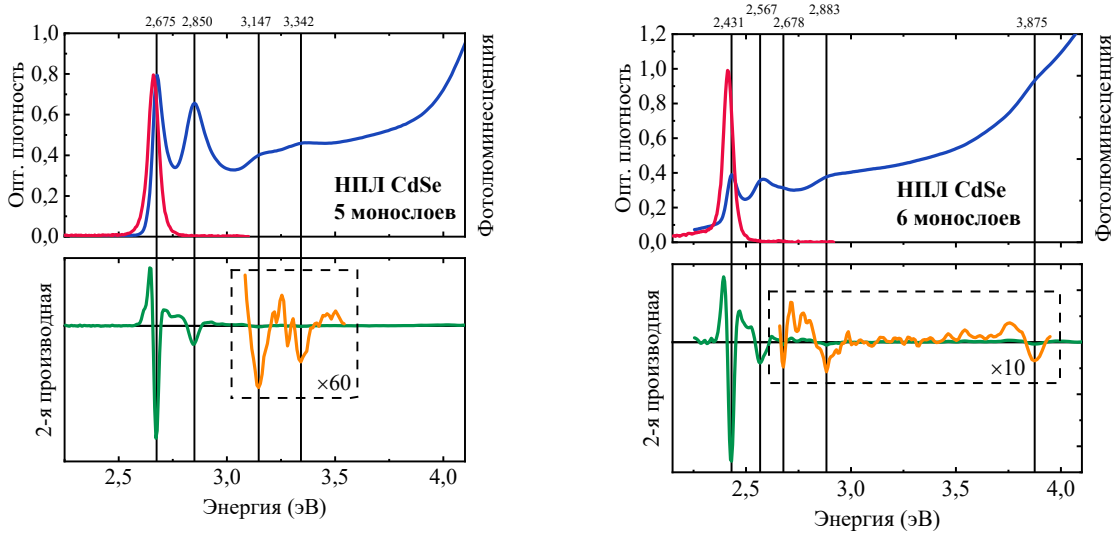


Рис. 1. Спектры поглощения и фотолюминесценции НПЛ CdSe с толщинами 5 и 6 монослоев. Верхние панели: спектры оптической плотности (синие кривые) и фотолюминесценции (красные кривые). Нижние панели: вторые производные оптической плотности (зеленые кривые) и их увеличенные фрагменты (оранжевые кривые)

Образцы нанопластин были синтезированы по известной методике [2] и растворены в органическом растворителе. Для каждого образца была проведена регистрация спектров поглощения и МКД на спектрофотометре кругового дихроизма Jasco J-1500 (Япония). Спектры МКД были зарегистрированы в магнитном поле с напряженностью от –1,5 до +1,5 Тл, ориентированном вдоль зондирующего пучка света. Для исключения ошибки величина напряженности поля дополнительно измерялась с помощью портативного гауссметра.

На рис. 1 представлены спектры поглощения и фотолюминесценции, а также вторая производная оптической плотности для образца НПЛ CdSe толщиной 5 монослоев полупроводника. Обработка спектров поглощения во всех случаях проводилась одинаково: сначала из поглощения образца вычиталось поглощение растворителя (базовая линия), а затем для полученной кривой рассчитывалась вторая производная. Использование второй производной является одним из самых простых и удобных методов обработки сигналов, позволяющих находить скрытые пики и получать значения положений переходов.На спектре поглощения НПЛ с толщиной 5 монослоев (верхняя панель слева на рис. 1) отчетливо видны максимумы, которые, как следует из литературных источников [3], могут быть атрибутированы переходам с первых подзон тяжелых и легких дырок в зону проводимости (hh-e и lh-e, соответственно). В области, отстоящей примерно на 0,5 эВ от фундаментального края поглощения, наблюдаются еще два перехода. В работе [4] утверждалось, что данные полосы могут соответствовать 2s возбужденным состояниям экситонов. И хотя их истинная природа неизвестна, для определенности полосы в указанной области будут обозначаться как hh-e:2s и lh-e:2s. Экспериментально определенные положения оптических переходов в нанопластинах CdSe толщиной 5 монослоев, а также соответствующие им значения из литературных источников сведены вместе в таб. 1.

Таблица 1

Энергии переходов в нанопластинах CdSe толщиной 5 монослоев

Тип перехода	Энергия перехода из 2-й производной, эВ (нм)	Энергия перехода из литературы, эВ (нм)
hh-e	2,675 (463)	2,687 (461) [3]
lh-e	2,850 (435)	2,867 (432) [3]
hh-e:2s	3,147 (394)	3,163 (392) [4]
lh-e:2s	3,342 (371)	3,351 (370) [4]

Переходя к рассмотрению спектра оптической плотности НПЛ с толщиной 6 монослоев (верхняя панель справа на рис. 1), стоит отметить несколько моментов. Во-первых, данный ансамбль имеет небольшую примесь более тонких нанопластин (что является обычным при их синтезе), об этом свидетельствует наличие слабого пика на 2,678 эВ. Во-вторых, в начале континуума наблюдается только один переход, который может быть атрибутирован переходу из спин-отщепленной зоны (so-e). Наконец, на спектре имеется полоса на 3,875 эВ, которую трудно однозначно атрибутировать. Из литературных источников для нанопластин данной толщины известны только положения переходов из первых подзон тяжелых и легких дырок. Результаты сравнения литературных и экспериментальных данных приведены в таб. 2.

Таблица 2

Энергии переходов в нанопластинах CdSe толщиной 6 монослоев

Тип перехода	Энергия перехода из 2-й производной, эВ (нм)	Энергия перехода из литературы, эВ (нм)
hh-e	2,431 (510)	2,424 (511) [3]
lh-e	2,567 (483)	2,591 (479) [3]
so-e	2,883 (430)	---
???	3,875 (320)	---

Спектры поглощения и магнитного кругового дихроизма для образцов НПЛ CdSe с толщинами 5 и 6 монослоев приведены на рис. 2. Для образца с толщиной 5 монослоев на кривой МКД (верхняя панель слева на рис. 2) заметны как переходы с формой производной (например, в области hh-e и lh-e), описываемые параметром A_1, так и переходы с формой гауссовой или лоренцевой функции (в области hh-e:2s и lh-e:2s), описываемые параметром B_0. Тем не менее, оценка относительного вклада параметров A_1 и B_0 в каждый из наблюдаемых переходов не может быть выполнена посредством такого поверхностного анализа и потребует дополнительных расчетов. Для образца с толщиной 6 монослоев (верхняя панель справа на рис. 2) спектры МКД оказываются более «грубыми». Это может быть следствием влияния дефектов и примеси нанопластин другой толщины, о чем уже говорилось ранее.

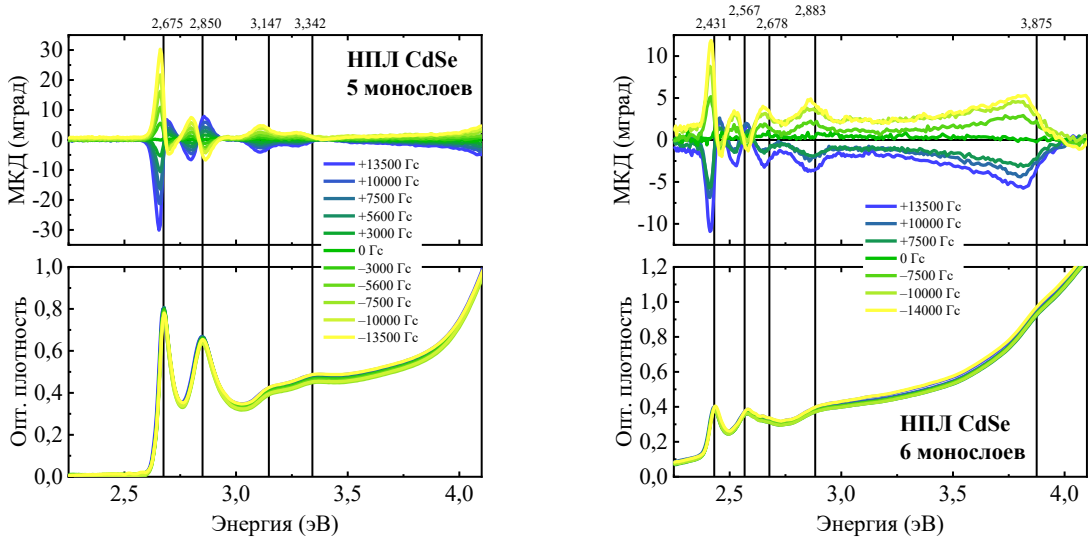


Рис. 2. Спектры МКД (сверху) и оптической плотности (снизу) для двух образцов нанопластин CdSe. В легенде – реальные значения напряженностей поля, измеренные гауссметром. Вертикальные линии показывают энергии переходов

Аппроксимация спектра МКД проводилась в соответствии с молекулярным формализмом, предполагающим, что результирующий спектр складывается из трех составляющих (параметров Фарадея): влияния расщепления Зеемана (параметр A_1), смешивания близко расположенных уровней (параметр B_0) и различной населенности подуровней основного состояния (параметр C_0). Вид спектра МКД будет описываться выражением:

$$\Delta D(E) = \gamma \mu_B B \left\{ A_1 \left(-\frac{df(E)}{dE} \right) + \left(B_0 + \frac{C_0}{k_B T} \right) f(E) \right\},$$

где γ — константа, зависящая от принятых единиц измерения, концентрации образца и длины оптического пути, μ_B — магнетон Бора, B — напряженность магнитного поля, $f(E)$ — форма спектральной кривой (нормированная функция Гаусса или Лоренца), k_B — постоянная Больцмана, T — температура. Для аппроксимации спектров поглощения и МКД использовалась лоренцева форма спектральной полос, а сплошное поглощение (континуум) в области высоких энергий было учтено полиномом пятого порядка. Результаты аппроксимации приведены на рис. 3.

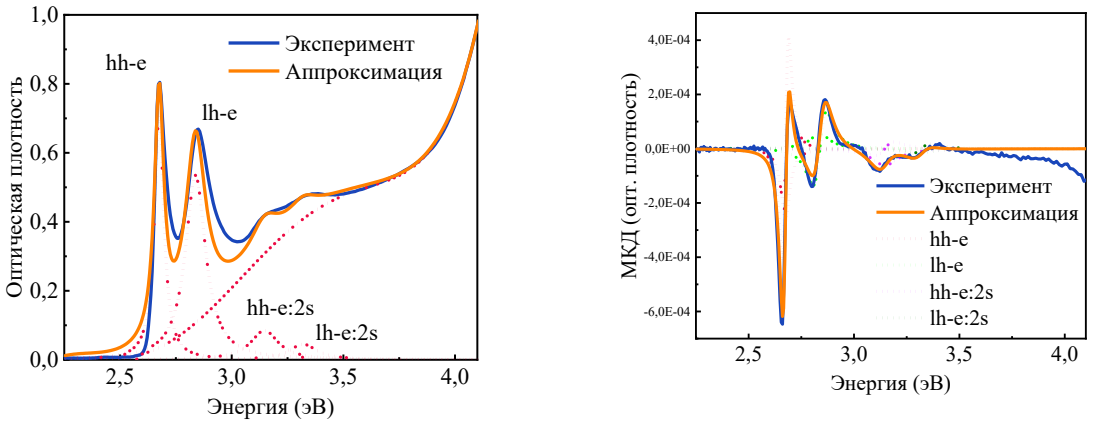


Рис. 3. Результат аппроксимации спектра поглощения (справа) и МКД (слева) НПЛ CdSe с толщиной 5 монослоев, зарегистрированных в магнитном поле +1 Тл

Вычисленные посредством аппроксимации параметры спектров поглощения и МКД нанопластин CdSe с толщиной 5 монослоев, позволяют рассчитать относительные величины параметров Фарадея $\frac{A_1}{D_0}$ и $\frac{B_0}{D_0}$, где D_0 – величина, определяющая силу диполя (квадрат дипольного момента перехода). Кроме того, формулы

$$\frac{A_1}{D_0} = 2g^*_{eff}, \qquad \Delta E = g^*_{eff}\mu_B B = \frac{A_1}{D_0}\frac{\mu_B B}{2}$$

позволяют рассчитать значения расщепления Зеемана (ΔE) и эффективного g-фактора экситона (g^*_{eff}). Полученные для наблюдаемых переходов значения приведены в таб. 3.

Таблица 3

Результаты расчета параметров Фарадея, ΔE и g-фактора

Тип перехода	hh-e	lh-e	hh-e:2s	lh-e:2s
Положение, эВ	2,675	2,838	3,147	3,32
$\frac{A_1}{D_0}$	0,264	0,256	0,421	0,531
$\frac{B_0}{D_0}$, эВ$^{-1}$ (1/см$^{-1}$)	– 6,24635 (– 0,00077)	1,80134 (0,00022)	– 12,61637 (– 0,00156)	– 5,88958 (– 0,00073)
ΔE, мэВ	0,008	0,007	0,012	0,015
g^*_{eff}	0,132	0,128	0,21	0,266

Значения $\frac{A_1}{D_0}$ получились примерно того же порядка, что и у высокосиметричных молекул, например, коронена. Ненулевые значения $\frac{B_0}{D_0}$ хорошо согласуются с тем фактом, что подзоны в нанопластинах расположены близко друг к другу, что благоприятствует их смешению. Особый интерес представляют полученные значения энергии расщепления Зеемана. Они оказываются на порядок ниже, чем для эпитаксиальных квантовых ям, и соответствуют таковым для квантовых точек CdSe [5]. Аналогично, величины эффективного g-фактора у нанопластин получаются того же порядка, что и у КТ CdSe, в то время как из знак соответствует полученному ранее для квантовых ям. На основании полученных в данной работе результатов можно сформулировать следующие выводы:

1. нанопластины CdSe проявляют магнитный круговой дихроизм для всех видимых переходов, при этом все переходы оказываются вырожденными;
2. оптические переходы в спектрах поглощения нанопластин удовлетворительно описываются лоренцианами, что подтверждает малость неоднородного уширения;
3. величины параметра Фарадея $\frac{A_1}{D_0}$ у нанопластин того же порядка, что и величины $\frac{A_1}{D_0}$ у высокосимметричных молекул;
4. эффективные g-факторы переходов по величине соответствуют рассчитанным у КТ CdSe, при этом их знак соответствует полученному ранее у квантовых ям.

Литература

1. Han B. et al. Magnetic Circular Dichroism in Nanomaterials: New Opportunity in Understanding and Modulation of Excitonic and Plasmonic Resonances // Advanced Materials. Wiley Online Library. 2018. P. 1801491.
2. Prudnikau A., Chuvilin A., Artemyev M. CdSe–CdS Nanoheteroplatelets with Efficient Photoexcitation of Central CdSe Region through Epitaxially Grown CdS Wings: 39 // Journal of the American Chemical Society. ACS Publications. 2013. Vol. 135, № 39. P. 14476–14479.
3. Ithurria S. et al. Colloidal nanoplatelets with two-dimensional electronic structure: 12 // Nature materials. Nature Publishing Group. 2011. Vol. 10, № 12. P. 936.
4. Vasiliev R.B. et al. High-energy exciton transitions in quasi-two-dimensional cadmium chalcogenide nanoplatelets: 16 // Physical Review B. APS. 2017. Vol. 95, № 16. P. 165414.
5. Kuno M. et al. Magnetic circular dichroism study of CdSe quantum dots: 10 // The Journal of chemical physics. AIP. 1998. Vol. 108, № 10. P. 4242–4247.

Нгуен Зуи Хынг
Год рождения: 1993
Университет ИТМО,
факультет прикладной оптики,
студент группы В4202,
направление подготовки: 12.04.02 – Оптотехника,
e-mail: duyhung121093@gmail.com
Ежова Ксения Викторовна
Год рождения: 1981
Университет ИТМО,
факультет прикладной оптики,
доцент, доцент,
e-mail: ezhovakv@itmo.ru

УДК 004.932

РАЗРАБОТКА ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ ПРИНЦИПОВ СТЕРЕОЗРЕНИЯ

З.Х. Нгуен

Научный руководитель – к.т.н, доцент **К.В. Ежова**

Университет ИТМО

Аннотация
В работе рассматриваются основные этапы создания и реализации макета универсальной, относительно недорогой измерительной системы на основе принципов стереозрения. В частности, уделяется особое внимание вопросам разработки, анализа, исследования особенностей и точности измерений пассивной системы стереозрения, как измерительного устройства. В ходе представленной работы были выполнены следующие процедуры: калибровка отдельной камеры, калибровка стереокамеры, выпрямление и сравнение стереоизображений.
Ключевые слова
Стереозрение, калибровка, 3D - реконструкция, карта глубины, измерительная система.

Введение

В автоматизированных системах часто требует измерить расстояние до объекта. Сейчас в таких системах часто используют лазерные дальномеры, стереоскопические дальномеры и другие. Основными недостатками лазерных дальномеров являются сложность измерения подвижных объектов и опасность для зрения. Для военных целей еще используют стереоскопические дальномеры, но их трудно автоматизировать, например для установки на беспилотных машинах. Целью данной работы является разработка макета универсальной дешевой измерительной системы на основе принципов стереозрения и создание программного обеспечения для обработки результатов измерений.

Основной принцип стереоэффекта

В методе стереоэффекта используется две идентичные камеры, оптические оси которых параллельны друг к другу (рис. 1). Камеры расположены на расстояние b, которое называется базой системы.

Точка N на поверхности M, параллельной линий d, проходящей через центры объективов камер, - интересующий объект наблюдения. Необходимо измерить расстояние от плоскости M до линий d, соединяющей оптические центры камер [1, 2]. На рис. 1 показаны обозначения:

- $О_л$ и $О_п$: центры объективов левой и правой камеры соответственно.
- $СП_л$ и $СП_л$: светочувствительные плоскости левой и правой камер.
- n1, n2: проекции точки N на светочувствительные поверхности.
- f: фокусное расстояние объективов.
- В данном случае линейный параллакс будет равен:

$$p = A - b = |a_1| + |a_2|.$$

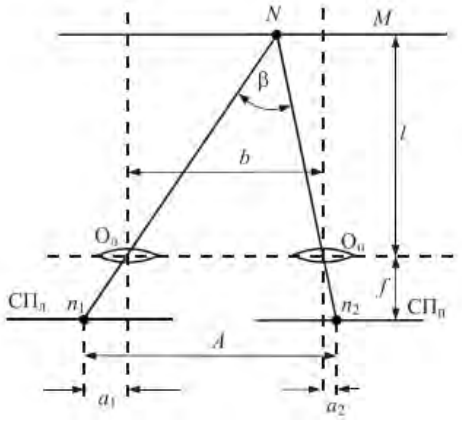


Рис. 1. К пояснению измерения расстояния до наблюдаемого объекта

Так как треугольники n_1Nn_2 и $О_лNО_п$ подобны, следует что

$$\frac{b}{A} = \frac{l}{l+f}.$$

Отсюда получается расстояние:

$$l = \frac{bf}{A-b}.$$

С учетом выражения параллакса p, получим окончательно

$$l = \frac{bf}{p}.$$

Из полученного выражения следует, что величина параллакса при известном базисе и фокусном расстоянии камер позволяет однозначно определить расстояние до любой точки наблюдаемого объекта, отличающейся по яркости и/или цвету от соседних точек.

Недостатки измерительных приборов, работающих на основе принципов стереозрения, заключаются в том, что при их применении трудно обеспечить точное соответствие для пикселов на изображениях объекта, полученных с двух камер в бесструктурных областях, вследствие чего невозможно обеспечить достаточную точность получаемых 3D-изображений, и наличие проблемы сшивания.

Основные этапы работы

Процесс создания измерительной системы на основе принципов стереозрения состоит из следующих этапов:

- Разработка схемы измерительной системы.
- Калибровка камеры и коррекция дисторсии камеры.
- Стереокалибровка системы из 2х камер.
- Перепроекцирование снимков стереопар.
- Сопоставление стереоизображений.
- Определение расстояния до объекта и создание карты глубины.

Рассмотрим более подробно методы и алгоритмы необходимые для проведения измерений.

Калибровка камеры

На практике, камеры не идеальны и необходимо калибровать их перед работой. Входным данным калибровки являются изображения калибровочного объекта. Результатами калибровки являются внутренняя матрица и вектор дисторсии. Зная вектор дисторсии, мы можем скорректировать дисторсию на снятых изображениях [3].

Внутренняя матрица камеры $M = \begin{bmatrix} 0 & f_x & c_x \\ 0 & f_y & c_y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$,

где:

- f_x , f_y: фокусное расстояние по обеим координатам,
- (cx, cy): координаты главной точки.

Вектор дисторсии B = [k_1, k_2, p_1, p_2, k_3].

Перепроецирование стереопары

Под перепроекцированием стереопары понимают процесс выравнивания плоскости снимок стереопары так, чтобы они оказались точно в одной плоскости, а строки изображений были идеально совмещены, как показано на рис. 2.

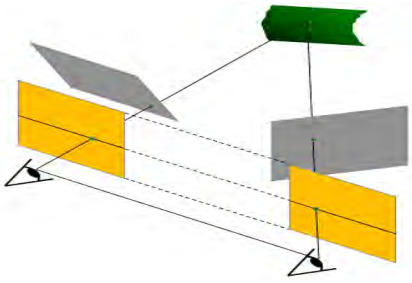


Рис. 2. Процесс выравнивания плоскости снимок стереопары

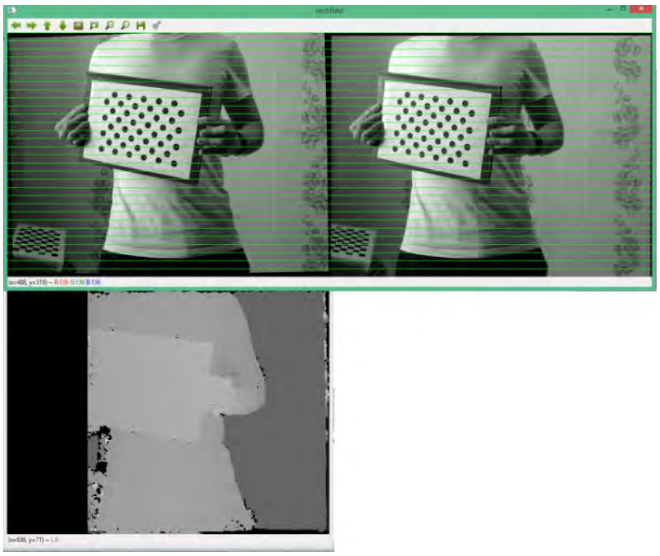


Рис. 3. Верхняя строка: изображения, полученные от левой и правой камер. Нижняя строка: карта глубины сцены

Сопоставление стереопары

После того как изображения выровнены, выполняется сопоставление стереоизображений. Оно заключается в нахождении соответственных точек в изображениях с двух разных камер, как показано на рис. 4.

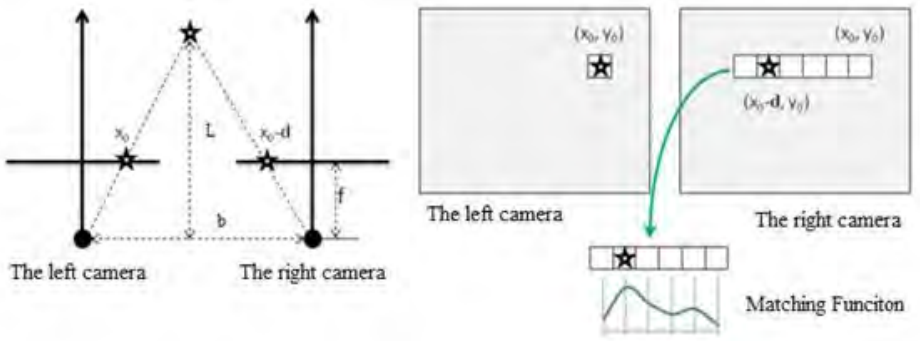


Рис. 4. Процесс выравнивания плоскости снимок стереопары

Зная диспаратности точек, находящихся в областях, которые видны с обеих камер, можем создать карту глубины сцена. На рис. 3 представлена карта – глубины, полученная нашим измерительным прибором. На карте глубины предмет будет светлее, если он ближе к камерам и наоборот если дальше.

Схема макета измерительной системы

На рис. 5 представлена схема разработанной измерительной установки.

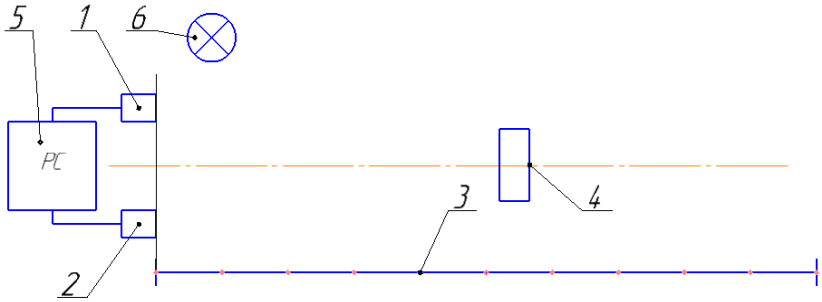


Рис. 5. Схема макета установки

В составе установки входят:
1,2: Камера 1 и 2
3. Рулетка
4. Тест – объект
5. Компьютер
6. Дополнительный источник освещения (вариативно)

Наличие дополнительного источника освещение обеспечивает достаточную освещенность тест-объекта при плохом освещении.

Анализ результатов

Программная часть работы реализована на языке C++ с подключением библиотеки OpenCV версии 3.2.0 в редакторе QtCreator. В данной работе с обучающей целью были использованы две идентичные недорогие веб-камеры Logitech C270(рис. 6). Их основные характеристики: разрешение: 640 * 480, угловое поле 2w = 60°, частота кадров в секунду при записи видео: 30, матрица: CMOS, тип фокусировки: постоянный фокус.

Калибровка камеры

В данной работе в качестве калибровочного объекта были выбраны шахматная доска с 9 x 6 углами и сетка кругов с размерами 4 x 11, которые показаны на рис. 7.

Рис. 6. Веб-камера Logitech C270 HD (640 * 480 pix)

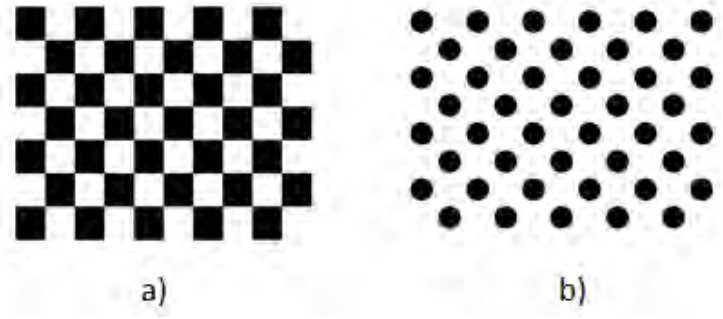


Рис. 7 a) Шахматная доска с 9 x 6 углами, b) Сетка кругов с 4 x 11 углами

На рис. 8 показан график зависимости ошибки репроекции от числа изображений.

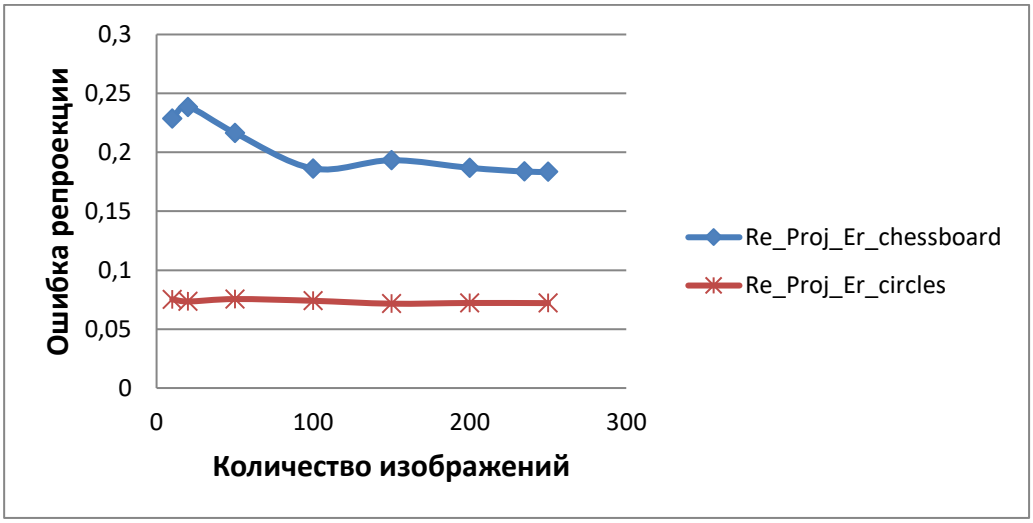


Рис. 8. График зависимости ошибки репроекции от числа изображений

Из графика можно делать выводы:

- Чем больше число изображений, тем стабильнее полученные характеристики, т.е. калибровка очень чувствительна к шумам.
- Калибровка с сеткой кругов дает ошибку репроекции гораздо меньше, чем в случае с шахматной доской.

Зная внутреннюю матрицу и вектор дисторсии, мы можем корректировать дисторсию на входных изображениях.

Реализация измерительной системы

Поскольку мы не знаем фокусное расстояние камеры в мм, мы не можем прямо определить расстояние от системы до тест-объекта через диспаратность (в пикселях). Поэтому нам необходимо определить аппроксимирующую функцию зависимости расстояния от диспаратности.

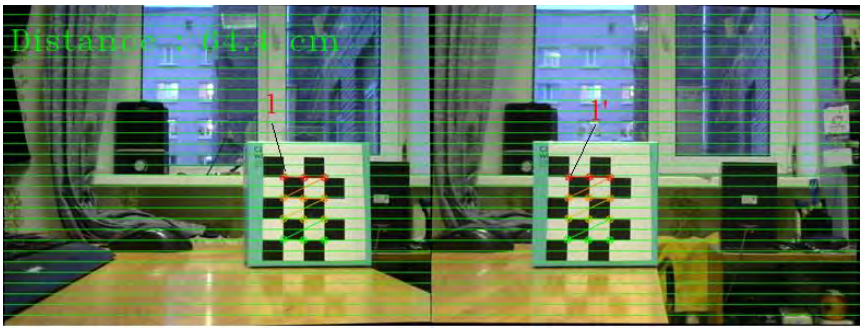


Рис. 9. Тест-объект: шахматная доска с 3 * 4 углами

В качестве тест-объекта выбрана шахматная доска с 3 х 4 углами, показанная на рис. 9. Это обусловлено чем, что в нашем распоряжении есть функция нахождения углов шахматной доски из библиотеки OpenCV. Она возвращает координаты углов на выровненных стереоизображениях. Зная абсциссы проекции одного и того же угла на левом и правом изображениях, мы без труда находим диспаратность в пикселях. Нужно отметить, что в нашей системе осуществляется измерение расстояние от установки до угла шахматной доски, отмеченного цифрами 1 и 1’ на рис. 9.

Эксперимент при базе системы b = 8 см

Схема макета для проведения эксперимента показана на рис. 5. В интервал расстояний [0.4, 0.9] м мы устанавливаем тест – объект на известное расстояние с шагом d = 5 см и записываем диспаратности. Мы знаем, что расстояние обратно пропорционально диспаратности [4], поэтому будем аппроксимировать функцию зависимости расстояния от диспаратности степеной функцией с помощью Excel (построить линию тренда). В данном случае была получена функция:

$$y = f(x) = 3609{,}1x^{-0{,}895} \quad (1)$$

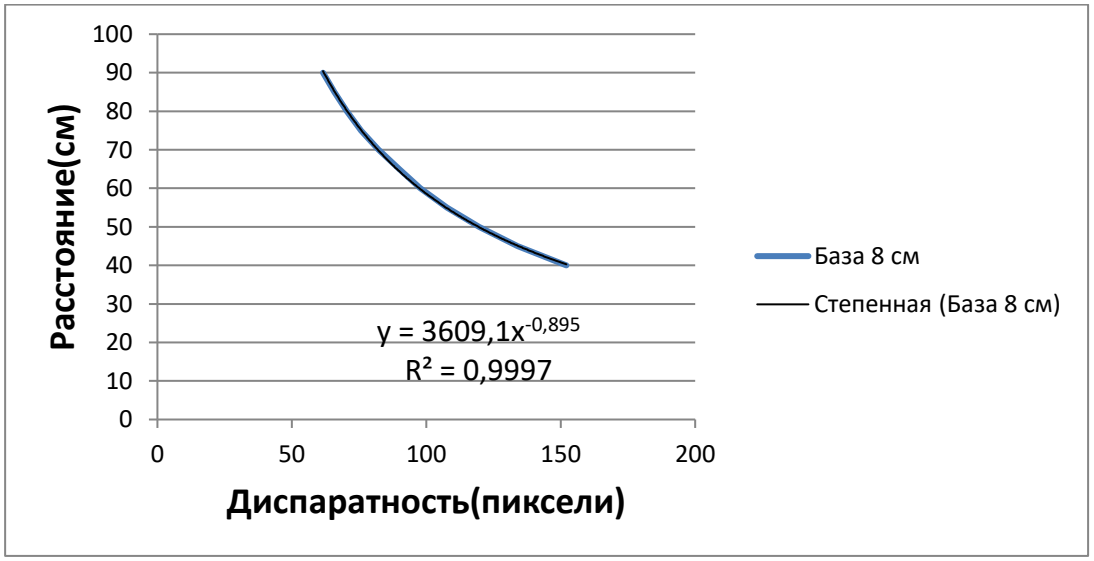


Рис. 10. График зависимости расстояния от диспаратности и график аппраксимирующей функции при базе 8 см в интервале расстояния [0.4,0.90] м

Получив аппроксимирующую функцию, подставляем значения диспаратности

обратно и рассчитываем расстояния до тест-объекта. При аппроксимирующей функции (1) относительная погрешность между рассчитанными расстояниями с помощью аппроксимирующей функции и истинными расстояниями меньше 1 %. Нужно отметить, в данном случае использовалась база система 8 см и интервал измерения [0.4,0.9] м (рис. 10).

Эксперимент при базе системы b = 15 см

При базе b = 15 см повторяются те же испытания, проведенные при базе b = 8 см. При диапазоне расстояния [0.55,1.5] м получили функцию тренда:

$$y = f(x) = 6181x^{-0,889} \quad (2)$$

Относительная погрешность между истинными расстояниями и расстояниями, полученными по аппроксимирующей функции при базе 15 см в интервале [0.55,1.5] м не превышает 1 %. Зная аппроксимирующую функцию и диспаратность, мы можем вычислить расстояние от системы до объекта. Данная система позволяет измерить расстояние до тест-объекта в режиме реального времени.

Заключение

В данной работе был разработан макета измерительной системы на основе принципов стереозрения с базой 8 и 15 см Относительная погрешность прибора в рекомендованном диапазоне не превышает 1%. Результаты работы были опубликованы на XLVIII научной и учебно-методической конференции Университета ИТМО и на конференции SPIE Optical Metrology 2019. В дальнейшем планируется повысить точность прибора и добавить функцию измерения расстояния до произвольного объекта.

Литература

1. Красильников Н.Н. Цифровая обработка 2D- и 3D-изображений: учеб. пособие. СПб.: БХВ-Петербург. 2011. 608 с.: ил. (Учебная литература для вузов).
2. Нгуен Х.В., Активная стереоскопическая оптико-электронная система анализа пространства для транспортных средство: дис. … канд. техн. наук: 05.11.07. Спб, 2014. 141 с.
3. Adrian Kaehler, Gary Bradski. Learning OpenCV 3. O'Reilly 2017.
4. Локтев Д.А., Алфимцев А.Н. Измерение расстояния до движущегося объекта с помощью комплексной системы видеомониторинга. Инженерный журнал: наука и инновации. 2013. вып. 11. URL: http://engjournal.ru/catalog/it/hidden/996.html.

Никитин Иван Сергеевич
Год рождения: 1995
Университет ИТМО,
факультет лазерной фотоники и оптоэлектроники,
студент группы № L4273,
направление подготовки: 11.04.02 – Инфокоммуникационные технологии и системы связи,
e-mail: nikitin.one@mail.ru
Куликов Андрей Владимирович
Год рождения: 1986
Университет ИТМО,
факультет лазерной фотоники и оптоэлектроники,
к.т.н., доцент,
НИЦ Световодной фотоники,
зав. лаб.,
e-mail: a.kulikov86@gmail.com

УДК 681.7.068.2

СИЛЬНОНАПРАВЛЯЮЩИЕ КВАРЦЕВЫЕ ОДНОМОДОВЫЕ СВЕТОВОДЫ ДЛЯ МИНИМИЗАЦИИ ИЗГИБНЫХ ОПТИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ НА МАЛЫХ ДИАМЕТРАХ НАМОТКИ

И.С. Никитин

Научный руководитель – к.т.н., доцент **А.В. Куликов**

Университет ИТМО

Работа выполнена в рамках темы НИОКР № 217678 «Разработка конструкции и технологии волоконно-оптических морских сейсмических буксируемых кос, предназначенных для геофизических исследований, поиска и разведки месторождений углеводородов».

Аннотация
В работе проведено экспериментальное исследование сильнонаправляющих кварцевых одномодовых световодов для минимизации изгибных оптических потерь на малых диаметрах намотки. Отработана технология изготовления методом модифицированного химического парофазного осаждения MCVD преформ для вытяжки оптического волокна с увеличенной до 10 мол.% концентрацией GeO2 в сердцевине. Из полученных преформ было вытянуто 6 образцов оптических волокон с диаметром кварцевой части 125 ±1 мкм поддерживающих одномодовый режим распространения на длине волны 1.55 мкм. Экспериментально исследованы оптические потери при сварке вытянутых образцов оптических волокон с оптическим волокном SMF–28. Проведено экспериментальное исследование изгибных оптических потерь при намотке вытянутых образцов оптических волокон на оснастки диаметром от 3 до 20 мм, а также проведен расчет оптических потерь в квазираспределенном волоконном акустооптическом кабельном преобразователе ВАО КП с массивом из 6 чувствительных элементов, разрабатываемых с использованием вытянутого образца оптического световода

Ключевые слова
Оптическое волокно, концентрация оксида германия, изгибные потери, волоконно-оптические распределенные системы, диаметр намотки.

Механизм возникновения оптических изгибных потерь в ВС является весьма актуальной проблемой и в последнее время эта проблема рассматривается все чаще. Создание специальных типов устойчивых к изгибу ВС позволит уменьшать изгибные потери при намотке, а также при монтировании оптических волокон ОВ в труднодоступных местах с различным радиусом изгиба. Существует несколько вариантов изготовления световодов такого типа: оптическое волокно с увеличенным показателем преломления сердцевины (с увеличенной концентрацией GeO_2), оптическое волокно с воздушными полостями в оболочке HAF, оптическое волокно с пониженным показателем преломления кольцевого слоя, наноструктурированное оптическое волокно и фотонно–кристаллическое оптическое волокно. В работе экспериментально исследуется тип устойчивого к изгибу ОВ с увеличенной концентрацией германия в сердцевине (уменьшенным диаметром сердцевины).

Потери при изгибе в волноводах с компенсированной оболочкой возникают по двум причинам [1–3]:

- в зависимости от радиуса изгиба световода, изменяется картина волноводных мод и при изгибе неизбежны потери;
- конечные участки модового пятна (экспоненциальный хвост) не могут двигаться быстрее скорости света.

Оптические преформы для вытяжки ОВ изготавливались методом модифицированного парофазного осаждения на станке OFC-12-729 фирмы NEXTROM. Для каждого типа преформы, вводились изменения в рецепте системы. Как показано в таб. 1 изменения наблюдаются в расходах GeCl4, поскольку необходимо было добиться требуемых характеристик показателя преломления сердцевины.

Таблица 1

Характеристики полученных преформ

№ образца	Наружний диаметр	Диаметр отражающего слоя	Диаметр сердцевины	Концентрация GeO2
№ 1	15,7 мм	4 мм	1,05 мм	10 %
№ 2	15,08 мм	4,15 мм	0,85 мм	10 %
№ 3	15,63 мм	4 мм	0,95 мм	9 %
№ 4	15,66 мм	4 мм	0,85 мм	8 %
№ 5	15,73 мм	4,1 мм	1,05 мм	8 %
№ 6	15,82 мм	4,15 мм	1 мм	8 %

Вытяжка ОВ производилась на башне вытяжки NEXTROM OFC-20SF. Для уменьшения аномального рассеяния было задано натяжение при вытягивании в 1,5 Н. В результате были вытянуты ОВ, параметры которых представлены в таб. 2.

Для проведения исследования изгибных оптических потерь использовалась схема на рис. 1. Световод, подсоединенный к источнику оптического излучения FOD 2107 и приемнику оптического излучения FOD 1204 наматывался на оснастку различного диаметра. Перед намоткой было зафиксировано опорное значение оптической мощности, когда диаметр изгиба световода превышал 500 мм. После световод наматывался на оснастку различного диаметра. При этом фиксировалось значение

оптической мощности, количество витков и диаметра оснастки. Возникающие оптические потери нормировались на длину намотанного световода. Собственные оптические потери в виду малой длины световода 10 м. не учитывались. Для каждого диаметра оснастки измерения проводились трижды, а значения оптических потерь рассчитывались с помощью выражения (1), при этом каждый раз наматывалась различная длина. Далее, для нахождения потерь дБ/виток, значения длины намотки делилось на количество витков, а полученный результат умножался на оптические потери дБ/м.

Таблица 2

Оптические параметры вытянутых оптических волокон

№ образца	Диаметр сердцевины	Оптические потери на 1.55 мкм	Длина волны отсечки	Разница показателей преломления сердцевина/оболочка	Числовая апертура (NA)
1	8,6 мкм	0,67 дБ/км	1280 нм	0,015	0,24
2	7,46 мкм	1,2 дБ/км	1000 нм	0,015	0,24
3	7,6 мкм	0,45 дБ/км	1480 нм	0,0135	0,2
4	6,7 мкм	1,5 дБ/км	1240 нм	0,012	0,187
5	8,3 мкм	0,45 дБ/км	1480 нм	0,012	0,187
6	7,9 мкм	0,9 дБ/км	1350 нм	0,012	0,187

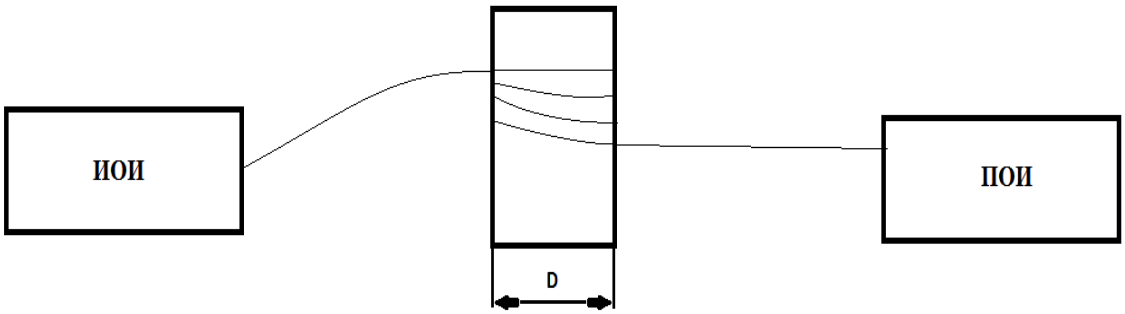


Рис. 1. Схема установки для измерения оптических потерь при изгибе,
ИОИ – источник оптического излучения, ПОИ – приемник оптического излучения

$$L\ (\text{дБ}) = 10 \times \log\ (P_{оп}/\ P_{вых}), \qquad (1)$$

где: Роп – опорное значение мощности на фотоприемнике, Рвых – значение мощности на фотоприемнике после намотки световода на оправку;

Поскольку в ВАО КП, после намотки ВС на оправку оно сваривается с обычным волокном SMF–28, помимо уменьшения изгибных потерь при изгибе ВС, необходимо было добиться так же малых потерь при их сварке. Такие требования не позволяют сильно увеличить устойчивость к изгибу ВС, т.к. увеличение показателя преломления сердцевины ведет к увеличению числовой апертуры, что сильно влияет на оптические потери при сварке двух разных волокон. Так, значения сварных потерь для каждого типа световода, представленные на рис. 2, хорошо коррелируются со значениями NA в таб. 2.

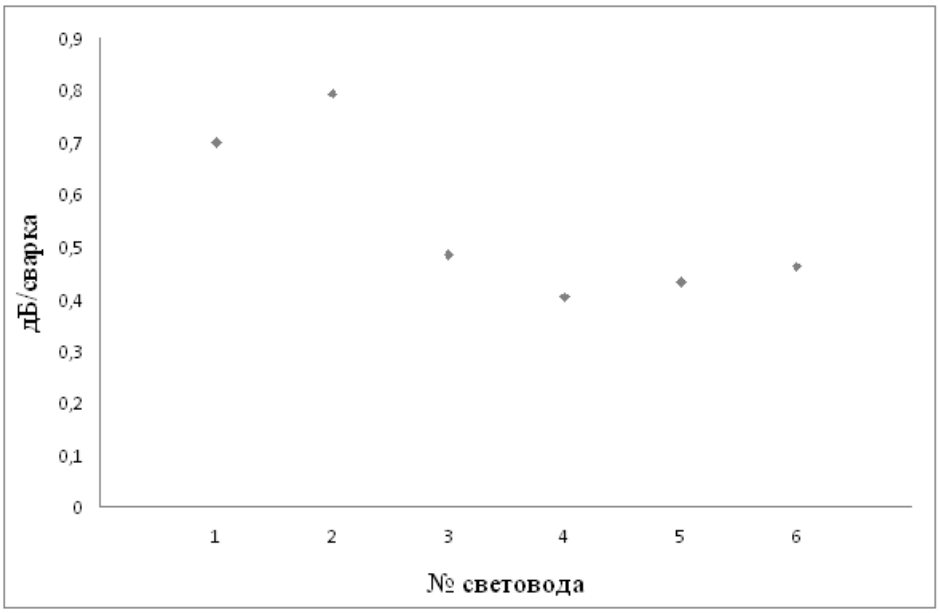


Рис. 2. Оптические потери при одной сварке с волокном SMF-28 для каждого световода на длине волны 1.55 мкм

Как показано на рис. 3, по сравнению с другими известными типами ОВ, световод №5 обладает относительно малыми изгибными потерями при значении сварных оптических потерь 0.425 дБ.

В итоге, для дальнейшего расчета оптических потерь в квазираспределенном волоконном акустооптическом кабельном преобразователе с массивом из 6 чувствительных элементов был выбран световод №5, с диаметром сердцевины 8.3 мкм, NA 0.187 и концентрацией GeO_2 в сердцевине 8 мол.%.

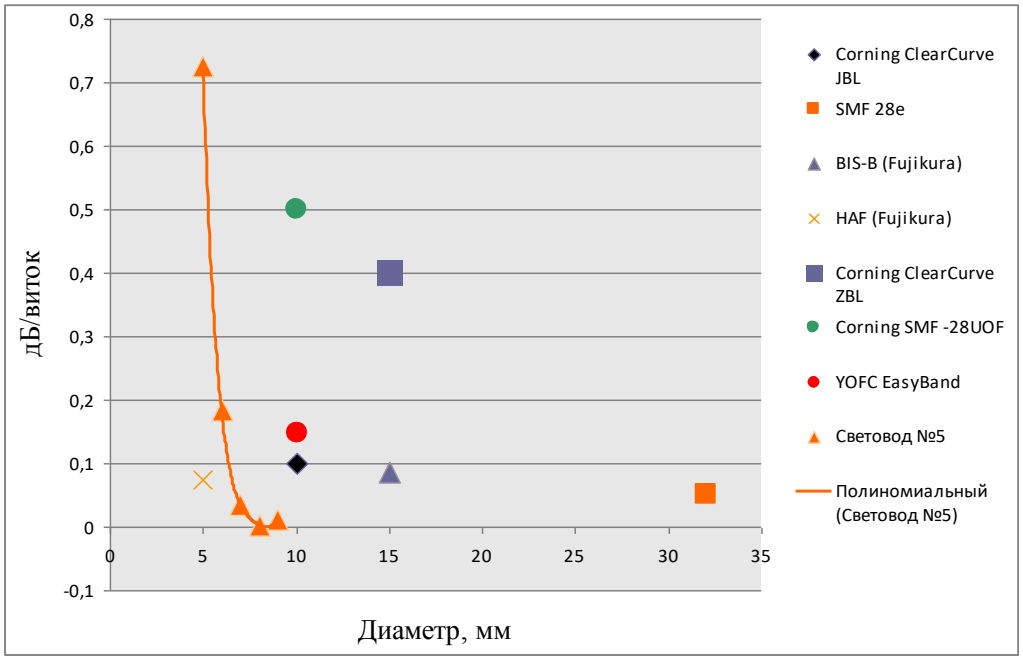


Рис. 3. Значение оптических потерь на длине волны 1,55 мкм для различных диаметров намотки для известных типов ОВ и экспериментально изготовленного световода №5

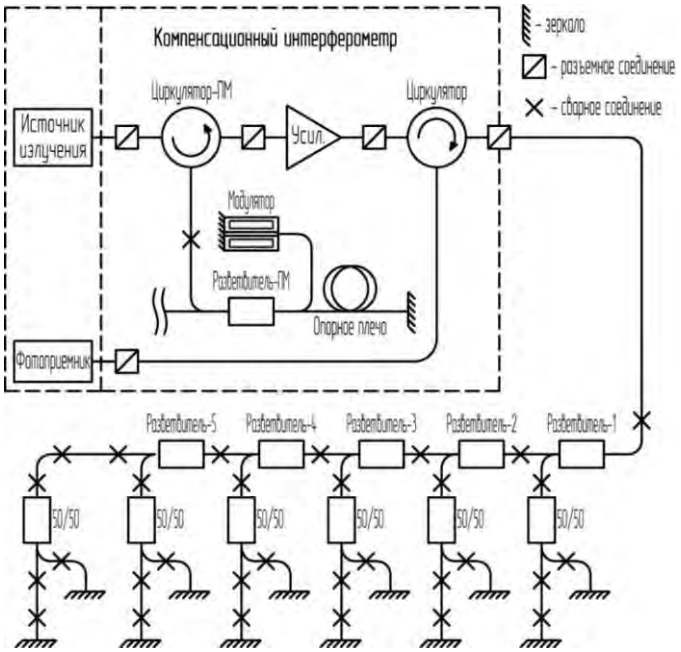


Рис. 4. Оптическая схема

При намотке 17,2 м. разработанного чувствительного световода с малыми изгибными потерями на оправку диаметром 18 мм. и сварке его с двух сторон с ОВ SMF – 28, оптические потери в представленной на рис. 4 оптической схеме для общего интерферометрического импульса Pint составили 21,64 дБ.

Таким образом, в ходе работы были выполнены следующие задачи:

1. Отработана технология изготовления MCVD методом преформ для вытяжки оптического волокна с увеличенной до 10 мол.% концентрацией GeO2 в сердцевине.
2. Из полученных преформ были вытянуты образцы оптических волокон с диаметром кварцевой части 125 ±1 мкм поддерживающих одномодовый режим распространения с линейными оптическими потерями от 0.45 до 1.5 дБ/км на длине волны 1.55 мкм.
3. Экспериментально исследованы оптические потери при сварке вытянутых образцов оптических волокон с оптическим волокном SMF-28. Измеренные оптические потери для образца световода с диаметром сердцевины 8.3 мкм, NA 0.187 и концентрацией GeO2 в сердцевине 8 мол.% при сварке с оптическим волокном SMF-28 составили 0.425 дБ на длине волны 1.55 мкм.
4. Проведено экспериментальное исследование изгибных оптических потерь при намотке вытянутых образцов оптических волокон на оснастки диаметром от 3 до 20 мм. Установлено, что для образца с диаметром сердцевины 8.3 мкм и NA 0.187 и концентрацией GeO2 в сердцевине 8 мол.% потери при диаметре намотки 3 мм не превышают 10 дБ/виток на длине волны 1,55 мкм, а при увеличении диаметра намотки «быстро» уменьшаются и при диаметре намотки 7 мм и более изгибных оптических потерь не наблюдается;
5. Проведен расчет оптических потерь в квазираспределенном волоконном акустооптическом кабельном преобразователе с массивом из 6 чувствительных элементов, разрабатываемых с использованием вытянутого образца оптического световода с диаметром сердцевины 8.3 мкм и NA 0.187 и концентрацией GeO2 в сердцевине 8 мол.%.

Литература

1. Никоноров Н.В., Шандаров С.М. «Волноводная фотоника». Учебное пособие, курс лекций. СПб: СПбГУ ИТМО, 2008 г. 67 стр.
2. Маругин А.В. Исследование характеристик волоконных световодов: Практикум. Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2011. 34 с.
3. Васильев А.Б., Воронин В.Г., Камынин В.А., Лукиных С.Н., Наний О.Е. Механизмы потерь в одномодовых волоконно-оптических линиях связи. Методическое и учебное пособие. Москва. 2016. 21-22 с.

Новикова Виктория Александровна
Год рождения: 1996
Университет ИТМО,
факультет лазерной фотоники и оптоэлектроники,
студент группы № L4273,
направление подготовки: 11.04.02 Инфокоммуникационные технологии и системы,
e-mail: novivial@mail.ru
Варжель Сергей Владимирович
Год рождения: 1987
Университет ИТМО,
факультет лазерной фотоники и оптоэлектроники,
к.ф.-м.н.,
e-mail: vsv187@gmail.com

УДК 681.7.063

ЗАПИСЬ И ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЛОКОННЫХ БРЭГГОВСКИХ РЕШЁТОК С ФАЗОВЫМ СДВИГОМ

В.А. Новикова

Научный руководитель – к.ф.-м.н. **С.В. Варжель**

Университет ИТМО

Работа выполнена в рамках темы НИР № 619297 «Разработка методов и средств решения прикладных задач фотоники».

Аннотация
В данной работе проведён анализ спектральных характеристик специальных волоконных дифракционных структур, называемых решётки Брэгга с фазовым сдвигом. Отличительной особенностью таких структур является наличие узкой области пропускания в полосе отражения, что обуславливает возможности их применения в сенсорных и телекоммуникационных устройствах. В ходе выполнения работы проводилось исследование по изучению влияния параметров записи указанных типов дифракционных решёток на их конечные спектральные отклики. Так же осуществлялся анализ возможных применений таких структур в качестве чувствительного элемента волоконно-оптического датчика давления и узкополосного спектрального фильтра.
Ключевые слова
Дифракционная решётка, волоконная брэгговская решётка, фазовый сдвиг, интерферометр Тальбота, эксимерный лазер.

Многочисленные исследования в области волоконной оптики продемонстрировали широкие возможности использования волокон в качестве среды передачи информации в волоконно-оптических линиях связи, активной среды лазеров, чувствительных элементов датчиков различных физических величин и т. д. На сегодняшний день, широкое применение решёток Брэгга обуславливается различными исследованиями в области записи подобных структур, широкими возможностями подстройки необходимых параметров для каждой конкретной задачи, стабильностью

работы таких решёток и созданием особых типов волоконных брэгговских решёток (ВБР).

Одной из возможных вариаций дифракционной структуры внутри волокна является создание разности фаз π между двумя излучениями, отражёнными от одной и от второй ВБР (рис. 1).

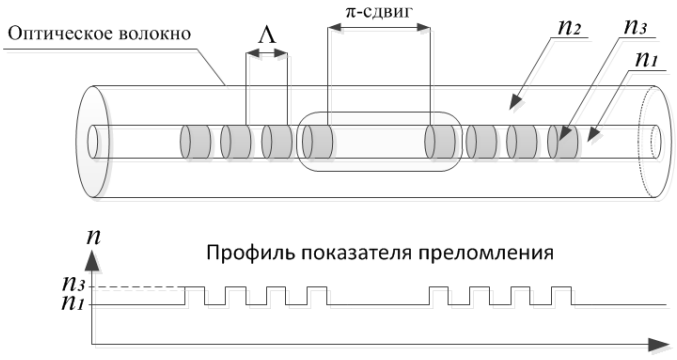


Рис. 1. Схематичное изображение оптического волокна
с волоконной брэгговской решёткой с фазовым сдвигом

В результате создания такой структуры на длине волны брэгговского резонанса наблюдается явление деструктивной интерференции, в результате чего появляется узкополосная область пропускания в полосе отражения. При этом основным критерием для создания такой структуры является необходимость выполнения следующего условия:

$$\Phi = (2k + 1)\pi, \qquad (1)$$

где Φ – фазовый сдвиг между излучениями первой и второй решёток, $k = 1, 2, 3, \ldots$.

Наведение фазового сдвига между двумя стандартными волоконными решётками Брэгга возможно несколькими способами: высокоточный расчёт расстояния между стандартными ВБР, изменение показателя преломления сердцевины оптического волокна в области между стандартными ВБР, изменение геометрии волокна, приводящее к изменению фазы излучения, отражённого от одной из ВБР, относительно второй ВБР. В данной работе введение фазового сдвига осуществлялось путём изменения геометрических параметров волокна.

Запись стандартных волоконных брэгговских решёток в оптическом волокне осуществлялась путём создания интерференционной картины в интерферометре Тальбота. В качестве источника излучения использовалась KrF эксимерная лазерная система типа задающий генератор – усилитель МОРА CL-7550 (ООО «Оптосистемы»). Такая система генерирует импульсы длительностью 17 нс на полувысоте с длиной волны излучения 248,3 нм и номинальной энергией 250 мДж. К интерферометру Тальбота излучение подводится, проходя через систему транспортировки лазерного излучения [1 –2]. После записи первой ВБР осуществляется передвижение волокна вдоль своей оси и при тех же условиях записывается вторая ВБР, при этом расстояние между решётками не должно превышать длину временной когерентности.

После записи двух решёток Брэгга волокно устанавливается в сварочный аппарат таким образом, чтобы центр расстояния между ними был расположен напротив электродов – контроль расстояния осуществляется с использованием микрометрической подвижки с шагом 10 мкм. Воздействие электрической дуги сварочного аппарата приводит к малому изменению геометрических параметров световода, что изменяет фазу

отражённого от ВБР излучения, проходящего через такое изменение геометрии. Количество воздействий электрической дуги может быть различно для каждого конкретного случая и подбирается в реальном времени путём отслеживания спектральных характеристик полученных структур [3].

Для анализа спектров отражения ВБР с фазовым сдвигом была осуществлена сборка схемы, представленной на рис. 2. Для опроса решёток Брэгга использовался широкополосный источник излучения Thorlabs S5FC1005S с центральной длиной волны излучения 1560 нм и шириной спектра на полувысоте около 70 нм. Вводимое в оптическое волокно излучение через *y*-ответвитель направляется на сформированную дифракционную структуру, от которой отражается часть излучения, соответствующая длине волны брэгговского резонанса. Обратно отражённое излучение направляется через *y*-ответвитель на оптический спектроанализатор. Оптический изолятор используется для предотвращения влияния обратных отражений на спектр излучения источника.

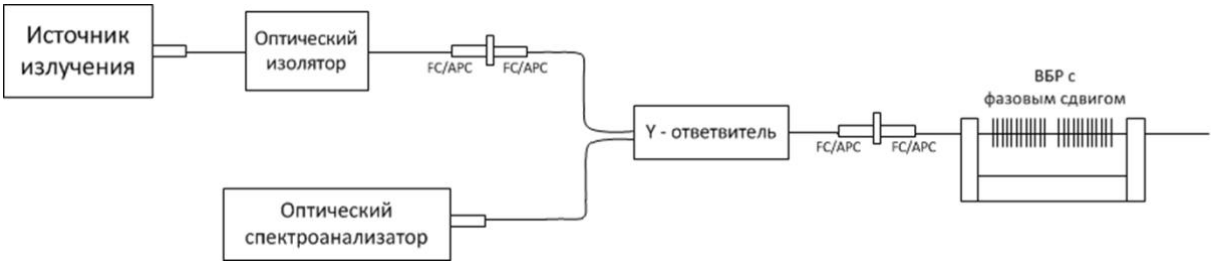


Рис. 2. Структурная схема для снятия спектров отражения ВБР с фазовым сдвигом

Для проведения сравнительного анализа экспериментально полученных данных с теоретическими осуществлялось моделирование спектральных откликов волоконных решёток Брэгга с фазовым сдвигом. В работе [4] представлено описание алгоритма построения моделей спектров отражения ВБР, сформированных в анизотропном оптическом волокне; используя тот же принцип, было получено моделирование для изотропного оптического волокна.

Первый этап моделирования подразумевает описание свойств оптического волокна как среды распространения излучения. Одной из важных характеристик среды – является её дисперсионная зависимость; для кварцевых волокон такую зависимость можно выразить через формулы Селмейера. Для исследования использовалось волокно компании НИТИОМ ВНЦ «ГОИ им. С.И. Вавилова» с концентрацией GeO_2 в сердцевине световода 12 мол.%. После описания свойств среды распространения, автором работы [4] производился расчёт коэффициентов связи мод посредством использования теории связанных мод, Спектры отражения волоконных брэгговских решёток рассчитывались на основе метода передаточных матриц, подразумевающих введение матрицы фазового сдвига, в которой учитывалась разность фаз π.

По описанной в разделе методике были сформированы решётки Брэгга с фазовым сдвигом. Для анализа полученных структур с целью исследования возможностей их применения, а так же для сравнения решёток между собой был выбран параметр ширины области пропускания в полосе отражения на полувысоте. При известном значении периода решётки (a, следовательно, и длины волны брэгговского резонанса) существует ещё два параметра записи, влияющих на конечные характеристики полученных структур. Первый параметр – это длина структуры, увеличение которой приводит к получению более узкого спектра отражения. Второй параметр, от которого зависит ширина области пропускания, – это наведённая модуляция показателя преломления.

В ходе выполнения работы было проведено экспериментальное исследование влияния двух указанных выше параметров на конечные спектральные характеристики

сформированных структур. На рис. 3 представлена полученная зависимость для ширины области пропускания в полосе отражения на полувысоте для различных значений параметров записи (модуляции показателя преломления и длины ВБР). Время воздействия электрической дуги сварочного аппарата составляло 0,3 сек, значение тока – 8 мА.

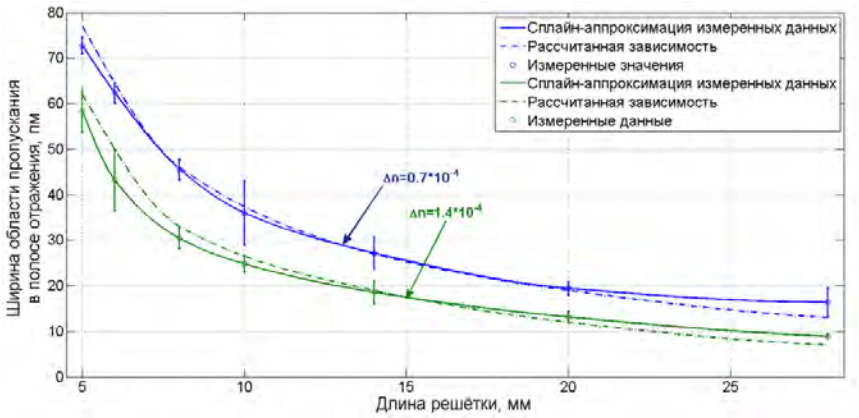


Рис. 3. Зависимость ширины области пропускания в полосе отражения на полувысоте от длины решётки с учётом наведённой модуляции показателя преломления и СКО, построенного для каждой экспериментально полученной точки

На верхнем графике представлена функция сплайна, построенная по средним значениям области пропускания (вычисленным для каждой длины решётки), при этом для каждой точки построено среднее квадратичное отклонение (СКО), минимальное и максимальное значения которых составляют 0,495 пм и 6,9282 пм, соответственно. В результате проведённых экспериментов значение ширины провала на полувысоте варьируется в диапазоне от 8 до 76 пм; для исследований было записано и проанализировано 70 решёток Брэгга с фазовым сдвигом.

Одно из возможных применений ВБР с фазовым сдвигом, исследуемых в ходе выполнения работы, – это разработка чувствительного элемента волоконно-оптического датчика давления [5]. Принцип действия такого устройства заключается в изменении спектральных характеристик дифракционных структур при приложении давления, направленного перпендикулярно оси оптического волокна. Механические напряжения, вызванные приложением давления, приводят к наведению анизотропии, в результате чего в спектре отражения возникает дополнительный (второй) локальный минимум (рис. 4).

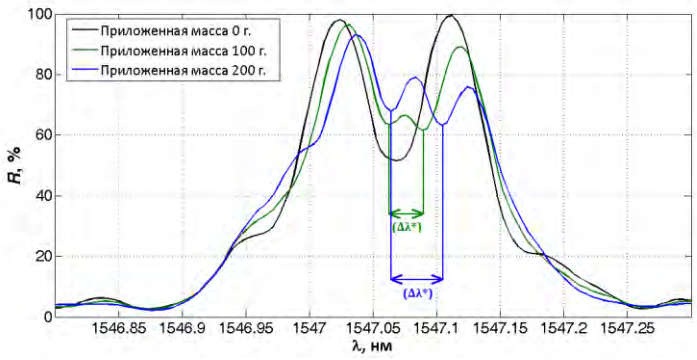


Рис. 4. Спектры отражения ВБР с фазовым сдвигом при различных значениях приложенных масс

Возникновение второго локального минимума обуславливается тем, что два луча, один из которых распространяется по медленной оси, а другой – по быстрой, проходят разные длины оптического пути. В свою очередь, увеличение приложенного давления приводит к увеличению расстояния между локальными минимумами ($\Delta\lambda^*$) в виду увеличения разности показателей преломления двух осей. На рис. 5 представлена полученная экспериментально зависимость расстояния между локальными минимумами от приложенного давления.

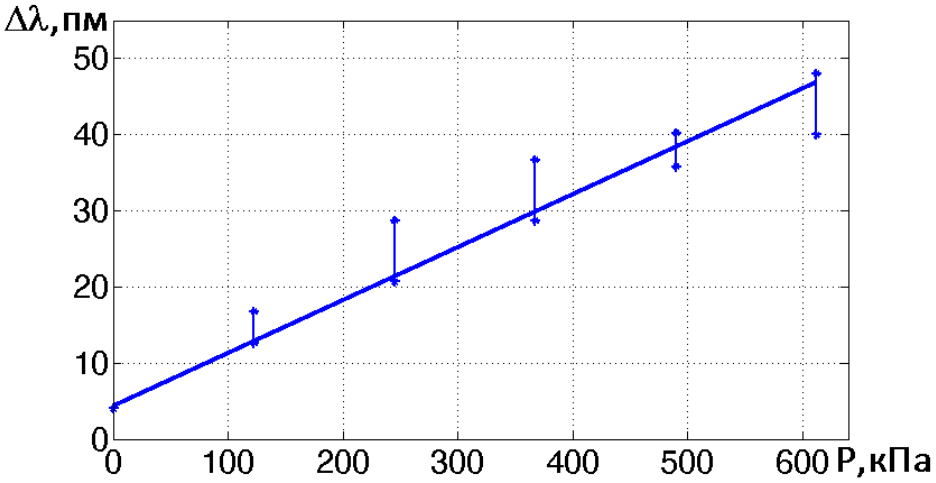


Рис. 5. Зависимость расстояния между локальными минимумами от значений приложенных масс

Представленная на рис. 5 зависимость позволяет судить о возможностях применения решёток Брэгга с фазовым сдвигом в качестве чувствительных элементов волоконно-оптических датчиков давления.

Ещё одним из перспективных направлений развития волоконных решёток Брэгга с фазовым сдвигом является создание узкополосных спектральных фильтров. При проектировании таких устройств одним из важных условий является возможность удаления помех вокруг сигнала пропускания. То есть узкая отфильтрованная полоса не должна иметь дополнительных максимумов (лепестков) по краям. Достижение такой задачи возможно при создании фильтров с узкой полосой пропускания в широком спектре отражения. Использование чирпированных ВБР позволяет получить спектры отражения с шириной более 1 нм, а введение фазового сдвига обеспечивает возникновение узкой полосы пропускания. Запись таких структур осуществляется так же на интерферометре Тальбота, но вместо стандартной фазовой маски устанавливается фазовая маска с переменным периодом, перед которой располагается элемент для перекрытия части излучения с целью его разделения на два пучка.

По описанной методике были сформированы решётки Брэгга, одна их спектральных характеристик которых представлена на рис. 6. Длина записанной структуры равна 14 мм, наведённая модуляция показателя преломления $3x10^{-4}$. Параметры записи: плотность энергии в импульсе на волокне – 204 мДж/см^2, частота следования лазерных импульсов – 10 Гц, длительность экспозиции – 196 с. В работе использовалось волокно компании НИТИОМ ВНЦ «ГОИ им. С.И. Вавилова» с концентрацией GeO_2 в сердцевине световода 12 мол.%, подвергнутое водородной обработке.

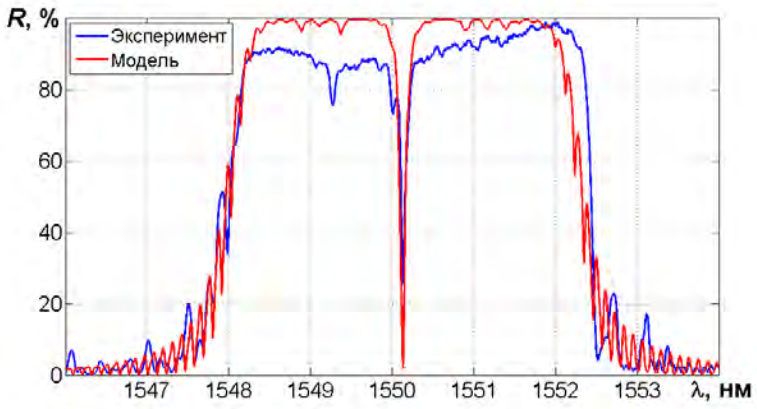


Рис. 6. Экспериментальные и рассчитанные спектры отражения чирпированных волоконных брэгговских решёток

Для моделирования учитывались те же значения длины и модуляции показателя преломления, как видно из рис. 6, экспериментально полученные данные хорошо согласуются с теоретическими.

По описанной в работе методике осуществлялась запись дифракционных структур с фазовым сдвигом, при этом контролировались такие параметры, как длина структуры и наведённая модуляция показателя преломления. Полученная зависимость ширины спектра пропускания от параметров записи позволяет формировать необходимые структуры для решения конкретных задач, в которых требуется получение определённых спектральных откликов. Так же в работе представлены данные о проведении экспериментов по исследованию применения сформированных структур в областях сенсорики и телекоммуникаций. Описано создание чувствительного элемента волоконно-оптического датчика давления, в котором используется оптическое волокно с решёткой Брэгга с фазовым сдвигом. Второе применение, анализ которого проведён в данной работе, – это изучение узкополосной спектральной фильтрации сигнала с использованием решёток Брэгга с π-сдвигом. Проведённые эксперименты наглядно демонстрируют возможности применения изученных структур и актуальность представленной работы.

Литература

1. Gribaev A.I., Pavlishin I.V., Stam A.M., Idrisov R.F., Varzhel S.V., Konnov K.A. Laboratory setup for fiber Bragg gratings inscription based on Talbot interferometer // Opt Quant Electron. 2016. V. 48. P. 1-7
2. Стам А.М., Идрисов Р.Ф., Грибаев А.И., Варжель С.В., Коннов К.А., Сложеникина Ю.И. Запись волоконных решёток Брэгга с использованием интерферометра Тальбота и эксимерной KrF-лазерной системы // Изв. вузов. Приборостроение. 2017. Т. 60. №5. С. 466–473.
3. Пат. 2676191 Российская Федерация, МПК G 02 B 6/028 (2006.01), G 02 B 5/18 (2006.01). Способ формирования волоконной брэгговской решётки с фазовым сдвигом [Текст] / Новикова В.А., Коннов К.А., Грибаев А.И., Варжель С.В.; заявитель и патентообладатель федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики" (Университет ИТМО) (RU). № 2018102806; заявл. 24.01.2018; опубл. 26.12.2018, Бюл. № 36.

4. Архипов С.В. Исследование и оптимизация технологии записи решёток Брэгга в анизотропных волоконных световодах. [Текст]: дис. на соиск. учен. степ. канд. ф.-м. наук: 01.04.05: защищена 19.12.2017: / Архипов Сергей Владимирович. Санкт-Петербург, 2017. 125 с.
5. Новикова В.А., Варжель С.В., Дмитриев А.А., Залесская Ю.К., Идрисов Р.Ф. Исследование спектральных характеристик волоконных брэгговских решеток с фазовым сдвигом при воздействии давления, направленного перпендикулярно оси оптического волокна // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптикию. 2018. Т. 18. № 5(117). С. 751-757.

Останин Степан Андреевич
Год рождения: 1995
Университет ИТМО,
факультет прикладной оптики,
студент группы № В4260с,
направление подготовки: 16.04.01 – Техническая физика,
e-mail: stepan.ostanin1995@gmail.com
Зуев Вячеслав Викторович
Год рождения: 1961
Университет ИТМО,
факультет прикладной оптики,
д.х.н., профессор,
e-mail: vvzuev123@gmail.com

УДК 544.03

ПРОТОТРОПНОЕ ПОВЕДЕНИЕ ЦИКЛОАЛИФАТИЧЕСКИХ ПОЛИУРЕТАНОВ И ПОЛИМОЧЕВИН, ИССЛЕДОВАННОЕ МЕТОДОМ СПЕКТРОСКОПИИ ЯМР

С.А. Останин

Научный руководитель – д.х.н., профессор **В.В. Зуев**

Университет ИТМО

Аннотация
В работе было изучено поведение водородных связей в анилин, фенол, гексилфенол или гексиланилин замещенных мочевин с использованием спектроскопии ядерного магнитного резонанса (ЯМР) при различных температурах в различных растворителях. Возникновение сильных водородных связей в соединениях обусловлено структурными факторами, проявляющимися в результате межмолекулярных взаимодействий в растворителе.
Ключевые слова
Спектроскопия ядерного магнитного резонанса, полимочевины, полиуретаны, водородные связи, спин-спиновое взаимодействие, изомеризация, каталитическая активность.

В наши дни в органическом и полимерном синтезе широко используются органические катализаторы на основе водородных связей. Большой вклад в последние годы вносят высокоактивные системы катализаторов на основе мочевины. Понимание механизма каталитической активности этого класса соединений очень важно для решения обширного круга научно-технических проблем не только в химии, но и в медицине, биологии, физике и материаловедение.

Цели работы: изучить поведение водородных связей мочевины и уретана в разных растворителях при различных температурах с целью определения причины активности данных классов соединений.

Значения $^{4}J_{HH}$ через 4 и 5 связей в насыщенных органических молекулах с открытой цепью оказываются, как правило, очень малыми. Обычно они не превышают долей герца. Для того чтобы измерять их, необходимо предпринимать специальные меры

для получения спектров высокого качества. В частности, как правило, приходится проводить обезгаживание образца и особенно тщательно настраивать однородность поля, а также, проводить измерения при различных температурах для более качественного отнесения сигналов [1]. В свою очередь такие константы могут достигать значительной величины в насыщенных циклических и полициклических соединениях с жесткой геометрией

Для проведения исследования были изготовлены образцы – полимочевины на основе гидрированного метилендифенилдиизоцианата (H_{12} МДИ) с различными концевыми фрагментами: анилина (1a), фенола (1b), 4-н-гексилоксианилина (1c) или 4-н-гексилоксифенола (1d). Соединения легко получали обычным смешиванием (рис. 1).

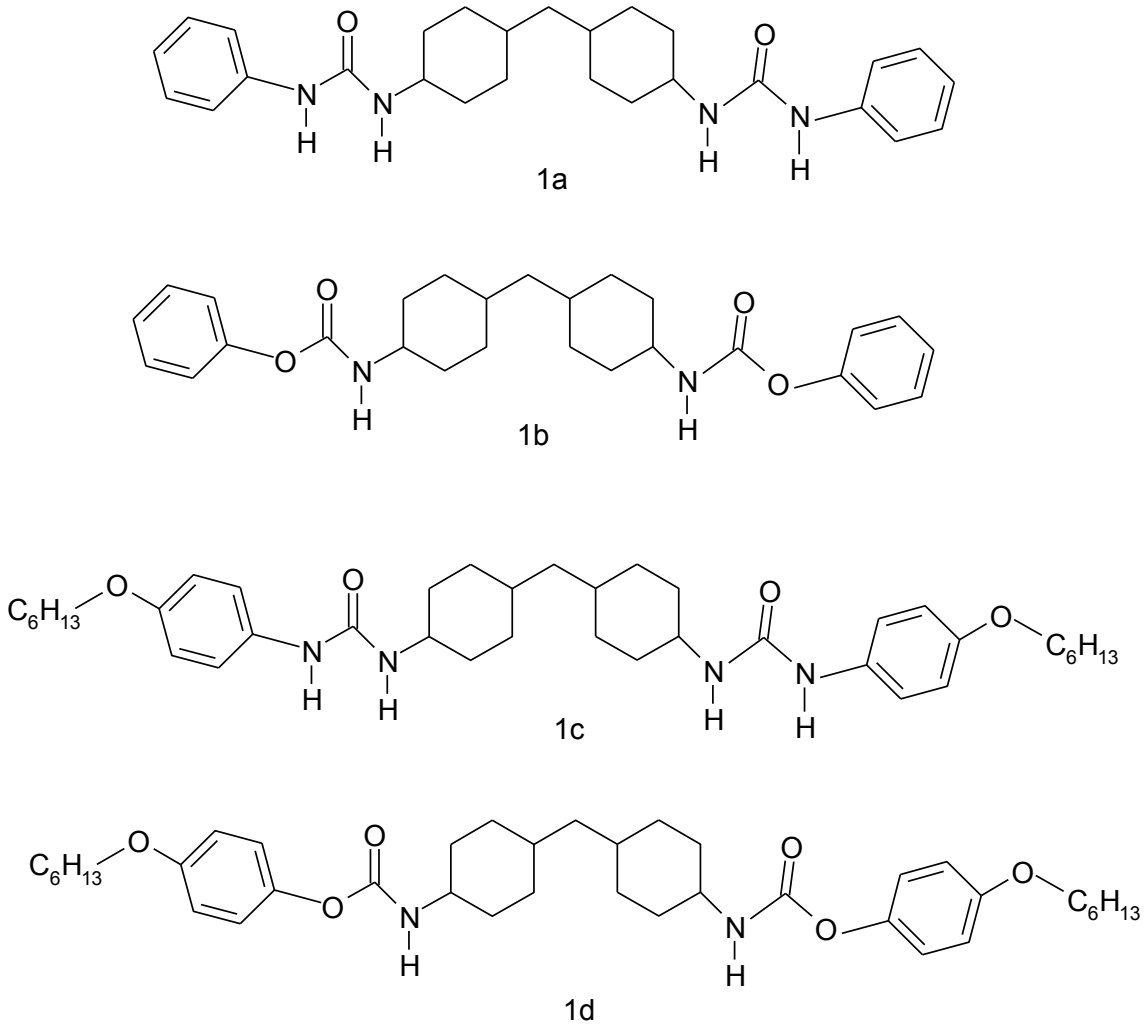


Рис. 1. Исследованные соединения

Соединения для исследования были выбраны так, чтобы охватить все факторы, имеющие влияние на прототропное поведение мочевины. Важной задачей было использование ароматического и циклоалифатического кольца. Также из источников известно, что наличие алифатического хвоста вводит гидрофобные взаимодействия в исследуемые соединения и может стимулировать агрегацию молекул в различных растворителях. Полученные вещества являлись довольно грязными поэтому требовалась многочисленная очистка в виде фильтрации и перекристаллизации. В итоге было получено количество вещества, достаточное для проведения анализа.

Как выяснилось в дальнейшем промышленный H_{12} МДИ представляет собой смесь

трех структурных изомеров, цис-цис, цис-транс и транс-транс, содержание которых меняется в зависимости от производителя. Для отнесения сигналов и выявления процентного содержания различных структурных изомеров были использованы современные методики спектроскопии ядерного магнитного резонанса (ЯМР), такие как NOESY, TOCSY (рис. 2), COSY и HSQC.

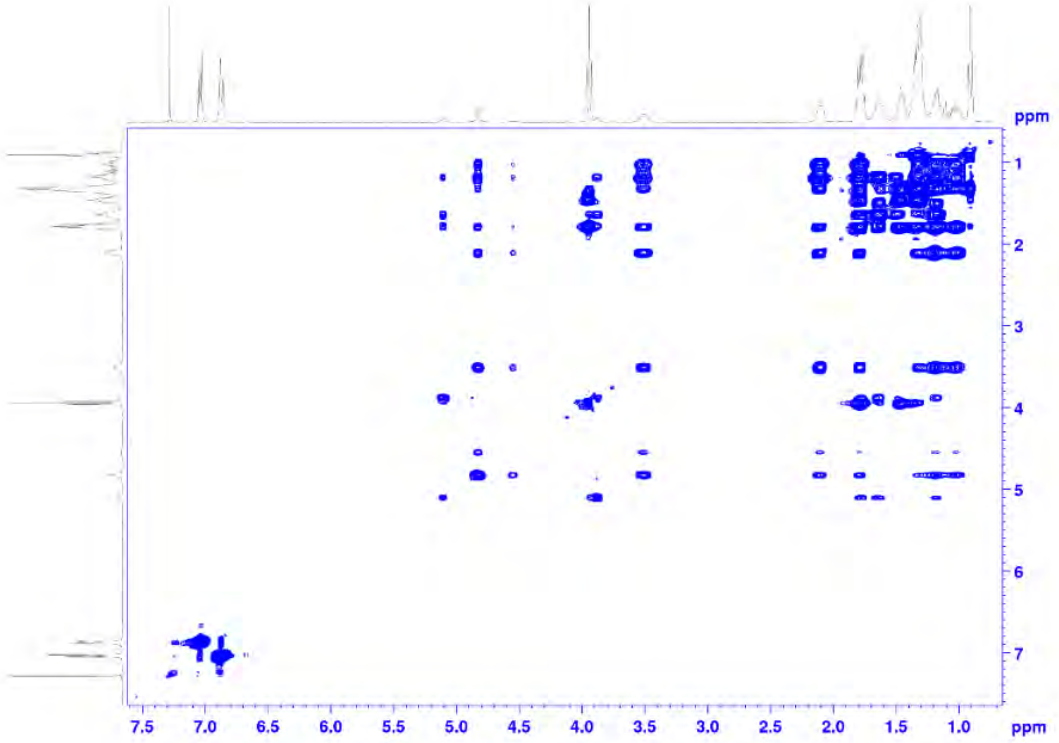


Рис. 2. TOCSY спектр метилендифенилдиизоцианата (МДИ)

В результате было произведено очень точное отнесение сигналов на 1H спектре метилендифенилдиизоцианата, что позволило наиболее правильно оценить соотношение имеющихся в нем изомеров путем измерения интенсивностей сигналов им соответствующих.

Затем было решено исследовать поведение полученных нами соединений в различных растворителях для проверки их свойств. Для этого использовались три растворителя: неполярный хлороформ ($CDCL_3$, который не способен образовывать водородные связи) и полярные диметилсульфоксид (DMSO) и диметилформамид (DMF) (способные формировать водородные связи). Эти образцы готовы исследовались различными методиками спектроскопии ядерного магнитного резонанса.

Далее были записаны спектры образцов при различных температурах. В области мочевинной группы наблюдается множественное скопление сигналов, означающее расщепление резонансов ввиду наличия структурных изомеров [2, 3]. Образование данных изомеров объясняется, в первую очередь, структурой циклогексановых фрагментов. Так, в образце с концевым циклогексиламином наблюдается расщепление сигнала двух групп мочевины на 8 дублетов.

В спектрах всех соединений наблюдается изменение разрешения сигналов, а также их смещение в зависимости от температуры записи (рис. 3).

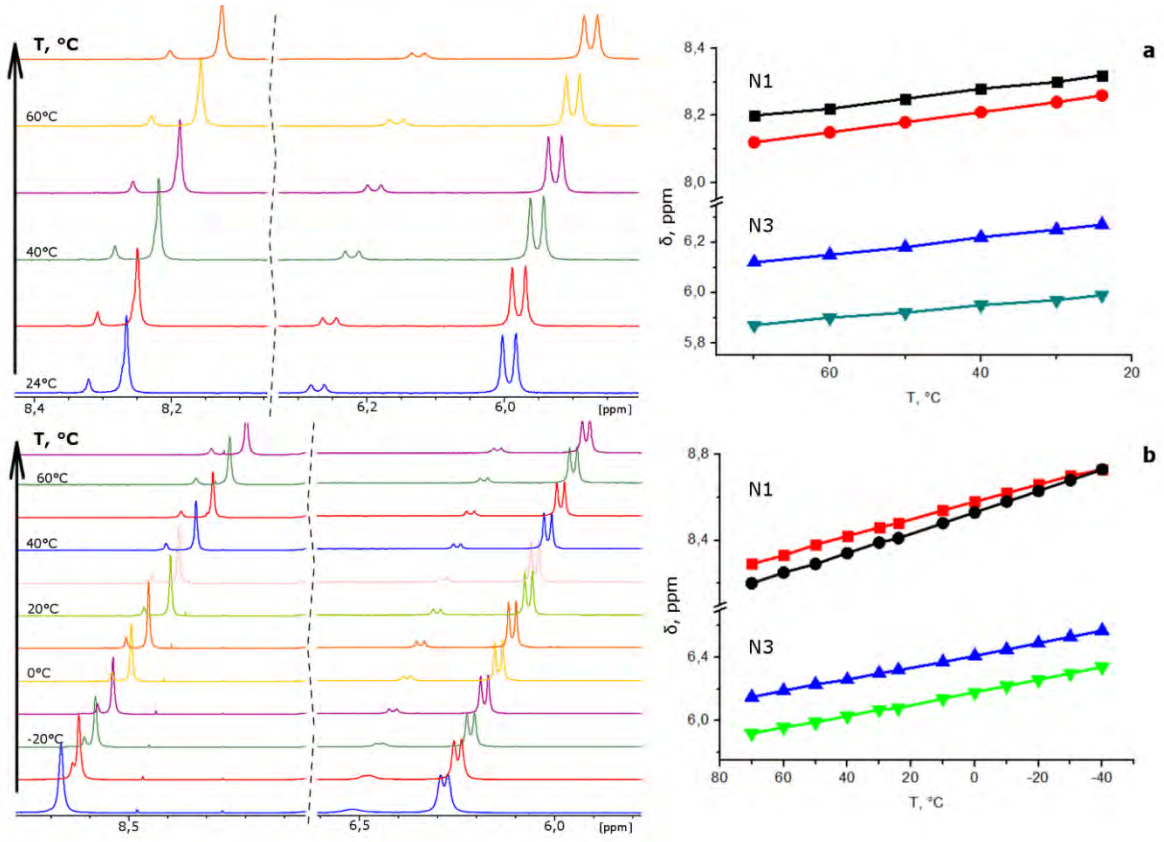


Рис. 3. протонные спектры при различных температурах соединения МДИ с анилином (область связей NH) в DMSO(a), и DMF(b) и соответствующие им зависимости химического сдвига сигналов NH от температуры

Фактически, наблюдается линейная зависимость между химическим сдвигом 1H ЯМР и температурой. Наклон зависимости одинаков для всех изомеров. Отмечено, что аналогичная зависимость химического сдвига в зависимости от температуры была ранее найдена экспериментально Гарсиа-Вилока и другими [4] для протона, образующего водородную связь в гексабензилоксиметил–XDK, где XDK это [m-ксилилендиамин-бис (Кемп триацид)-имида] моноанион.

Для транс-транс изомера наблюдалась нормальная зависимость от температуры формы сигнала как для протонов циклогексана, так и для NH мочевинной группы. При снижении температуры сигналы становятся более резкими и наблюдается расщепление связи 1H-NH. Такое аномальное поведение можно было объяснить только образованием межмолекулярной водородной связи в результате образования димера или более сложной агрегации молекул, которая, в свою очередь, может быть вызвана образованием ионных структур. Образование межмолекулярных комплексов приводит к возможному образованию симметричных N1..... H .....N3 внутримолекулярных водородных связей во фрагменте мочевины.

Подобные результаты наблюдаются в спектрах на основе анилина и циклогексиламина, но не были явно обнаружены в соединении на основе н-бутила. Следовательно, оба протона NH мочевинной группы цис-цис/транс-транс изомеров скалярно связаны. Таким образом, можно определенно сказать, что мы наблюдали непрямые константы спин-спинового взаимодействия через внутримолекулярную водородную связь $^{4h}JH_1H_3$. Проявление подобных констант является очень редким явлением [5], и наблюдение констант скалярной связи $^{4h}JH_1H_3$, насколько нам известно, наблюдалось впервые для мочевинных систем (рис. 4).

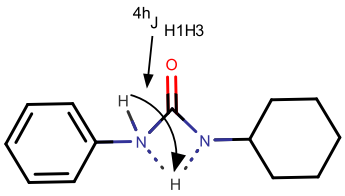


Рис. 4. скалярное спин-спиновое взаимодействие через 4 связи

Значение этой константы увеличивается от 2 Гц при 40°C до 10 Гц при -40°C (рис. 5).

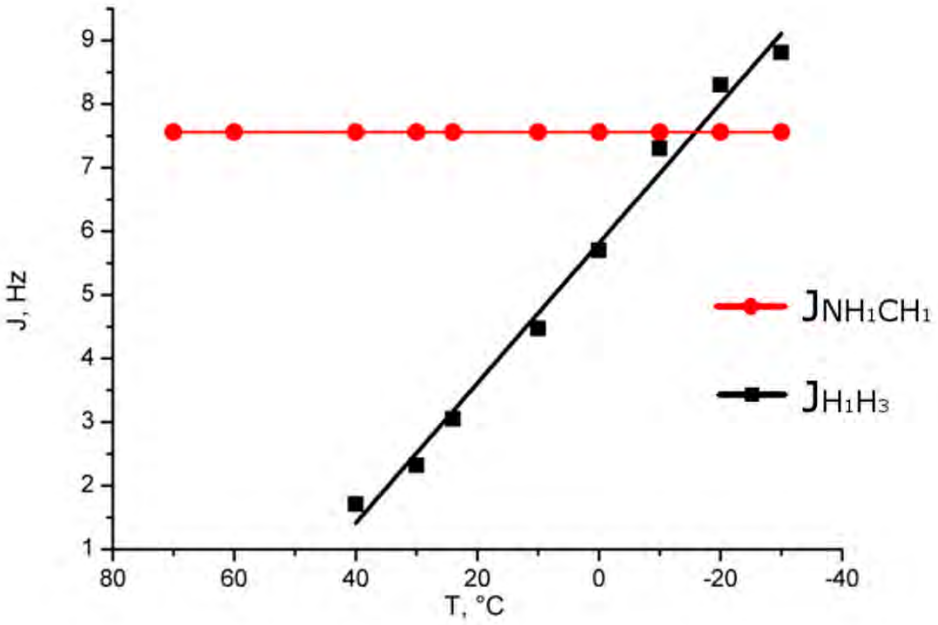


Рис. 5. Зависимость скалярных констант связи JNH_1CH_1 и $^{4h}JH_1H_3$ соединения 1c от температуры

Следовательно, сила водородной связи также увеличивается в этом направлении. Известно, что диэлектрическая проницаемость растворителей значительно увеличивается при понижении температуры, и это, в свою очередь, влияет на стабильность частиц с разделенным зарядом. Следовательно, это также стабилизирует сформированные агрегаты. Эти наблюдения предполагают, что эта водородная связь имеет геометрические особенности, которые отличаются от тех, которые обычно наблюдаются в малых молекулах, и приближают ее к тем, которые наблюдаются в белках. Наши результаты показывают, что водородные связи в агрегатах конформационно связаны с циклогексановым звеном.

В работе мы изучили прототропное поведение фенил- и циклогексил-дизамещенных мочевин и уретанов с использованием 1H ЯМР-спектров с переменной температурой в полярных и неполярных растворителях. Было выяснено, что каталитическая активность мочевинозамещенных фенильных и циклогексильных фрагментов обусловлена структурными перестройками при агрегации в растворе и активной ролью водородных связей в этих процессах. Структурные перестройки, которые мы наблюдали в ответ на мутации в сети водородных связей, подтверждают эту точку зрения.

Литература

1. Wachter-Jurcsak N. VT 1H NMR investigations of resonance-assisted intramolecular hydrogen bonding in 4-(dimethylamino)-2'-hydroxychalcone/ Wachter-Jurcsak N., Detmer C.A. // Org Lett. 1999 Sep 9;1(5):795-8.
2. Lessene G. Characterization of the Two Fundamental Conformations of Benzoylureas and Elucidation of the Factors That Facilitate Their Conformational Interchange / Guillaume Lessene, Brian J. Smith, Robert W. Gable and Jonathan B. Baell// Org. J.Chem., 2009, 74 (17), pp 6511–6525.
3. Llinas M. Solution conformation of the ferrichromes. VI. Charge relay at the peptide bond. Proton magnetic resonance study of solvation effects on the amide electron density distribution/ Miguel Llinas, and Melvin P. Klein // J. Am. Chem. Soc., 1975, 97 (16), pp 4731–4737.
4. M. Garcia-Viloca. Temperature Dependence of Proton NMR Chemical Shift As a Criterion To Identify Low-Barrier Hydrogen Bonds / Mireia Garcia-Viloca, Ricard Gelabert, Angels Gonzalez-Lafont, Miquel Moreno, and Jose M. Lluch// J. Am. Chem. Soc. 1998, 120 (39). pp 10203–10209.
5. Alkorta I., Elguero J., Denisov G. A review with comprehensive data on experimental indirect scalar NMR spin–spincoupling constants across hydrogen bonds. Magn. Reson. Chem. 2008. 46. 599–624.

Парамонов Виталий Сергеевич
Год рождения: 1995
Университет ИТМО,
факультет систем управления и робототехники,
студент группы № R4241,
направление подготовки: 27.04.04 – Управление в технических системах,
e-mail: paramonov.vitaly@gmail.com
Пыркин Антон Александрович
Год рождения: 1985
Университет ИТМО,
факультет систем управления и робототехники,
д.т.н., профессор,
e-mail: pyrkin@corp.ifmo.ru

УДК 62-50

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ КУРСОВОЙ СТАБИЛИЗАЦИИ МОБИЛЬНОГО РОБОТА В СРЕДЕ С НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЯМИ

В.С. Парамонов

Научный руководитель – д.т.н., профессор **А.А. Пыркин**

Университет ИТМО

Работа выполнена в рамках инициативной работы «Разработка и исследование алгоритмов курсовой стабилизации мобильного робота в среде с неопределенностями».

Аннотация
Рассматривается вопрос управления колесным мобильным робот, двигающимся по пересеченной местности. Предмет исследования составляют алгоритмы планирования движения, позволяющие мобильному роботу без повреждений проехать по заданной траектории, адаптируясь при этом к неопределенностям окружающей среды.
В результате работы были разработаны:

– Способы обнаружения стационарных и динамических препятствий, препятствий типа «яма» и алгоритмы их объезда;

– Архитектура аппаратно-программного комплекса, реализующего предложенные алгоритмы работы навигационной системы;

– Алгоритмы объезда, которые были преобразованы в программный код на языке C++. После были проведены экспериментальные исследования работоспособности предложенных алгоритмов на шестиколесной платформе фирмы «Kuongshum», построенной на базе платы Arduino UNO.

Ключевые слова
Робот, алгоритмы, курсовая стабилизация, пересеченная местность, объезд препятствий, arduino uno.

Введение

В настоящий момент, происходит бурное развитие робототехники. Системы, разработанные такими компаниями, как Boston Dynamics, iRobot, KUKA Roboter,

Anybots используются как для автоматизации рутиной домашней работы, так и на промышленных предприятиях. Особенно востребованы на рынке роботы военного назначения и устройства, способные работать в чрезвычайных ситуациях.

Способы навигации мобильных роботов на плоскости изучены в достаточной мере. Однако, в реальной жизни подобным машинам чаще приходится работать на пересеченной местности. В таких случаях, сама поверхность, по которой движется робот, в некоторых случаях может восприниматься как препятствие, которое необходимо преодолеть.

В связи с этим, целью выпускной квалификационной работы стала разработка и исследование алгоритмов управления мобильным роботом, движущимся в среде с неопределенностями и способного выполнять следующие задачи:

1. Следовать по траектории указанной оператором;
2. Обнаруживать и идентифицировать препятствия, мешающие дальнейшему продвижению по заданному пути;
3. Разрабатывать пути объезда препятствий;
4. Возвращаться на первоначально заданную траекторию движения;
5. Осуществлять построение карты местности с последующей идентификацией собственных координат.

Объектом исследования является колесный мобильный робот, двигающийся по плоскости и пересеченной местности.

Предмет исследования составляют алгоритмы планирования движения, позволяющие мобильному роботу без повреждений проехать по заданной траектории, адаптируясь при этом к неопределенностям окружающей среды.

Алгоритм курсовой стабилизации мобильного робота

Данный электронный гироскоп измеряет только текущую мгновенную угловую скорость, которую в последствии предоставляет нам для расчета и анализа. Таким образом, для расчета угла поворота нужно взять текущую мгновенную угловую скорость и умножить на то время, в течении которого она действует. И раз это мгновенная скорость, то она не точна и может изменяться в течении короткого промежутка времени, поэтому чем чаще мы делаем замеры, тем точнее будет расчет изменения угла поворота.

Блок-схема алгоритма курсовой стабилизации с использованием гироскопа изображена на рис. 1.

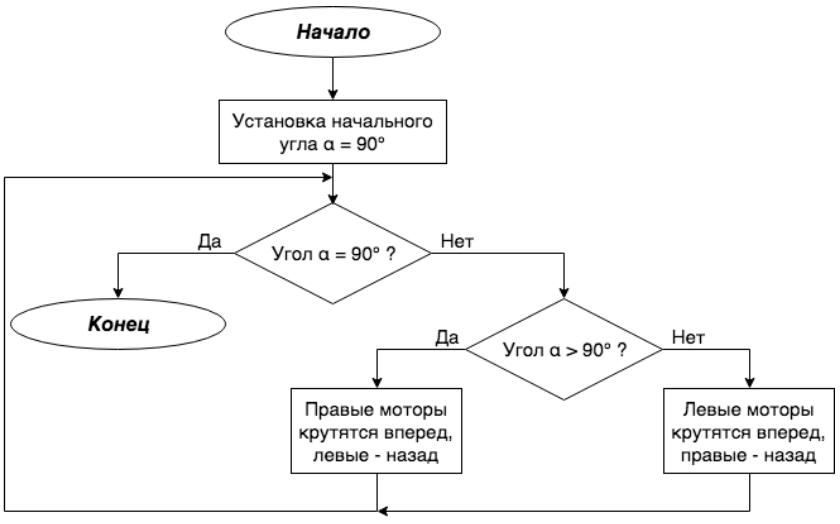


Рис. 1. Блок-схема алгоритма курсовой стабилизации

При запуске робота происходит установка начального угла, который необходимо поддерживать. Контроллер снимает данные с гироскопа, анализирует на какой угол роботу нужно повернуть и, в случае изменения заданного угла, включает двигатели в необходимую сторону. После этого по данным гироскопа определяется насколько точно он повернул. И даже если гироскоп сработал верно, робот повернул, и мы ему послали команду остановиться, то он еще некоторое время может поворачивать туда, куда нам уже не нужно из-за инерции. В этом случае, мы включаем эту же функцию рекурсивно из данной, т.е. вызываем саму себя, но с обратным углом, на который он повернул больше чем нужно, и робот начинает поворачиваться в обратном направлении, пока его ошибка не станет равной меньше 1 градуса.

Алгоритм объезда препятствий с помощью УЗ-датчика

Данный алгоритм основан на оценке наличия препятствий с применением датчик HC-SR04 установлен на сервоприводе Tower Pro 9G SG90, поворачивающимся на угол $\pm 180°$. При перемещении робота по заданной траектории местность перед ним сканируется с помощью ультразвукового датчика.

Если при движении робота с датчика поступит информация о том, что на минимально допустимом расстоянии обнаружено препятствие, то он остановится и перейдет к алгоритму объезда с последующим возвращением на заданную траекторию. Эти процедуры будут выполняться циклично до тех пор, пока цель не будет достигнута. Блок-схема общего алгоритма движения робота представлена на рис. 2.

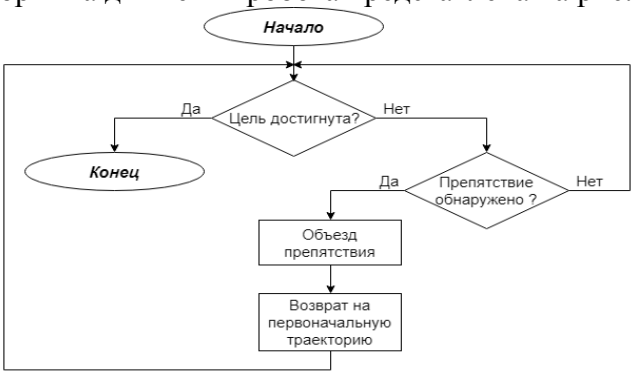


Рис. 2. Общий алгоритм объезда препятствий

Начало выполнения алгоритма объезда препятствий сопровождается полным остановом робота и поворотом рулевого механизма (сервопривода) сначала на $45°$ вправо, а затем на $45°$ влево относительно центрального положения, с целью осуществления сканирования местности. Во время вращения сервопривода, происходит запись данных, полученных от ультразвукового датчика и определение угла θ, при котором не было замечено препятствий. Если такое значение обнаружено, то робот поворачивает на этот угол и движется вперед, параллельно сканируя пространство перед собой. После этого, он осуществляет возврат на заданную траекторию, используя показания энкодера и гироскопа [1–3].

Алгоритм объезда препятствий с помощью веб-камеры

Данный алгоритм отличается от вышерассмотренного лишь тем, что в нем, для определения расстояния до препятствия, вместо ультразвукового датчика HC-SR04 используется веб-камера Logitech C270 HD.

Этот метод исключает проблемы, которые могут возникнуть при измерении расстояния с помощью ультразвукового датчика. Его сущность состоит в том, что когда

робот перемещается ближе к препятствию, то камера, установленная на роботе, будет записывать изображение препятствия в два разных момента: t_0 и t_1, а затем передавать информацию в компьютер. Компьютер, получив информацию об изображении, выполняет обработку информации и дает два значения площади препятствия, соответствующие двум моментам времени. Определив площадь препятствия S_0 в момент времени t_0 и S_1 в момент времени t_1, можно найти расстояние ΔL, пройденное роботом за интервал времени $\Delta t = t_1 - t_0$ по формуле:

$$\Delta L = V\Delta t, \tag{1}$$

где V – скорость движения робота.

Вычисляем расстояние L_1 от робота до препятствия в момент t_1 по следующей формуле:

$$L_1 = \frac{\Delta L\sqrt{\frac{S_0}{S_1}}}{1-\sqrt{\frac{S_0}{S_1}}}, \tag{2}$$

Докажем, что формула (2) будет определять расстояние робота до препятствия. Рассмотрим схему измерений на рис. 3.

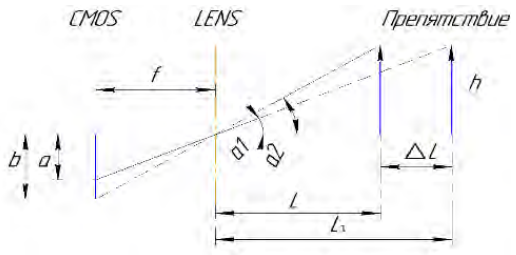


Рис. 3. Схема измерений

где $CMOS$ – светочувствительные матрицы; $LENS$ – объектив камеры. Камера фиксирует изображения на $CMOS$ и расстояние от $LENS$ до $CMOS$ составляет значение f, где f – фокусное расстояние камеры; a, b – высоты препятствия на кадре изображения в моменты t_0 и t_1 , h – реальная высота препятствия, S_0 и S_1 – площадь препятствия на кадре изображения в моменты t_0 и t_1.

$$\frac{a}{f} = tan\frac{a}{f} = tan\alpha_1 = \frac{h}{L}; \frac{b}{f} = tan\alpha_2 = \frac{h}{L-\Delta L}, \tag{3}$$

$$\frac{a}{b} = \frac{h}{L}:\frac{h}{L-\Delta L} = \frac{L-\Delta L}{L} = 1 - \frac{\Delta L}{L}, \tag{4}$$

$$L = \frac{\Delta L}{1-\frac{a}{b}} = \frac{\Delta L}{1-\sqrt{\frac{S_0}{S_1}}} \Longrightarrow L_1 = L - \Delta L = \frac{\Delta L\sqrt{\frac{S_0}{S_1}}}{1-\sqrt{\frac{S_0}{S_1}}}. \tag{5}$$

Алгоритм движения робота по пересеченной местности

При движении робота по пересеченной местности нужно определять характер поверхности непосредственно перед колесами. Для этого нужно разместить на роботе 2 штанги, на которые будут закреплены два дополнительных ультразвуковых датчика.

Далее эти штанги следует вынести вперед за габариты робота на некоторое расстояние, чтобы при движении он мог определять характер поверхности. Схема подобного решения изображена на рис. 4.

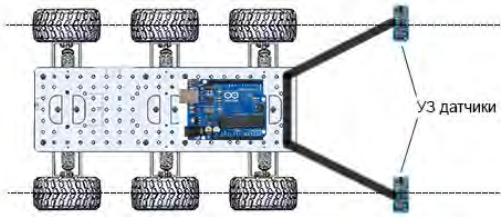


Рис. 4. Схема анализа профиля поверхности УЗ-датчиками

Ультразвуковой датчик определяет расстояние до объектов, расположенных к сенсору под углом от 60° до 120°. Это соответствует максимально допустимому углу поверхности, которую может преодолеть робот без проскальзывания. Если угол наклона плоскости движения не попадает в указанный диапазон, то этот участок помечается как помеха и робот переходит к алгоритму объезда (рис. 5).

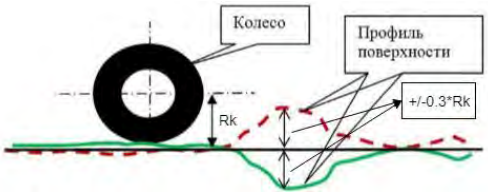


Рис. 5. Варианты профиля поверхности перед колесом

В результате проведённых экспериментов было выявлено, что робот способен преодолевать препятствия, равные $\pm H < 0.3R_K$ и обладающие наклоном $P < 30°$ [4–7].

Определение расстояния от робота до препятствия

Проведем эксперимент для определения расстояния от робота до препятствия с использованием ультразвукового датчика и веб-камеры, установленных на роботе. Эксперимент изображен на рис. 6.

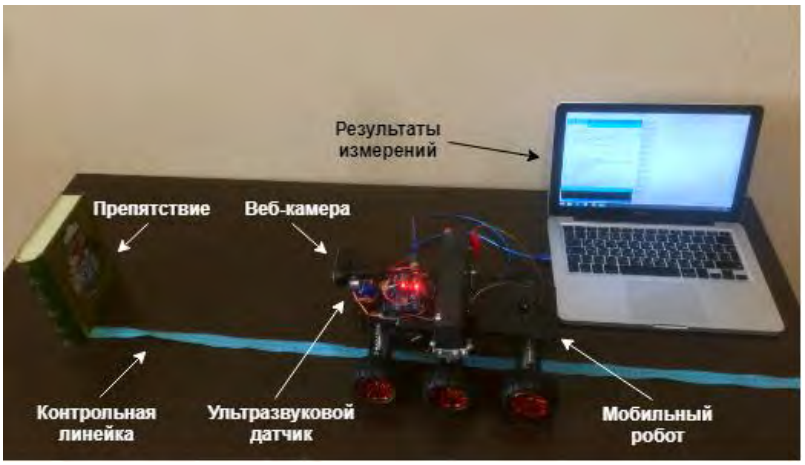


Рис. 6. Эксперимент по определению расстояния

Результаты эксперимента по определению расстояния с помощью ультразвукового датчика и веб-камеры изображены на рис. 7, 8.

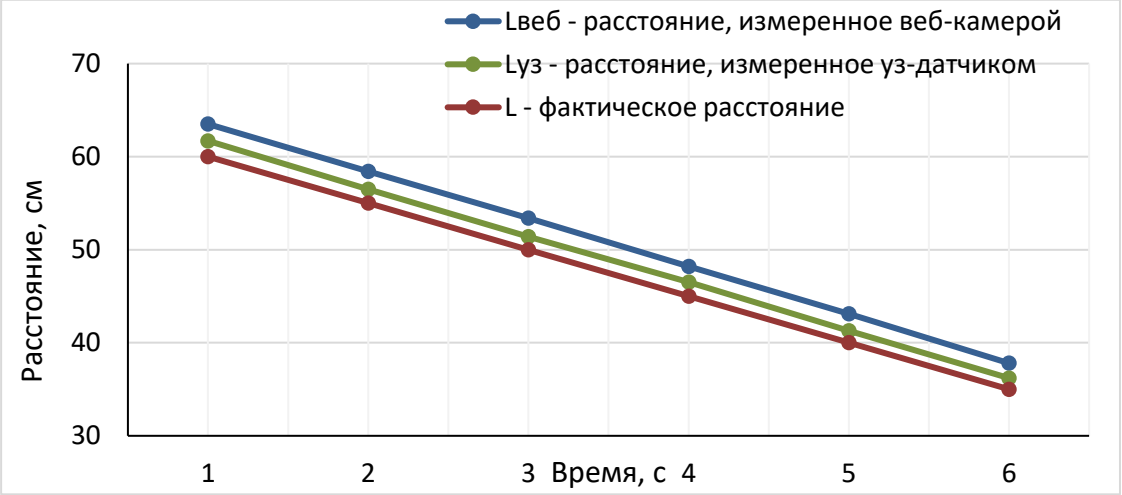


Рис. 7. График сравнения фактического расстояния и расстояния, измеренного веб-камерой и ультразвуковым датчиком

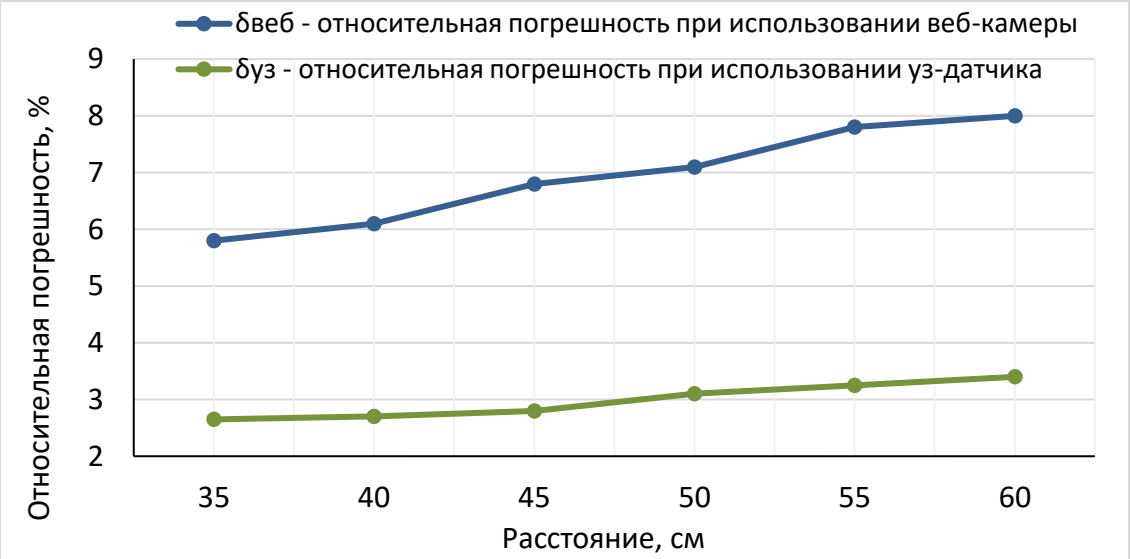


Рис. 8. График зависимости относительной погрешности измерения от расстояния при использовании веб-камеры и ультразвукового датчика

Таким образом, в случаях использования ультразвукового датчика, мы получаем более точные результаты измерения с наименьшей относительной погрешностью, но тогда теряется возможность идентифицировать само препятствие. Для решения данной проблемы предлагается одновременное использование ультразвукового датчика и веб-камеры, которые будут исключать недостатки используемых методов измерения расстояния от мобильного робота до препятствия.

Заключение

В результате выполнения выпускной квалификационной работы, были разработаны и исследованы алгоритмы курсовой стабилизации, объезда препятствий мобильным колесным роботом на плоскости с помощью ультразвукового датчика и веб-

камеры и его движения по пересеченной местности.

В отличие от существующих аналогов, в данной работе акцент делался не на модернизации конструкции мобильного робота, а на расширении возможностей сенсорных систем. Подобные решения позволят системе управления мобильного робота принимать решения о ходе дальнейших действий и избегать ситуации, при которых робот не сможет преодолеть определенный участок заданной траектории.

Вместе с тем, в ходе работы был разработан мобильный робот на платформе шестиколесного шасси 6WD Mobile Platform, оснащенный микроконтроллером Arduino UNO R3, платой Yun Shield v 1.1.6 и другими датчиками. С помощью него были проведены экспериментальные исследования по определению расстояния от робота до препятствия и исследования по определению формы поверхности.

Литература

1. Siegwart R., Illah Reza Nourbakhsh, Scaramuzza D. Introduction to autonomous mobile robots // Cambridge, Mass.: MIT Press, 2011. P. 435.
2. Евстигнеев М.И., Литвинов Ю.В., Мазулина В.В., Мищенко Г.М. Алгоритмы управления четырехколесным роботом при движении по пересеченной местности // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. 2015. Т. 58. № 9. С.38-741.
3. Евстигнеев Д. Системы управления интеллектуальных мобильных роботов в среде Dyn-Soft RobSim 5. Часть III. // Москва, 2014. С. 190.
4. Литвинов Ю.В., Мазулина В.В., Фролов С.Н., Салмыгин И.П., Бушуев А.Б. Использование веб-камеры для обнаружения препятствий на пути движения мобильного робота // Системы обработки информации. Информационные проблемы теории акустических, радиоэлектронных и телекоммуникационных систем 2013. № выпуск 7 (114). С. 24 - 26.
5. Мазулина В.В., Чащина М.М., Литвинов Ю.В. Организация движения мобильного робота по пересечённой местности // Научный альманах. 2017. С. 101-106.
6. Мазулина В.В., Чащина М.М., Литвинов Ю.В., Евстигнеев М.И. Алгоритм организации движения мобильного робота по пересеченной местности // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики 2017. Т. 17. № 3(109).
7. Нгуен Х.Х., Литвинов Ю.В., Парамонов В.С., Чащина М.М. Измерение расстояния до препятствия по видеоизображению // Инструменты и механизмы современного инновационного развития: сборник статей Международной научно-практической конференции. 2017. Т. 4. С. 102-107.

Перес Ортис Мигель Анхель
Год рождения: 1980
Университет ИТМО,
факультет программной инженененерии и компьютерной техники,
студент группы № P4214,
направление подготовки: 09.04.01 – Информатика,
и вычислительная техника,
e-mail: miguelangel.miguelperez@gmail.com
Потемин Игорь Станиславович
Университет ИТМО,
факультет программной инженененерии и компьютерной техники,
к.т.н., доцент (квалификационная категория «ординарный доцент»),
e-mail: ipotemin@yandex.ru, ispotemin@itmo.ru

УДК 004.946

ВИЗУАЛИЗАЦИЯ И СЕГМЕНТАЦИЯ ТРОПИЧЕСКИХ ЦИКЛОНОВ В СПУТНИКОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЯХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНИКИ ДВОРЖАКА

О.М.А. Перес

Научный рукводитель – доцент **И.С. Потемин**

Университет ИТМО

Работа выполнена в рамках темы: Конкурс на лучшую научно-исследовательскую выпускную квалификационную работу среди выпускников Университета ИТМО 2019 года

Аннотация
Спутниковые изображения являются очень полезным инструментом в ежедневном прогнозировании и разработке исследований. Метеорологические явления изучаются и обнаруживаются по наблюдениям метеорологических спутников. Данная работа направлена на реализацию, визуализацию и сегментацию тропических циклонов с использованием технологии Дворжака, разработку алгоритмов для будущей идентификации облачных моделей по всей траектории циклона.
К. лючевые слова
Циклоны, спутник, дворжак.

Введение

Распознавание шаблонов, также называемое чтением, идентификацией и распознаванием форм. Шаблоны являются производными от процессов сегментации, извлечения характеристик и описания, где каждый объект представлен набором дескрипторов. Система распознавания должна назначать каждому объекту свою собственную категорию или класс (набор объектов, которые разделяют некоторые характеристики, которые отличают их от других) [1]. Чтобы распознать закономерности необходимы следующие процессы:

1. Сбор данных.

2. Особенности извлечения.
3. Принятие решений [2].

Тропический циклон – это метеорологический термин, который используется для обозначения турбулентной системы, характеризующейся замкнутой циркуляцией вокруг центра низкого давления и созданием сильных ветров и проливных дождей. Тропические циклоны черпают энергию из влажного конденсированного воздуха, создавая сильные ветры. Они отличаются от других циклонических штормов, таких как полярные минимумы, тепловым механизмом, который питает их, который превращает их в штормовые системы «теплого сердца» [3]. Метод Дворжака – это метод получения оценок интенсивности тропических циклонов по спутниковым снимкам. Верн Дворжак разработал систему распознавания образов с использованием дерева решений в начале 1970-х годов [4, 5]. С помощью спутниковых снимков вы можете узнать текущее состояние атмосферы, определить и отследить крупные метеорологические учреждения, такие как холодные фронты, ураганы, волны и другие. В данной работе предлагается разработка с использованием библиотечных алгоритмов OpenCV-Python, визуализация и сегментация спутниковых изображений в качестве метода наблюдения за тропическим циклоном, что позволяет специалистам и исследователям из Метеорологического института Кубы лучше прогнозировать формирование и развитие этого шторма, используя технику Дворжака в качестве руководства.

Обзор предметной области

Метеорологические спутники являются одним из наиболее часто используемых инструментов наблюдения за атмосферой в службе прогнозирования Метеорологического института Кубы. В этом исследовании предлагается изучение тропических циклонов с использованием техники Дворжака, для которой в облаке реализованы алгоритмы распознавания образов, что обеспечивает большую эффективность в изучении этого природного явления.

Техника Дворжака

Это методика получения оценок интенсивности тропических циклонов по спутниковым снимкам (рис. 1).

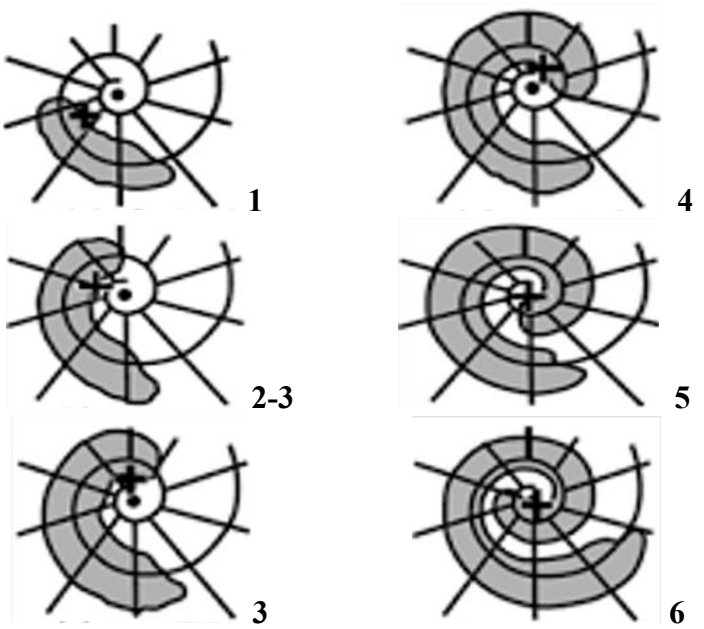


Рис. 1. Категория тропического циклона по форме его облаков

Содержание исследования Алгоритмы (5)

1. Фильтры, пороги
2. Морфология
3. Контуры

Алгоритмы библиотеки OpenCV-Python реализованы для выполнения сегментации в спутниковых изображениях. В первом решении используется ядро Гаусса и пороговое значение изображения, которое мы используем пороговой функцией. Использование метода бинарных расчетов Оцу. Во втором решении выполняется морфология, а в третьем решении можно сделать хорошую визуализацию контуров облаков.

Алгоритмы

Фильтры, пороговые значения: в этом решении я использовать один из фильтров, уже реализованных в OpenCV, который использует гауссово ядро. Используя метод Оцу расчет бинарных фильтров (рис. 2).

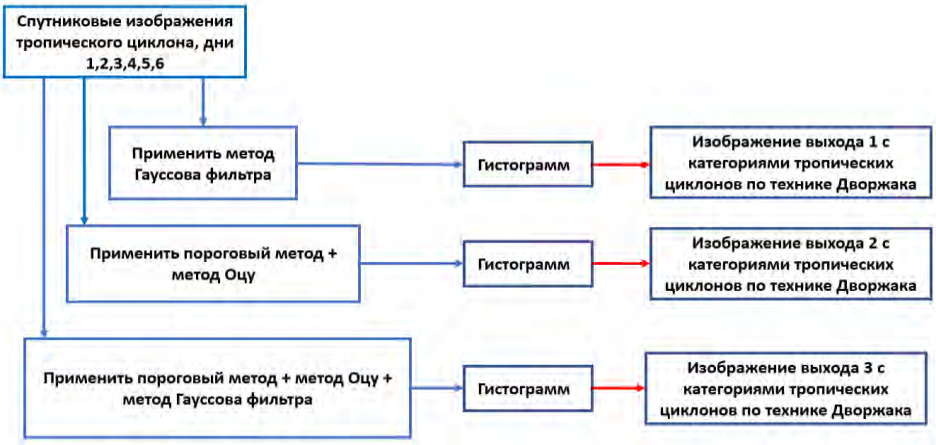


Рис. 2. Схема алгоритма. Фильтры. Пороговые Значения

Морфология: для применения операций морфологии в OpenCV можно использовать функцию morphologyEx. Использование getStructuringElement для создания структурного элемента (рис. 3).

Рис. 3. Схема алгоритма морфология

Найти контуры: получение областей будет осуществляться с помощью функции findContours, передающей ее в качестве параметра CV_CHAIN_APPROX_SIMPLE, рассматривает только сегменты по горизонтали, вертикали и диагонали (рис. 4).

Рис. 4. Схема алгоритма контуры

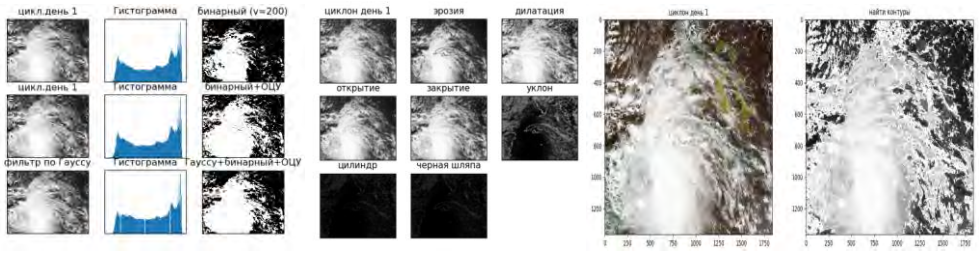


Рис. 5. Получены результаты 1 день, Дворжака техническая категория 1, количество обнаруженных контуров: 11514

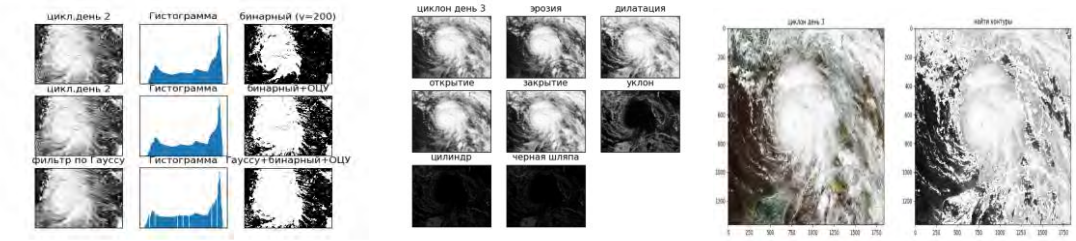


Рис. 6. Получены результаты 2 день, Дворжака техническая категория 2-3, количество обнаруженных контуров: 9904

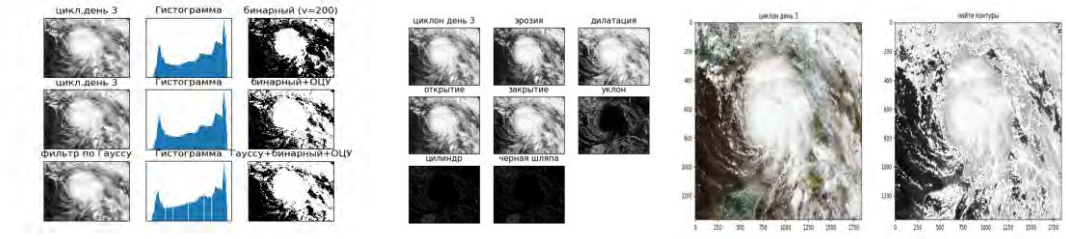


Рис. 7. Получены результаты 3 день, Дворжака техническая категория 3, день 3 количество обнаруженных контуров: 11949

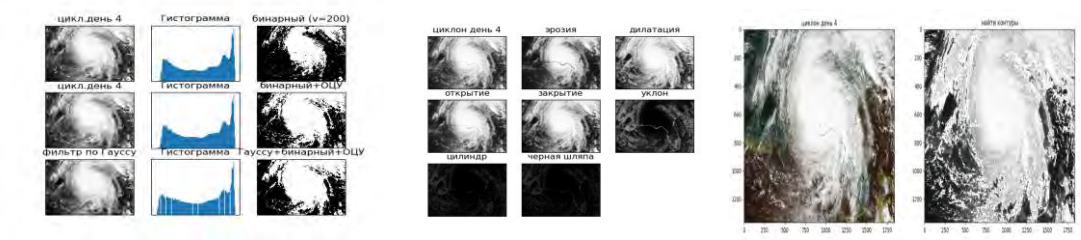


Рис. 8. Получены результаты 4 день, Дворжака техническая категория 4, количество обнаруженных контуров: 11991

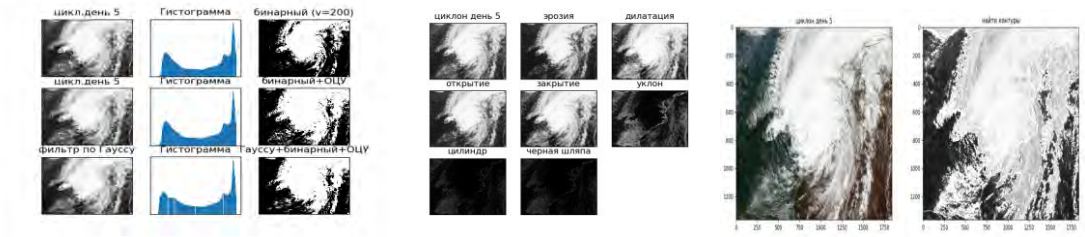


Рис. 9. Получены результаты 5 день, Дворжака техническая категория 5, количество обнаруженных контуров: 12760

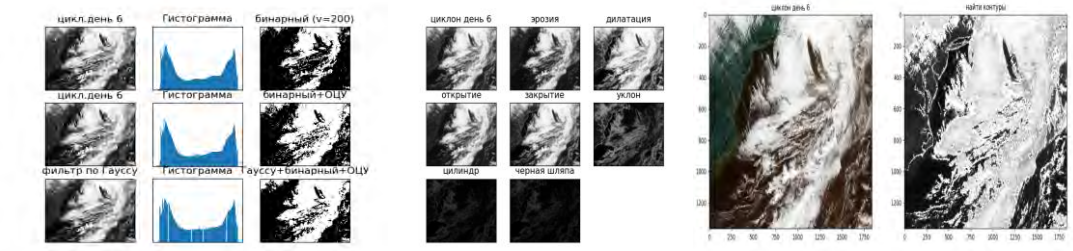


Рис. 10. Получены результаты 6 день, Дворжака техническая категория 6, количество обнаруженных контуров: 13184

На рис. 5, 6, 7, 8, 9, 10 показана сегментация шторма категории 1,2,3,4,5,6 каждый день. На рис. 5 показана сегментация этого шторма в первый день количество контуров, обнаруженных в третьем результате: 11514.

Заключение

Распознавание облаков на спутниковых изображениях является темой, которая в последнее время рассматривается как очень важный инструмент для идентификации и распознавания метеорологических явлений, в связи с чем большое значение имеет использование алгоритмов для достижения лучшей сегментации на этих изображениях. Алгоритмы машинного обучения, предложенные в модели, требуют глубокого анализа для представления облачных моделей в тропических циклонах с использованием техники Дворжака, поэтому предлагается продолжить максимизацию каждого направления на самом высоком уровне и добиться полной реализации и визуализации в веб-среде среды, предлагаемая система.

Литература

1. Meyer Ernesto A. 1995. Glosario de términos técnicos, Entrada P, pattern recognition.

2. Achara T., & Ray, A.K. 2005. Image Processing Principles and Applications. Arizona: Wiley.
3. Naval Research Laboratory. "Tropical Cyclone Forecasters Reference Guide". 2006-05-29.
4. Dvorak Vernon F. 1973. Analysis and Forecasting of Tropical Cyclone Intensities.
5. The OpenCV Reference Manual. 2012.

Петрова Полина Евгеньевна
Год рождения: 1995
Университет ИТМО,
факультет технологического менеджмента и инноваций,
студент группы №U4247
направление подготовки: 38.04.01 Экономика
e-mail: p.evgenyevna@gmail.com
Батова Татьяна Николаевна
Год рождения: 1954
Университет ИТМО,
факультет технологического менеджмента и инноваций,
к.э.н., доцент,
e-mail: emailname@email.ru

УДК 001.891

ПОДХОДЫ И МЕТОДЫ ПЛАНИРОВАНИЯ ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТ В ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ И ПРИКЛАДНЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

П.Е. Петрова

Научный руководитель – к.э.н., доцент **Т.Н. Батова**

Университет ИТМО

Работа выполнена в рамках темы НИР № 619297 «Подходы и методы планирования проведения работ в фундаментальных и прикладных исследованиях»

Аннотация
В работе раскрыты понятия научно-технической деятельности и экспериментальных разработок, рассмотрены отличая фундаментальных и прикладных исследований. Выделены их преобладающие характеристики. Разработана шестиступенчатая структура, позволяющая провести планирование работ в рамках прикладного исследования. Проведен анализ динамики показателей научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ. Проведено планирование работ в проекте по разработке и рыночному внедрению универсальных катушек для магнитно-резонансной томографии молочных желез.
Ключевые слова
Планирование НИОКР, прикладные исследования, фундаментальные исследования, проектная деятельность.

Актуальность настоящей работы заключается в том, что проведение научных исследований и опытно-конструкторских работ является основной реализации технического и экономического прогресса за счет которых повышается многоплановый фактор конкурентоспособности и производительности ВУЗов и производственных предприятий. Ускоряющееся взаимодействие науки и техники, создает качественно новый этап в развитии производственных сил и носит в себе черты революционного развития страны. Быстрый обмен идеями, методами и создание новаций между всеми научно-техническими направлениями приводит к тому, что результаты исследований воздействуют на многие стороны человеческой деятельности и самые различные отрасли

техники. В условиях быстрого развития машин, механизмов, аппаратов решающее значение приобретает автоматизация процессов на всех этапах, от идеи до конечного продукта или знания. За последнее время многие ученые посвятили свои усилия разработке систем планирования научно-технического прогресса, научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, совершенствованию тех или иных стадий планирования или методов стимулирования. В связи с тем, что окружающие человечество процессы быстро меняются, недостаточное внимание уделяется комплексному планированию, определяющему эффективность исследований.

Под фундаментальными исследованиями принято принимать высокотехнологичную работу, выполняемую академическими или научными образованиями, которая проводится в специализированных лабораториях профессорами, экспертами и студентами. Также фундаментальные исследования принято называть базовыми или академическими. Целью такой работы выступает получение и расширений знаний об окружающем мире, ответ на фундаментальные вопросы, касающиеся природы вселенной, общества и организмов.

Исследования, проводимые в повседневной среде для решения конкретных проблем отдельных лиц, организаций и / или отраслей, называются прикладными исследованиями. Прикладные исследователи обычно не стремятся решить обобщенные вопросы о вселенной или обществе. Их цель состоит в том, чтобы генерировать ответы для решения конкретных практических проблем, с которыми кто-то сталкивается.

Под научно-технической деятельностью понимается деятельность, которая направлена на получение, применение новых знаний для решения технологических, инженерных, экономических, социальных, гуманитарных и иных проблем, обеспечения функционирования науки, техники и производства как единой системы [1].

Экспериментальные разработки определяются как деятельность, которая основана на знаниях, приобретенных в результате проведения научных исследований или на основе практического опыта, и направлена на сохранение жизни и здоровья человека, создание новых материалов, продуктов, процессов, устройств, услуг, систем или методов и их дальнейшее совершенствование. В настоящее время под НИОКР понимают в целом все работы в рамках тех видов деятельности, которые перечислены в ст. 2 закона № 127ФЗ [2].

Работа специалистов, проводящих прикладные исследования, имеет много общего с тем, что делают специалисты в фундаментальных исследованиях. В обоих случаях задаются вопросы и собирается информация для получения ответа на конкретный вопрос, проверяются гипотезы с использованием эмпирических данных, чтобы снизить риск получения отрицательного результата. Фундаментальные и прикладные исследователи используют идентичный набор методов и стремятся соответствовать стандартам валидности и надежности. Оба типа исследований также дополняют друг друга [2]. Прикладные исследователи часто применяют соответствующие выводы и теории, разработанные в фундаментальных исследованиях.

В то же время существуют значительные различия между двумя типами исследований. В таб. 1 показано ключевое различие между фундаментальными и прикладными исследованиями. Разница особенно видна в отношении использования времени, ресурсов, исследовательского контекста и методов.

Качество фундаментальных исследований измеряется по критериям *достоверности и надежности*. Прикладные исследования имеют ряд дополнительных критериев, чтобы соответствовать этим двум, включая эффективность, действенность, осуществимость, актуальность и достаточность.

Научно-технический прогресс представляет собой сложный и непрерывный процесс, состоящий из нескольких этапов, предполагающий, во-первых, получение

открытий и, во-вторых, использование полученных новых знаний и достижений в хозяйственной жизни общества.

Таблица 1

Общая характеристика фундаментальных и прикладных исследований

	Базовые / фундаментальные исследования	Прикладные исследования
Цель	Продвижение человеческого понимания и знания о вселенных механизмах. Раскрытие универсальных законов	Помощь заказчикам принять решение о конкретной ситуации, проблеме. Получение конкретного продукта/разработки
Инициатива	Инициируется на основе их собственных Экспертиз исследователей, их навыков и интересов	Заказчик инициирует на основании его потребности в информации в ответ на конкретную ситуацию, проблему или возможность
Финансирование	Доступно от правительства, университетов и частных фондов в виде исследовательских грантов.	Заказчик финансирует исполнителей или нанимает штатных сотрудников. Финансирование обычно намного меньше, чем необходимо для тщательного исследования
Исполнители	Индивидуальные исследователи, обычно из одной дисциплины. Проектные команды.	Внутренний сотрудник или консультант. Исследовательская группа, состоящая из экспертов из соответствующих и дополнительных дисциплин
Временное ограничение	Длительные сроки до 4-х лет.	Привязаны к временным рамкам клиента. Значительно более короткие сроки, чем необходимо исследователям от 1 – 2 лет
Методы исследования	Используется меньше вариантов данных из источников и методов сбора данных. Методы сбора и анализа данных основываются на уникальных сильных сторонах исследователей.	Используется комбинация нескольких методов сбора данных из разных источников. и сочетание качественных и количественных методов анализа данных
Критерий оценки	Публикации на научных конференциях и в тематических журналах.	Презентация и отчет представляются только клиенту, который является единственным оценщиком работы в соответствии с техническим заданием. Заказчик самостоятельно принимает решение о необходимости публикации полученных результатов

При рассмотрении жизненного цикла научной идеи более подробно, можно выделить ключевые составляющие:

- фундаментальные исследования;
- прикладные исследования;
- первичное освоение идеи;
- внедрение;
- применение.

Значимость каждого этапа научно-технического прогресса неоспорима, ведь именно на полученных на предыдущем этапе результатах базируются последующие этапы. Так, на полученных знаниях в процессе фундаментальных исследований, основываются прикладные исследования, предполагающие преумножение знаний и нахождение путей их применения для решения конкретных задач прикладного характера. На полученных рекомендациях, в свою очередь, базируются опытно-конструкторские разработки, предполагающие создание в натуральном виде нововведений и дальнейшее их продвижение на рынок для непосредственного использования в виде инноваций.

В России в 2016 г. объем внутренних затрат на исследования и разработки достиг 943 миллиардов рублей, что составляет 37.3 миллиардов долларов США – это десятое место в рейтинге ведущих стран мира по величине рассматриваемого показателя, что является одним из факторов отставания России в научно-техническом и экономическом развитии.

На рис. 1 показано разделение объемов внутренних затрат на исследования и разработки по странам-лидерам в 2016 году.

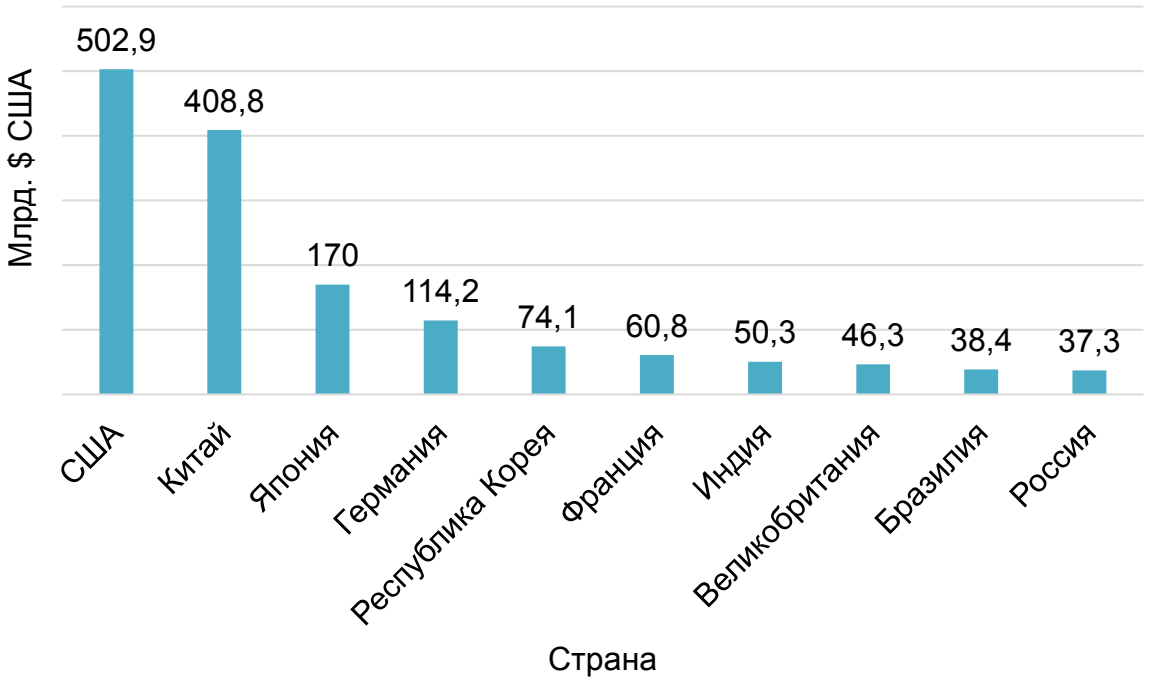


Рис. 1. Разделение объемов внутренних затрат на исследования и разработки в 2016 году по странам-лидерам

Внутренние затраты на прикладные исследования превышают затраты на фундаментальные исследования и опытно-конструкторские разработки, что в

долгосрочной перспективе повышает риски отставания страны в технологическом развитии. Так как именно фундаментальные исследования создают новые знания. Однако, прикладные исследования ориентированы на получение конечного продукта, который можно коммерциализировать.

На рис. 2 показано распределение людей, получивших степени кандидатов и докторов по различным областям наук в России на 2017 год.

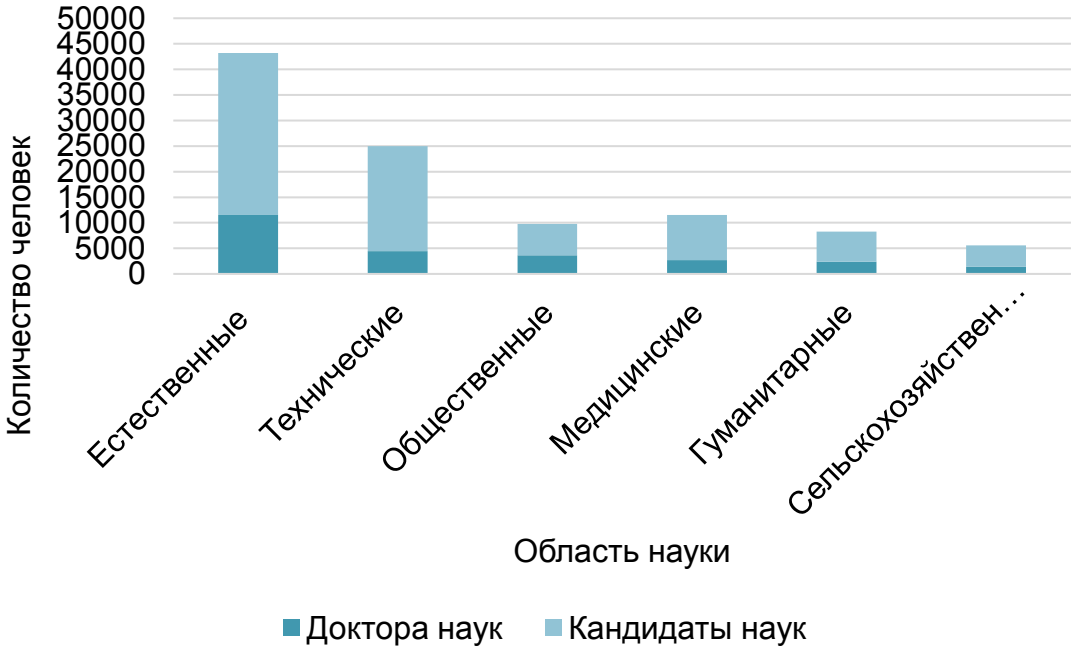


Рис. 2. Численность исследователей по областям наук в России в 2017 году

На рис. 3 показано распределение организаций, выполнявших научные исследования и разработки на территории России в 2017 году.

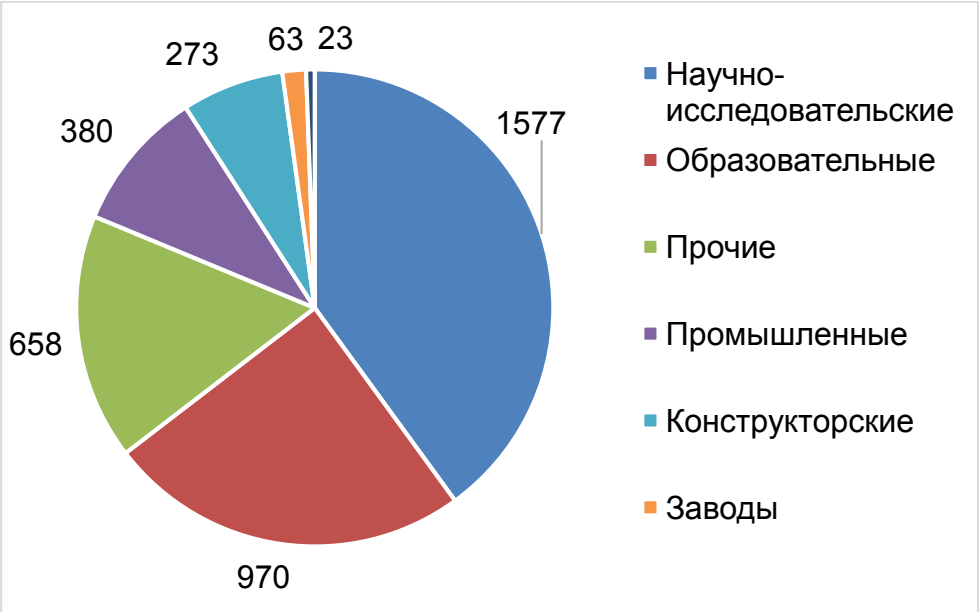


Рис. 3. Распределение организаций, выполнявших научные исследования и разработки на территории России в 2017 году по типам организаций

В России в рейтинге организаций, выполняющих НИОКР, по количеству на первом месте стоят научно-исследовательские организации с показателем в 1577 единиц.

Статистические данные охватывают организации, выполнявшие научные исследования и разработки за отчетный год, независимо от их основного вида экономической деятельности и формы собственности.

Организации, выполнявшие научные исследования и разработки классифицируются по секторам деятельности: государственный, предпринимательский, высшего образования, некоммерческих организаций.

В состав *государственного сектора* входят: организации министерств и ведомств, обеспечивающие управление государством и удовлетворение потребностей общества в целом; некоммерческие организации, полностью или в основном финансируемые и контролируемые Правительством Российской Федерации.

Предпринимательский сектор включает: все организации, чья основная деятельность связана с производством продукции или услуг в целях продажи, в том числе находящиеся в собственности государства; частные некоммерческие организации, обслуживающие вышеназванные организации.

В состав *сектора высшего образования* входят: образовательные организации высшего образования, независимо от источников финансирования и правового статуса, а также находящиеся под их контролем либо ассоциированные с ними научно-исследовательские институты, экспериментальные станции, клиники.

Сектор некоммерческих организаций состоит из частных организаций, не ставящих своей целью получение прибыли (профессиональные общества, общественные организации, фонды и т.д.), и частных индивидуальных организаций.

Рамках проводимых НИОКР часто проводится защита полученной интеллектуальной собственности.

За период с 2005 года по 2017 год число патентных заявок на изобретения, поданных отечественными и зарубежными заявителями, выросло с 32254 до 36454 заявок. Рост был обеспечен, в первую очередь, повышением активности зарубежных заявителей: число поданных ими патентных заявок за последние двенадцать лет увеличилось в 1,7 раза, достигнув в 2017 году показателя в 13617 заявки, что свидетельствует о высоком интересе зарубежных предпринимателей к российскому рынку интеллектуальной собственности

По количеству патентуемых изобретений лидируют Центральный округ (50,62% от общего количества поданных заявок от российских заявителей), Приволжье (15,80%) и Северо-Западный округ с долей 9,47%. Следом идут Сибирский (7,96%), Южный (6,77%), Уральский (4,51%), Северо-Кавказский (2,8%) и Дальневосточный (2,02%) округа [3, 4].

На регистрацию промышленных образцов в 2017 году поступило 6487 заявок, что на 18% больше, чем в 2016 году. Резиденты иностранных государств подали 3224 заявок, российские — 3263.

Научные знания и производственный опыт материализуются в полученных инновациях. Под инновациями подразумевается средства и предметы, которые должны прийти на смену уже используемым в обществе, либо предназначены для удовлетворения новых и повышенных требований человека в сфере производства и потребления.

Новые виды техники, в том числе различные машины, станки и оборудование, приборы и аппараты, средства механизации и автоматизации создаются отраслями различной промышленности. Развитие промышленности определяет технический прогресс.

Процесс создания новых технологий состоит из ряда важнейших стадий и этапов.

Часть из них: теоретические и экспериментальные НИР, опытно-конструкторские разработки и проектирование, опытное и серийное производство – являются основными стадиями. Другие: прогнозирование, организационно-плановая подготовка всего процесса и каждой новой стадии, а также все виды технической подготовки производства, относятся к вспомогательным стадиям.

Важным условием повышения общей эффективности процесса создания инноваций является установление правильных соотношений между всеми его основными стадиями.

Во многих научно-исследовательских организация узким местом выступает опытное производство. Требование максимальной загрузки рабочих мест приводит к удлинению сроков выполнения экспериментальных работ. Опытные производственные мощности должны обеспечивать немедленное выполнение макетов и образцов новых изделий.

К.Ф. Пузыня в своей работе определяет, что для создания совершенных систем планирования процессов исследований и разработок необходимо знание структуры и характера взаимосвязей основных элементов, составляющих их содержание [5].

Каждая НИОКР имеет свои особенности, однако процесс их выполнения можно типизировать.

Автором представлена пошаговая инструкция по разработке и проведению прикладных исследований, отвечающая критериям качественной работы. Основные шаги представлены на рис. 4.

Методика представлена шестью последовательными шагами, которые позволяют структурировать проводимое исследование и упрощают процесс планирования.

Зачастую, исследования редко представляют собой четкий и простой процесс от ясного вопроса до планирования, сбора и анализа данных. Невозможно сделать следующий шаг без предыдущего, необходимо часто возвращаться и пересматривать предыдущие шаги по мере продвижения вперед, потому что предварительные идеи и догадки будут проверены и уточнены по мере получения более точной информация с каждым последующим шагом.

Например, можно начать с одного набора вопросов исследования только после предварительного просмотра существующей информации.

Все шаги должны рассматриваться как ступени для получения ясности и движения вперед, даже если это означает, что исследователь должен периодически возвращаться назад.

Каждое исследование уникально, и существует несколько способов его разработки и реализации. Каждый шаг, описанный в этом разделе, содержит информацию о том, что он включает, почему это необходимо и полезно, как это реализовать.

Рекомендуется вовлекать в исследование заказчика (если таковой имеется) для обмена информацией, осознанности текущих процессов и получения желаемого результата.

Изучение методов и подходов планирования НИОКР показало, что что существует два метода основных подхода проведения исследований:

1. Стандартизированные, где возможно признание типизации.
2. Подход, предполагающий творческую деятельность.

Два основных метода планирования работ в фундаментальных и прикладных исследованиях: Директивный, в котором принято использовать табличное планирование или построение сетевых моделей в которых с заложены резервы и возможность оптимизации плана; адаптивный, не имеющий ограничений по времени и ресурсам для исследователей, применимый в большей степени для фундаментальных исследований.

Рис. 4. Методика прикладного исследовательского процесса

Литература

1. Clow.ru. Техническая энциклопедия / Научно техническая революция и наши задачи Электронный ресурс]. Режим доступа: http: //tehno.claw.ru /shared/kinder/0020.htm.
2. Бусыгина Н.П. Качественные и количественные методы исследований в психологии: учебник для бакалавриата и магистратуры / Бусыгина Н.П. Москва, Юрайт, 2018. 423 с. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://biblio-online.ru/bcode/412907.
3. Robert K. Yin. Case Study Research: Design and Methods. (6th ed.). SAGE Publications, 2017
4. vc.ru. Бизнес, технологии, идеи, модели роста [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://vc.ru/35181-v-rossii-za-2017. (Дата обращения 22.03.2019)
5. Пузыня К.Ф. Совершенствование планирования в НИИ и КБ машиностроения / Пузыня К.Ф. Л.: Машиностроение, 1974. 320 с.

Петряева Мария Александровна
Год рождения: 1995
Университет ИТМО,
факультет пищевых биотехнологий и инженерии,
студент группы № Т4230,
направление подготовки: 19.04.01 – Биотехнология продуктов функционального назначения,
e-mail: petryaeva-95@mail.ru

УДК 637.1

ПОЛУЧЕНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО ПИЩЕВОГО ИНГРЕДИЕНТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ФРАКЦИОНИРОВАНИЯ МОЛОЧНОГО СЫРЬЯ

М.А. Петряева

Научный руководитель – д.т.н., профессор **Л.А. Забодалова**

Университет ИТМО

Аннотация
В результате проведенной работы был синтезирован аффинный сорбент и определена его удельная емкость, получен концентратаффинно выделенного лактоферрина иопределена его биологическая активность, проведен трипсинолиз полученного концентрата с последующим определением биологической активности продуктов его расщепления; установлено, что использование сорбента с иммобилизованным гепарином позволяет выделять лактоферрин с высокой удельной биологической активностью.

Ключевые слова
Аффинная хроматография, лактоферрин, гепарин, биологическая активность, РНК дрожжей, емкость сорбента.

Введение

Лактоферрин – полифункциональный белок из семейства трансферринов. Он содержится в различных секреторных жидкостях, таких как молоко, слюна, слезы, секреты носовых желез, плазме крови.

Основные биологические функции этого уникального белка: транспорт Fe^{3+}, антибактериальная, иммуномодулирующая, противовоспалительная, противовирусная, противогрибковая, каталитические активности.

Благодаря широкому спектру биологических активностей, возможно применение данного белка в области лечения и профилактики различных заболеваний.

Традиционно считается, что одним из важнейших и эффективных способов решения проблемы оптимизации питания является дополнительное употребление биологически активных веществ в составе биологически активных добавок к пище или функциональных продуктов питания. Молоко содержит защитные компоненты, обеспечивающие поддержание гомеостаза в постнатальный период, когда собственный иммунитет сформирован еще недостаточно. В большей степени эту функцию выполняет комплекс биологически активных сывороточных белков: иммуноглобулинов, лактоферрина, лактопероксидазы, нуклеаз [3].

Нетоксичность при многочисленных положительных физиологических эффектах делает лактоферрин весьма перспективным для использования в качестве активной основы продуктов лечебно-профилактического назначения, корректирующих иммунные процессы, защищающих от различных инфекций, повышающих устойчивость организма к перегрузкам и стрессовым воздействиям. К тому же лактоферрин продолжает оставаться в ряду дорогостоящих белков вследствие значительного внимания исследователей к его уникальным свойствам и имеющихся трудностей выделения в чистом виде. Поэтому существует экономическая необходимость создания эффективных технологий по получению такого ценного белка как лактоферрин.

Анализ литературных данных показал, что современным и перспективным способом, позволяющим получать сывороточные белки молока в нативном состоянии, является хроматография. Для выделения лактоферрина преимущественно применяют ионообменную хроматографию и мембранную технологию [4].

Цель работы

Аффинное выделение лактоферрина из отходов молочной промышленности для получения биологически активной добавки, пригодной для обогащения пищевых продуктов, предназначенных для профилактического питания.

Задачи работы

1) Синтез аффинного сорбента с иммобилизованным гепарином;

2) Определение емкости полученного сорбента;

3) Получение концентрата аффинно выделенного лактоферрина и определение его биологической активности (по способности гидролизовать РНК);

4) Проведение трипсинолиза лактоферрина и определение ферментативной активности продуктов расщепления.

Результаты

Данная работа проводилась под научным консультированием д.б.н., профессора кафедры биохимии и биотехнологии, Гариповой Маргариты Ивановны в университете БашГУ г. Уфа в рамках договора между ВУЗами.

В качестве образцов для исследований использовались молочные сыворотки из-под творога и сыра, полученные от молочных предприятий г. Уфы и Санкт-Петербурга. Сначала был подобран и оптимизировансостав сорбента [1]. Далее для оценки эффективности выделения проводилось концентрирование и определение рибонуклеазной активности белка, являющейся главным показателем предполагаемого его наличия в молочной сыворотке. Количество выделенного и сконцентрированного белка рассчитано через измеряемую спектрофотометрически оптическую плотность.

Одним из фундаментальных свойств лактоферрина является его способность взаимодействовать с полианионами типа ДНК, липополисахаридами, гепарином. Данная способность была использована для создания сорбентов, пригодных для выделения и очистки белка с помощью аффинной хроматографии на колонках с сорбентом, содержащим иммобилизованный гепарин.

Аффинная хроматография – это метод разделения биологических молекул, который основан на особых взаимодействиях между белком и специфическим лигандом, связанным с матрицей (носителем). Ключевые этапы аффинного разделения представлены на рис. 1 [5].

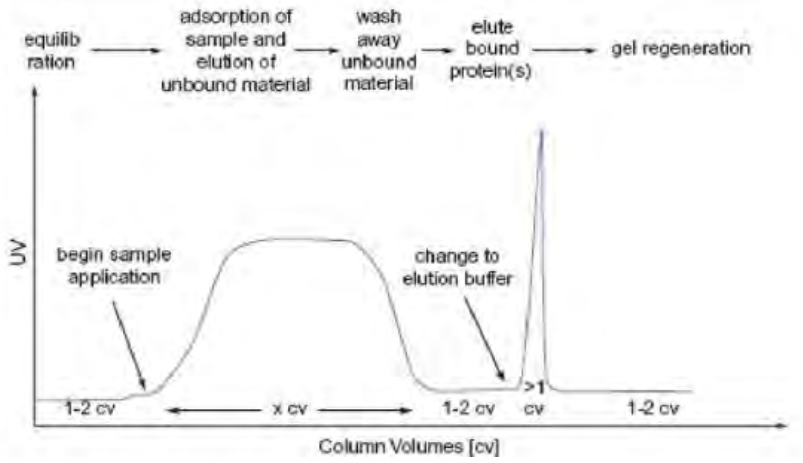


Рис. 1. Этапы аффинного разделения белков

На первом этапе исследования проведена иммобилизация гепарина по модифицированному методу Гариповой М.И. [2]. Для выделения лактоферрина молочную сыворотку пропускали через колонку с иммобилизованным гепарином при скорости 2 мл в минуту. Связанный лактоферрин элюировали 0,1 М уксусной кислотой, pH которой составляет 2,8.

Концентрирование лактоферрина проводили с помощью системы вакуумного концентратора CentriVap. На колонке объемом 20 мл максимально (из 1200 мл сыворотки) было извлечено 10 мг лактоферрина, показано на рис. 2.

Рис. 2. Зависимость количества выделенного лактоферрина от объема нанесенной сыворотки

Для постановки ферментативной реакции выделяли РНК из пекарских дрожжей. РНК-ную активность определяли как разницу количества РНК в пробе до и после воздействия фермента методом В.И. Билай [1]. После осаждения и измерения оптической плотности при 260 нм определяли количество расщепленной лактоферрином РНК.

После определения каталитической активности было выявлено, что в полученном концентрате белка активность возросла в 51 раз по сравнению с анализируемой молочной сывороткой. Таким образом, нам удалось выделить аффинно белок эффективным методом и сохранить его биологическую активность.

Кроме этого, мы определяли ферментативную активность лактоферрина,

содержащемся в различных молочных сыворотках в день получения молочной сыворотки и в процессе хранения в морозильной камере через 3, 6, 9, 12 месяцев после получения (таблица).

Таблица

Результаты ферментативной активности молочных сывороток

№	Молочная сыворотка	Хранение 0 мес	Хранение 3 мес	Хранение 6 мес	Хранение 9 мес	Хранение 12 мес
1	Образец 1	0,378	0,377	0,376	0,366	0,366
2	Образец 2	0,363	0,356	0,354	0,349	0,340
3	Образец 3	0,509	0,507	0,506	0,502	0,501
4	Образец 4	0,183	0,182	0,182	0,182	0,182
5	Образец 5	0,351	0,350	0,348	0,347	0,347
6	Образец 6	0,420	0,418	0,417	0,416	0,414
7	Образец 7	0,470	0,469	0,468	0,468	0,468
8	Образец 8	0,420	0,418	0,417	0,417	0,417

Под номером один молочная сыворотка из-под сыра Качотта, второй образец представлен молочной сывороткой из-под сыра Рикотта (его получали с использованием сыворотки первого образца), проба три это сыворотка после приготовления сыра Голландский, остальные сыворотки творожные марок Алексеевская, Приозерск, Лосево, Моисеево и Поступалово соответственно нумерации таблицы.

Расщепление лактоферрина проводили методом трипсинолиза. Трипсин (Spofa, Чехия) был взят в расчете 1 мг/мл. Калибровку pH до 8,0 осуществляли на pH-метре с использованием буферного раствора ТРИС-HCl 1М. РНК-зную активность так же определяли по методике В.И. Билай [1]. Попытка получить субъединицу лактоферрина, проявляющую биологическую активность в результате его расщепления не дала положительного результата: продукты расщепления трипсином рибонуклеазную активность не сохранили.

Исходя из всего вышесказанного, следует, что использование сорбента с иммобилизованным гепарином позволяет выделять лактоферрин с высокой удельной биологической активностью.

Выделенный лактоферрин может быть использован в качестве биологически активной добавки в продукты профилактического питания. Техника обладает высокой селективностью и вещество очищается в несколько тысяч раз. Один шаг аффинной очистки дает экономию времени по сравнению с менее селективными многоступенчатыми процедурами.

На основании результатов можно заключить что, использование сорбента с иммобилизованным гепарином позволяет выделять лактоферрин с высокой удельной биологической активностью, пригодный для использования в качестве добавки в продукты профилактического питания.

Область применения

Вторичный сырьевой ресурс при производстве сыров, творога — молочная сыворотка. Актуально более полное использование такого ценного сырья. Среди различных ценных белков молочной сыворотки лактоферрин вызывает растущий интерес из-за его биологических функций, таких как противомикробный, противовоспалительный, иммуномодулирующий фактор.

Лактоферрин может быть использован в качестве биологически активной добавки

для функционального питания и в качестве компонента нового поколения высокоэффективных и биологически безопасных лекарств иммуномодулирующей направленности.

В настоящее время потребность в лактоферрине во много раз превышает предложение, данноеобстоятельствоставит задачи перед исследователями: эффективное выделение с низкими затратами для удовлетворения спроса на промышленное производство этого биологически активного белка.

Для использования в промышленности целесообразно увеличить объем сорбента до 2000 мл, чтобы за один цикл выделять лактоферрин из 120 литров молочной сыворотки. Возможно использовать данный синтезированный сорбент до 300 полных циклов.

Литература

1. Билай В.И. Методы экспериментальной микологии: справочник / Билай В.И., Дудка И.А. Киев: Наук.думка. 1982. 202-207 с.
2. Гарипова М.И. Инсулин-транспортирующие системы крови человека в норме и при сахарном диабете первого типа. Теоретические и прикладные аспекты: автореф. дис. … канд. биол. наук: 03.00.04 / Гарипова Маргарита Ивановна. Уфа, 2008. 44 с.
3. Гудок А.А. Лактоферрин – перспективы использования и анализ имеющихся результатов // Успехи современной биологии. 2011. Т. 131. № 2. С. 135–144.
4. Зобкова З.С. Технология экстрагирования лактоферрина из сырого молока. М., 2009. С. 21–22.
5. Ибрагимов А.Н. Хроматографические методы очистки белков: учебно-методическое пособие // Ибрагимов А.Н., Бикмуллин А.Г., Сатаева А.Д. Казань: ФГАОУ ВПО КФУ, 2013. 48 с.

Поздяев Илья Васильевич
Год рождения: 1995
Университет ИТМО,
факультет безопасности информационных технологий,
студент группы №4250,
Направление подготовки: 10.04.01 – Информационная безопасность,
e-mail: cyttermole@gmail.com
Птицын Алексей Владимирович
Год рождения: 1974
Университет ИТМО,
факультет безопасности информационных технологий,
к.т.н., доцент,
e-mail: avptitcyn@corp.ifmo.ru

УДК 004.056

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДА ОЦЕНКИ РИСКОВ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ НА ПРИМЕРЕ ПРЕДПРИЯТИЯ ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ «КИНЕФ»

И.В. Поздяев

Научный руководитель – к.т.н., доцент **А.В. Птицын**

Университет ИТМО

Аннотация
В работе проведен статистический анализ утечек информации, спровоцированных внутренними и внешними нарушителями. Исследована Государственная система обнаружения, предупреждения и ликвидации последствий компьютерных атак. Составлена модель нарушителя и модель угроз информационной безопасности предприятия. Проведен обзор основных методов оценки рисков и составлена сравнительная таблица. Разработан метод оценки рисков ИБ и выполнена его программная реализация.
Ключевые слова
Информационная безопасность, угрозы информационной безопасности, оценка рисков, программный метод, средства защиты информации.

Введение

Интенсивное внедрение компьютерных технологий, автоматизация управления технологическими и производственными процессами на крупных предприятиях различных отраслей неизбежно сталкивается с проблемой обеспечения информационной безопасности. Системный подход к управлению рисками информационной безопасности является непрерывным, динамично модифицирующимся процессом. В данных условиях важно идентифицировать потребности конкретных предприятий в обеспечении информационной безопасности, а также разработать эффективную и понятную систему обеспечения процесса управления информационной безопасностью.

Всё более актуальным становится использование риск-ориентированного

подхода, позволяющего выявлять основные факторы, влияющие на уровень информационной безопасности предприятия. Основной проблемой риск-ориентированного подхода является сложность в адаптации методов и инструментов, под деятельность конкретного предприятия с учетом необходимости интеграции внутренних ресурсов с ресурсами специализированных государственных систем. Данный процесс зачастую является достаточно сложным для специалистов разного уровня, вследствие чего возможно непонимание важности данного вопроса руководством организации, что в совокупности может привести к неверному выбору средств защиты информации или ограниченному бюджету для реализации данных средств.

Внутренние и внешние источники угроз информационной безопасности

В 2018 году на внутреннюю утечку приходится 2,5 млн. скомпрометированных записей, тогда как на внешнюю утечку – 1,6 млн. записей. Следует отметить, что внутренние утечки информации несут куда больший риск наступления негативных последствий для обладателя информации, нежели утечки по причине внешнего воздействия. Путём внешней утечки компрометируется набор однородных данных, при этом из-за внутренней утечки может быть скомпрометирована любая информация, обрабатываемая в организации.

Картина распределения утечек по вектору воздействия остается стабильной в последние годы. В мире соотношение утечек установилось 60:40 в пользу утечек из-за внутренних нарушений. В России доля внешних атак почти втрое меньше, чем в мире (рис. 1).

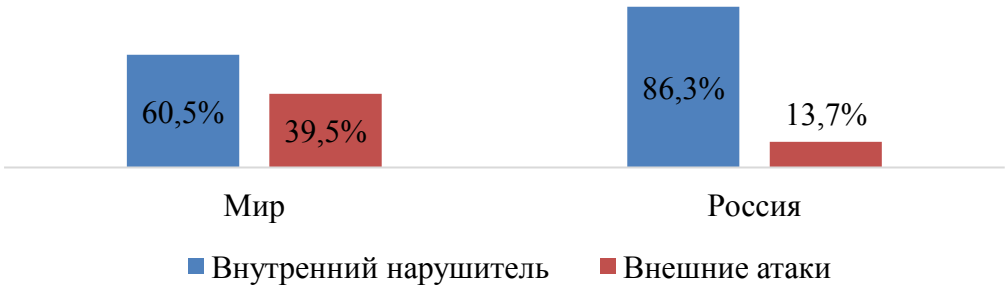


Рис. 1. Распределение утечек по вектору воздействия [1]

За первое полугодие 2018 года объем скомпрометированных данных в результате действий внутреннего нарушителя более чем в пять раз превысил объем данных, скомпрометированных в результате воздействия внешнего нарушителя. Рост утечек по причине внутреннего нарушителя заставляет задуматься о внедрении наиболее современных и эффективных средств защиты, и о повышении показателей уровня подготовки сотрудников организации в сфере информационной безопасности, что обуславливает необходимость совершенствования системы контроля, и обучение персонала [2].

Описание исследуемого объекта

ООО «КИНЕФ» – единственный нефтеперерабатывающий завод на Северо-Западе России – был введен в эксплуатацию в городе Кириши в 1966 году. С 1993 года входит в структуру ПАО «Сургутнефтегаз». Предприятие выпускает множество различной продукции, среди которой: нефтяной парафин, битум, мазут, дизельное топливо и бензин. География рынка сбыта продукции чрезвычайно широка: Северо-

Западный регион РФ, западная и восточная Европа. Торговая марка «КИНЕФ» известна более чем в пятидесяти странах мира.

При составлении модели угроз исследуемого объекта следует классифицировать угрозы по объектам воздействия: человек; процессы разработки, производства, поставки; каналы связи данных; технические средства; программное обеспечение; аппаратное устройство.

Нарушителем применимо к предприятию ООО «КИНЕФ» является лицо, действия которого могут привести к нарушению информационной безопасности предприятия. Данное действие может быть совершено как непреднамеренно, так и целенаправленно с использованием различных методов, устройств или программ.

В настоящее время государство ставит перед собой задачу защитить от возможных угроз ИБ критически важные информационные объекты, однако для решения такой задачи следует учитывать риск того, что защищающаяся сторона окажется не способна противодействовать различным атакам по причине отсутствия технических средств, знаний и опыта в области информационной безопасности. В рамках работы по совершенствованию защиты информационных систем от кибератак, ФСБ РФ была создана Государственная система обнаружения, предупреждения и ликвидации последствий компьютерных атак (ГосСОПКА) [3].

По итогам проведения аудита исследуемой организации было выявлено, что данное предприятие является субъектом критической информационной инфраструктуры РФ, вследствие чего предприятию необходимо исполнять требования Федерального закона от 26.07.2017г. №187-ФЗ «О безопасности критической информационной инфраструктуры Российской Федерации», а также организовать сотрудничество с ГосСОПКА. Данное сотрудничество положительно скажется на уровне информационной безопасности объекта, а также обеспечит наиболее эффективную выработку рекомендаций для противодействия потенциальным атакам на информационную систему и появлению новых дополнительных угроз безопасности информации.

Обзор и сравнение существующих методик оценки рисков информационной безопасности

После проведения аудита предприятия следует рассмотреть основные методики анализа и оценки рисков безопасности информации, которые могут быть применимы на объекте. Методики делятся на следующие виды:

– Методики, использующие количественный метод (оценка происходит в числовых значениях). К ним, например, относится – RiskWatch.

– Качественный уровень оценки рисков (такие методики зачастую используют следующую шкалу: «низкий», «средний», «высокий»). К таким методикам можно отнести FRAP.

– Методики, использующие смешанные оценки. К ним можно отнести MSAT, CRAMM.

Такие методики как MSAT, RiskWatch и ГРИФ позволяют получить более подробные рекомендации по проведению повторных оценок рисков. В организации среднего размера, когда необходимо выполнить лишь разовую оценку рисков, лучше всего обратить внимание на методику CORAS. Применимо к объекту исследования целесообразно использовать такие методики, как RiskWatch и MSAT, так как ООО «КИНЕФ» является достаточно крупным предприятием, на котором необходимо внедрение управления рисками информационной безопасности на базе регулярных оценок [4].

Произведенный анализ существующих методов оценки рисков ИБ позволил

уточнить структуру работы программных решений, и их адаптируемость под особенности функционирования исследуемой организации. Обобщение полученных данных о методах, в табличном виде, позволило сделать заключение о наиболее соответствующих требованиях для исследуемого предприятия (субъекта КИИ). Выявлены направления потенциальных рисков и способов их оценки, требующие проработки и совершенствования с учетом специфики предприятия.

Описание предложенного метода оценки рисков информационной безопасности

Предлагаемый метод оценки рисков позволяет провести анализ и оценку рисков информационной безопасности для сотрудников предприятия ООО «КИНЕФ». Данный метод состоит из 6 этапов, алгоритм его работы приведен на рис. 2.

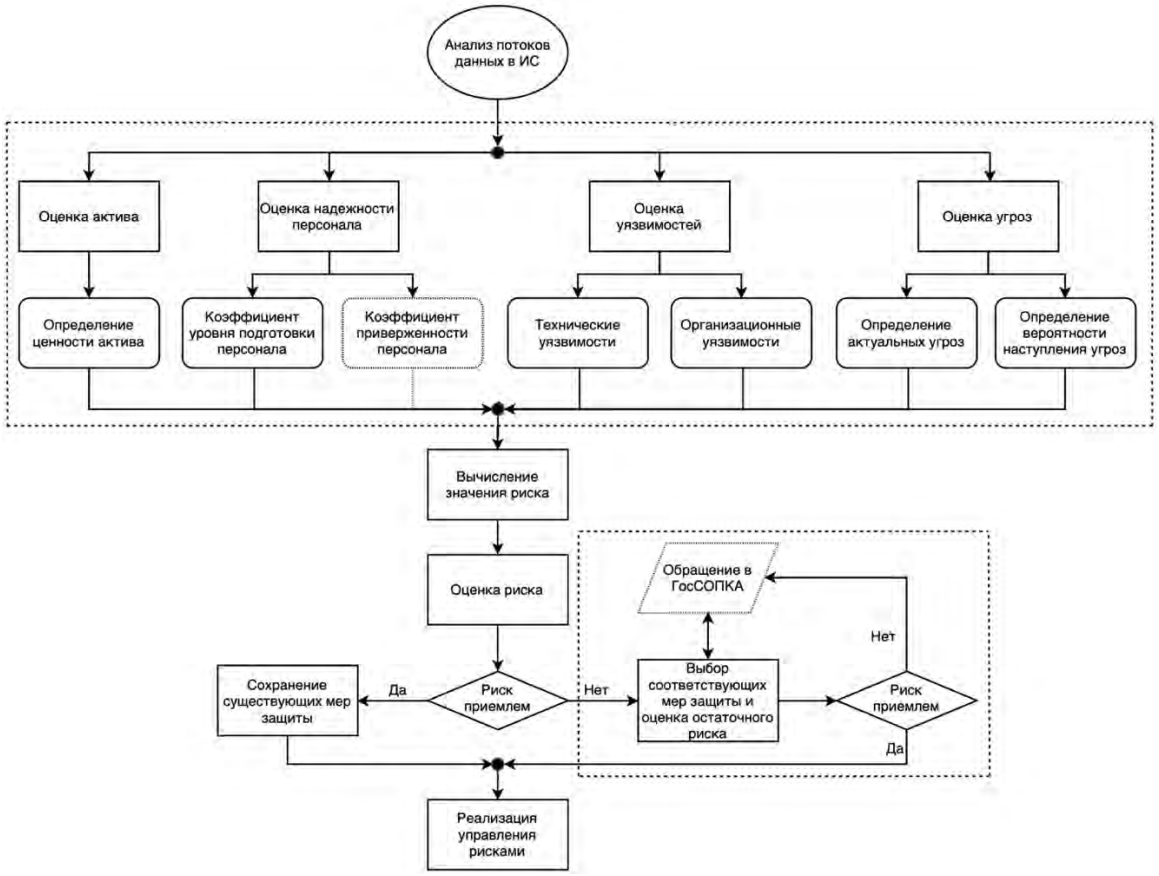


Рис. 2. Алгоритм метода оценки рисков

Основной задачей данного метода является вычисление значения риска ИБ и потенциального ущерба, в случае его реализации, что позволит предпринять необходимые защитные меры с целью повышения уровня системы защиты.

На этапе проведения оценки рисков информационной безопасности тесное сотрудничество с ГосСОПКА позволит предприятию наиболее эффективно и безболезненно внедрять защитные меры. На данной схеме также обозначен «коэффициент приверженности персонала», для расчета которого в дальнейшем требуется внедрение специальных систем динамической оценки поведенческого анализа сотрудников (на данный момент технологии подобного рода отсутствуют на предприятии).

Под количественным значением риска ИБ в рамках исследования понимается совокупность следующих факторов: ценность актива, на который направлены угрозы;

вероятность реализации хотя бы одной угрозы из всего списка актуальных угроз; коэффициент уровня подготовки сотрудников в области ИБ; коэффициенты возможности использования технических и организационных уязвимостей нарушителем, основанные на выполнении требований законодательства; коэффициент уровня подготовки сотрудников [5].

Оценка рисков реализации актуальных угроз определяется относительно к каждому активу отдельно, что позволяет определить риск наступления неблагоприятных событий на каждый актив. Формула определения риска имеет следующий вид (1):

$$R = P_{\text{угр}} * \text{C} * \frac{U_o + U_t + L}{3} * 100\%, \quad (1)$$

где: R – величина риска реализации угроз;
$P_{\text{угр}}$ – вероятность реализации хотя бы одной актуальной угрозы;
C – ценность актива;
U_o – вероятность использования организационных уязвимостей;
U_t – вероятность использования технических уязвимостей;
L – коэффициент уровня подготовки сотрудников.

Итоговая величина риска ИБ будет определяться по таб. 1.

Таблица 1

Оценка величины риска ИБ

Ущерб	Значение риска		
	Низкое, менее 3%	Среднее, от 3% до 7%	Высокое, более 7%
Низкий, Менее 9 млн. руб.	Низкий	–	
Средний, От 9 до 21 млн. руб.	–	Средний	–
Высокий, Более 21 млн. руб.	–	–	Высокий

Реализация системы оценки величины рисков, потребовала введения ряда значений, приведённых в таб. 1. Значение риска на уровне «низкий», подразумевает, что данный риск является допустимым, решения по его обработке должны приниматься на усмотрение руководителя предприятия. «Средний» – риск необходимо контролировать и по необходимости принимать меры по его снижению. При достижении уровня «высокий» - требуется немедленное принятие решений по ликвидации или минимизации риска, в связи с существенным возможным ущербом для деятельности предприятия.

В соответствии с описанием этапов, реализована программа, позволяющая автоматизировать процесс расчета рисков, упростить работу специалиста и сделав доступнее результаты проведённого анализа для руководства компании. Данная программа была реализована на языке программирования Scala. Ниже приведена поэтапная работа программы:

1) Активы предприятия.
2) Потенциальные угрозы безопасности информации.
3) Организационные и технические меры защиты.

4) ГосСОПКА.
5) Уровень подготовки сотрудников.
6) Результат и подробный отчет о риске.

Выполнение каждого из этапов позволит определить значение риска, а также получить подробную информацию о нем, которую в дальнейшем можно сохранить в формате .pdf, что в свою очередь обеспечит накопление базы о потенциальных рисках информационной безопасности на предприятии. Пример работы программы приведен на рис. 3.

Результатом выполнения всех этапов метода оценки рисков является количественное значение риска, которое необходимо для определения рекомендаций по дальнейшему развитию информационной безопасности на предприятии. Для каждого актива необходимо повторное выполнение всех этапов оценки рисков. В случае, когда количественное значение риска превышает или равно 7%, на предприятии существуют явные недостатки в области ИБ, требующие немедленного решения по минимизации или ликвидации риска. Если значение риска не превышает 7%, необходимо сделать вывод, что на предприятие выполняются необходимые требования по информационной безопасности, и риск можно считать приемлемым, но необходимо периодически проводить переоценку рисков информационной безопасности.

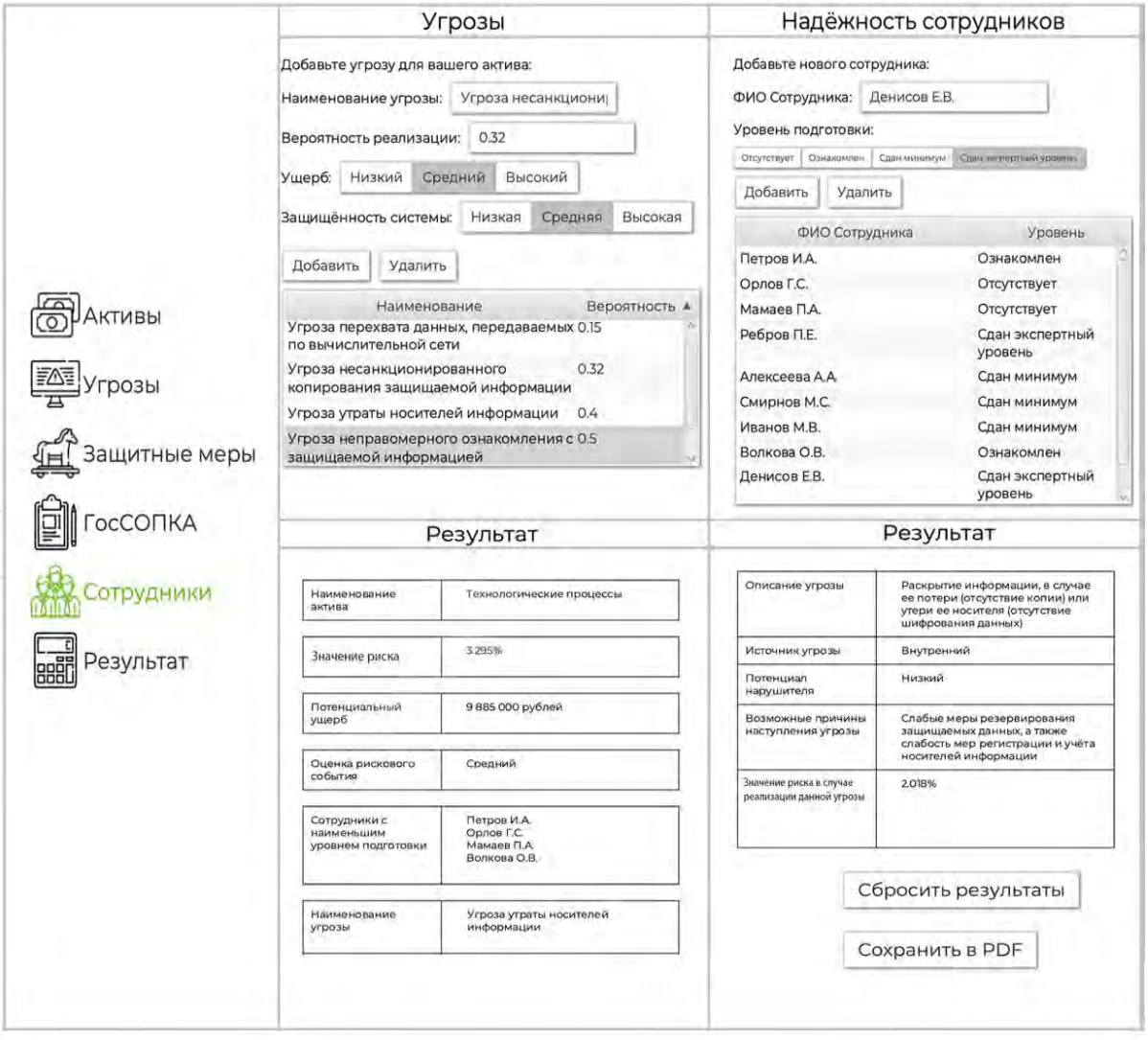


Рис. 3. Пример работы программы

Сравнение функции разработанного программного метода оценки рисков ИБ с MSAT и RiskWatch представлены в таб. 2.

Таблица 2

Сравнение функций программных продуктов

Критерии	MSAT	RiskWatch	Разработанный программный метод
Информирование руководителя	+	+	+
Учет обучения	-	-	+
Меры безопасности	+	+	+
Ценность активов	+	+	+
Количественная оценка	-	+	+
Риски, связанные с применением законодательных актов	+	-	+
Управление остаточными рисками	+	+	-
Интеграция потребностей в обеспечении ИБ с внешними субъектами	-	-	+
Описание способа управления рисками	+	+	-
Риски, связанные с персоналом	+	-	+

Разработанная программа позволяет учитывать риски, связанные с персоналом и законодательством, а также специфику работы исследуемой организации и имеет достаточно доступный интерфейс, как для расчета рисков ИБ специалистами разного уровня, так и для доведения информации до руководящего персонала.

Заключение

В ходе исследования, целью которого было повышение уровня информационной безопасности на исследуемом объекте, был разработан метод оценки рисков ИБ и выполнена его программная реализация. На данный момент разработанное программное решение не учитывает процесс управления рисками и выработку рекомендаций по выбору СЗИ, которые необходимы для ликвидации или минимизации потенциального риска, вследствие чего необходимо проводить дополнительные исследования в этой области, а также выполнить последующую модификацию программы. Предложенная программная реализация позволяет сотрудникам предприятия самостоятельно провести оценку и анализ рисков информационной безопасности, не прибегая к услугам сторонних организаций.

Проделанная работа получила положительный отзыв на предприятии ООО «КИНЕФ», предложенный программный метод рекомендован для внедрения в рамках работы отдела информационной безопасности.

Литература

1. Утечки данных. Россия. 2017 год [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.infowatch.ru/sites/default/files/report/analytics/russ/InfoWatch_russian_report_2017.pdf?rel=1, своб.
2. Власенко М.Н. Организационные аспекты и проблемы кадрового обеспечения хозяйствующих субъектов специалистами сферы информационной безопасности в современных условиях рыночной экономики России // Национальные интересы: приоритеты и безопасность. 2011. №24 (117). С.68-69.

3. Кузнецов Д. ГосСОПКА: что такое, зачем нужна и как устроена [Электронный ресурс]. Режим доступа: https: // www.anti-malware.ru / analytics / Technology_Analysis/gossopka-what-is-it-how-it-works, своб.
4. Баранова Е.К. Методики анализа и оценки рисков информационной безопасности // Вестник Московского университета им. С. Ю. Витте. Серия 3: Образовательные ресурсы и технологии. 2015. №1 (9). С.73-79.
5. Плетнев П.В., Белов В.М. Методика оценки рисков информационной безопасности // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. 2012. №1 (25). С. 83-86.

Полякова Дарья Александровна
Год рождения: 1995
Университет ИТМО,
факультет программной инженерии и компьютерной техники,
студент группы № P4260,
направление подготовки: 09.04.02 Информационные системы и технологии,
компьютерная графика и веб-дизайн,
e-mail: pooda6a@gmail.com
Шалобаев Евгений Васильевич
Год рождения: 1947
Университет ИТМО,
факультет программной инженерии и компьютерной техники,
к.т.н., доцент,
shalobaev47@mail.ru

УДК 004.356.2

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ АДАПТАЦИИ 3D-МОДЕЛЕЙ ДЛЯ АДДИТИВНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Д.А. Полякова

Научный руководитель –к.т.н., доцент **Е.В. Шалобаев**

Университет ИТМО

Работа выполнена в рамках темы НИР № 619296 «Разработка методов создания и внедрения киберфизических систем».

Аннотация
Совокупность основ и технологий аддитивного производства с различными приложениями и бизнес-потенциалом позволяют решить широкий спектр задач, а также разработать и внедрить инновационное использование аддитивных технологий в течение всего жизненного цикла продукта. Статья посвящена решению проблемы адаптации трехмерных моделей для аддитивного производства с помощью использования элементов генеративного анализа программы Siemens Solid Edge и программы подготовки 3D-моделей Autodesk Netfabb. Приведено практическое обоснование для продукта, созданного с использованием аддитивных технологий, по сравнению с традиционным подходом.
Ключевые слова: аддитивные технологии, оптимизация, 3D-печать, Siemens Solid Edge, Autodesk Netfabb, генеративный анализ

Степень распространения аддитивных технологий и 3D-печати на производстве растет во всем мире с необычайной скоростью. На передовом крае инноваций находятся исследования в области аддитивных технологий, разработки новейших порошков и материалов для 3D-печати [1]. Иностранные производители оборудования и зарубежные исследователи активно делятся опытом в относительно новых для России направлениях 3D-печати. На сегодняшний день Россия находится на начальном этапе совершенствования технологий в сочетании с адаптированным к ним уровнем мышления пользователей. Достичь высоких показателей в этих двух компонентах производства

невозможно без применения комплексного подхода через осознание возможностей новых технологий и поисков соответствующих им подходов во всем – от дизайна 3D-модели до программного обеспечения компании. И это осознание становится стимулом не только к применению новых технологий, но и их совершенствованию. Без совершенствования подходов и разработки новых методов оптимизации производства, когда достаточный парк совершенных аддитивных машин используется в рамках старых принципов 3D-моделирования, программной подготовки 3D-моделей к печати и управления проектами, есть риск упадка аддитивного производства. В такой перспективе возможны частые технические недоразумения, быстрый износ оборудования, крупные избыточные расходы, даже отрицательные экологические последствия. Развитие концепции совершенствования технологий и методов аддитивного производства актуализировало проблему адаптации трехмерных моделей для объемной печати.

Во-первых, необходимо принимать во внимание ограничения аддитивного производства, в зависимости от используемых технологий и материалов изменяется процесс построения 3D-модели и её подготовки к выводу на печать. При использовании большинства технологий аддитивного производства (FDM, SLA, SLS, SLM) необходима генерация поддерживающих структур, при этом они используются не только для фиксации изделия и возможности осаждения материала на нависающих структурах, но и для компенсации термических влияний (теплоотвода). Однако, несмотря на ограничения аддитивного производства, 3D-печать позволяет создавать сложные геометрические и бионические формы, которые невозможно получить с помощью традиционных субтрактивных методов производства [2].

Во-вторых, аддитивное производство позволяет воплотить в материале концепции генеративного дизайна, который стремительно набирает популярность в различных сферах производства: от разработки оптимизированного кронштейна для установки замков ремней безопасности на заднем сиденье в General Motors до разработки облегченной конструкции гоночных санок на XXIII зимних Олимпийских играх в Пхёнчхане. Генеративный дизайн использует для синтеза геометрических форм математические алгоритмы и набор физических показателей, заданных пользователем компьютера. В будущем ученые стремятся внедрить в процессы генеративного дизайна интуитивный выбор, которого исследователи планируют достичь с помощью алгоритмов машинного обучения.

В-третьих, актуализируется проблема отсутствия общей утвержденной терминологий, классификаций и стандартов в области подготовки и адаптации трехмерных моделей для аддитивного производства.

Сегодня с помощью 3D-принтера можно создать полностью завершенный продукт, а сам процесс 3D-печати становится более индивидуальным. В будущем же этот процесс станет полностью автоматизированным и роботизированным. Однако, несмотря на широкие возможности 3D-печати и стремительный рост доступности 3D-принтеров и материалов, далеко не каждую 3D-модель, легко адаптировать для последующей печати. Даже самый простой геометрический примитив требует тщательного рассмотрения на допустимость печатных размеров, соразмерность габаритам печатной камеры, возможность применения печатной технологии, а также соответствие материалов. Требуется вмешательство пользователя в печатный процесс.

В исследованиях зарубежных и российских ученых до настоящего времени не разработано общепринятой четкой методики подготовки 3D-моделей для 3D-печати, однако, большинство исследователей рекомендуют использовать программы восстановления и проверки моделей, таких как Autodesk Netfabb и Autodesk Meshmixer. Но даже мощные инструменты исправления и оптимизации моделей, предсказание их результатов печати не могут гарантировать 100% качественный результат. 3D-модели не

могут быть обработаны только в автоматическом режиме и требуют ручного вмешательства, дополнительного анализа и доработки [3].

Неадаптированные 3D-модели крайне негативно влияют на эргономичность и производительность оборудования. Невостребованный испорченный пластик, который не будет в дальнейшем переработан и энергия, затраченная на работу принтера впустую, заставляет задуматься о влиянии печатного производства на окружающую среду. Необходимость разрешения выше сформулированных проблем определяет актуальность темы исследования.

Цель исследования: провести обзор, обобщение и анализ программных средств адаптации и оптимизации 3D-моделей для аддитивного производства. Для достижения поставленной цели выделены следующие задачи:

1. Определить фундаментальные принципы и рабочий процесс для аддитивного процесса полимеров, пластиков и металлов, а также то, как эти принципы определяют производительность и ограничения каждого основного процесса аддитивных технологий.

2. Выделить основные термины, необходимые для понимания сложного, многомерного спектра оборудования, материалов и приложений для аддитивного производства.

3. Провести анализ использования специализированного программного обеспечения при подготовке трехмерных моделей для FDM-печати (на примере программы Autodesk Netfabb).

4. Классифицировать основные ошибки некорректного 3D-моделирования и подготовки трехмерных моделей, а также дефекты изделий, созданных с помощью аддитивных технологий.

5. Изготовить оптимизированный прототип изделия методом послойного наплавления (FDM).

Зачастую FDM-печать используется в быстром прототипировании, однако главным недостатком метода является недостаточно гладкая поверхность создаваемой детали. Кроме того, при наложении расплавленного материала происходит некоторое оплавление предыдущего слоя. Поэтому данный метод имеет ограничение на минимальный размер зазоров в создаваемом изделии (таблица).

При быстром прототипировании используется концептуальное моделирование и функциональное прототипирование. Концептуальное моделирование основано на полигональном 3D-моделировании (и/или 3D-скульптинге), в связи с этим данный вид моделирования практически не ограничен никакими рамками.

Функциональное прототипирование предназначено для проектирования рам, шестеренок, двигателей, зданий, самолётов, автомобилей, и других объектов, получаемых путем промышленного производства. Базовым типом здесь является твердотельное моделирование. Твердотельное моделирование присутствует в любой CAD-системе. Однако оно ограничено многочисленными рамками физических воздействий. Напечатанные на 3D-принтере функциональные прототипы могут применяться для различного рода проверок, в том числе точных тестов и механических испытаний.

В рамках настоящей работы в качестве детали для оптимизации использовался контейнер для сбора конденсата мультиварки Redmond RMC-M22, рис. 1. Деталь располагалась на корпусе прибора, одновременно являясь емкостью для сбора влаги, а также фиксирующим элементом для жесткости крышки в её открытом положении. Несоразмерность толщины стенки контейнера с нагрузкой веса крышки привела к поломке элемента. На первом этапе исследования проводилось моделирование объекта в среде Autodesk Fusion 360, затем конструкция оптимизировалась с помощью

генеративного анализа программы Siemens Solid Edge с учетом приложенных нагрузок. На заключительном этапе оптимизированная деталь подготавливалась к объемной печати с помощью программы Autodesk Netfabb Premium. Полученный прототип изделия изготавливался с помощью 3D-принтера (методом FDM), рис. 2

Таблица 1

Ограничения аддитивного производства

Критерий	Пояснение
Габариты детали	Для металла рекомендуется не более 240*240*300 мм Для пластика: не более 400*400*400 мм
Форма	Каналы менее ∅1 мм, большая площадь сечения, горизонтальные отвесы, замкнутые полости
Требуемый материал детали	Выбор материалов ограничен
Характеристики материала	Анизотропия свойств, усадка, порошковый материал, пористость и несплошности
Технологические поддержки	Увеличение материалоемкости, сложность постобработки, увеличение стоимости
Финишная обработка	Возможность фиксации при обработке, возможность обработки стандартным инструментом
Серийность и номенклатура	Производительность ограничена
Стоимость	Зависит не только от объема

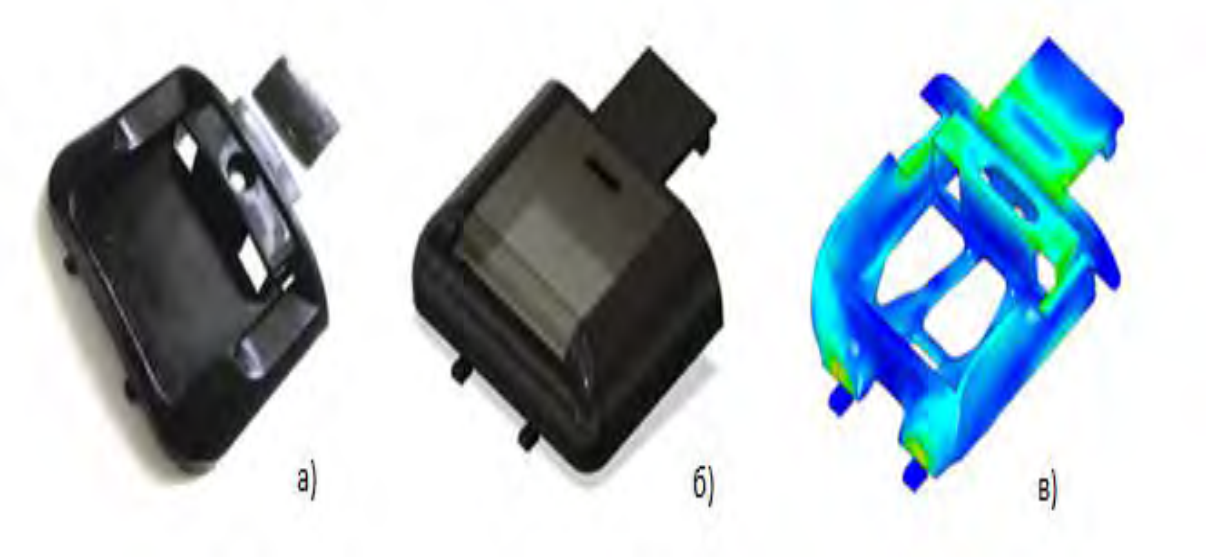


Рис. 1. а) оригинальное изделие с разломом на выступающей части контейнера; б) 3D-модель контейнера и чаши в программе Autodesk Fusion 360; в) 3D-модель после проведения генеративного анализа в программе Siemens Solid Edge

Рис. 2. Прототип контейнера после постпечатной обработки

В рамках проделанной работы был применен комплексный подход к решению задач цифрового производства с использованием аддитивных технологий и инновационных программных инструментов. Для решения поставленных задач использовался интегрированный пакет программ: Autodesk Fusion 360 – Siemens Solid Edge – Autodesk Netfabb Premium.

Общая масса изделия была уменьшена на 70%. При сравнении предварительных характеристик печати оригинальной детали и оптимизированной детали с одинаковыми настройками время печати детали после проведения генеративного анализа уменьшено более чем на 3 часа, расход филамента снижен практически в 2 раза, значительно уменьшен объём поддерживающих структур.

Методика подготовки и оптимизации 3D-моделей для трехмерной печати методом FDM с использованием программного обеспечения Autodesk и Siemens сочетает в себе применение инженерных навыков с расчетным проектированием и учитывает специфические для аддитивного процесса ограничения.

Дальнейшее исследование методов адаптации 3D-моделей, их четкая классификация и ориентированность на конкретную технологию, а также оценка дефектов 3D-печати является одним из актуальных на сегодняшний день в условиях динамично развивающихся технологий и возрастающей доступности 3D-моделей в сети Интернет.

Литература

1. Антонова В.С., Осовская И.И. Аддитивные технологии: учебное пособие / ВШТЭ СПбГУПТД. СПб., 2017. 30 с.
2. Краснов А.А., Смоленцев Е.В. Аддитивное и субтрактивное производство // Инновационная наука. 2016. № 12–2.
3. Сухочев Г.А., Технология машиностроения. Аддитивные технологии в подготовке производства наукоемких изделий / Сухочев Г.А., Коденцев С.Н., Смольянникова Е.Г. Воронеж: Воронежский гос. технический ун-т, 2013. 222 с.

Санавбаров Ромин Искандарович
Год рождения: 1995
Университет ИТМО,
факультет низкотемпературной энергетики,
студент группы № W4205,
направление подготовки: 16.04.03 – Холодильная, криогенная техника,
и кондиционирование,
e-mail: roma.sanavbarov@mail.ru
Зайцев Андрей Викторович
Год рождения: 1954
Университет ИТМО,
факультет низкотемпературной энергетики,
к.т.н., доцент,
e-mail: zai_@inbox.ru

УДК 621.599

РАСЧЕТ ОЖИЖИТЕЛЯ ПРИРОДНОГО ГАЗА МАЛОЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ

Р.И. Санавбаров

Научный руководитель – к.т.н., доцент **А.В. Зайцев**

Университет ИТМО

Работа выполнена в рамках конкурса на лучшую научно – исследовательскую квалификационную работу среди выпускников университета ИТМО

Аннотация
В данной работе проанализированы и исследованы малотоннажные ожижители природного газа аналитическим путем. Рассмотрены различные методы анализа для расчета установок и отдельных узлов. Проведены исследования энтропийно–статистическим и энергетическим методами. Также разработана расчетная программа для определения режимных параметров, которая позволяет эффективно исследовать влияние режимных параметров на работу установки. Кроме того, с помощью предложенной программы можно определять отдельные энергозатратные узлы по всей установке.
Ключевые слова
СПГ, малотоннажное производство СПГ, малотоннажные ожижители природного газа, энергетический метод анализа, энтропийно–статистический метод анализа.

В магистерской диссертации, написанной мною проведены следующие исследования [5]:

- обзор и анализ существующих и эксплуатируемых малотоннажных установок по ожижению природного газа [3, 4];
- анализ методов расчета установок [1, 2, 4, 5];
- исследование малотоннажных установок, эксплуатируемых в России с применением энтропийно–статистического анализа [2];
- исследование с применением энергетического анализа [1, 3, 5].

Результаты анализа методов расчета малотоннажных установок по ожижению ПГ показали, что в России методы энтропийно–статистического и энергетического анализа наиболее часто используются в расчетах. Данные методы отличаются своей простотой по сравнению с методом эксергетического анализа. Также стоит отметить, что энтропийно–статистический метод позволяет рассчитать все узлы установки по отдельности [2, 4].

На основе метода энергетического анализа была создана компьютерная программа для определения режимных параметров рассчитываемой установки. Расчетная программа разработана на базе языка программирования Fortran (formula translator – переводчик формул). Программа позволяет эффективно исследовать влияние различных режимных параметров на основные показатели ожижительной установки. В качестве примера для расчета была выбрана установка для получения СПГ, работающая по двухступенчатому циклу высокого давления на базе АГНКС с внешним источником предварительного охлаждения. Данная установка была выбрана по той простой причине, что первая установка с вышеупомянутым циклом, созданная в России, была построена и введена в эксплуатацию в Ленинградской области в г. Петергоф (информация из интернета). Также у ожижителей ПГ на базе АГНКС относительно высокий коэффициент ожижения. Даже если использовать на них простой дроссельный цикл, коэффициент ожижения достигает 16%. А применение в криогенном цикле однократного дросселирования и внешнего источника предварительного охлаждения в виде холодильной машины позволяет существенно повысить коэффициент ожижения ПГ. В этом случае коэффициент ожижения может быть повышен до 25–40 %. Схема рассчитываемой установки показана на рис. 1.

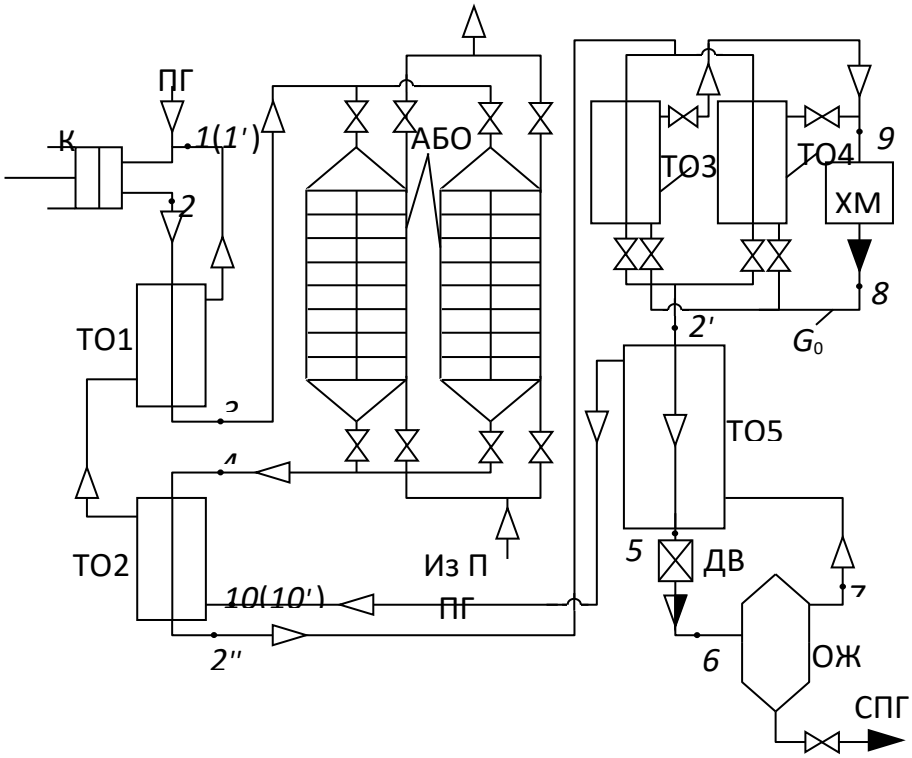


Рис. 1. Технологическая схема установки с использованием дроссельного цикла высокого давления: К – компрессор; ПГ – природный газ; ТО1, ТО2, ТО3, ТО4, ТО5 – теплообменники; АБО – блок осушки и очистки; ХМ – холодильная машина; ДВ – дроссельный вентиль; ОЖ – отделитель жидкости, ресивер

Установка работает по следующему принципу:

ПГ сжимается в компрессоре до оптимального давления, охлаждается в ТО1 до температуры 275 К и поступает в один из адсорберов осушки и очистки. После адсорбера ПГ поступает в ТО2, где дополнительно охлаждается. Затем газ направляется в один из испарителей (ТО3 или ТО4) холодильной машины. Окончательное охлаждение газа происходит в ТО5, в котором он охлаждается обратным потоком газа низкого давления, поступающего в этот ТО из сепаратора. Далее ПГ дросселируется в дроссельном вентиле, где давление потока снижается до 0,5 МПа и в состоянии парожидкостной смеси попадает в сепаратор для разделения фаз. Полученный СПГ сливается в ёмкость, а несжиженный ПГ при давлении 0,5 МПа обратным потоком проходит через ТО1, ТО2 и ТО3, тем самым охлаждая прямой поток, и при температуре окружающей среды, в нашем случае 300 К, поступает на сжатие в компрессор высокого давления [1, 3, 5].

Исходные данные для расчета:

Давление ПГ на всасывании в компрессор (после дросселирования в ОЖ) p_1 = 0,5 МПа.

Температура ПГ на входе в теплообменник ТО1 (после компрессора) T_2 = 300 К.

Температура сжатого ПГ на выходе из ТО1 T_3 = 275 К.

Температура сжатого ПГ на входе в ТО2 (после АБО) T_4 = 278 К.

Температура кипения хладагента в испарителе холодильной машины $T_8 = T_9 = 233$ К (–40°С).

Разность температур между прямым и обратным потоками на теплом конце теплообменника ТО1 $T_1 - T_1' = 5$ К.

Разность температур на холодном конце испарителя ТО4 $T_2' - T_8' = 10$ К.

На основании предварительных расчетов принято $T_{10} - T_{10}' = 25$ К.

Теплоприток из окружающей среды $q_{\text{о.с.}} = 8$ кДж/кг ПГ.

На первую ступень ожижителя $q_{\text{о.с.}}' = 3$ кДж/кг ПГ.

На вторую ступень ожижителя $q_{\text{о.с.}}'' = 5$ кДж/кг ПГ.

На рис. 2 показана Т – S диаграмма цикла (таб. 1).

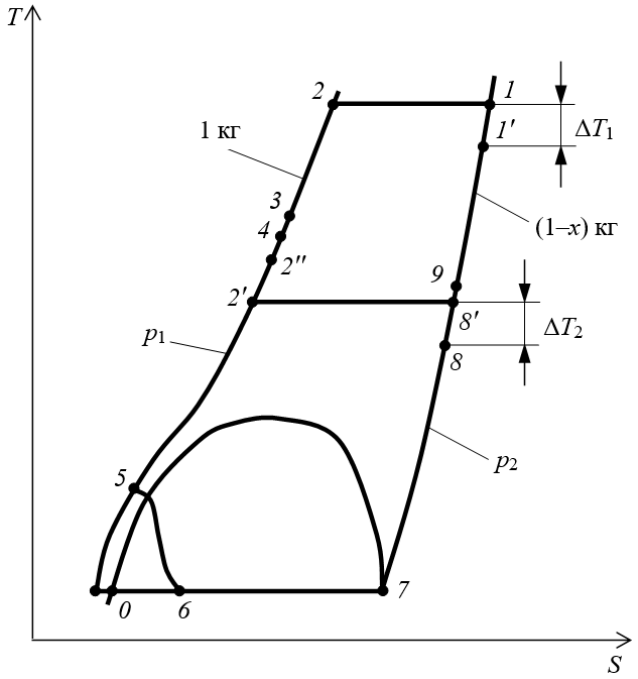


Рис. 2. Т–S диаграмма цикла

Таблица 1

Параметры потоков в характерных точках

Точки	P, МПа	T, K	h, кДж/кг
1	0,5	300	1196,37
1′	0,5	295	1185,12
2	20,0	300	1021,43
2′	20,0	243	798,92
2″	20,0	273,5	922,53
3	20,0	275	928,39
4	20,0	278	940,02
5	20,0	213,27	677,45
6	0,5	135,05	677,48
7	0,5	135,05	827,6
10	0,5	300	1196,37
10′	0,5	218	1016
10″	0,5	232,08	1046,52
0	0,5	135,05	370,85

Основные формулы для расчета:

1. Коэффициент ожижения природного газа

$$x = \frac{h_{10\prime} - h_{2^{"}} - q_c^{II}}{h_{10\prime} - h_0}, \quad (1)$$

2. Удельная холодопроизводительность холодильной машины

$$q_{х.м.} = h_{2^{"}} - h_{2\prime}, \quad (2)$$

3. Количество перерабатываемого ПГ

$$G_{ПГ} = \frac{G_{СПГ}}{x}, \quad (3)$$

4. Объем подаваемого ПГ в ожижитель

$$V_{ПГ} = \frac{G_{СПГ}}{\rho_{CH_4}}, \quad (4)$$

5. Холодопроизводительность холодильной машины

$$Q_{х.м.} = q_{х.м.} - G_{ПГ}, \quad (5)$$

6. Удельные затраты в компрессоре

$$l_k = \frac{R_{CH_4} \cdot T_{о.с} \cdot \ln\left(\frac{P_2}{P_1}\right)}{\eta_{из}^{к} \cdot x}, \quad (6)$$

7. Удельные затраты в холодильной машине

$$l_{х.м.} = \frac{q_{х.м.}}{x}, \quad (7)$$

8. Общие затраты

$$l = l_к - l_{х.м.}, \quad (8)$$

На основе указанных формул и была разработана вышеупомянутая расчетная программа. На рис. 3 показаны примеры файлов исходных данных и результатов расчета [3].

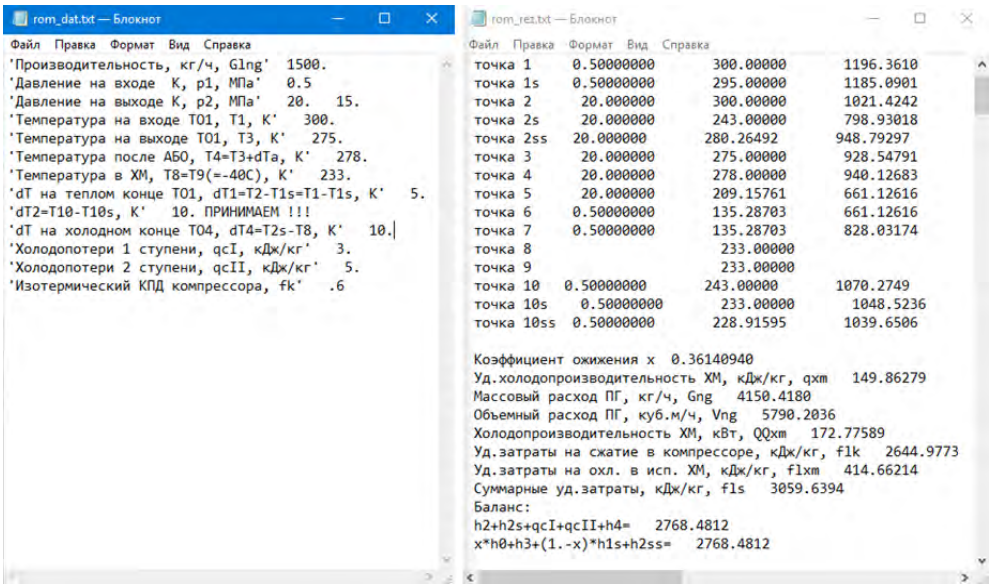


Рис. 3. Примеры файлов исходных данных и результатов расчета

Было решено провести расчет для установки (на рис. 1) с увеличением давления нагнетания с 20 МПа до 25 МПа с интервалом 0,5 МПа. Результаты расчета приведены в таб. 2.

Таблица 2

Результаты расчета при изменении давления нагнетания от 20 МПа до 25 Мпа

P_2, МПа	x	$q_{хм}$, кДж/кг	$G_{пг}$, (кг ПГ)/ч	$V_{пг}$, $(м^3 ПГ)/ч$	$Q_{хм}$, кВт	$I_к$, кДж/кг СПГ	$L_{хм}$, кДж/кг СПГ	I, кДж/кг СПГ
20,0	0,329	123,6	4558	6358	156,5	2904,4	375,5	3280
20,5	0,332	123,1	4519	6305	154,5	2899,4	370,8	3270
21,0	0,334	122,5	4485	6257	152,6	2895,9	366,2	3262
21,5	0,337	121,8	4453	6213	150,7	2893,7	361,8	3255
22,0	0,339	121,2	4425	6173	148,9	2892,7	357,4	3250
22,5	0,341	120,4	4399	6137	147,2	2892,7	353,2	3246
23,0	0,343	119,7	4375	6104	145,5	2893,8	349,2	3243
23,5	0,344	118,9	4353	6073	143,8	2895,6	345,	3241
24,0	0,346	118,2	4334	6046	142,2	2898,2	341,4	3240
24,5	0,347	117,4	4316	6021	140,7	2901,6	337,8	3239
25,0	0,349	116,6	4299	5998	139,3	2905,5	334,2	3240

Результаты расчетов в виде графика показаны на рис. 4, 5 и 6.

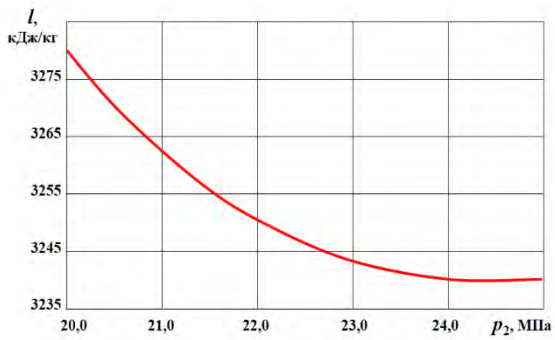


Рис. 4. Зависимость суммарных удельных затрат энергии на ожижение ПГ от давления p_2

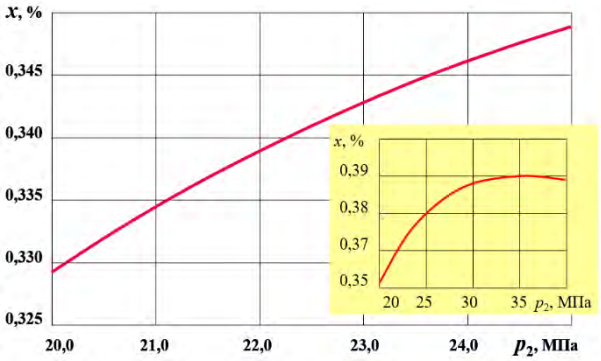


Рис. 5. Зависимость коэффициента ожижения x от давления p_2

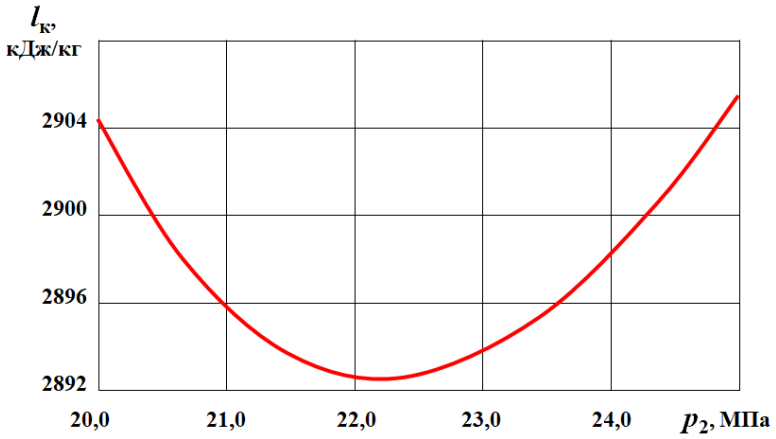


Рис. 6. Зависимость удельных затрат энергии на сжатие ПГ в компрессоре $l_к$ от давления p_2

Как показывают результаты (таб. 2 и графики на рис. 4, 5, 6) при давлении 22,25 МПа затраты энергии в установке меньше, а коэффициент ожижения увеличивается с увеличением давления вплоть до 35,0 МПа. Исходя из полученных результатов, было решено пересчитать баланс уже с давлением нагнетания 22,25 МПа для этой же установки [5].

Параметры потоков при давлении 22,25 МПа приведены в таб. 3.

Таблица 3

Параметры потоков

Точки	P, МПа	T, K	h, кДж/кг	Точки	P, МПа	T, K	h, кДж/кг
1	0,5	300	1196	5	22,25	213,3	680,65
1′	0,5	295	1185	6	0,7	135,1	680,65
2	22,25	300	1021	7	0,7	135,1	833,65
2′	22,25	243	799	10	0,7	243	1067
2″	22,25	273,5	923	10′	0,7	218	1012,44
3	22,25	275	928	10″	0,7	232,1	1041,2
4	22,25	278	940	0	0,7	135,1	395,75

Расчет проведен энергетическим методом анализа. Результаты расчета приведены в таб. 4.

Таблица 4

Результаты эксперимента

Вариант	P_2, МПа	x	$G_{\text{пг}}$, (кг ПГ)/ч	$I_{\text{к}}$, $\frac{\text{кВт} \cdot \text{ч}}{\text{кг СПГ}}$	$L_{\text{хм}}$, $\frac{\text{кВт} \cdot \text{ч}}{\text{кг СПГ}}$	L_{Σ}, $\frac{\text{кВт} \cdot \text{ч}}{\text{кг СПГ}}$
Исходный	20	0,329	4563,4	0,888	0,1045	0,913
Экспериментальный	22,25	0,349	4298	0,713	0,098	0,811

Экспериментальный вариант расчета показал, что данная установка (рис. 1) наиболее эффективно работает при давлении P_2 = 22,25 МПа. Как видно из таблицы 4, при давлении P_2 = 22,25 МПа коэффициент ожижения установки увеличивается на 2 %, количество газа, требуемого для ожижения 1,5 т/ч, уменьшилось на 5 % и энергозатраты сократились на 10 %.

Исследования и анализы малотоннажных установок показывают, что при снижении минимальной работы сжижения, снижаются удельные затраты и степень термодинамического совершенства. Полученные результаты показывают возможности оптимального проектирования подобных установок по определённым параметрам. В дальнейшем предлагается распространять данную методику на другие технологические системы.

Литература

1. Акулов Л.А. Установки и системы низкотемпературной техники. Ожижения природного газа и утилизация холода сжиженного природного газа при его регазификации / Акулов Л.А. С.-П.: ГУНиПТ, 2006. 176 с.
2. Архаров А.М. Основы криологии. Энтропийно-статистический анализ низкотемпературных систем. / Архаров А.М. М.: МГТУ им. Баумана. 2014. 507 с.
3. Санавбаров Р.И. Определение режимных параметров ожижителя природного газа малой производительности // Альманах научных работ молодых ученых Университета ИТМО. 2018. Т. 4. С. 51-55.
4. Семенов В.Ю. Разработка и исследование высокоэффективных малотоннажных установок сжижения природного газа// МГТУ им. Баумана. 2016. 330 с. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https: // docplayer.ru/ 35655000-Semenov-viktor – yurevich – razrabotka -i-issledovanie – vysokoeffektivnyh - malotonnazhnyh-ustanovok-szhizheniya-prirodnogo-gaza.html.
5. Санавбаров Р.И. Расчет ожижителя природного газа малой производительности // Университет ИТМО. 2019. 126 с. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://isu.ifmo.ru/pls/apex/f?p=2147:0:104161844052117:DWNLD_F:NO::FILE:CDC7AA238AB043D3D96A48378D8E7C6C. (Дата обращения 04.03.2019).

Скулаченко Владислав Геннадьевич
Год рождения: 1995
Университет ИТМО,
факультет технологического менеджмента и инноваций,
студент группы № U4250,
направление подготовки: 38.04.05 – Бизнес-информатика,
e-mail: vladik-skulahenko@yandex.ru
Цуканова Ольга Анатольевна
Год рождения: 1980
Университет ИТМО,
факультет технологического менеджмента и инноваций,
д.э.н, профессор,
e-mail: zoa1999@mail.ru

УДК 004.418

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ КРИТЕРИЕВ ПО ВЫБОРУ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

В.Г. Скулаченко

Научный руководитель –д.э.н., профессор **О.А. Цуканова**

Аннотация
Работа посвящена разработке системы критериев по выбору информационной системы. Представлена разработанная система критериев. Описывается процесс разработки системы критериев, а также принцип её применения. Представлен набор критериев, разделенный на подкатегории и категории для лучшего восприятия. Критерии разделены на те, показатели которых должны повышаться и понижаться для получения положительного эффекта от внедрения информационной системы.
Ключевые слова
Выбор информационной системы, информационная система, категории, подкатегории, критерии, система критериев, набор критериев, метод анализа иерархий, важность критериев

Многообразие систем, их усложнение и необходимость принимать своевременные решения в динамичной среде сильно усложняют процесс выбора информационной системы (ИС). В итоге при выборе будущей ИС предприятиям приходится полагаться на квалификацию специалистов, участвующих в выборе, и честность интеграторов, которые действительно понимают какой программный продукт хочет заказчик. Выбор информационной системы основывается на альтернативных вариантах и критериях, описывающих те или иные области системы. Показатели по критериям, полученные в ходе анализа альтернативных вариантов программных продуктов на рынке, дают возможность оценить и сравнить эти альтернативные варианты. Для упрощения процедуры выбора и увеличения шансов на выбор подходящего решения автором разработана система критериев по выбору информационной системы. Система критериев – совокупность взаимосвязанных показателей. Она играет важную роль при выборе ИС, так как на основе нее оцениваются альтернативные варианты, учитываются скрытые возможности или, наоборот, скрытые проблемы.

Чтобы разработать систему критериев по выбору информационной системы, требовалось выполнить следующие задачи [1]:

– выявить достаточный набор критериев для выбора информационной системы;
– проанализировать критерии;
– разделить набор критериев по подкатегориям и категориям;
– выявить критерии, показатели которых должны повышаться или понижаться;
– установить связи между критериями;
– выявить критерии, отсекающие выбор той или иной информационной системы.

Ниже представлено решение каждой их выделенных задач.

1. Выявление достаточного набора критериев для выбора информационной системы.

Основные критерии, рассмотренные в работе, выбраны в результате изучения работ, посвящённых выбору ИС, а также на основе опыта специалистов, имеющих опыт внедрения ИС на предприятиях, связанных с производством деревянных строительных комплексов. Изначально перечисленные критерии не упорядочены по приоритету и важности [2, 3].

2. Анализ критериев.

Прежде чем выполнить первоначальную сортировку на основе личного опыта и данных, полученных от экспертов в области выбора информационных систем, проанализированы все выделенные критерии [3]. Важность каждого критерия должна определяться в каждом конкретном случае командой экспертов, выделенных на предприятии в подгруппы по выбору будущего программного продукта. Информационная система является сложной структурой и нельзя ожидать, что критерии для ее описания будут однородными и не желательно, чтобы они были таковыми. Убедившись, что все отобранные критерии достаточно описывают систему с разных сторон, автором была выполнена категоризация критериев.

3. Деление набора критериев по категориям и подкатегориям.

Разделение на категории было выполнено для упрощения процесса отбора ИТ-решений и определения приоритетов по критериям. Группировка проводилась на основании близости к той или иной области системы [4]. При формировании групп автором принималась во внимание возможность ставить оценки экспертами с разным уровнем компетенций и опыта. Итог категоризации представлен на рис. 1.

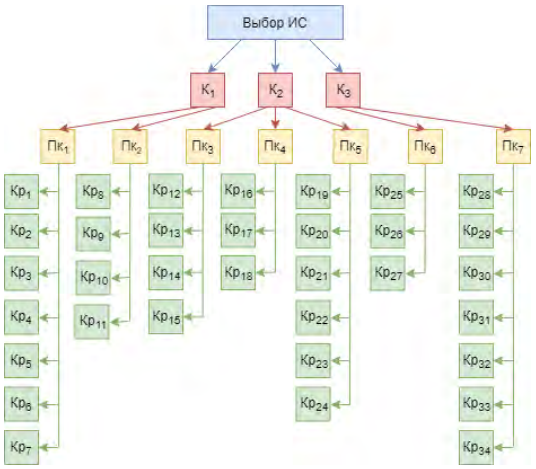


Рис. 1. Упрощенное представление категоризации критериев по выбору информационной системы

Ниже представлена расшифровка значений рис. 1:
К1– Организация
К2 – Информация
К3 – Технология
ПК1 – Экономика
ПК2 – Отношение
ПК3 – Эффективность
ПК4 – Эргономика
ПК5 – Удобство использования
ПК6 – Безопасность
ПК7 – Программное обеспечение
Кр1 – Конкурентоспособность
Кр2 – Соответствие организации
Кр3 – ROI (Коэффициент возврата инвестиций)
Кр4 – Эксплуатационные расходы
Кр5 – Обеспеченность ресурсами
Кр6 – Обслуживание
Кр7 – Стоимость системы
Кр8 – Приверженность сотрудников
Кр9 – Заинтересованность и вовлеченность высшего руководства
Кр10 – Репутация поставщика
Кр11 – Ожидания пользователей
Кр12 – Уровень потери информации
Кр13 – Гибкость
Кр14 – Интегрируемость
Кр15 – Обновляемость
Кр16 – Перегрузка
Кр17 – Стресс
Кр18 – Удовлетворение
Кр19 – Персонализация
Кр20 – Скорость работы системы
Кр21 – Навигация (Количество действий)
Кр22 – Понятность
Кр23 – Простота интерфейса
Кр24 – Запоминаемость
Кр25– Секретность
Кр26 – Гибкость Role Based Access Control
Кр27 – Надежность
Кр28 – Простота обновления
Кр29 – Скорость внедрения
Кр30 – Локализация
Кр31 – Возможность поэтапного внедрения
Кр32 – Масштабируемость
Кр33 – Совместимость
Кр34 – Лицензирование

4. Выявление критериев, значения показателей которых должны повышаться и понижаться.

Определение направления значений показателей на увеличение или уменьшение для критериев выполнялось на основании личного опыта автора и практического опыта людей, внедрявших информационные системы в сфере производства строительных

деревянных комплексов. Важно понимать, что каждый критерий имеет свой показатель и принцип расчета. Направления указаны в зависимости от изменения значений показателей для достижения положительного эффекта от внедрения ИС, то есть, например, чем выше значение показателя критерия «Надежность» или ниже «Перегрузка», тем это лучше для предприятия [1]. На рис. 2 представлены критерии, разделенные на подкатегории, с указанием повышения или понижения значений показателей.

5. Установление связей между критериями.

Каждый из критериев может по-разному влиять на связанный с ним критерий. Влияние может оказываться в большей или меньшей степени. Автором не рассматривалась сила влияния значения одних критериев на значения других [1]. На рис. 4 показаны связи без учета степени их влияния и рядом с критериями указана стрелка, которая показывает необходимость уменьшения или увеличения значения показателей критериев для получения положительного эффекта от внедрения.

6. Выявление критериев, отсекающих выбор той или иной информационной системы.

В зависимости от возможностей компаний значения показателей критериев, отсекающих выбор той или иной системы, могут отличаться [1]. Руководство, которое заинтересованно во внедрении информационной системы должно само определить те значения, которые будут неприемлемы. Перечень же самих критериев, который приведен на рис. 3, говорит о том, на каких критериях следует сосредотачивать свое внимание при выборе системы, то есть если, например, стоимость информационной системы сильно выходит за запланированный бюджет, то стоит задуматься о выборе такого ИТ-решения, так как эффект от внедрения может быть недостаточным, чтобы покрыть понесенные затраты.

Рис. 2. Сгруппированные по подкатегориям критерии, значения которых должны повышаться или понижаться

Продолжение рис. 2. Сгруппированные по подкатегориям критерии, значения которых должны повышаться или понижаться

Рис. 3. Критерии, отсекающие выбор той или иной информационной системы

Имея разработанную систему, требуется правильно ее применить, чтобы выбор оказался наиболее удачным. Автором предлагается использование метода анализа иерархий (МАИ) для определения весов важности критериев. После определения важности критериев экспертам требуется провести анализ информационных систем и расставить значения показателей для выбранных критериев. Сами значения показателей критериев должны быть приведены к одной шкале измерения. Автором предлагается шкала от 1 до 5. Интерпретация значений показателей критериев у каждой компании может отличаться и экспертам самим потребуется решать какой смысл вкладывать в каждое значение показателя.

Ниже приведен пример критерия со значением показателя и его смыслом.

Критерий «Обеспеченность ресурсами»:

- 5 – полностью соответствует рекомендованным;
- 4 – не соответствует, но можем докупить до рекомендованных;
- 3 – полностью соответствует минимальным;
- 2 – не соответствует, но можем докупить до минимальных;
- 1 – не соответствует.

После того как экспертами будут расставлены значения показателей критериев для каждого из потенциальных вариантов информационных систем, требуется каждое значение показателя критерия умножить на его показатель важности. Далее требуется получить итоговую оценку по каждому из вариантов ИС. Для этого требуется сложить полученные значения с учетом важности, если значения показателей критерия должны повышаться, и вычесть значения, если значения показателей критерия должны понижаться. Данные оценки важны именно с учетом важности критериев, так как это позволяет концентрироваться на наиболее важных критериях.

В конце требуется провести анализ по разработанной системе критериев для выбора информационной системы. Анализируя связи между критериями, следует обращаться к системе, представленной на рис. 4, и к оценкам, выставленным экспертами информационной системе, с учетом важности каждого из альтернативных вариантов, которые были рассчитаны на предыдущем шаге. В ходе анализа требуется рассмотреть связи между выбранными критериями для выбора ИС и теми, которые с ними связаны. Требуется так же учитывать показатели критериев, значения которых должны повышаться или понижаться. Проводя анализ можно установить, например, что критерий «Стоимость системы» связан с критериями «Обслуживание» и «Возможность поэтапного внедрения». Следовательно, учитывая значение показателя этого критерия можно предположить, какое значение будет принимать показатель связанного критерия без дополнительного анализа. Разработанная система критериев не требует выбора всех 34 критериев, так как с ее помощью можно определить вероятные причины проблем в критерии, через связанные критерии. Например, если имеется повышенное значение показателя по критерию «Навигация», то по системе видно, что на него влияет «Простота интерфейса», которая в процессе оценки важности и, например, в оценке показателей, не участвовала. Руководствуясь системой, можно предположить, что критерий

«Навигация» может быть потенциально слабым местом данной системы и вопрос, связанный с навигацией в системе, требуется изучить подробнее.

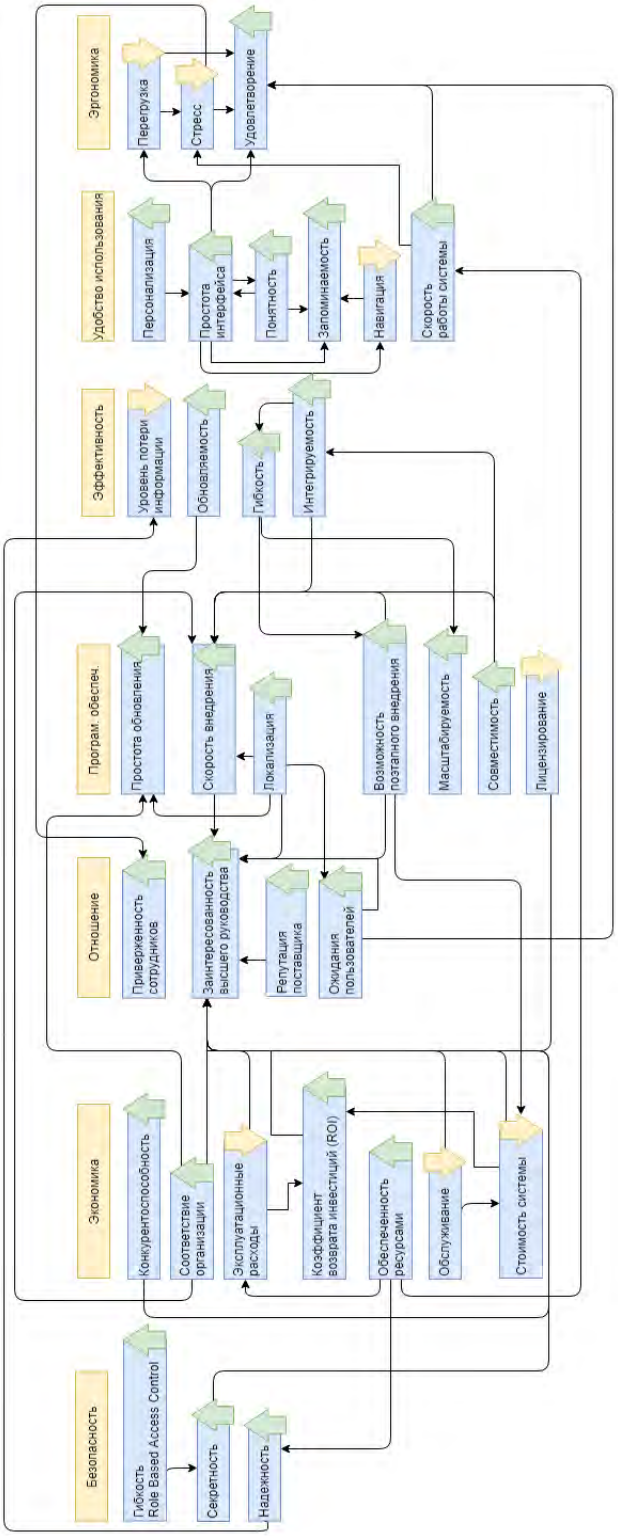


Рис. 4. Система критериев по выбору информационной системы

Таким образом, для облегчения процесса выбора ИТ-решения автором была разработана система критериев по выбору ИС, которая должна помочь при выборе среди

нескольких альтернативных систем и должна помочь выявить скрытые возможности или наоборот скрытые проблемы у выбранной системы.

Литература

1. Скулаченко В.Г. Разработка системы критериев по выбору информационной системы / В.Г. Скулаченко // Сборник тезисов докладов конгресса молодых ученых. Электронное издание. 2019 [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://kmu.itmo.ru/digests/article/2092. свободный (дата обращения: 26.04.2019).
2. Скулаченко В.Г. Основные критерии выбора информационных систем [Электронный ресурс] / Скулаченко В.Г. Режим доступа: https://scienceforum.ru/2019/article/2018016733, свободный (дата обращения: 17.03.2019).
3. Palmius J. Organization-level information systems: Tools for supporting the development process. Mid Sweden University doctoral thesis 94 / J. Palmius. – Эстерсунд, 2010. 71 с.
4. Скулаченко В.Г. Категоризация критериев выбора информационных систем / Скулаченко В.Г. // Сборник тезисов докладов конгресса молодых ученых. Электронное издание. 2018 [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://openbooks.ifmo.ru/ru/collections_article/6647/kategorizaciya_kriteriev_vybora_informacionnyh_sistem.html, свободный (дата обращения: 10.03.2019).

Тимакин Александр Леонидович
Год рождения: 1988
Университет ИТМО,
мегафакультет биотехнологий и низкотемпературных систем,
факультет пищевых биотехнологий и инженерии,
студент группы №Т4219,
направление подготовки: 19.04.02 – Продукты питания из растительного сырья,
e-mail: altimakin@gmail.com
Смотраева Ирина Владимировна
Университет ИТМО
мегафакультет биотехнологий и низкотемпературных систем,
факультет пищевых биотехнологий и инженерии,
к.т.н, доцент,
e-mail: irinasmotraeva@yandex.ru

УДК 663.86.054.1

РАЗРАБОТКА РЕЦЕПТУРЫ И ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ФУНКЦИОНАЛЬНОГО НАПИТКА ДЛЯ СПОРТСМЕНОВ ЦИКЛИЧЕСКИХ ВИДОВ СПОРТА

А.Л. Тимакин

Научный руководитель – к.т.н., доцент **И.В. Смотраева**

Унитверситет ИТМО

Работа выполнена в рамках темы НИР № 617027 «Ресурсосберегающие экологически безопасные биотехнологии функциональных и специализированных продуктов на основе глубокой переработки продовольственного сырья».

Аннотация
Впервые исследованы инструменты автоматизации сбора данных обратной связи от потенциальных потребителей на этапе разработки рецептуры функциональных продуктов в отличии от сложившейся практики проведения подобных исследований на этапе, когда функциональный продукт уже создан.
Таким образом в данной работе предложена новая методология ресурсосберегающего процесса разработки инновационного функционального продукта.
Проведены экспериментальные исследования методов экстракции кофеина из кофейных зерен вида Coffea robusta, обжаренных в «щадящих условиях». Сделан вывод о высокой эффективности использования воды в качестве экстрагента при температуре и давлении близких к “Нормальным условиям” в сравнении с использованием органических полярных и неполярных растворителей в условиях повышенных температуры и давления.
Параметры водной экстракции, заданные планом эксперимента, и данные, полученные методом газовой хроматографии на хромотографе с пламенно-ионизационным детектором могут быть в дальнейшем приняты во внимание профильными производствами в ходе совершенствования технологии экстракции кофеина, производства сублимированных кофейных напитков, декофеинизированного кофе.
Обоснован выбор β-глюкана в качестве функционального компонента, способного

оказывать кардиопротекторное воздействие на сердечную мышцу спортсменов высоких спортивных квалификаций.
Предложена рецептура, приведен «Дом качества» и разработана технология функционального напитка для спортсменов циклических видов спорта, концепция которого не имеет аналогов на российском рынке.
Ключевые слова
Дом качества, QFD, спортивные напитки, разработка рецептуры, спортивное питание, маркетинговое планирование при разработке нового продукта питания, экстракция кофеина, обжарка кофейных зерен, b-глюкан.

Спортсмены циклических видов спорта (лыжники, пловцы, бегуны, велосипедисты) тренируются в режимах с длительной высокой частотой сердечных сокращений, сердечная мышца испытывает высокую нагрузку и для восстановления нуждается в присутствии кардиопротекторных функциональных компонентов в рационе спортсмена, к которым, как будет показано ниже, относятся 1-3, 1-4 β-глюканы. Кроме того, в циклических видах спорта в связи с их монотонностью особенно остро стоит проблема психологического утомления спортсмена как во время тренировочного цикла, так и в течение отдельной тренировки. Данный эффект может быть компенсирован включением кофеина в функциональные напитки, употребляемые во время циклических монотонных физических упражнений (рис. 1).

Продукты питания спортивного назначения, содержащие кофеин для включения в повседневный рацион спортсменов в России, отсутствуют. Существуют и пользуются некоторой популярностью препараты, гели с высоким содержанием углеводов и кофеина, которые предназначены в большей степени к употреблению в соревновательный период и в крайне ограниченном объеме. Кроме того, спортсмены, страдающие сахарным диабетом, не имеют возможности использовать данные продукты в своем рационе питания. Разрабатываемый функциональный напиток имеет широкий диапазон применения за счет низкого гликемического индекса.

Разработка рецептуры является творческим процессом, при этом командная работа в рамках строгого бизнес-процесса должна управляться формализовано и с высокой степенью ответственности за результат. Рамки такого управления могут быть определены предложенной в данной работе методологией разработки инновационных продуктов питания, в том числе функциональных напитков. Предложенная система и после создания нового продукта поможет ему сохранить конкурентоспособность в развивающемся инновационном секторе пищевой отрасли.

Целью работы являлась разработка рецептуры и технологии производства функционального напитка для спортсменов циклических видов спорта.

В соответствии с поставленной целью решались следующие задачи:

– найти, исследовать и применить актуальные инструменты, позволяющие использовать подходы user-driven и data-driven в разработке концепции функционального напитка;

– структурировать выявленные на основе user-driven подхода нужды и желания потребителя по методу QFD («Дом качества»);

– найти и обосновать выбор функционального компонента, способного оказывать кардиопротекторное воздействие на сердечную мышцу спортсмена;

– найти и обосновать выбор компонентов, удовлетворяющих нуждам и желаниям потребителя, структурированным по методу QFD («Дом качества»);

– выбрать эффективный способ экстракции для компонентов, рекомендованных к самостоятельному получению в процессе производства функционального напитка;

– разработать технологию производства, составить блок-схему производственного процесса.

Работа проводилась в соответствии с планом поисковых научных исследований НИУ ИТМО по теме «Ресурсосберегающие экологически безопасные биотехнологии функциональных и специализированных продуктов на основе глубокой переработки продовольственного сырья» № 617027.

В ходе работы был предложен, обоснован и опробован новый алгоритм организации работ на этапе разработки рецептуры функциональных продуктов питания, опирающийся на data- и user-driven подходы и способный составить часть общего процесса «бережливого производства» функциональных продуктов, проведены экспериментальные исследования связи режимов обжарки кофейного зерна и методов экстракции кофеина.

В исследовании были проанализированы и выявлены актуальные и эффективные инструменты оценки перспектив новых концепций и конкретных рецептур, получены результаты исследования сочетаний методов обжарки кофейных зерен и методов экстракции кофеина, которые не были исследованы ранее, разработана технология производства и рецептура функционального напитка для спортсменов циклических видов спорта.

Результаты, полученные в ходе исследовательской работы, также могут быть использованы для дальнейших исследований процессов экстракции кофеина из кофейных зерен, а также апробации предложенной системы применения принципов user-driven и data-driven подходов для разработки рецептур инновационных функциональных напитков. Дальнейшие исследования функционального напитка, рецептура которого разработана в ходе данной работы, могут включать в себя понимание влияния типа тренировки, привычного объема употребления кофеина спортсменом, времени суток приема, возраста и пола на эффективность использования напитка, а также влияние на сон, тревожность и восстановление после упражнений.

Практически все клетки человека имеют аденозиновые рецепторы, тормозящие внутриклеточные процессы. При утомлении и появлении аденозина сердечная мышца начинает работать слабее, а многие гладкие мышцы в стенках внутренних органов, прежде всего сосудов, расслабляются [5–7].

В медицине кофеин применяется в составе средств от головной боли, при мигрени, как стимулятор дыхания и сердечной деятельности при простудных заболеваниях, для повышения умственной и физической работоспособности, для устранения сонливости [1].

Дальнейшие систематические обзоры выявили эргогенное влияние кофеина на спортивную выносливость, силовые виды спорта и упражнения с отягощениями

Кофеин улучшает когнитивные аспекты, такие как внимание, память и настроение, а также физическую работоспособность особенно в условиях ограничения сна

Дозы кофеина в 5 мг / кг массы тела уменьшали потерю навыков в игровых видах спорта после ограничения сна. Исследования показали так же, что и для пациентов, не имеющих ограничения по сну, кофеин может улучшать спортивные навыки [2]. Кроме того, спортсмены склонны к умственному утомлению, которое может ухудшить физические и специфические для спорта умения и когнитивные способности. Было показано, что у людей с психологической усталостью кофеин повышает выносливость, наряду с навыками и когнитивными функциями в специфических для спорта ситуациях [3, 4].

На практике, использование кофе в качестве основного источника кофеина спортсменами до соревнований может быть затруднительным. Концентрации кофеина в

кофе варьируются между кофейными смесями, способом обжарки и заваривания, что будет показано в данном исследовании ниже.

Его способностью увеличивать скорость проводимости нервных волокон.

Результаты показали, что условия обжаривания кофейных зерен играют важную роль в образовании антиоксидантов в функциональном спортивном напитке. По этой причине, как мы увидим ниже, в технологии производства функционального напитка для спортсменов было принято решение использовать термическую обработку с зерна с параметрами: температура 160 ° C и экспозиция 440 секунд.

Бета-глюкан – это растворимое овсяное волокно способно ослаблять гликемические и инсулинемические реакции крови после приема пищи, снижать общий холестерин в крови и холестерин липопротеинов низкой плотности (ЛПНП), а также улучшать холестерин липопротеинов высокой плотности (ЛПВП) и профили липидов крови, а также поддерживать вес тела. Таким образом, прием OβG полезен для профилактики, лечения и контроля диабета и сердечно-сосудистых заболеваний.

Кроме того, FDA (агентство Министерства здравоохранения) разрешает указывать на этикетке сведения о функциональных свойствах продуктов из овса, если 0,75 г β-глюкана потребляется с каждой порцией.

Процесс экстракции и очистки овсяного β-глюкана чрезвычайно сложен, кроме того, по мнению автора процессы экстракции хорошо изучены и описаны и потому не требует повторных экспериментов в рамках данной работы, чего нельзя сказать о экспериментах по экстракции кофеина и сопутствующих биологически активных веществ. По этой причине видится допустимым использовать при разработке рецептуры функционального напитка овсяный β-глюкан промышленного производства, в то время, как экстракция кофеина требует дополнительных экспериментов.

Поскольку, как было отмечено в главе Аналитический обзор литературы, общие рекомендации по употреблению кофеина сводятся к потреблению 3-6 мг кофеина на килограмм массы тела спортсмена, было принято решение предусмотреть содержание кофеина на уровне 200-220 мг на 330 мл готового напитка (одна порция). Кроме того, согласно рекомендациям FDA и EFSA предлагается указывать на этикетке сведения о функциональных свойствах продукта, если каждая порция напитка содержит не менее 1 г β-глюкана. В результате, на основе приведенных в данной работе исследований, в том числе экспериментальных, обзора клинических рекомендаций и спецификации сырья предлагается рецептура функционального напитка, предназначенного для употребления спортсменами циклических видов спорта, приведенная в таблица:

Таблица

Рецептура на 100 дал функционального напитка

Сырье	Расход сырья, кг	Содержание сухих веществ в сырье	
		%	кг
Кофейное зерно Coffea Robusta (необжаренное)	90	35	31,5
Сахар	34	99,85	33,94
Овсяный β-глюкан PromOat™	9	95	8,57

Продолжение таблицы

Сырье	Расход сырья, кг	Содержание сухих веществ в сырье	
		%	кг
Вода питьевая	До 1000 $дм^3$	–	–
Прирост сухих веществ за счет 100% инверсии сахарозы	Не происходит		
Итого сухих веществ в напитке			74,01

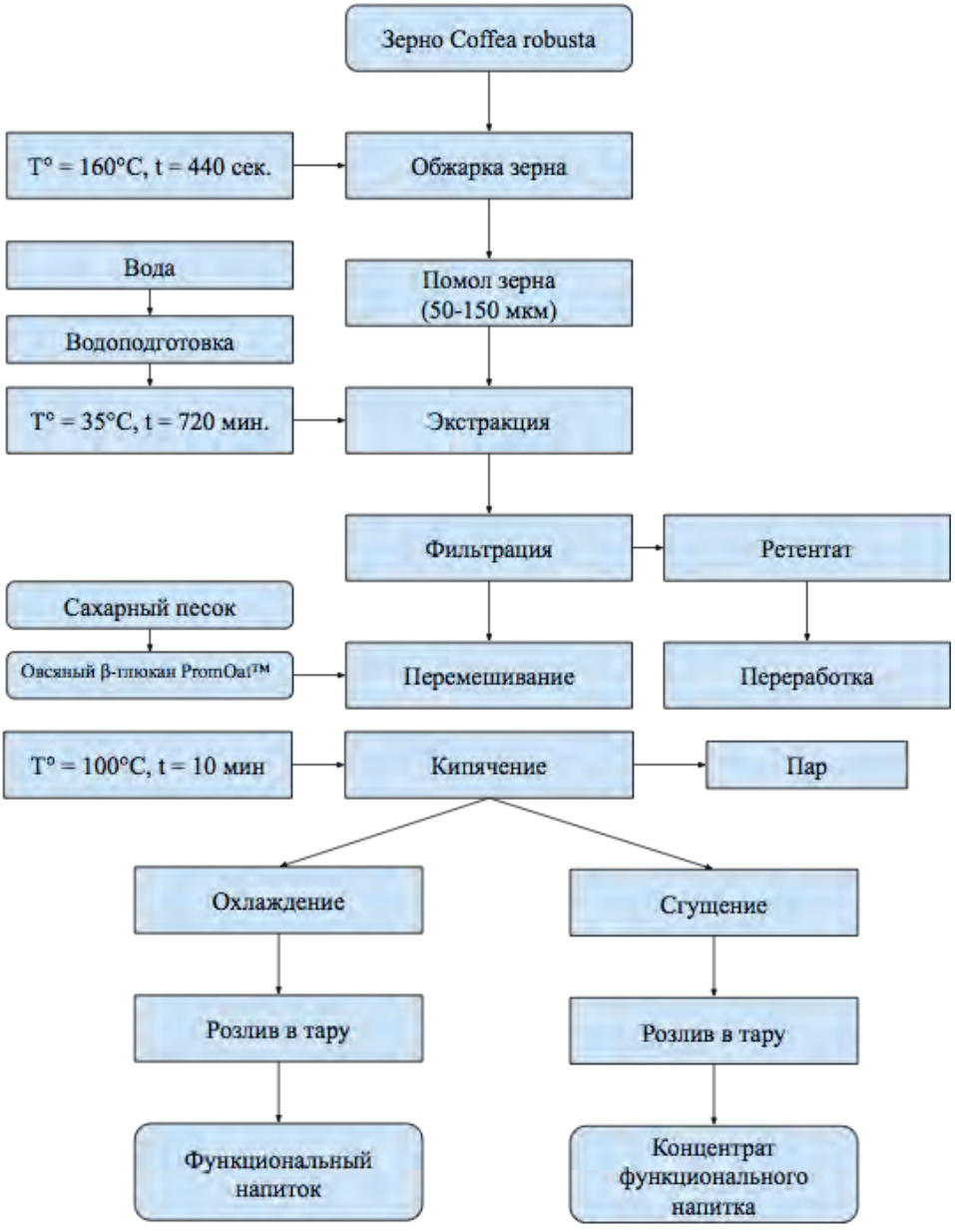


Рисунок 1. Принципиально-технологическая схема производства функционального напитка для спортсменов циклических видов спорта

Литература

1. 1. Машковский М.Д. Лекарственные средства. 15-е изд. М.: Новая Волна. 2005. С. 121.
2. Baker L.B., Nuccio R.P., Jeukendrup A.E. Acute effects of dietary constituents on motor skill and cognitive performance in athletes. Nutr Rev. 2014. 72(12). P. 790-802.
3. Foskett A., Ali A., Gant N. Caffeine enhances cognitive function and skill performance during simulated soccer activity. Int J Sport Nutr Exerc Metab. 2009. 19(4). P. 410-423.
4. Duncan M.J., Taylor S., Lyons M. The effect of caffeine ingestion on field hockey skill performance following physical fatigue. Res Sports Med. 2012. 20(1). P. 25-33.
5. Дубынин В. Глицин и аденозин. ИД «ПостНаука» (11 ноября 2016). Лекция.
6. PubChem public chemical database, https: // pubchem. ncbi. nlm.nih.gov /compound/2519#Synonyms].
7. Lieberman H.R.; Tharion W.J., Shukitt-Hale B., Speckman K.L., Tulley R. Effects of caffeine, sleep loss, and stress on cognitive performance and mood during US Navy SEAL training. Psychopharmacology. 2002. 164 (3). P. 250-261.

Фомина Анастасия Валерьевна
Год рождения: 1995
Университет ИТМО,
факультет пищевых биотехнологий и инженерии,
студент группы №Т4227,
направление подготовки: 19.04.03 – Продукты питания животного происхождения,
e-mail: nastekin95@gmail.com
Сучкова Елена Павловна
Год рождения: 1959
Университет ИТМО,
факультет пищевых биотехнологий и инженерии,
к.т.н., доцент,
e-mail: silena07@bk.ru

УДК 621.798

РАЗРАБОТКА СОСТАВА И ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРНО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СЪЕДОБНЫХ ПИЩЕВЫХ ПОКРЫТИЙ ДЛЯ СЫРОВ

А.В. Фомина

Научный руководитель – к.т.н., доцент **Е.П. Сучкова**

Университет ИТМО

Работа выполнена в рамках темы НИР № 617027 «Ресурсосберегающие экологически безопасные биотехнологии функциональных и специализированных продуктов на основе глубокой переработки продовольственного сырья».

Аннотация
В данной статье рассматриваются вопросы, связанные с разработкой компонентного состава съедобных пищевых покрытий для сыров и формированием необходимых свойств. Были получены пленкообразующие растворы, исследовалось их взаимодействие со стабилизационными системами. Получены образцы покрытий на основе пищевых и модифицированных крахмалов, желатина, производного хитозана. Проведена органолептическая оценка полученных образцов с использованием профильного метода определения качественных показателей и модифицирована методика определения такого показателя, как «липкость».
Ключевые слова
Хитозан, полимер, пищевые покрытия, сыр, стабилизационные системы.

В последние годы наблюдается заметное увеличение использования пленочных материалов и покрытий на основе натуральных полимеров в качестве упаковки для пищевых продуктов, которые защищают от внешнего загрязнения, замедляют порчу, тем самым увеличивая срок годности и сохраняя качество и безопасность.

В настоящее время уже известно производство съедобных покрытий для колбас, овощей и фруктов. Использование покрытий для сыров осложняется именно сложной биохимической средой данного продукта. Однако разработанное покрытие имеет компонентный состав, подобранный специально для сыра, который не несет в себе

каких-либо негативных последствий.

В данной работе рассматривались вопросы создания покрытий на основе производного хитозана, крахмала и желатина. Также были исследованы различные стабилизационные системы, отрабатывался состав покрытий.

Научная новизна работы заключается в разработке оптимального компонентного состава покрытий, которые можно использовать для покрытия сыров. Также изучены механизмы взаимодействия пленкообразующих веществ со стабилизационными системами и модифицирована методика определения такого органолептического показателя, как липкость. В отличие от ранее разработанных съедобных пищевых покрытий, данная разработка является поликомпонентной системой, подходящей именно для сложной среды сыра. Также разработанное покрытие обладает необходимыми адгезионными характеристиками, что является важным фактом при использовании на пищевом продукте.

Практическая значимость работы заключается в возможности применения как в научной деятельности, так и в промышленной. Поскольку покрытие необходимо совершенствовать и улучшать, оно успешно вписывается в дальнейшую научную деятельность. Также реально использовать покрытие на пищевых производствах в качестве упаковки, поскольку оно принесет не только инновационную составляющую, но и позволит осуществить повышение экологичности производства.

Пищевые пленки и покрытия представляют собой тонкий слой материала, толщина которых – менее 0,3 мм [1]. Они используются для глазирования пищевого продукта, чтобы заменить или укрепить естественные слои. Преимуществом рассматриваемых объектов является возможность употребления продукта вместе с покрытием. Также, съедобная упаковка может быть удалена, поэтому материалы, используемые при изготовлении покрытий должны соответствовать общим гигиеническим требованиям.

Пищевые покрытия могут представлять собой поверхностное покрытие на пищевом продукте, либо непрерывные слои между ингредиентами гетерогенных продуктов (пицца, пекарские начинки). Также пищевые покрытия могут быть нанесены на отдельные части продукта (например, свежесрезанные фрукты).

Пленкообразующие биополимеры классифицируют в соответствии с типом пленкообразующего материала, который образует непрерывные матрицы. В соответствии с данной классификацией, можно выделить три группы биополимеров: гидроколлоиды, к которым относятся белки и полисахариды; липиды; композиты, которые представляют собой совокупность липидов и гидроколлоидов.

Целью работы является разработка состава съедобных пищевых покрытий для сыров на основе хитозана и изучение их структурно-механических свойств. В задачи входил выбор и отбор компонентов для съедобного пищевого покрытия, разработка рецептуры и оценка качественных показателей.

Исследования по разработке состава и формированию структурно-механических свойств съедобных пищевых покрытий для сыров, проводились в лаборатории прикладной биотехнологии на базе факультета пищевых биотехнологий и инженерий Университета ИТМО.

К объектам исследования относятся:

- крахмал кукурузный и картофельный; модифицированные и пищевые;
- пленкообразующие растворы;
- производное хитозана;
- пищевые покрытия.

Сначала проводилось изучение взаимодествия различных видов крахмалов со стабилизационными системами и в результате непосредственно получение покрытий.

Было исследовано различное число вариаций различных видов крахмалов со стабилизационными системами.

Крахмалы, которые использовались: кукурузный и картофельный, пищевой и модифицированный, заварной и холодного набухания.

Пищевой крахмал использовался как компонент за счет того, что он активно используется в пищевой промышленности, как удерживающий агент. Крахмальные пленки прозрачные, не имеют запаха и вкуса. Помимо этого, крахмал относится к полисахаридам, как и производное хитозана.

Модифицированные крахмалы, которые использовались – марки GLETEL и GLETOGEL. Данный вид крахмалов вводился в состав, поскольку они лучше распределяются в среде. Крахмалы между собой отличались по физико-химическим свойствам, таким как: массовая доля влаги, золы, pH в растворе и вязкость на вискозиметре Брукфильда.

Используемый пищевой желатин марки П11 был введен в состав для того, чтобы образовывался вязкий раствор. При высушивании данного раствора получаются крепкие покрытия.

В качестве стабилизационных систем использовались:

- ксантановая смола, которая была выбрана за свои прекрасные свойства гелеобразования;
- олеиновая и стеариновая кислоты. Данные жирные кислоты были выбраны, поскольку эти компоненты обеспечивают проницаемость для водяного пара, в отличие от пленок на основе хитозана. Данным способом можно уравновесить этот недостаток;
- гидрофобин, который был выделен из Trichoderma viride ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургском государственном технологическом институте (техническом университете)». Этот компонент был выбран за счет своих поверхностно-активных свойств, необходимых для обеспечения необходимых свойств пищевых покрытий.

Были приготовлены смеси для пищевых покрытий – получали раствор крахмала, добавляли желатин и стабилизационные системы.

Концентрации стабилизационных систем рассчитывались в зависимости от массы пленкообразующих веществ.

Высушивание проводилось при температуре 35 ^{o}C. Максимальный срок экспозиции составлял 72 часа. В течение этого времени покрытия проверялись на «готовность». Для высушивания использовался термостат с принудительной конвекцией воздуха. Метод нанесения покрытия – наливом объемом 15 мл^3 в чашки Петри.

Далее проводилось изучение взаимодействие различных видов крахмалов со стабилизационными системами и получение покрытий. У полученных покрытий определяли такие органолептические показатели, как: внешний вид, цвет, запах и вкус, а также липкость. Метод определения липкости был в модификации ГОСТ ISO 11036 [2]. В данном случае этот показатель определял именно адгезионные свойства. В нашем исследовании липкость готовых покрытий определялась визуально сравнительной оценкой прилипаемости поверхности покрытия.

Всего было получено 189 проб съедобных пищевых покрытий на основе крахмалов и желатина с использованием стабилизационных систем. В результате данного исследования было выбрано 2 образца, которые подходят для дальнейшего исследования – крахмал GLETEL ADM-H122 с гидрофобином в количестве 1% и крахмал BAW-H22 с гидрофобином с аналогичным количеством.

Образец с крахмалом GLETEL ADM-H122 представлен на рис. 1. Органолептические характеристики данного покрытия следующие: внешний вид

покрытия – глянцевый. Покрытие хрупкое, легко отделяется. Цвет – прозрачный, запах и вкус отсутствуют. Липкость – отсутствует. Время экспозиции – 48 ч.

Второй образец, содержащий крахмал BAW-H22, имел также глянцевый внешний вид, но с включениями; прозрачного цвета с отсутствующими вкусом и запахом. Липкость также отсутствовала. Время выдержки – 72 ч. Внешний вид представлен на рис. 2.

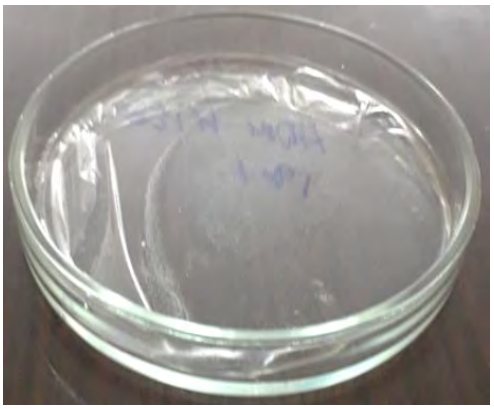


Рис. 1. Пищевое покрытие с составом:
желатин, крахмал GLETEL ADM-H122, гидрофобин 1%

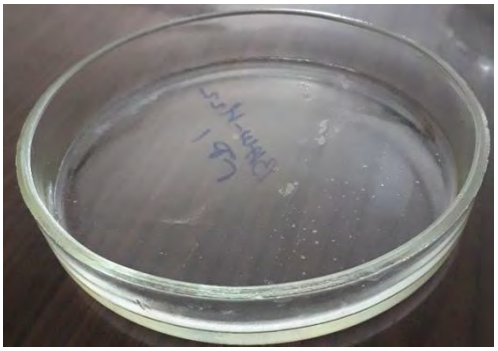


Рис. 2. Пищевое покрытие с составом:
желатин, крахмал GLETEL BAW-H22, гидрофобин 1%

Далее были получены съедобные пищевые покрытия на основе производного хитозана. В данном исследовании использовалось производное хитозана, а именно – ТМАПХ (триметиламинобензольное производное хитозана); 2 вида крахмала со стабилизационной системой, которые были признаны наилучшими ранее. Также использовался глицерин в качестве пластификатора в количестве 30% от пленкообразующих веществ.

Производное хитозана использовалось поскольку оно обладает антимикробными свойствами, содержит пищевые волокна и что самое главное – инертно и биоразлагаемо. Предполагается, что оно привнесет необходимые вязкостные свойства.

Органолептические показатели ТМАПХ: внешний вид – мелкодисперсный порошок; цвет – светло-желтый; запах – специфический. Данное вещество было получено в Институте высокомолекулярных соединений РАН города Санкт-Петербург.

Всего было подготовлено 4 пробы, состав которых указан в таб. 1. Все образцы были получены в течение 72 часов при режимах, указанных ранее.

Таблица 1

Компонентный состав проб с использованием ТМАПХ

Компонент	№ пробы, количество компонента			
	1	2	3	4
ТМАПХ	0,1 г	0,1 г	0,1 г	0,1 г
Крахмал	0,25 г	0,25 г	0,25 г	0,25 г
Желатин	2,25 г	2,25 г	2,25 г	2,25 г
Гидрофобин	0,7 г	0,7 г	0,7 г	0,7 г
Глицерин	-	6,84 мл	-	6,84 мл

Для оценки органолептических показателей необходимо было разработать шкалу, согласно которой проводилась оценка качественных показателей съедобных пищевых покрытий. В таб. 2 представлена данная шкала.

Таблица 2

Балльная шкала

Показатели	Качественные уровни		
	1	2	3
Внешний вид	Мутное покрытие, неоднородное, много посторонних включений	Глянцевое или матовое покрытие, с небольшим количеством включений	Глянцевое или матовое покрытие, без разводов, мути и включений
Цвет	Посторонний	Светло-желтый	Прозрачный
Запах и вкус	Присутствует	Слабовыраженные	Отсутствует
Липкость	Отсутствует	Незначительная	Присутствует

Органолептическая оценка проводилась группой экспертов, состоящей из 5 человек. Результаты представлены в таб. 3.

Таблица 3

Результаты органолептической оценки

№ пробы	Показатель	Оценка дегустаторов					Среднее значение
		1	2	3	4	5	
1	Внешний вид	3	2	2	3	3	2,6
	Цвет	3	3	3	3	3	3,0
	Запах и вкус	3	3	3	3	3	3,0
	Липкость	2	2	1	1	1	1,4
2	Внешний вид	3	3	3	3	2	2,8
	Цвет	3	3	3	3	3	3,0
	Запах и вкус	3	3	3	3	3	3,0
	Липкость	3	3	3	3	3	3,0

Продолжение таблицы

№ пробы	Показатель	Оценка дегустаторов					Среднее значение
		1	2	3	4	5	
3	Внешний вид	1	1	1	2	2	1,4
	Цвет	3	3	3	3	3	3,0
	Запах и вкус	3	3	3	3	3	3,0
	Липкость	1	1	1	1	2	1,2
		1	2	3	4	5	
4	Внешний вид	1	1	1	1	1	1,0
	Цвет	3	3	3	3	3	3,0
	Запах и вкус	2	2	2	1	1	1,6
	Липкость	3	3	2	2	2	2,4

Профильная оценка образцов по органолептическим показателям представлена на рис. 3.

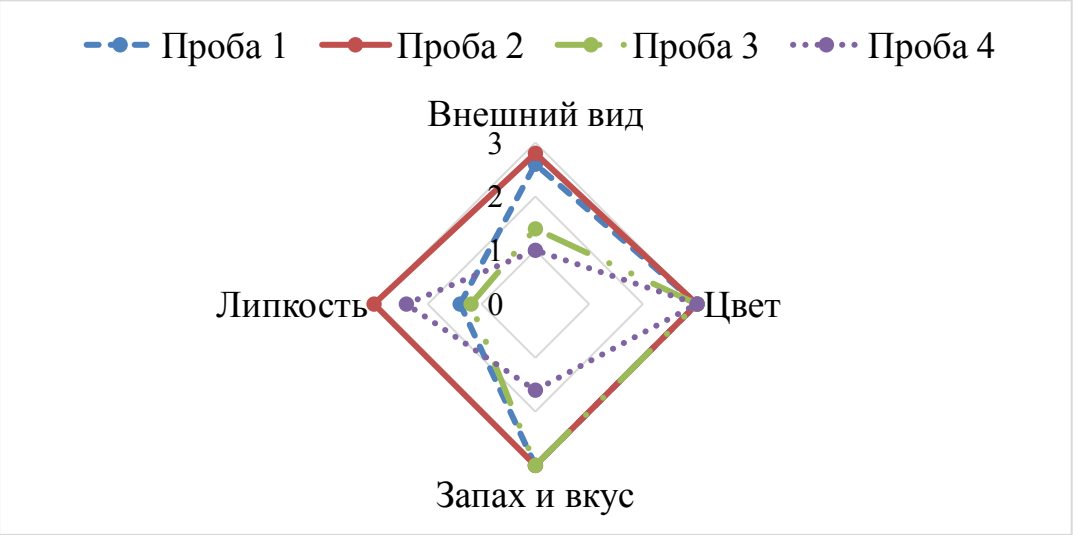


Рис. 3. Профильная оценка образцов съедобных пищевых покрытий

Исходя из данных профилограммы, можно сделать вывод о том, что наилучшими органолептическими показателями обладало покрытие, в состав которого входили следующие компоненты: ТМАПХ, крахмал GLETEL ADM-H122, желатин, гидрофобин 1% и глицерин.

Данная работа подтверждает получение съедобного пищевого покрытия, в состав которого входит триметиламинобензольное производное хитозана, модифицированный кукурузный крахмал, пищевой желатин, гидрофобин и глицерин. Система является многокомпонентной за счет того, что сыр представляет собой сложную биохимическую среду, и чтобы покрытие применялось по назначению, необходим именно такой состав. Соответственно, данное покрытие, согласно классификации, можно отнести к композиционным покрытиям.

Дальнейшие исследования будут направлены на совершенствование состава покрытия и изучение его структурно-механических свойств. Важно определить такие показатели, как: микроструктура, влагосодержание, прочность и удлинение при

прокалывании, липкость инструментальным методом. Также будут изучены другие методы нанесения покрытия.

Применение данного покрытия возможно в условиях производства, поскольку оно не требует сложного технологического воспроизведения и крупных затрат. Помимо экономической выгоды возникают и экологические предпосылки к использованию съедобного пищевого покрытия, поскольку оно является биоразлагаемым, и его производство не затрагивает технологические процессы, связанные с вредными выбросами в атмосферу.

Литература

1. Parreidt T.S., Müller K., Schmid M. Alginate-based edible films and coatings for food packaging applications // Foods. 2018. V.7. N 170. pp. 1–38.
2. ГОСТ ISO 11036 – 2017. Органолептический анализ. Методология. Характеристика структуры. М.: Стандартинформ. 2017. – 20 с.

Хуссайне Руба
Год рождения: 1991
Университет ИТМО,
факультет пищевых биотехнологий и инженерии,
студент группы №Т-4230,
направление подготовки: 19.04.01 – Биотехнология,
e-mail: rubahussaineh@mail.ru
Сучкова Елена Павловна
Год рождения: 1959
Университет ИТМО,
факультет пищевых биотехнологий и инженерии,
к.т.н., доцент,
e-mail: silena07@bk.ru

УДК 637.3.04

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ ЭКСТРАКТОВ ИЗ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В ПРОИЗВОДСТВЕ СВЕЖИХ СЫРОВ

Р. Хуссайне

Научный руководитель – к.т.н., доцент **Е.П. Сучкова**

Университет ИТМО

Аннотация
Работа выполнена в рамках темы в рамках темы НИР-ФУНД №617027 «Ресурсосберегающие экологически безопасные биотехнологии функциональных и специализированных продуктов на основе глубокой переработки продовольственного сырья».
В работе рассмотрено использование водных растительных экстрактов из пряно-вкусовых и пряно- ароматических растений, которые могут выступать в качестве вкусовых и ароматических компонентов при производстве сыров с целью выявление потенциального эффекта формирования специфических вкусовых свойств, предотвращения процессов порчи и повышения хранимоспособности сыров при добавлении экстрактов.
Ключевые слова
Растительные экстракты, сыр, розмарин, тмин, тимьян, душица, pH экстрактов, хранимоспособность сыра.

Производство сыра сложный процесс, включающий в себя разнообразие технологических параметров, формирующих свойства сыра и его способность сохранять качественные показатели в течение длительного времени. Молочные продукты, включая сыры содержат липиды, богатые полиненасыщенными жирными кислотами, и их сложные эфиры легко окисляются молекулярным кислородом с течением времени [1].

На сегодняшний день идут поиски новых путей улучшения органолептических свойств, предотвращения загрязнения сырной массы и готовой продукции посторонними микроорганизмами, вызывающими порчу сыров на разных этапах технологического процесса и при хранении, а также изменения, вызванные окислением липидов [2].

Одним из путей решения проблемы удовлетворения возрастающих требований потребителей, а также повышения конкурентоспособности на рынке за счет расширения ассортимента продукции, является использование растительных ингредиентов, которые содержат антиоксидантные фенольные соединения и могут улучшить органолептические, физико-химические показатели сыра. Большая часть исследований, посвященных природным антиоксидантам растительного происхождения, сосредоточена на экстракте розмарина [3, 4]. Растительные экстракты, содержащие высокие уровни фенольного соединения с сильной Н • - донорной активностью, эффективно удаляет H2O2 и активные формы кислорода [5].

Актуальность работы

Заключается в использовании натуральных растительных ингредиентов в производстве сыров, которые могут выступать в качестве вкусовых и ароматических компонентов, к тому же обладающих выраженными консервирующими свойствами и способные выступить в качестве альтернативы синтетическим ароматизаторам и консервантам.

В нашей работе готовились образцы водных растительных экстрактов из разных смесей трав (прованские–розмарин -тмин–тимьян и душица) в разном соотношении,затем они заливались кипятком (количество воды 200 см^3), помещались в водяную баню при 100 °С выдерживались 10-35 мин.Образцы фильтровали и охлаждали до (20 °С), определяли содержание сухих веществ с помощью рефрактометра, pH экстракта потенциометрическим методом .

После приготовления экстрактов мы определяли их органолептические показатели такие как (вкус- запах- цвет). Результаты оценки показали что экстракт розмарина лучше по сенсорным характеристикам, чем прованские и тмин, а также экстракты из композиции трав (тмина и душицы) показали лучшие оценки по сравнению с экстрактами из трав (розмарин и тимьян).После этого мы определили переход сухих веществ в экстракты с помощью рефрактометра, для разных образцов при разных параметрах а также pH экстрактов, приготовленных при разных параметрах из разных видов трав с помощью pH-метра . Полученные результаты представлены в таб. 1, 2, 3.

Таблица 1

Переход сухих веществ в экстракты и pH экстрактов после подготовки

Вид растительных трав	Образец	Дозы, г /200 см^3 воды	Продолжи-тельность выдержива-ние, мин	Переход сухих веществ в экстракты, %	pH экстрактов
Прованские травы	1	15	10	0,9945	5,65
	2	20	10	1,267	5,78
	3	20	15	3	5,63
	4	20	20	6	5,35
	5	20	25	6	5,20
	6	20	35	6,5	4,52
	7	25	15	5,5	5,70
	8	25	30	8	4,55

Продолжение таблицы

Вид растительных трав	Образец	Дозы, г /200 см^3 воды	Продолжи-тельность выдержива-ние, мин	Переход сухих веществ в экстракты, %	pH экстрактов
Розмарин	9	15	10	0,994	4,96
	10	20	10	1,265	4,45
	11	20	15	2	4,82
	12	20	20	4,5	4,75
	13	20	25	5	4,56
	14	20	35	5	4,32
	15	25	15	4	5,23
	16	25	30	5,5	4,35
Тмин	17	15	10	1	5,58
	18	20	10	1,5	5,67
	19	20	15	2	5,35
	20	20	20	3	4,89
	21	20	25	3,5	4,68
	22	20	35	4	4,21
	23	25	15	4	5,64
	24	25	30	5	4,32

Таблица 2

Переход сухих веществ - pH экстрактов после подготовки экстрактов из компазиции трав (розмарин+тимьян)

Образец	Дозы, г/200 см^3 воды	Продолжительность выдерживание, мин	Переход сухих веществ в экстракты, %	pH экстракта
1 (10г розмарин -10 г тимьян)	20	20	4	5,98
2 (10г розмарин -10 г тимьян)	20	30	5	5,71
3 (10 г розмарин-10 г тимьян)	20	35	5.5	5,48
4 (10 г розмарин-5 г тимьян)	15	35	4	5,32
5 (15 г розмарин-10 г тимьян)	25	35	6	5,52

Таблица 3

Переход сухих веществ- pH экстрактов после подготовки экстрактов из компазиции травы (тмин+душица)

Образец	Дозы, г/200 см^3 воды	Продолжительность выдерживание, мин	Переход сухих веществ в экстракты , %	pH экстракта
6 (10г тмин -10 г душица)	20	20	5	5,86

Продолжение таблицы

Образец	Дозы, г/200 см^3 воды	Продолжительность выдерживание, мин	Переход сухих веществ в экстракты , %	pH экстракта
7 (10г тмин -10 г душица)	20	30	5.5	5,82
8 (10г тмин -10 г душица	20	35	6	5,69
9 (10 г тмин-5 г душица)	15	35	3.5	5,25
10 (15 г тмин-10 г душица)	25	35	7	5,75

Результаты представлены в таблицах показали что, степень перехода сухих веществ в экстракты зависит от вида растения и параметров экстрагирования (температуры и продолжительности выдержки), таким образом мы пришли к выводу, что оптимальные параметры для приготовления водных экстрактов были при дозе 25 г на 200 мл (12,5 %) и времени выдерживания (30-35 мин). При этих параметрах мы получили наибольшее значение перехода сухих веществ, кроме того кислотность экстрактов снижается с увеличением времени выдерживания.

Вторую частью является определение органолептических и физико-химических показателей сырной массы после добавления растительных экстрактов. После внесения подготовленных экстрактов в готовое к формованию сырное зерно в разных количествах смесь выдерживали 5 минут и формовали. Подготовленные образцы сырной массы с экстрактами трав помещали в холодильник и выдерживали 1 сутки. Затем мы проводили органолептическую оценку, и получили следующие результаты (рис. 1, 2, 3, 4, 5):

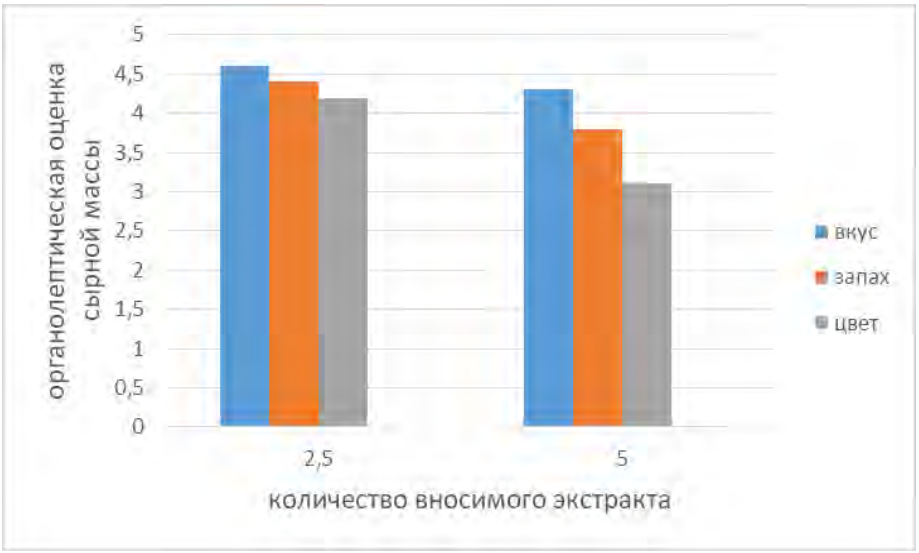


Рис. 1. Органолептическая оценка сырной массы после добавления экстрактов прованских трав через 1 сутки после внесения

Результаты исследования показали, что добавление экстрактов из прованских трав не очень хорошо влияет на органолептические показатели сырной массы, особенно при добавлении этих экстрактов в больших количествах.

Рис. 2. Органолептическая оценка сырной массы после добавления экстракта розмарина через 1 сутки после внесения

Добавление экстракта розмарина хорошо влияет на сенсорные характеристики сырной массы кроме того, мы получили лучшие результаты при добавлении меньшего количества экстракта.

Рис. 3. Органолептическая оценка сырной массы после добавления экстракта черного тмина через 1 сутки после внесения

Результаты показаны на диаграмме показали, что добавление экстракта черного тмина в количестве (2,5%) оказывает очень хорошее влияние на сенсорные характеристики сырной массы, особенно с точки зрения вкуса и цвета.

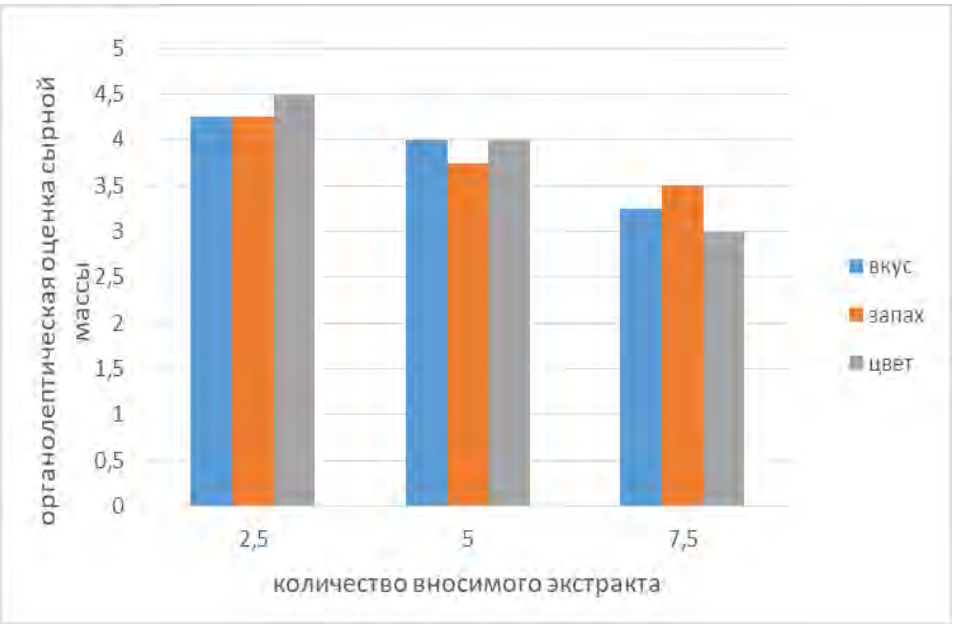


Рис. 4. Органолептическая оценка сырной массы после добавления экстрактов из композиции трав (розмарин+тимьян) через 1 сутки после внесения

Органолептическая оценка сырной массы после добавления растительных экстрактов из композиции трав розмарин и тимьян показала хорошие результаты при добавлении этих экстрактов в небольшом количестве (2,5%).

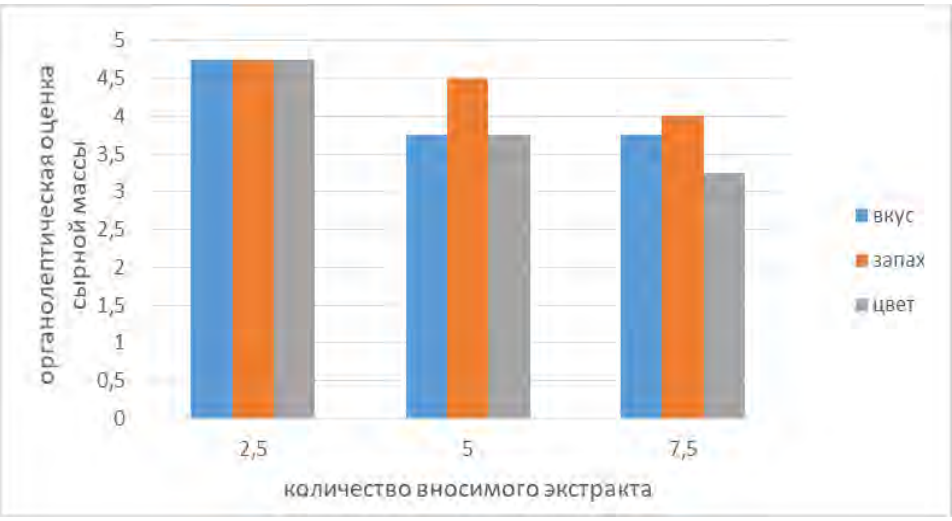


Рис. 5. Органолептическая оценка сырной массы после добавления экстрактов из композиции трав (тмин+душица) через 1 сутки после внесения

Результаты исследования показали, что добавление растительных экстрактов из композиции трав тмина и душицы показало лучшие результаты по органолептическим показателям по сравнению с экстрактами из трав розмарин и тимьян при количестве (2,5%).

В нашей работе мы тоже определили физико- химические показатели сырной массы после добавления экстрактов из композиции трав (тмин+душица) - (25 г 35 мин) такие как активная кислотность (pH) – массовая доля влоги (%) – массовая доли жира (%), полученные результаты представлены в таб. (4).

Таблица 4

Физико-химические показатели сырной массы после добавления экстрактов (тмин+душица)

Наименование показателя	Значение показателя
Активная кислотность (pH)	5.37
Массовая доля жира в перечете на сухое вещество ,%	48
Массовая доля влаги ,%	50

Результаты представлены в таблице показали, что содержание влаги в образцах было немного выше чем, стандарт, общее содержание жира, Показатели активной кислотности были почти такими же, как для стандарта.

Третьей частью является изучение влияния добавления растительных экстрактов на хранимоспособность сырной массы в течение 7 суток, где после добавления Подготовленные образцы экстрактов в готовое к формованию сырное зерно, Мы оценили влияния этих экстрактов на хранимоспособность сырной массы в течение 7 суток и получили следующие результаты (таб. 5):

Таблица 5

Хранимоспособность сырной массы после добавления растительных экстрактов в течение 7 суток

Вид растительного экстракта	Хранимоспособность сырной массы
Розмарин	++
Тмин	+
Прованские	±
Тмин+Душица	+++
Розмарин+Тимьян	++

Результаты показали, что экстракт розмарина повышает срок хранения сыра больше, чем экстракт тмина и прованские, а также лучшие результаты мы получили когда мы добавили экстракты из композиции трав (тмина +душицы) по сравнению с экстрактами из композиции трав (розмарин + тимьян).

Заключение

Применение растительных экстрактов в производстве сыров является перспективным направлением и требует дальнейших исследований в плане формирования органолептических свойств сыра, сохранении качества и продления сроков его годности.

Оценка степени перехода сухих веществ в экстракты при разных режимах подготовки показала, что степень перехода сухих веществ в экстракты зависит от вида растения и параметров экстрагирования (дозы и продолжительности выдержки. Установлены оптимальные параметры приготовления водных экстрактов, при которых получены наибольшее значения степени перехода сухих веществ, а также определено , что активная кислотность экстрактов снижается с увеличением времени выдерживания.

При определении органолептические показателей экстрактов было установлено, что экстракт розмарина лучше по сенсорным характеристикам, чем прованские травы и тмин, а также экстракты из композиции трав (тмина и душицы) показали лучшие результаты по органолептическим характеристикам, по сравнению с экстрактами из трав

(розмарин и тимьян), Результаты исследования показали, что органолептическая оценка сырной массы после добавления растительных экстрактов (розмарин и тмин) показала хорошие результаты по сохранению вкуса и запаха через 1 час и 1 сутки после внесения при добавление этих экстрактов в количестве (2.5 %), а также результаты оценки органолептических показателей сырной массы после добавления растительных экстрактов из композиции трав тмина и душицы показали, что добавление этих экстрактов дало лучшие результаты по сравнению с экстрактами из трав розмарин и тимьян.

Изучение влияние добавления растительных экстрактов на хранимоспособность сырной массы в течение 7 суток показало, что экстракт розмарин повышает срок хранения сыра в большей степени, чем экстракты тмина и прованских трав, кроме того добавление экстрактов из композиции трав (тмин+душица) показало лучшие результаты за счет увеличения сроков хранения сыра по сравнению с экстрактами из композиции трав (розмарин + тимьян).

Летература

1. Hassanien M.F.R. et al. Soft cheese supplemented with black cumin oil: impact on foodborne pathogens and quality during storage. Saudi Journal of Biological Sciences.Oct 2015. v.21. P.280-288.
2. Antolovich M., Prenzler P.D., Patsalides E., McDonald S. and Robards K. Methods for Testing Antioxidant Activity. The Analyst.2002, 127, P.183-198.
3. Armitage D.B., Hettiarachchy N.S. and Monsoor M.A. Natural Antioxidants as a Component of an Egg Albumen Film in the Reduction of Lipid Oxidation in Cooked and Uncooked Poultry. Journal of Food Science. 2002. 67. P. 631-634.
4. Tsen S.Y., Ameri F. and Smith J.S. Effects of Rosemary Extracts on the Reduction of Heterocyclic Amines in Beef Patties. Journal of Food Science.2006. 71. P.469-473.
5. Lugasi A., Dworschak E. and Hovari J. Characterization of Scavenging Activity of Natural Polyphenols by chemiluminescence Technique. Proceedings of the *8*th European Conference on Food Chemistry, European Chemical Society. Vienna. 18-20 September 1995. P.639-643.

Чащина Мария Максимовна
Год рождения: 1995
Университет ИТМО,
систем управления и робототехники,
студент группы № R4235,
направление подготовки: 15.04.06 – Интеллектуальные технологии в робототехнике,
e-mail: marichaschina@mail.ru
Бобцов Алексей Алексеевич
Год рождения: 1973
Университет ИТМО,
факультет систем управления и робототехники,
д.т.н., профессор,
e-mail: bobtsov@mail.ifmo.ru

УДК 681.518.5

ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ БЕЗАВАРИЙНОГО ДВИЖЕНИЯ МОБИЛЬНОГО РОБОТА НА ПЕРЕСЕЧЁННОЙ МЕСТНОСТИ

М.М. Чащина

Научный руководитель – д.т.н., профессор **А.А. Бобцов**

Университет ИТМО

Аннотация
В работе предложен алгоритм управления колесным роботом на пересеченной местности по заданному маршруту. Предлагается вариант технической реализации мобильного робота с помощью математического моделирования и экспериментальных исследований на колесной платформе фирмы «Odyssey» и блока управления на базе платы Arduino UNO. Робот функционирует в автономном режиме. Разработанные алгоритмы позволяет управлять движением робота в режиме реального времени с помощью гироскопа, стереозрения и ультразвуковых датчиков. Интеллектуальность робота заключается в возможности изменять своё поведение в зависимости от характера местности.
Ключевые слова
Пересеченная местность, мобильный робот, траекторное движение, алгоритм движения, карта местности, обнаружение препятствий.

Исследование поверхности, о которой нет полной информации не только в земных условиях, но и при исследовании небесных тел солнечной системы, таких как Луна, Марс, астероиды и кометы, требует разработки и создания автоматических аппаратов. Естественно, что для этой цели наиболее подходящим средством будет являться мобильный робот.

Основными требованиями, предъявляемыми к таким роботам, являются автономность, надежность навигационной системы и оптимальность алгоритмов управления движением. Автономность систем обусловлена тем, что в отличие от управляемых вручную роботов, они способны быстрее отреагировать на изменения окружающей среды, особенно при задержках в канале связи.

Целью данной работы стала разработка алгоритмов автономного управления мобильным роботом на пересеченной местности, выполняющим следующие задачи:

движение по заданной траектории, обнаружение препятствий и их объезд, возврат на первоначально заданный маршрут, построение или корректировка карты местности в режиме реального времени. В таком случае могут возникнуть ситуации, при которых робот может идентифицировать наклонные поверхности, как препятствия.

В существующих на сегодня роботах, предназначенных для работы на пересеченной местности, упор делается на усовершенствование механической составляющей, увеличении степени подвижности мобильной платформы [1, 2].

Недостатком рассмотренных систем является отсутствие алгоритмов идентификации и объезда, непроходимых роботом участков. В данной работе предложен алгоритм, основанный на оценке характера профиля поверхности движения ультразвуковыми датчиками, видеокамерами и гироскопом.

Две видеокамеры и один ультразвуковой датчик закреплены на штанге, поворачивающейся на ± 180°, осуществляющими сканирование впереди лежащей местности. Оптические оси камер параллельны плоскости движения. В данном проекте стереосистему образуют две веб-камеры Logitech C100 с разрешением 640x480 и углом обзора объектива 54°.

Ещё два ультразвуковых датчика вынесены на штангах на некоторое расстояние вперёд и находятся над условной колеей перед колёсами и предназначены для определения профиля поверхности. Если при движении робота с камер или датчика поступит информация о том, что на минимально допустимом расстоянии обнаружена помеха, то он остановится и перейдет к алгоритму объезда [3].

Если величина препятствия $\pm H \le 0{,}3\ D_к$, то робот может преодолеть такой «бугор» или «яму» и продолжить движение (рис. 1).

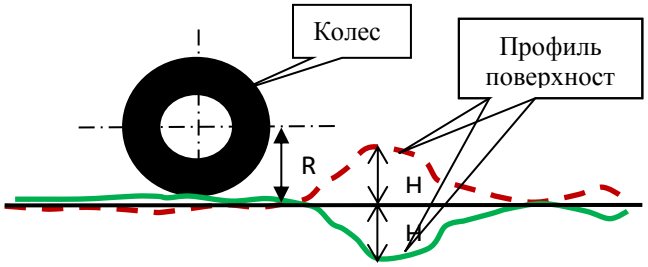


Рис. 1. Возможный профиль поверхности перед колесом

В результате проведённого эксперимента было установлено, что робот может преодолевать препятствия типа «яма» или «бугор» с наклоном $\beta \le \pm 30^0$. Для исключения попадания робота в «ловушку», из которой он не сможет выбраться, необходимо определять угол наклона впереди лежащей местности. Для этого используется гироскоп, и ультразвуковой датчик (УЗ-датчик) на вертикальной штанге, закреплённой на сервоприводе (рис. 2).

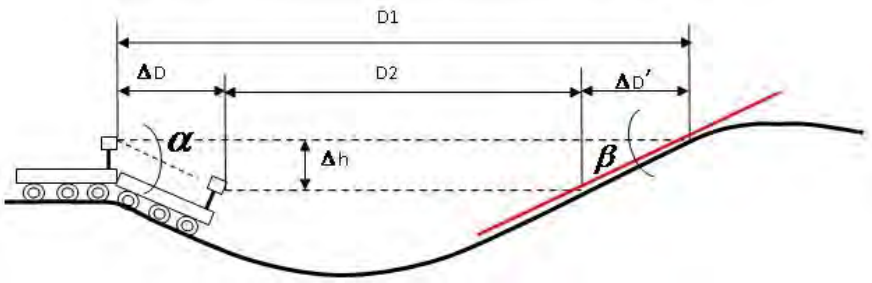


Рис. 2. «Фиктивное» препятствие-встречный склон

Алгоритм работы следующий: измеряется расстояние до встречного склона в начальный момент времени D_1, данные заносятся в массив. Робот начинает движение и снова измеряется расстояние до препятствия D_2 в следующий момент времени. Угол α и ΔD известны благодаря информации, полученной с гироскопа и энкодера. Тогда угол наклона встречного склона можно определить как:

$$\beta = \arctan\frac{\Delta h}{\Delta D^*}$$

где $\Delta h = \mathrm{tg}\alpha \cdot \Delta \mathrm{D}$,

$$\Delta \mathrm{D}^* = \mathrm{D}_1 - (\mathrm{D}_2 + \Delta \mathrm{D})$$

С гироскопа снимаются данные о скорости изменения угла наклона мобильной платформы. Обратно пропорционально получаемым значениям будет снижаться скорость движения робота. Это позволит ему успеть оценить поверхность прежде, чем он выйдет на опасный участок [4].

В работе предложен алгоритм управления автономным колесным роботом на пересеченной местности по заданному маршруту. Выполнена проверка работоспособности предложенного алгоритм с помощью математического моделирования и экспериментальных исследований на колесной платформе фирмы «Odyssey» и блока управления на базе платы Arduino UNO. Анализ окружающей среды осуществляется при помощи ультразвуковых датчиков, гироскопа, системы технического зрения и GPS модуля. Полученные с сенсоров данные используются встроенным процессором робота для расчёта траектории движения робота по пересечённой местности. Интеллектуальность робота заключается в возможности определять характер своих действий в зависимости от изменений в окружающей среде.

Литература

1. Iagnemma K., Dubowsky S. Mobile robot in rough terrain: estimation, motion planning, and control with application to planetary rovers //Springer, 2004. P. 111.
2. Cook G. Mobile robots: navigation, control and remote sensing // John Wiley and Sons, 2011. P. 324.
3. Мазулина В.В., Чащина М.М., Литвинов Ю.В. Организация движения мобильного робота по пересечённой местности // Научный альманах 2017. С. 101-106.
4. Чащина М.М., Мазулина В.В., Литвинов Ю.В., Евстигнеев М.И. Алгоритм организации движения мобильного робота по пересеченной местности // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2017. Т. 17. № 3(109). С. 393-399.

Чернушевич Екатерина Алексеевна
Год рождения: 1995
Университет ИТМО,
институт дизайна и урбанистики,
студент группы № С4255,
направление подготовки: 09.04.03 – Прикладная информатика,
e-mail: chernushevich.kate@yandex.ru
Кононова Ольга Витальевна
Год рождения: 1964
Университет ИТМО,
Институт дизайна и урбанистики, доцент,
к.э.н., доцент,
e-mail: kononolg@yandex.ru

УДК 004.9

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ОЦЕНКИ В ЭЛЕКТРОННЫХ КУРСАХ С ЭЛЕМЕНТАМИ ГЕЙМИФИКАЦИИ ДЛЯ ГОСУДАРСТВЕННЫХ СЛУЖАЩИХ

Е.А. Чернушевич

Научный руководитель – к.э.н., доцент **О.В. Кононова**

Университет ИТМО

Аннотация
В статье представлен подход к оценке уровня учебных достижений государственных служащих на основе теории латентных переменных по результатам освоения электронных курсов с элементами геймификации. Описана модель оценки компетенций как совокупность измерений с использованием «поведенческих факторов», включая индикаторы, связанные с применением технологии геймификации, а также представлено применение предложенного подхода на тестовом примере с использованием описательной статистики Джона Майкла Линакра.
Ключевые слова
Электронное обучение, геймификация, оценка результатов обучения, обучение государственных служащих, система оценки.

Применение дистанционных образовательных технологий помогает госслужащим проходить обучение с целью повышения квалификации без отрыва от основной деятельности. Однако существует тенденция повышения требований к квалификации государственных служащих. И только по результатам оценки сформированности компетенций у представителей данной сферы, можно принимать решения, связанные с их назначением на определенные должности, повышением уровня образования. Вопрос о совершенствовании системы оценки госслужащих, а именно об ее автоматизации, является актуальным. Для обеспечения эффективного развития электронного обучения государственных служащих, необходимо разработать такую систему оценки уровня учебных достижений, которая связана с использованием инструментария систем электронного обучения и учитывает активности, проявленные при прохождении электронного курса, в т.ч. связанные с применением технологии

геймификации, использование которой обусловлено проблемой невысокой мотивации к обучению у данной категории слушателей. О существовании данной проблемы сообщается в научных статьях авторов Пилипенко Л. М., Суппеса Л. А., Устиновой О. В. и авторов Борщевского Г. А., Калмыкова Н. Н. [1, 2].

Целью работы является разработка подхода к оценке уровня учебных достижений (компетенций) государственных служащих на основе теории латентных переменных (модель Раша) по результатам освоения электронных курсов с элементами геймификации.

Учебные достижения, выраженные через компетенции, невозможно оценить непосредственно, для их измерения используют методы теории латентных переменных. Это такие переменные, которые не подлежат прямому измерению. Для их оценки принято использовать группу явных и измеряемых напрямую переменных, которые называются индикаторными. Был проведен сравнительный анализ методов оценки учебных достижений:

- классическая теория тестирования (Чальз Спирмен);
- вычисление интегральных показателей;
- модель Г. Раша;
- метод наименьших квадратов (Лежандр, Эдрейн, А. А. Марков);
- метод экспертных оценок (Бешелев, Гурвич, Литвак, Шошин).

По результатам сравнительного анализа, было определено, что модель Г. Раша является наиболее рациональным вариантом, позволяющим одновременно определять значение латентной переменной и уровни трудности ее индикаторов. В то время как другие модели имеют существенные недостатки: достоверность и надежность результатов исследования зависят от компетентности эксперта; субъективность метода; трудоемкость процедуры сбора информации; потребность в высококвалифицированных специалистах; чувствительность оценок к резким выбросам, встречающимся в исходных данных.

Необходимость учета элементов геймификации в системе оценки сформированности компетенций подтверждается результатами сравнительного анализа применяемых систем оценки в системах электронного обучения (таб. 1), который был проведен с целью выявления требований к разрабатываемой системе оценки, а также обоснования ограниченного функционала данных систем.

Сравнительный анализ СЭО, а также методов, которые используются при реализации систем оценки в данных системах, позволил определить явный разрыв между потенциальными возможностями СЭО и тем, как реализованы процессы оценки результатов обучения в них в настоящее время, ввиду ограниченных подходов к оценке учебных достижений, используемых в них. Для сокращения данного недостатка, необходимо учесть следующие требования:

- основываться на модели контроля уровня учебных достижений, которая учитывает показатели учебной деятельности, связанные с применением технологии геймификации;
- использовать объективную градуировку тестовых заданий по уровню трудности.
- Учет применяемых элементов геймификации в электронном курсе необходимо адаптировать в рамках предлагаемого в работе подхода к оценке уровня учебных достижений (компетенций) государственных служащих на основе теории латентных переменных. Для обоснования учета геймификации в системе оценки результатов обучения государственных служащих, были исследованы компьютерные сервисы и платформы, которые соответствуют принципам геймификации: DuoLingo, Khan Academy, Classcraft, Codeacademy (таб. 1).

Таблица 1

Сравнительный анализ систем оценки

№	Наименование СЭО	Способ оценки учебных достижений	Исходный код	Функции оценки компетенций
1	«Прометей»	Тесты с коэффициентами сложности вопросов	Закрыт	Да
2	eLearning Server 4G (компания ГиперМетод)	Тестирование и анкетирование	Закрыт	Да
3	LMS/LCMS Moodle (Martin Dougiamas)	Тестовые задания с различным уровнем сложности	Открыт. Есть возможность разработки доп. модулей	Нет
4	LMS/LCMS eFront	Тестовые задания с различным уровнем сложности	Открыт. Есть возможность разработки доп. модулей	Нет
5	Платформа 1С: Образование	Ведение журнала успеваемости	Закрыт	Нет
6	Blackboard Learn	Тесты и опросы	Открыт	Да
7	Mirapolis Knowledge Center	Тестирование	Закрыт	Да

Использовались следующие параметры сравнения платформ и сервисов: простой вход, простое обучение, постепенное усложнение задачи, достижимость победы, наличие/отсутствие обратной связи, возможность возврата игрока. Данные параметры были использованы с целью выделения ключевых характеристик рассматриваемых платформ (сервисов). Наиболее проработанными и универсальными платформами (системами) являются DuoLingo и Classcraft. Основываясь на примере реализации технологии геймификации в этих платформах, сформулирована рекомендация по учету конкретных элементов геймификации в системе оценки уровня учебных достижений в электронном курсе, а именно: количество набранных баллов; количество дополнительных призов, полученных за отличительные достижения; количество полученных штрафов.

Для измерения уровня сформированности компетенций была составлена модель с совокупностью индикаторов. Формирование перечня индикаторов должно происходить с учетом того, что они не дублируют друг друга и не способствуют нарушению точности измерений латентной переменной. Используемый перечень индикаторных переменных:

<y11… y1k, y21… y2l> – индикаторы, связанные с выполнением теста;

y21… y2l – поведенческие индикаторы. Примеры поведенческих индикаторов уровня учебных достижений представлены в таб. 2. В научной работе данные показатели используются для описания действий обучающихся при взаимодействии с системой электронного обучения. Для определения уровня сформированности компетенций, используются характеристики элементов поведения пользователя, выраженные в числовых значениях, такие как длительность изучения теоретической части электронного курса, частота обращений пользователя к разным видам помощи и др.

Таблица 2

Поведенческие индикаторы уровня учебных достижений

Обозначение	Индикаторная переменная	Направление влияния на «уровень учебных достижений»
Индикаторы уровня учебных достижений, предложенные Косоноговой М.А.		
y21	количество пропусков заданий теста	обратное
y22	количество смены варианта ответа в пределах теста	обратное
y23	время обращения к учебному материалу при прохождении тестового контроля	обратное
…	…	…

С целью учета влияния взаимодействия обучающихся с элементами геймификации, используемых в электронном курсе, предлагается расширить перечень индикаторных переменных (таб. 3), предложенных кандидатом технических наук Косоноговой М.А., в своей работе «Метод и средства управления образовательной траекторией в системах электронного обучения». В дальнейшем данный перечень может быть дополнен в зависимости от того, какие элементы геймификации применяются в СЭО.

Таблица 3

Поведенческие индикаторы уровня учебных достижений

Индикаторы уровня учебных достижений, связанные с учетом геймификации		
y215	количество набранных баллов	прямое
y216	количество дополнительных призов, полученных за отличительные достижения	прямое
y217	количество полученных штрафов	обратное

Алгоритм подхода подразумевает, что система электронного обучения, с помощью модуля скрытого мониторинга, собирает статистику о действиях обучающихся в ходе освоения ими электронного курса, при этом, на каждом шаге обучения заполняется перечень индикаторов <y11… y1k, y21… y2l>. В таблицах 2 и 3 (столбец 3) указано направление влияния на значение измеряемой латентной переменной. Оно может быть трех видов: прямое, обратное и немотонное. Индикаторы, связанные с выполнением теста, имеют прямое влияние. После мониторинга и накопления данных, проводится их статистический анализ, исходя из результатов которого делается вывод о характере поведенческих индикаторов.

Для измерения уровня сформированности компетенции предлагается математическая модель Раша. Результаты мониторинга индикаторов, определяющих измеряемую латентную переменную, описываются данной моделью [3]:

$$P\{x_{ij} = x\} = \frac{e^{-\tau_{1j}-\tau_{2j}-\cdots-\tau_{xj}+x\cdot(\beta_i-\delta_j)}}{\sum_{x'=0}^{m_j} e^{-\tau_{1j}-\tau_{2j}-\cdots-\tau_{xj}+x'\cdot(\beta_i-\delta_j)}},$$

где x – градация индикаторной переменной; x_{ij} – отклик i-го обучающегося на j-й индикатор; $P\{x_{ij} = x\}$ – вероятность выбора i-м обучающимся градации x j-го

индикатора; β_i – уровень учебных достижений i-ого обучающегося; δj – уровень достижения, который лучше всего дифференцирует j-й индикатор; τ_{xj} – относительный уровень достижения, который лучше всего дифференцирует x- ая градация j-ой индикаторной переменной; m_j – индексная переменная, которая последовательно принимает весь диапазон значений j-ой индикаторной переменной. Для поведенческих индикаторов параметр δj обозначает уровень их трудности.

Полученные индикаторы могут иметь различные градации. В связи с этим, их необходимо обработать, другими словами – дискретизировать, тем самым представить в порядковой шкале.

Для решения поставленной цели также необходимо было разработать электронный курс с элементами геймификации и прототип системы оценки учебных достижений. Заказчиком электронного курса с элементами геймификации является Санкт-Петербургский межрегиональный ресурсный центр (образовательное учреждение дополнительного профессионального образования). Был описан процесс осуществления деятельности предприятия-заказчика (рис. 1), который позволил выявить заинтересованных сторон проекта, представить описание процесса разработки электронных курсов в МРЦ. После чего было разработано техническое задание, которое устанавливает основное назначение разрабатываемого курса, его технические характеристики, состав, а также специальные требования.

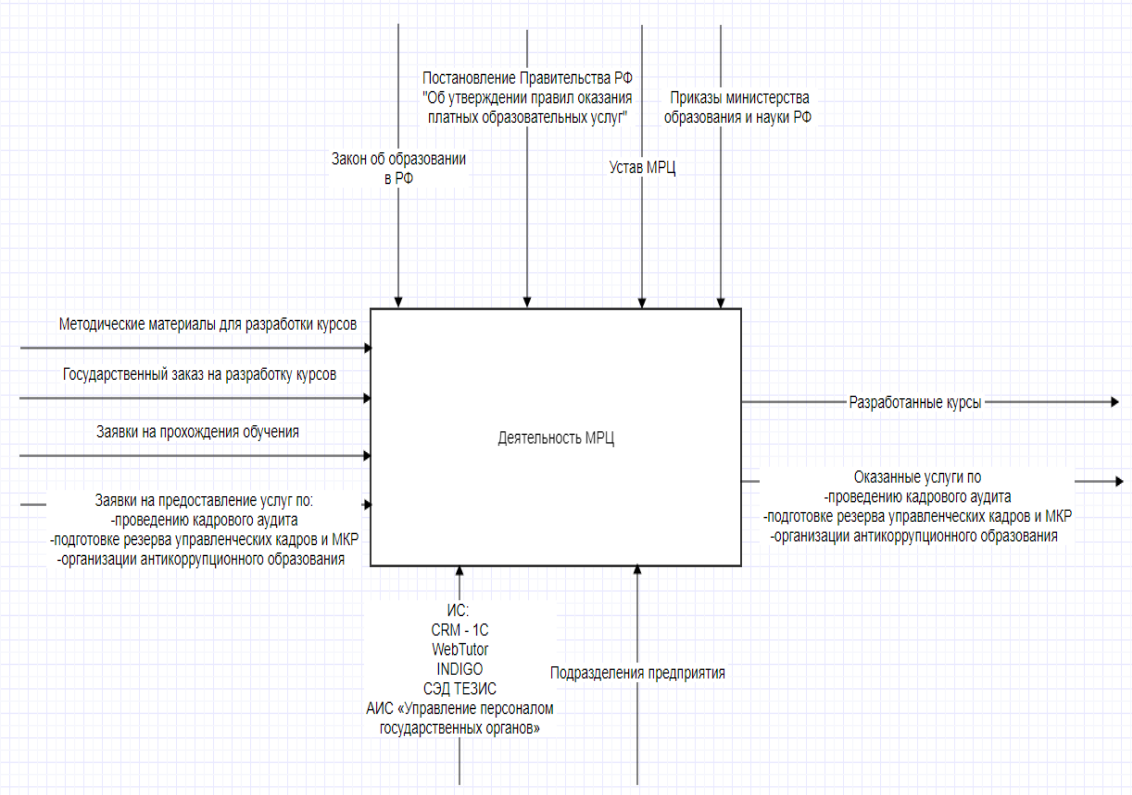


Рис. 1. Концептуальная диаграмма деятельности МРЦ

Согласно требованиям технического задания «Санкт-Петербургского межрегионального ресурсного центра» был разработан электронный курс с элементами геймификации по теме «Эффективная презентация» и прототип модуля «Система оценки результатов обучения» на основе предложенного подхода с применением модели Раша (рис. 2).

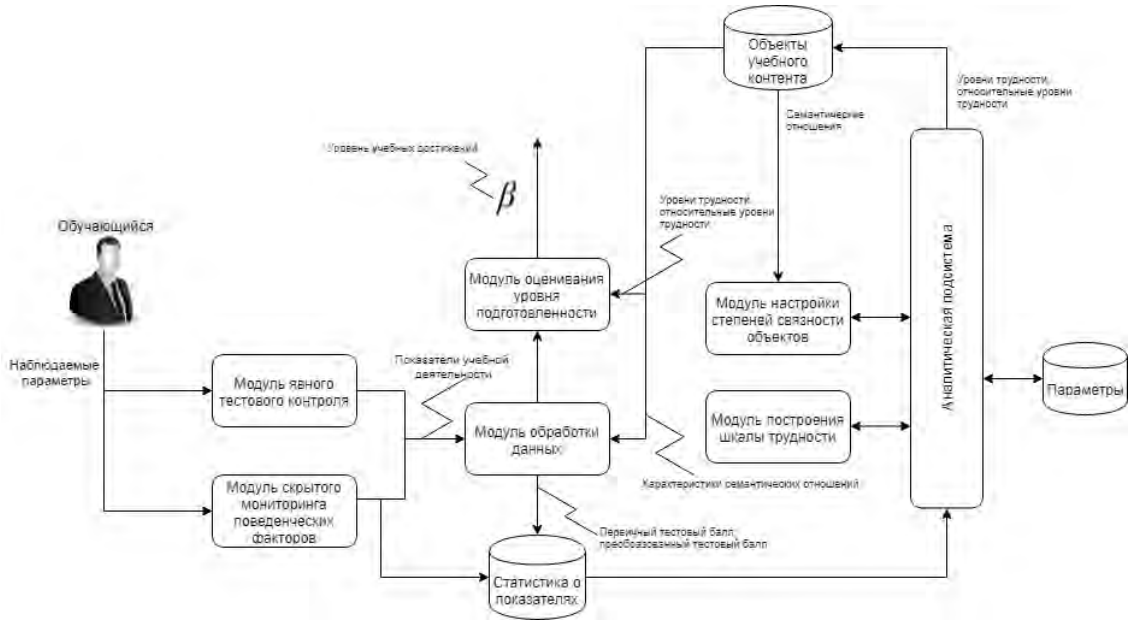


Рис. 2. Прототип системы оценки в СЭО

Кроме измерения латентной переменной «компетенция», следующей важной задачей являлась оценка качества модели (набора индикаторов) как измерительного инструмента, т. е. проверка того, в какой степени индикаторы совместимы друг с другом и пригодны для измерения указанной латентной переменной. Для этого были использованы fit статистики: Outfit и Infit [4].

Для того чтобы наглядно продемонстрировать каким образом осуществляется оценка учебных достижений с использованием разработанного подхода был смоделирован тестовый пример. Был определен перечень индикаторных переменных, состоящий из 11 заданий и одного индикатора, связанного с применением геймификации: «учет количества полученных баллов». Тестирование прошли 12 человек. Закодированные результаты прохождения теста были загружены в программное средство Winstep, алгоритм работы которого, построен на основе модели Раша, после чего произведен статистический анализ с помощью описательной статистики (таб. 4).

Таблица 4

Результаты статистического анализа

№	Индикатор	OUTFIT MEANSQ	OUTFIT ZSTD	INFIT MEANSQ	INTFIT ZSTD
1	Сколько шрифтов допустимо использовать в презентации?	1,33	0,91	1,12	0,54
2	Какую ошибку иллюстрирует предложенный пример?	0,66	-1,43	0,7	-1,36
3	Что понимается под понятием «расфокусировки»?	-0,86	-0,51	0,88	-0,46
4	Стоит ли на слайде делать все буквы прописными?	0,76	-0,34	0,92	-0,13
…	…	…	…	…	…
12	Учет количества полученных баллов	0,47	-1,67	0,54	-1,89

Анализируя результат, представленный в таблице, на основе интерпретации данных статистик Джона Майкла Линакра, можно сделать вывод, что, в целом, индикаторы удовлетворяют модели, и их можно использовать для оценки компетенции. Некоторые индикаторы имеют отрицательные значения (например, индикаторы № 2, 3, 4), что может ошибочно производить ощущение высокой надёжности заданий и свидетельствовать о том, что баллы за верные ответы достаются обучающим легко. Оценки сформированности компетенции для исследуемой выборки (в логитах) представлены в таб. 5. Некоторые респонденты имеют одинаковое количество баллов, однако значение уровня учебных достижений у них различно (например, респонденты B и G). Это связано с тем, что задания (индикаторы) имеют различный уровень сложности (трудности). Полученные значения могут быть преобразованы в рейтинговую шкалу. Данная модель может быть скорректирована с целью получения более качественной оценки уровня учебных достижений.

Таблица 5

Оценка учебных достижений респондентов

Респондент	Сумма баллов	Максимальное кол-во баллов	Уровень учебных достижений (логит)
A	5	12	-0,48
B	9	12	1,38
C	8	12	0,85
D	9	12	1,38
I	7	12	0,38
F	5	12	0,66
G	9	12	0,77
H	4	12	0,68
K	4	12	0,68
L	6	12	0,66
M	8	12	0,71
N	8	12	0,71

В результате проделанной работы разработан подход к оценке уровня учебных достижений (компетенций) государственных служащих на основе модели Раша, с учетом «поведенческих факторов», включая индикаторы, связанные с применением технологий геймификации. Полученные результаты могут быть использованы Санкт-Петербургским межрегиональным ресурсным центром для внедрения в свою практику, а также другими учебными организациями, осуществляющими обучение государственных служащих, с целью оценки сформированности их компетенций.

Литература

1. Пилипенко Л.М., Суппес Л.А., Устинова О.В. Организация дополнительного профессионального образования государственных служащих // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 1-1. URL: http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=17724 (дата обращения: 12.01.2019).
2. Борщевский Г.А., Калмыков Н.Н. Современные приоритеты профессионального развития государственных гражданских служащих // Ars Administrandi (Искусство управления). 2017. Том 9, № 4. С. 550–569. DOI: 10.17072/2218-9173-2017-4-550-569. [Электронный ресурс]: https: // cyberleninka.ru / article / n / sovremennye-prioritety-professionalnogo-razvitiya-gosudarstvennyh-grazhdanskih-

sluzhaschih (дата обращения: 11.03.2019).
3. Косоногова М.А. Метод и средства управления образовательной траекторией в системах электронного обучения: дис. … к-да техн. наук. 05.13.10 / Косоногова Марина Александровна. Белгород, 2016. 160 с.
4. Glas C.A., Meijer R.R.A Bayesian approach to person fit analysis in item response theory models // Applied Psychological Measurement. 2003. 27(3). P. 217-233.

Чукичев Артемий Валерьевич
Год рождения: 1996
Университет ИТМО,
факультет систем управления и робототехники,
студент группы №R4277,
направление подготовки: 12.04.01. – Технологическая подготовка производства приборов и систем,
e-mail: chukichevartemiy@gmail.com
Андреев Юрий Сергеевич
Год рождения: 1984
Университет ИТМО,
факультет систем управления и робототехники,
к.т.н., доцент,
e-mail: ysandreev@corp.ifmo.ru

УДК 658.562

ОСОБЕННОСТИ ВНЕДРЕНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СРЕДСТВ КОНТРОЛЯ В УСЛОВИЯХ ПРИБОРОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

А.В. Чукичев

Научный руководитель – к.т.н., доцент **Ю.С. Андреев**

Университет ИТМО

Аннотация
В работе представлены результаты анализа состояния приборостроительного предприятия и выявления проблем, связанных с внедрением автоматизированных средств геометрического контроля. Были предложены пути решений проблем, выявленных в результате анализа существующей системы управления качеством изготовления деталей. Разработаны рекомендации по созданию трехмерных моделей изделий, методика выбора средств измерений и система архивации результатов измерений и актов на брак.
Ключевые слова
Автоматизация, средство измерения, геометрический контроль, методика выбора средств измерения, архив результатов измерений.

Важнейшим аспектом приборостроительного производства является контроль геометрии изготавливаемых деталей. Реализация всего комплекса контрольных операций с требуемой производительностью, задаваемой ритмом производства, и с достаточной надежностью, обеспечивающей правильную оценку качества продукции, возможно лишь при соответствующем оснащении служб технического контроля необходимыми и современными средствами измерения.

Целью работы является разработка методик и рекомендаций для решения проблем, связанных с внедрением автоматизированных средств геометрического контроля.

Основными измерительными инструментами, используемыми отделом технического контроля на многих приборостроительных предприятиях для проверки

соответствия геометрических параметров изделий конструкторско-технологической документации, являются штангенинструменты, микрометры, индикаторы часового типа, калибры, концевые меры длины.

Недостатками универсальных и специальных средств измерения (СИ) можно считать значительные временные затраты на контроль ограниченного количества параметров, необходимость использования целого набора различных СИ, поскольку большинство из них имеют узкую область применения, а также негативное влияние человеческого фактора на результат измерения. Изготовление специальных СИ требует больших материальных и финансовых затрат и высокоточного оборудования, что может сильно влиять на сроки подготовки производства [1].

Зачастую измерительная лаборатория не в состоянии проконтролировать все параметры изделия. Примером может послужить изделие «Корпус», представленное на рис. 1, для которого, согласно предъявляемым требованиям на чертеже, необходимо проверить межосевые расстояния рядов отверстий. В таких случаях невозможно обойтись без применения средств автоматизированного контроля с использованием программы измерения.

Рис. 1. Трехмерная модель изделия «Корпус»

Для повышения производительности, снижения сроков технологической подготовки производства на предприятии необходимо применять автоматизированное оборудование. Внедрение такого оборудования позволит снизить количество ручного труда на ответственных операциях. В долгосрочной перспективе необходимо автоматизировать все контрольные операции, которые играют немаловажную роль в технологическом процессе изготовления изделия. Однако при внедрении любого нового автоматизированного оборудования могут возникнуть сложности:

1. Сопротивление сотрудников предприятия – конечных пользователей оборудования, которое вызвано страхом перед нововведениями, опасением потерять работу или утратить свою незаменимость, боязнью перед существенно увеличивающейся ответственностью за свои действия.

2. Увеличение нагрузки на сотрудников во время внедрения автоматизированных систем. Это связано с освоением новых знаний и технологий во время проведения опытной эксплуатации и при переходе к промышленному применению [2].

Каждое предприятие имеет свои особенности и уникальную организационную

специфику. Поэтому при внедрении нового оборудования могут возникать особые нюансы, которые требуют рассмотрения и поиска методов решения.

На большинстве приборостроительных предприятий можно выделить следующие основные проблемы существующей системы контроля изделий:

– Недостаточная оснащенность современными средствами измерений. Данная проблема связана с высокой стоимостью современного оборудования, вследствие чего возникает сложность выбора средств измерения для большой номенклатуры изделий данного предприятия. Анализ номенклатуры изделий предоставит возможность решить вопрос об использовании того или иного средства измерения.

– Высокая длительность подготовки к контролю изделия. Для проведения геометрического контроля изделия на автоматизированном оборудовании, в том числе на КИМ, в автоматическом режиме обязательным условием является наличие трехмерной модели для разработки программы измерения. На многих предприятиях изделия зачастую либо не имеют 3D-моделей, либо модели содержат ошибки. В таких случаях оператору КИМ приходится строить их самостоятельно или устранять ошибки, что значительно усложняет процесс измерения и увеличивает его длительность.

– Недостаточная систематизация статистических данных о браке. Существующая система контроля брака представлена в виде бумажного носителя, в который вносится информация о бракованных изделиях в рамках одной партии.

– Недостаточная квалификация сотрудников. Многие сотрудники отдела технического контроля не обладают необходимыми знаниями в области новых методов контроля, а также основных принципов измерения на КИМ. В связи с этим появляется проблема недоверия сотрудников к результатам измерения на измерительной машине.

В данной работе были детально рассмотрены вопросы, связанные с разработкой конструкторской документации, предложена методика выбора средств измерения для контроля изделий, а также разработана инструкция по ведению архива результатов измерения.

На многих предприятиях основным источником конструкторской информации является чертеж. При этом чертежи, разрабатываемые без модели, могут содержать ошибки следующих типов:

- наличие лишних размеров;
- несоответствие проекций на чертеже;
- недостаточное количество видов, размеров.

Вследствие того, что конструктор относится к 3D-модели детали как к вспомогательному информационному сопровождению чертежа, 3D-модели деталей передаются в дальнейшую работу с ошибками. Кроме того, конструкторские отделы зачастую вынуждены разрабатывать трехмерные модели по имеющимся чертежам, содержащим ошибки.

Для того, чтобы избежать появления ошибок в моделях необходимо следовать следующим основным рекомендациям:

– При последовательном построении 3D-моделей деталей любого типа из простых унифицированных и типовых конструктивных элементов возможно независимое управление их параметрами в ходе конструкторской и технологической подготовки производства.

– При этом за счет указания полей допусков, размеров и параметров конструктивных элементов, появляется возможность для автоматического пересчета размеров модели в середину поля допуска или по предельным отклонениям, что необходимо технологу в его работе при проектировании операций с ЧПУ.

– Для использования безбумажной технологии при передаче информации от конструктора к технологу следует проводить аннотирование полученных 3D-моделей

деталей, что позволяют делать современные CAD-системы. Причем делать это целесообразно по мере создания самой 3D-модели.

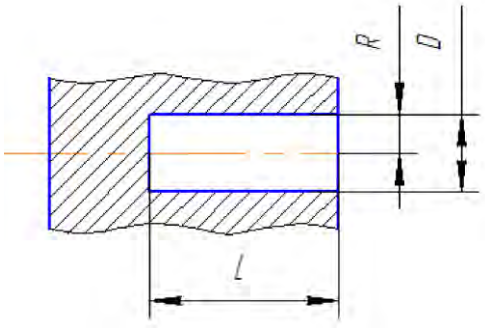
Перевод изделий на контроль с использованием автоматизированного оборудования требует разработки методики выбора СИ, которой технолог будет следовать при составлении операционной карты контроля. Очевидно, что в некоторых случаях нет необходимости использования автоматизированных средств измерения. К тому же не всегда целесообразно применять программы измерения, а достаточно провести измерения на измерительной машине в ручном режиме. В ходе работы разработана методика выбора СИ, основанная на разбиении изделия на конструкторско-технологические элементы.

Для реализации процесса выбора средств измерений, необходимо предварительно создать базу средств измерений. Такая база должна содержать информацию обо всех СИ, которые имеются на предприятии. Каждое средство измерения характеризуется набором параметров, таких как интервал измерения, класс точности и предел допускаемой погрешности.

Затем технологу необходимо выявить КТЭ изделия, содержащие контролируемые на данном этапе производства параметры. Каждому параметру КТЭ в соответствие устанавливаются список СИ, которыми можно их проконтролировать. Пример такой связи представлен в таблица.

Таблица

Связь КТЭ со средствами измерения

КТЭ	Параметр	СИ
Отверстие цилиндрическое глухое 	D	Штангенциркуль Нутромер Калибр-пробка КИМ
	L	Штангенциркуль Глубиномер КИМ

Далее проводится проверка условий возможности применения СИ и соответствия его точности для каждого параметра КТЭ. Выбор щупа КИМ при привязке их к КТЭ основывается на определенных условиях. К примеру, контроль глубины/длины ступенчатого вала возможен только при условии, что щуп сможет коснуться торца ступени. Выбор универсальных СИ проводится на основе существующей табличной методики в соответствии с [3], в соответствии с которой на основе величины допуска контролируемого параметра определяется допустимая погрешность измерения и сравнивается с этим параметром СИ.

В результате формируется выборка СИ, удовлетворяющих условиям точности измеряемых параметров и возможности измерения. Окончательный выбор основывается на анализе таких критериев, как количество деталей в партии, общий объем контролируемых параметров, загруженность оборудования, а также временных затрат проведения контроля.

В результате проводимого контроля, детали могут быть признаны годными или бракованными. После обнаружения брака происходит процесс выявления причины его

появления. При этом анализируются конструкторская и технологическая документация на наличие ошибок, состояние оборудования и инструмента, а также возможное допущение ошибок рабочими в ходе изготовления деталей.

Выписывается акт на брак, который содержит всю информацию о браке – причины, виновник, потери от брака, и регистрируется в журнале. Вся эта информация представлена в виде бумажного носителя, что приводит к сложности использования данной информации для анализа, выявления причин брака.

Для решения данной проблемы предлагается ввести в использование архив результатов измерений в PDM-системе. Результаты измерений, представленные в виде таблиц, загружаются в архив. Каждый добавляемый объект характеризуется набором атрибутов. При обнаружении брака формируется акт на брак, загружаемый в архив аналогичным образом. При этом каждому акту привязываются результаты измерений, выявивших брак.

На рис. 2 представлена древовидная структура предлагаемого архива.

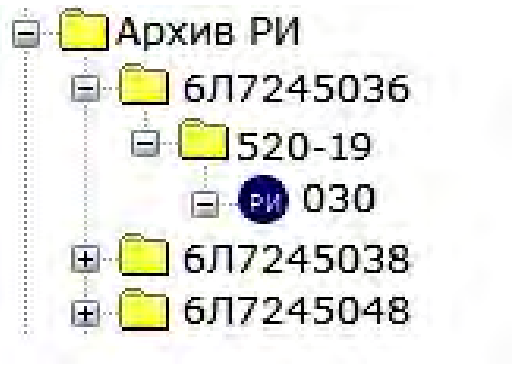


Рис. 2. Структура архива результатов измерения

Электронный журнал актов на брак представляет собой отчет, выполняемый на основе вводимых значений атрибутов актов

Применение электронного журнала, в связке с возможностями автоматизированного оборудования, позволит анализировать данные о контроле изделий с целью повышения эффективности работы оборудования, снижения затрат, брака.

В процессе выполнения данной работы был проведен анализ существующей системы контроля типичного приборостроительного предприятия и выявлены проблемы, с которыми может столкнуться предприятие при внедрении автоматизированного оборудования. Рассмотрены особенности разработки конструкторской документации и предложены рекомендации по разработке трехмерных моделей изделий. Предложена методика выбора средств измерения, основанная на разбиении изделия на конструкторско-технологические элементы. В дальнейшем на основе данной методики возможна разработка экспертной системы для автоматизации процесса выбора средств измерения. Для решения проблемы недостаточной систематизации статистических данных о браке предложена система электронной архивации результатов измерений и актов на брак.

Литература

1. Решения для комплексной модернизации КИМ от компаний Delcam и Renishaw [Электронный ресурс] Режим доступа: https://sapr.ru/article/23195, своб.

2. Исаева И.В. Основные проблемы при внедрении автоматизированных систем управления предприятием // Современные наукоемкие технологии. 2009. № 10. С. 54-55.
3. РД 50-98-86. Методические указания. Выбор универсальных средств измерений линейных размеров до 500 мм (По применению ГОСТ 8.051-81). Москва: издательство стандартов, 1987. 84 с.

Чурбанов Арсений Сергеевич
Год рождения: 1995
Университет ИТМО,
факультет низкотемпературной энергетики,
студент группы W4262,
направление подготовки: 16.04.01. – Техническая физика,
e-mail: asch@nextmail.ru
Заричняк Юрий Петрович
Год рождения: 1937
Университет ИТМО,
факультета низкотемпературной энергетики,
д.ф.-м.н., профессор, доцент,
e-mail: zarich4@gmail.com

УДК 536.21

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ МЕТАЛЛОКЕРАМИЧЕСКИХ КОМПОЗИТОВ

А.С. Чурбанов

Научный руководитель – д.ф-м.н., профессор, доцент **Ю.П. Заричняк**

Университет ИТМО

Работа выполнена в рамках темы НИР «Исследование структуры и теплопроводности металлокерамических композитов».

Аннотация
Работа посвящена актуальной проблеме исследования теплопроводности высокотеплопроводных металлокерамических композиционных материалов. В работе проводится оценка теплопроводности композита Al/[SiC+алмаз] при помощи модели, основанной на электротепловой аналогии. Кроме того, проводится сравнение результатов наших расчетов с результатами расчетов другого автора (Molina) по его модели.
Ключевые слова
Теплопроводность, металлокерамические композиты, модель, электротепловая аналогия, сравнение результатов.

С развитием различных отраслей науки и промышленности, таких как электроника, аэронавтика и ядерная физика, продолжает возрастать потребность в материалах, способных к отводу интенсивных тепловых потоков от тепловыделяющих элементов (напр. микросхемы).

В период 1970-2000 гг. часто использовались металломатричные (Al, Cu) композиты с наполнителем из карбида кремния ($\lambda_{Al/SiC} \approx 200 \frac{\text{Вт}}{\text{м*К}}$), но повышение рабочих мощностей приборов превысило их потенциал. К примеру, еще недавно (2010 г. [1]) эксплуатационным требованиям в силовой электронике и оптоэлектронике удовлетворяли материалы с теплопроводностью 350-450 Вт/(м*К). Сегодня требования

выросли, стимулируя разработку композитов с теплопроводностью более 600 Вт/(м*К) [2].

Современные композиты по-прежнему преимущественно используют металлическую матрицу – как правило, из меди или алюминия. В качестве наполнителя часто употребляются алмазы и прочие аллотропы углерода ($\lambda_{\text{комп}} > 500 \frac{\text{Вт}}{\text{м*К}}$).

Наглядной иллюстрацией актуальности проблемы интенсификации теплоотвода в электронике может служить статистика NASA, согласно которой более 50% отказов аппаратуры ВВС США происходят по причине проблем с отводом тепла, выделяемого при работе интегральных микросхем [3] (см. рис. 1).

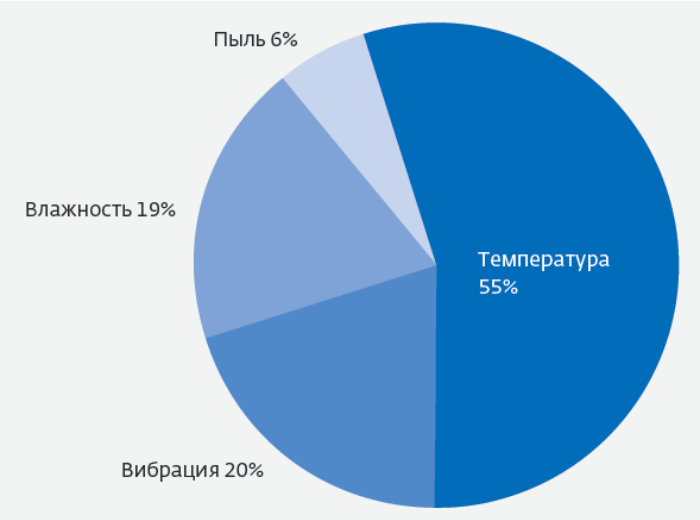


Рис. 1. Статистика NASA о причинах отказов аппаратуры ВВС США [3]

В представляемой работе предложена модель структуры и разработана методика расчёта эффективной теплопроводности современного металлокерамического композита с матрицей из алюминия и наполнителем из смеси порошков карбида кремния(SiC) и алмаза(C). Данные о свойствах компонентов композита были взяты из статьи профессора Molina, [1] (университет Аликанте, Испания) проведшего свои оценки теплопроводности вышеупомянутого композита. В данной работе будет приведено графическое сравнение результатов наших оценок теплопроводности с оценками профессора Molina.

Итак, объект исследования – образцы высокотеплопроводного металлокерамического композита Al/[SiC+алмаз], изготовленного методом литья под давлением газа. Объемная доля двусоставного порошкового во всех образцах полагается равной 0.58±0.01 – что считается весьма высоким значением для композитов, изготовленными методами литья. Различаются образцы объемным составом порошкового наполнителя в них: к примеру, в одном образце порошковая смесь на 40% (объема) состоит из порошка карбида кремния и на 60% из алмаза, а в другом – наоборот. Исследование зависимости теплопроводности композита от объемного состава порошкового наполнителя – одна из главных задач данной работы.

Для оценки теплопроводности рассматриваемых образцов, мы воспользуемся несколько модифицированной версией модели композита с неконтактирующими вкраплениями [4]. На рис. 2 приведен внешний вид элементарной ячейки.

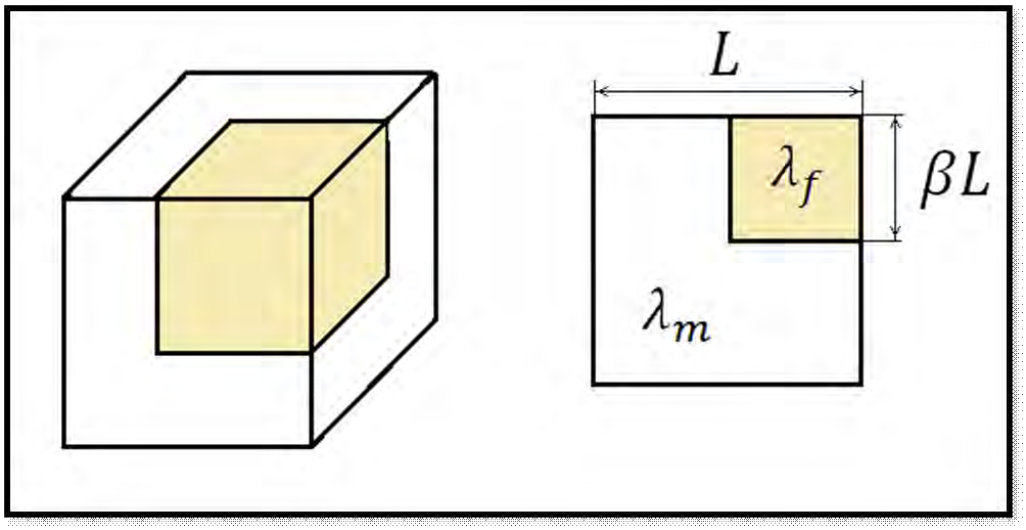


Рис. 2. Элементарная ячейка модели композита с неконтактирующими вкраплениями и её основные параметры [4]

Здесь:

– L – линейный размер элементарной кубической ячейки (длина/ширина/высота)

– βL – линейный размер кубического зерна порошкового наполнителя.

– β – отношение линейных размеров ячейки и зерна наполнителя, тогда:

– $V_f = \beta^3$ – объемная доля наполнителя в ячейке;

– $V_m = 1 - V_f$ – объемная доля материала матрицы в ячейке.

– λ_f, λ_m – теплопроводности наполнителя и матрицы соответственно.

Теперь введем две модификации в нашу модель. Первая модификация обусловлена наличием теплового сопротивления границы раздела.

При прохождении потока тепла через границу раздела компонентов композита, на этой границе раздела наблюдается падение температуры. Для описания этого возмущения теплового потока, используется понятие теплового сопротивления границы раздела (ITR, interfacial thermal resistance). ITR, в свою очередь, состоит из двух слагаемых, первое – тепловое сопротивление контакта (TCR, thermal contact resistance), – результат несовершенства механического и химического контакта компонентов.

Второе слагаемое – тепловое граничное сопротивление (thermal boundary resistance, TBR) – явление, обусловленное разницей физических свойств компонентов. TBR было открыто Петром Леонидовичем Капица, обнаружившим температурный градиент на границе раздела жидкого гелия и металлов, поэтому в отечественных источниках часто встречается альтернативное название TBR – “Тепловое сопротивление Капицы” [5].

Для учета этого теплового сопротивления, как и Molina, мы введем понятие эффективной теплопроводности компонентов, которую мы оценим по формуле:

$$\lambda_f^{\text{eff}} = \frac{\lambda_f^{\text{in}}}{1+\frac{2\lambda_f^{\text{in}}}{D*h}}, \quad (1)$$

где λ_f^{in} – действительная теплопроводность наполнителя, D – средний эквивлентный диаметр частиц наполнителя, h – тепловая проводимость границы раздела (обратная тепловому сопротивлению величина) [1]. Данные по этим параметрам возьмем из статьи Molina (таблица):

Таблица

Параметры наполнителя

	D, мкм	h, Вт/(м^2 ∗ К)	λ_r^{in},Вт/(м ∗ К)
Алмаз	200	$5 * 10^7$	1450
SiC	200	$1.08 * 10^8$	259

Вторая модификация модели будет заключаться в переходе от $\lambda_{SiC}^{\text{eff}}, \lambda_{\text{алм.}}^{\text{eff}}$ к эффективной теплопроводности двусоставного порошкового наполнителя ($\lambda_{mix}^{\text{eff}}$), которую мы оценим по формуле:

$$\lambda_{mix}^{\text{eff}} = \lambda_1 \vartheta_1^2 + \lambda_2 \vartheta_2^2 + 4\vartheta_1\vartheta_2 \frac{\lambda_1\lambda_2}{\lambda_1+\lambda_2}, \quad (2)$$

где λ_1, λ_2 – теплопроводности составляющих двусоставного наполнителя (в нашем случае $\lambda_{SiC}^{\text{eff}}$ и $\lambda_{\text{алм.}}^{\text{eff}}$), а ϑ_1, ϑ_2 – их объемные доли в составе наполнителя [6].

Для нахождения решения по нашей модели, необходимо разбить элементарную ячейку на участки-сопротивления изотермическими и адиабатическими плоскостями (см. рис. 3), Искомое решение – эффективная теплопроводность рассматриваемого композита – находится как среднее арифметическое адиабатического и изотермического решений:

$$\Lambda = \frac{\lambda_{\text{ad}}+\lambda_{\text{isoth}}}{2}, \quad (3)$$

а эти решения находятся по формуле теплопроводности составной плоской стенки:

$$\lambda_{\text{isoth,ad}} = \frac{\text{L}}{\text{S}\cdot\sum \text{R}}, \quad (4)$$

где L – протяженность(длина) плоской стенки в направлении потока тепла $\vec{q}$, м; S – площадь плоской стенки в направлении, перпендикулярном вектору теплового потока, м^2; $\sum$ R – тепловое сопротивление плоской стенки, $\frac{\text{К}}{\text{Вт}}$.

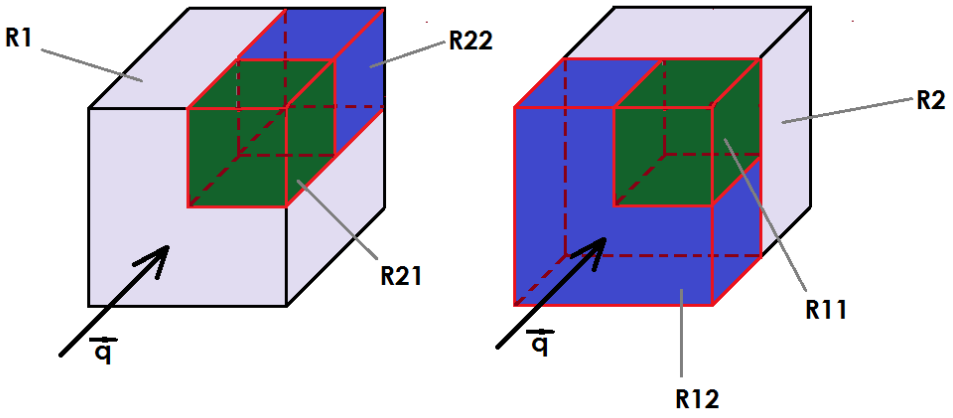


Рис. 3. Разбиение элементарной ячейки адиабатическими плоскостями (слева) и изотермическими плоскостями(справа)

Таким образом, задача сводится к нахождению $\sum R$ для обоих способов разбиения элементарной ячейки.

Расчетное уравнение модели, по которой теплопроводность Al/[SiC+алмаз] оценивал Molina [1], имеет следующий вид:

$$\int_{Km}^{Kc} \frac{dK}{K\sum_i f_i \frac{-(K-K_{r_i}^{eff})}{(K-K_{r_i}^{eff})*P-K}} = -\ln(1-V_r), \quad (5)$$

где Kc, m – теплопроводность композита, матрицы; f_i – доля конкретного включения от общего объема наполнителя ($\sum_i f_i = 1$); P – фактор поляризации включения. $K_{r_i}^{eff}$ – эффективная теплопроводность i-го включения; V_r – объемная доля включений.

Это нерешаемый аналитически интеграл, расчитываемый программно. Более подробно с этой моделью можно ознакомиться в статье [1] и литературе, на которую она ссылается.

Перейдем к результатам расчетов. Они представлены на следующих графиках (рис. 4, 5):

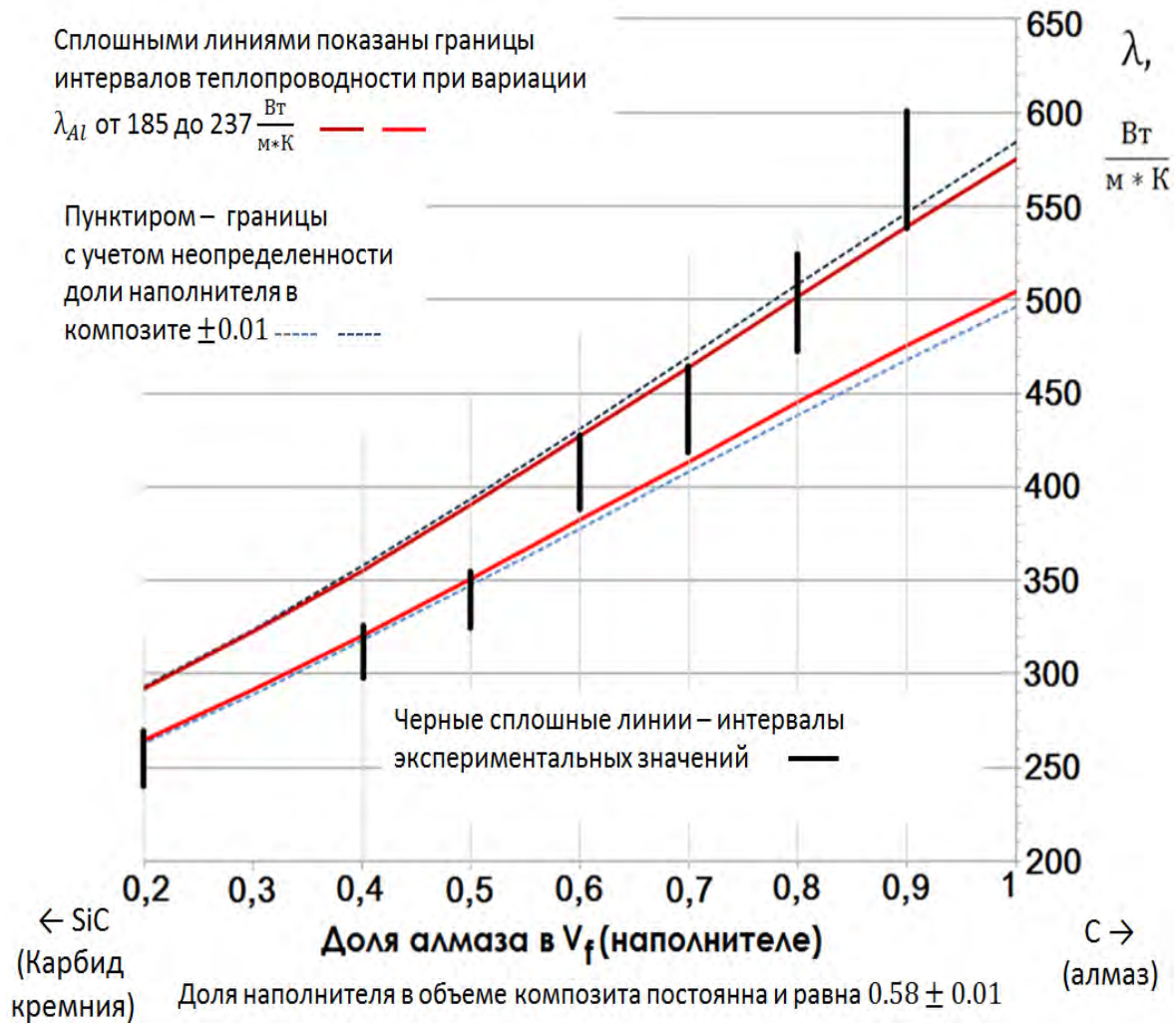


Рис. 4. Результаты оценок теплопроводности Al/[SiC+алмаз] по нашей модели

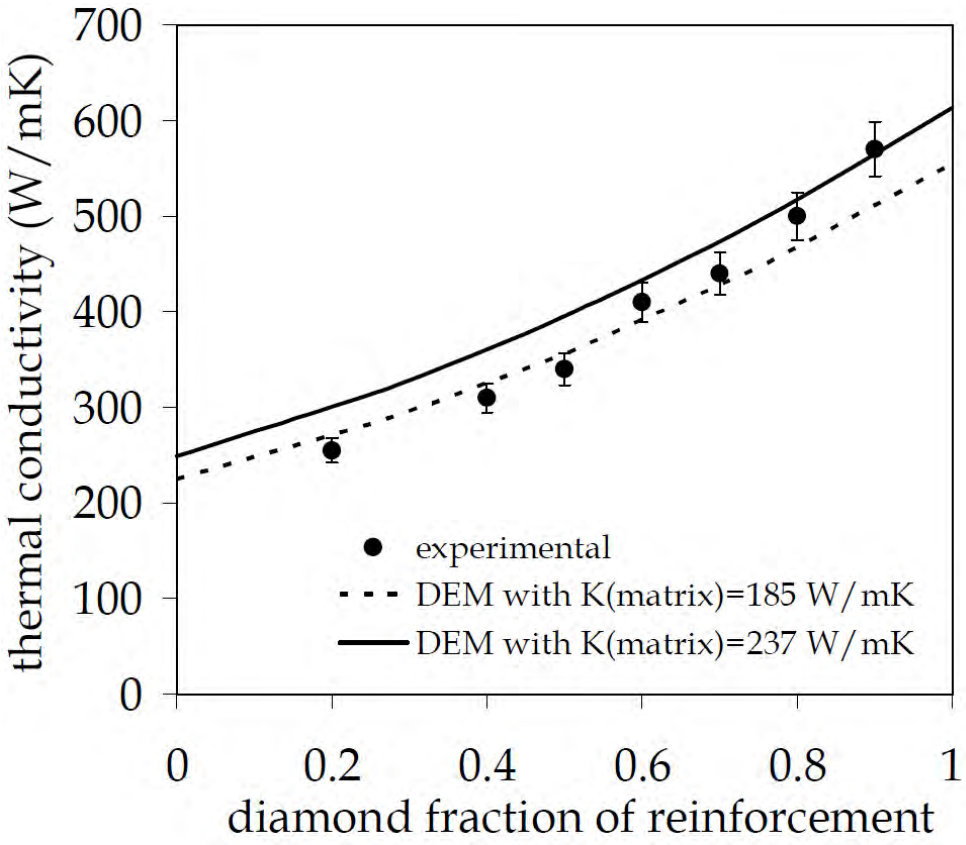


Рис. 5. Результаты оценок теплопроводности Al/[SiC+алмаз] профессора Molina по его модели. График взят из статьи [1]

Заметим, что для меньших значений долей алмаза в наполнителе (0.2, 0.4 и 0.5) предлагаемая нами модель лучше соответствует эксперименту. При средних-высоких значениях долей алмаза (0.6, 0.7 и 0.8) сходимость практически одинакова, а при наибольшей доле алмаза в наполнителе – 0.9 – модель Molina лучше соответствует экспериментальным значениям.

В заключение можем сказать, что наша модифицированная модель композита с неконтактирующими вкраплениями проявила себя вполне достойно, давая повод считать её, а потенциально и прочих моделей, основанных на электротепловой аналогии, применение для оценки теплопроводности металлокерамических композитов вполне целесообразным.

Литература

1. Molina J.M. (2011). SiC as Base of Composite Materials for Thermal Management, Silicon Carbide - Materials, Processing and Applications in Electronic Devices pp. 115–140, Dr. Moumita Mukherjee (Ed.), ISBN: 978-953-307-968-4, InTech.
2. Bai H., Xue C., Lyu J.L., J. Li, Chen G.X., Yu J.H., et al., Thermal conductivity and mechanical properties of flake graphite/copper composite with a boron carbide-boron nano-layer on graphite surface, Composites Part A 106 (2018), pp. 42–51.
3. Потапов С. Композитные теплопроводящие материалы для изделий электроники. // научно-технический журнал “Электроника”. 2015. №9(00149). С. 102–107.
4. Дульнев Г.Н., Заричняк Ю.П. “Теплопроводность смесей и композиционных материалов”, справочная книга. Л. Энергия. 1974.

5. Karol Pietrak, Wisniewski Tomasz S.. A review of models for effective thermal conductivity of composite materials. Journal of Power Technologies 95 (1) (2015) – pp. 14–24.
6. Заричняк Ю.П. “Структура, теплофизические свойства и характеристики композиционных материалов и сплавов”, докт. дисс., Институт теплофизики С.О. РАН, Новосибирск, 1989 год, 460 стр., с илл.

Шкуратова Виктория Александровна
Год рождения: 1996
Университет ИТМО,
факультет лазерной фотоники и оптоэлектроники,
студент группы № L4219,
направление подготовки: 12.04.05 – Лазерная техника и лазерные технологии,
e-mail: shkuratova_va@mail.ru
Костюк Галина Кирилловна
Университет ИТМО,
факультет лазерной фотоники и оптоэлектроники,
к.т.н.,
e-mail: gkkostiuk@itmo.ru

УДК 537.312.52:544.537

ИЗГОТОВЛЕНИЕ И ТЕСТИРОВАНИЕ ФАЗОВЫХ МИКРООПТИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ ДЛЯ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ИНТЕНСИВНОСТИ В ЛАЗЕРНЫХ ПУЧКАХ

В.А. Шкуратова

Научный руководитель – к.т.н. **Г.К. Костюк**

Университет ИТМО

Аннотация
В работе представлена простая, надежная и высокопроизводительная технология изготовления спиральных фазовых пластин на плавленом кварце и двулучепреломляющих спиральных фазовых пластин на исландском шпате лазерно-индуцированной микроплазмой для преобразования линейно поляризованных Гаусоовых пучков в вихревые пучки с различными состояниями поляризации. Работоспособность изготовленных оптических элементов была экспериментально протестирована в различных оптических схемах.
Ключевые слова
Вихревые пучки, кольцевые пучки, радиальная поляризация, азимутальная поляризация, лазерная микрообработка, лазерно-индуцированная микроплазма.

В последние годы особое внимание уделяется генерации световых полей с заданными характеристиками волнового фронта, распределения интенсивности и состояния поляризации [1–3]. В качестве подобных структур могут быть рассмотрены вихревые лазерные пучки, обладающие геликоидальным волновым фронтом и кольцевым распределением интенсивности [1–3]. В параксиальном приближении такие пучки можно рассматривать как бесконечно близкие к суперпозиции мод Лагерра-Гаусса (ЛГ) [1, 2]. За счет своих исключительных свойств вихревые пучки находят широкое применение в таких высокотехнологических применениях, как манипулирование металлическими и диэлектрическими частицами микро- и наноразмера, прецизионная лазерная микрообработка материалов, сверхразрешающая микроскопия, охлаждение и улавливание нейтральных атомов, хранение и обработка информации, метрология [1–3]. На сегодняшний день спиральные фазовые пластины (СФП), изготовленные на плавленом кварце, являются наиболее универсальными оптическими элементами

получения высокомощных вихревых лазерных пучков без изменения состояния поляризации [2]. Основной технологией их изготовления является литография [2], являющаяся сложным в реализации и многостадийным процессом. Однако в настоящее время более востребованным является получение вихревых пучков с радиальной и азимутальной поляризацией. Многообещающим направлением решения задачи преобразования высокомощных Гауссовых пучков в радиально и азимутально поляризованные вихревые пучки представляется применение двулучепреломляющей спиральной фазовой пластины (ДСФП), выполненной на пластине из одноосного кристалла с линейным двулучепреломлением, оптическая ось которого параллельна поверхности пластины (так называемый *y*-срез), в комбинации с дополнительными поляризационными элементами [3]. Тот факт, что они до сих пор не нашли широкого применения, вероятнее всего связан с трудностями разработки простой и высокопроизводительной технологии изготовления ДСФП на кристаллических материалах, обладающих значительным двулучепреломлением. Таким образом, представлялось целесообразным для формирования СФП и ДСФП применить простую в реализации и не затратную по времени технологию структурирования оптически прозрачных диэлектриков лазерно-индуцированной микроплазмой (ЛИМП), которая была успешно опробовага при обработке плавленого кварца и исландского шпата [4].

Для изготовления СФП и ДСФП был подготовлен шаблон их записи (рис. 1а), состоящий из 20 секторов с радиусом 5 мм. Глубины травления секторов в СФП были рассчитаны согласно выражению (1) [2], глубины травления секторов в ДСФП – в соответствии с выражением (2) [3].

$$h_{\text{СФП}} = \frac{\lambda(m-1)}{M(n-1)}, \quad (1)$$

где λ – рабочая длина волны, *m* – порядковый номер сектора, *M* – полное число секторов, *n* – показатель преломления материала СФП (плавленого кварца).

$$h_{\text{ДСФП}} = \frac{2\lambda(m-1)}{M(n_o-n_e)}, \quad (2)$$

где n_o и n_e – показатели преломления материала ДСФП (исландского шпата) для обыкновенной и необыкновенной волн.

Экспериментальная установка, использованная для изготовления СФП и ДСФП, приведена на рис. 1б. Модификация поверхности пластины плавленого кварца или исландского шпата в соответствии с заданным шаблоном и требуемой глубиной осуществлялась под действием микроплазменного факела, возникающего при сканировании сфокусированного лазерного пучка на границе раздела пластины прессованного графита и пластины обрабатываемого материала. Экспериментально найденный диапазон режимов лазерного облучения, обеспечивающий заданные глубины, приведен в таблице. При анализе экспериментальных результатов было выявлено, что формирование структур приемлемого качества (без трещин и сколов) на плавленом кварце происходит в более широком диапазоне режимов, чем на исландском шпате, являющемся гораздо более хрупким материалом. При этом увеличение глубины травления исландского шпата до 14 мкм было достигнуто с применением последовательных сканирований с числом проходов до 10.

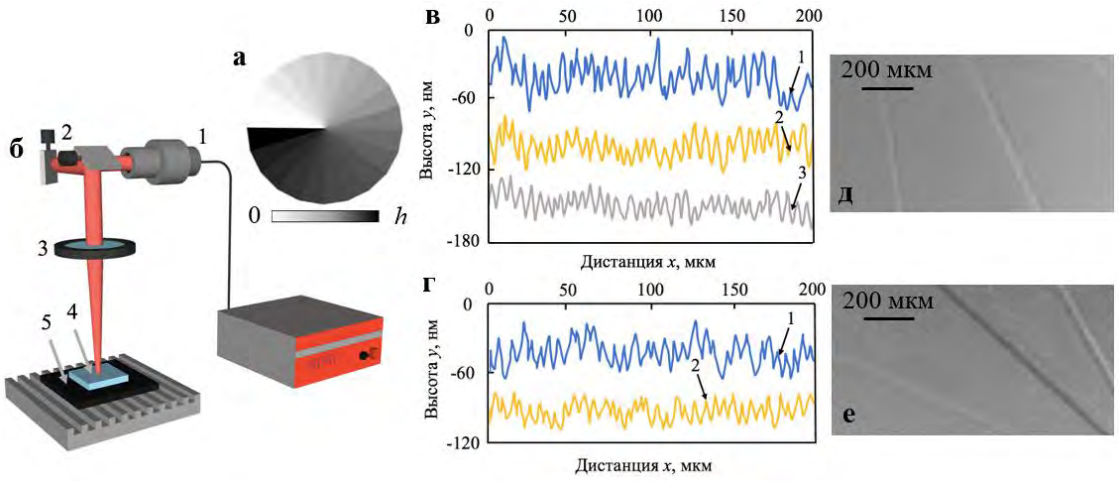


Рис. 1. Изготовление оптических элементов: шаблон записи (а); экспериментальная установка (1 – волоконный иттербиевый лазер λ = 1,064 мкм, 2 – сканирующая система, 3 – объектив плоского поля (фокусное расстояние f = 210 мм, диаметр перетяжки d_0 = 50 мкм), 4 – платина обрабатываемого материала, 5 – пластина прессованного графита) (б), шероховатость в секторах СФП (1 – после воздействия ЛИМП, 2 – после отжига в печи, 3 – после химического травления) (в), шероховатость с секторах ДСФП (1 – после воздействия ЛИМП, 2 – после отжига в печи) (г), СЭМ-снимки СФП (д) и ДСФП (е)

Таблица

Режимы изготовления СФП и ДСФП

Элемент	Средняя мощность P, Вт	Длительность импульсов τ, нс	Частота следования импульсов ν, кГц	Скорость сканирования S, мм/с	Число проходов N	Глубины травления h, мкм
СФП	1,2 – 5,4	50	20 – 80	50 – 300	1	0,03 – 1,18
ДСФП	0,6 – 1,3	50	50 – 80	700 – 1000	1 – 10	0,51 – 14,00

Топология поверхности изготовленных СФП и ДСФП была исследована на контактном профилометре «Hommel Tester T8000» с разрешением ~ 0,01 мкм и сканирующем электронном микроскопе (СЭМ) «Zeiss Supra 40VP» (таблица). Шероховатость поверхности в области обработки микроплазмой составляла 50 нм (рис. 1в, кривая 1 и рис. 1г, кривая 1). Тем не менее, вопрос снижения этого значения был важен, поскольку уровень шероховатости непосредственно влияет на качество преобразования пучка и отклонение в требуемом фазовом сдвиге. Для уменьшения шероховатости плавленого кварца были проведены отжиг в печи при температуре 950 ± 50°C в течение 3,50 ± 0,25 ч (рис. 1в, кривая 2) и химическая обработка в 38.5% растворе щелочи NaOH при температуре 70 ± 5°C в течение 1,50 ± 0,25 ч (рис. 1в, кривая 3). Лучший результат был достигнут при химическом травлении, снизившем шероховатость до 25 нм. Режим отжига пластины исландского шпата с ДСФП (температура 550 ± 50°C, длительность 12,0 ± 0,5 ч), позволивший снизить шероховатость до 35 нм, был найден экспериментально. На рис. 1д и рис. 1е приведены СЭМ-изображения фрагментов изготовленных элементов.

Тестирование СФП было реализовано в схеме с He-Ne лазером (рис. 2а), радиус перетяжки ω_0 пучка которого с учетом характеристик оптической схемы был равен 139 мкм. Экспериментально полученный в результате тестирования кольцевой профиль

распределения интенсивности отличался от теоретического, смоделированного в цилиндрических координатах (r, φ) в соответствии с выражением (3) [1], менее, чем на 1% (рис. 2б). Рассчитанное значение диаметра максимальной амплитуды d_l вихревого пучка в области перетяжки согласно уравнению (4) [1] составило 197 мкм и показало удовлетворительное совпадение с экспериментально найденным (d_l = 200 мкм). Для определения эффективности преобразования СФП с применением детектора мощности «Gentec-EO UP19K-110F-H9» с разрешением ~ 0,6 мВт была измерена выходная мощность исходного лазерного пучка (19,0 ± 0,6 мВт) и пучка на выходе из СФП (14,5 ± 0,6 мВт). Эффективность преобразования составила 76,3%.

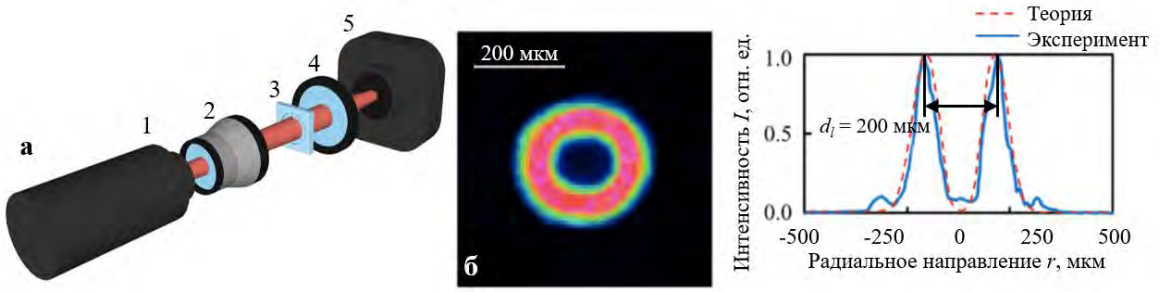


Рис. 2. Тестирование СФП: экспериментальная установка (1 – He-Ne лазер (λ = 632,8 нм), 2 – телескопическая система (3^x), 3 – СФП, 4 – собирающая линза (f = 450 мм), 5 – ПЗС-камера) (а), распределение интенсивности сформированного вихревого пучка (б)

$$u_p^l(r,\phi) \propto \left(\frac{r\sqrt{2}}{\omega_0}\right)^{|l|} L_p^{|l|}\left(\frac{2r^2}{\omega_0^2}\right) exp\left(-\frac{r^2}{\omega_0^2}\right) exp(-il\phi), \quad (3)$$

где ω_0 = 100 мкм – радиус перетяжки Гауссова пучка, l = 1 – азимутальный индекс моды ЛГ, p = 0 – радиальный индекс моды ЛГ, $L_p^{|l|}$ = 1 – присоединенный полином Лагерра.

$$d_l = 2\omega_0\sqrt{l/2}, \quad (4)$$

Перед проведением тестирования изготовленных ДСФП для каждого из оптических элементов, входящих в оптические системы формирования радиально и азимутально поляризованного света (рис. 3) из линейно поляризованного Гауссова пучка, вектор поляризации которого был направлен вдоль оси x, были записаны матрицы преобразования Джонса [5].

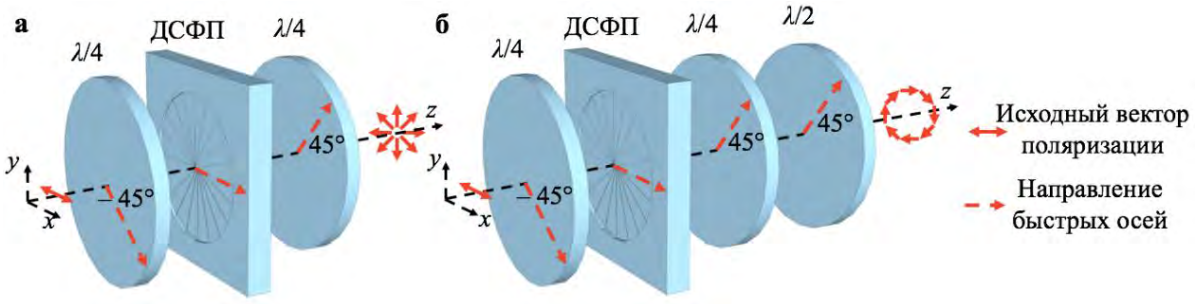


Рис. 3. Схемы преобразования линейно поляризованного Гауссова пучка в радиально поляризованный вихревой пучок (а) и в азимутально поляризованный вихревой пучок (б)

Вектор Джонса для исходного пучка с горизонтальным направлением вектора поляризации:

$$E_0 = \begin{bmatrix}1\\0\end{bmatrix}, \tag{5}$$

Матрица Джонса для первой четвертьволновой пластины (λ/4), быстрая ось которой ориентирована под углом – 45° к оси *x*:

$$J_1 = \frac{\sqrt{2}}{2}\begin{bmatrix}1 & -i\\ -i & 1\end{bmatrix}, \tag{6}$$

Матрица Джонса ДСФП с быстрой осью, направленной вдоль оси *x*:

$$J_2 = exp(i\psi_1)\begin{bmatrix}1 & 0\\ 0 & exp(i\psi_2)\end{bmatrix}, \tag{7}$$

где ψ_1 – фазовая модуляция света с обычной поляризацией, а ψ_2 – фазовая задержка между обыкновенной и необыкновенной волнами.

Матрица Джонса для второй пластины λ/4 с ориентацией быстрой оси под углом 45° к оси *x*:

$$J_3 = \frac{\sqrt{2}}{2}\begin{bmatrix}1 & i\\ i & 1\end{bmatrix}, \tag{8}$$

Матрица Джонса для полуволновой пластины (λ/2) с быстрой осью, ориентированной под углом 45° к оси *x*:

$$J_4 = \begin{bmatrix}1 & 0\\ 0 & i\end{bmatrix}, \tag{9}$$

В результате перемножения матриц Джонса (5-8), записанных для оптических элементов, входящих в систему получения радиально поляризованных пучков, было получено выражение (10), являющееся типичным для излучения с указанным состоянием поляризации.

$$E_1 = J_3J_2J_1E_0 = exp(i\psi_1 + i\psi_2/2)\begin{bmatrix}cos(\psi_2/2)\\ sin(\psi_2/2)\end{bmatrix}, \tag{10}$$

При перемножении матриц Джонса (5-9), описывающих оптические элементы, составляющие систему генерации азимутально поляризованного пучка, было получено выражение (11), являющееся характерным для излучения с данным состоянием поляризации.

$$E_2 = J_4J_3J_2J_1E_0 = exp(i\psi_1 + i\psi_2/2)\begin{bmatrix}sin(\psi_2/2)\\ cos(\psi_2/2)\end{bmatrix}, \tag{11}$$

Работоспособность предложенных схем была протестирована в экспериментальной установке с He-Ne лазером (рис. 4а) с применением регистрации распределения интенсивности в дальнем поле при четырех положениях оси пропускания анализатора (0°, 45°, 90°, 135°) и при его отсутствии в оптической схеме. Полученные картины распределения интенсивности (рис. 4б) являются типичными для радиально и

азимутально поляризованных пучков, что однозначно подтверждает работоспособность предложенных схем.

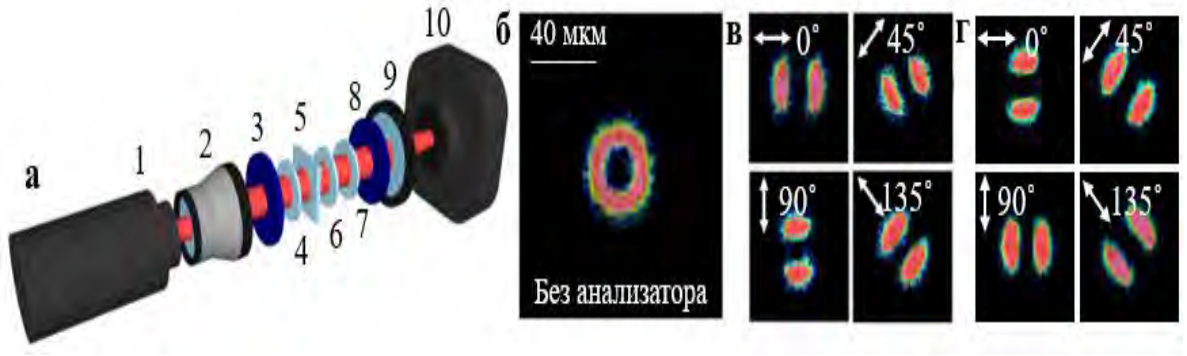


Рис. 4. Тестирование ДСФП: экспериментальная установка (1 – He-Ne лазер (λ = 632.8нм), 2 – телескопическая система (3^x), 3 – поляризатор, 4 – λ/4, 5 – ДСФП, 6 – λ/4, 7 – λ/2, 8 – анализатор, 9 – собирающая линза (f = 60 мм), 10 – ПЗС-камера) (а), распределение интенсивности радиально и азимутально поляризованного пучков при отсутствии анализатора (б), распределение интенсивности пучков с радиальной поляризацией (в) и с азимутальной поляризацией (г) при вращении анализатора

Предварительные эксперименты по одноимпульсной обработке пленки хрома радиально и азимутально поляризованными пучками были проведены на установке (рис. 5а), содержащей Nd:YAG лазер, при постоянных значениях энергии в импульсе E = 2,5 мДж и длительности импульса τ = 100 нс. Поскольку эффективная мощность поглощения излучения с радиальной поляризацией выше, чем излучения с линейной поляризацией за счет перпендикулярного падения вектора поляризации по отношению к краям формируемого отпечатка, повреждения, связанные с тепловым нагревом при лазерной абляции, уменьшились. Отпечаток, сформированный с использованием вихревого пучка с радиальным распределением поляризации (рис. 5в), продемонстрировал более высокое качество по сравнению с качеством отпечатка от скалярного пучка с линейной поляризацией (рис. 5б). Также наблюдалась тенденция к формированию продольной компоненты электрического поля у радиально поляризованного пучка, поскольку происходило эффективное удаление материала на оптической оси. Ожидалось, что глубина его фокусировки будет превышать глубину фокусировки линейно поляризованного Гауссова пучка. Измерения показали, что глубина фокусировки радиально поляризованного пучка превышает глубину фокусировки линейно поляризованного Гауссова пучка в 1,7 раза. При использовании азимутально поляризованного пучка удаление материала пленки хрома на оптической оси не происходило (кольцевая форма отпечатка) (рис. 5г), что свидетельствует о совместном действии поперечной и продольной составляющих электрического поля, характерных для азимутально поляризованного света. Качество сформированного отпечатка, как и в случае применения радиально поляризованного пучка, оказалось гораздо более высоким, чем при абляции пленки линейно поляризованным излучением.

Также был оценен коэффициент пропускания блока с ДСФП после измерения средней мощности падающего пучка (2.50 Вт) и средней мощности пучка на выходе системы с ДСФП (1.89 Вт) с применением детектора мощности «Gentec-EO UP19K-110F-H9». Его значение составило 75.6%.

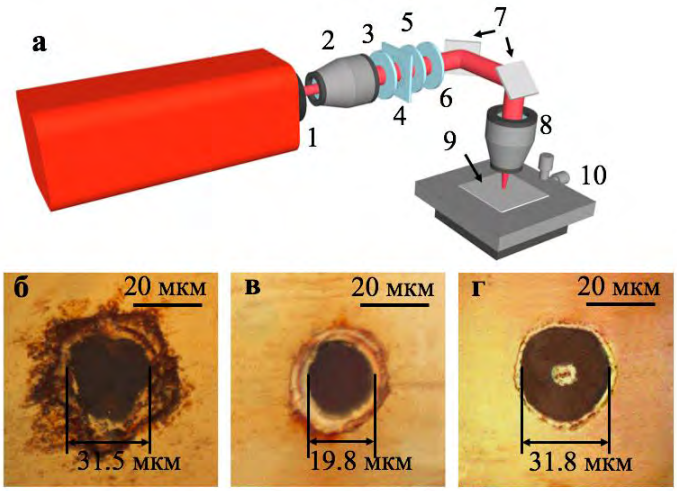


Рис. 5. Одноимпульсная абляция пленки хрома: экспериментальная установка (1 – Nd:YAG лазер (λ = 1.064 мкм), 2 – телескопическая система (3^{x}), 3 – λ/4, 4 – ДСФП, 5 – λ/4, 6 – λ/2, 7 – система зеркал, 8 – микрообъектив (f = 50 мм, NA = 0.3), 9 – образец пленки хрома, 10 – координатный стол с возможностью перемещения по осям x и z (а), отпечаток, сформированный исходным линейно поляризованным Гауссовым пучком (б), отпечаток, сформированные радально (в) и азимутально (г) поляризованым пучками

В настоящей работе было показано применение технологии ЛИМП для изготовления СФП на плавленом кварце и ДСФП на исландском шпате с шероховатостью в области обработки 50 нм. Отжиг в печи пластины плавленого кварца с СФП позволил снизить шероховатость до 30 нм, химическое травление в растворе щелочи NaOH – до 25 нм. Предложенный режим отжига пластины исландского шпата с ДСФП позволил уменьшить уровень шероховатости до 35 нм. Процедуры тестирования изготовленных элементов однозначно подтвердили их работоспособность. Предварительные эксперименты по обработке пленки хрома продемонстрировали возможность применения ДСФП в силовых лазерных пучках для повышения качества лазерной микрообработки.

Литература

1. Igasaki Y. et al. High efficiency electrically-addressable phase-only spatial light modulator // Optical Review. 1999. Т. 6. №. 4. С. 339–344.
2. Jun C. et al. Generation of optical vortex using a spiral phase plate fabricated in quartz by direct laser writing and inductively coupled plasma etching // Chinese Physics Letters. 2009. Т. 26. №. 1. С. 014202.
3. Lai W. J. et al. Generation of radially polarized beam with a segmented spiral varying retarder // Optics Express. 2008. Т. 16. №. 20. С. 15694–15699.
4. Shkuratova V. et al. Laser-induced microplasma as effective tool for phase elements fabrication on amorphous and crystalline materials // Journal of Laser Micro/Nanoengineering. 2018. Т. 13. №. 3. С. 211–215.
5. Шерклифф У. Поляризованный свет. Москва: Мир, 1965. 264 с.

Юдин Семён Алексеевич
Год рождения: 1995
Университет ИТМО,
факультет систем управления и робототехники,
студент группы № R4277,
направление подготовки: 12.04.01 – Технологическая подготовка производства приборов и систем,
e-mail: yudinYudin7@gmail.com
Андреев Юрий Сергеевич
Год рождения: 1984
Университет ИТМО,
факультет систем управления и робототехники,
к.т.н., доцент,
e-mail: ysandreev@corp.ifmo.ru

УДК 621.74.043.2

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ ЛИТЕЙНОГО УЧАСТКА В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВОГО ПРОИЗВОДСТВА

С.А. Юдин

Научный руководитель – к.т.н., доцент **Ю.С. Андреев**

Университет ИТМО

Аннотация
В работе рассмотрено применение системы математического моделирования литейных процессов на этапе технологической подготовки литейного производства. Приведены результаты имитационного моделирования бизнес-процессов без применения и с использованием литейной CAE-системы. Представлена методика моделирования процесса литья металлов под давлением в рамках приборостроительного предприятия.
Ключевые слова
Литье металлов под давлением, литейный участок, бизнес-процессы, технологическая подготовка производства, CAE-система, система математического моделирования литейный процессов, новые технологии, цифровые технологии, цифровое производство.

В машиностроении и приборостроении большой процент от всех деталей сложной формы получают посредством литья. Среди них порядка 50% процентов составляют отливки, изготовленные методом литья под давлением. В настоящее время литье под давлением остается одним из самых производительных способов изготовления изделий сложной формы [1–5].

В подготовке к серийному производству принимают участие множество специалистов. Для слаженной работы необходимо рациональное распределение обязанностей и нагрузки. В современных условиях и требованиях к производителям актуальной задачей является уменьшение затрат времени на разработку конструкторской документации, технологической и организационной подготовки производства, поэтому очень важно разрабатывать оптимальные бизнес-процессы, учитывающие специфику производства.

Современные тенденции развития производства все больше усиливают значимость гибкого производства, поэтому скорость реакции на изменения и быстрая реорганизация производства начинает играть важную роль. Для решения этих проблем существует ряд цифровых технологий, способных решать конструкторские, технологические и организационные задачи. На этапе разработки изделия это CAD, CAE-системы, на этапе технологической подготовки производства это также CAE, CAM и CAPP- системы. Повысить качество организационной подготовки и увеличить скорость реорганизации позволяет применение систем имитационного моделирования, с помощью которых можно разрабатывать новые бизнес-процессы и анализировать существующие взаимосвязи на предприятии.

В большей степени качество получаемых отливок зависит от режимов литья, которые задают структуру отливки, и качественно спроектированной пресс-формы. Выбор технологических режимов литья и проверка пресс-формы осуществляется методом проб и ошибок, что является длительным процессом и влечет за собой лишние затраты на ТПП. Для решения этих проблем предлагается использование специализированной CAE-системы, способной проводить моделирование литейных процессов, что дает возможность выбирать подходящие режимы литья, практически исключая опытный этап.

В процессе литья под давлением необходимо управлять большим количеством параметров, которые напрямую влияют на качественные характеристики изготавливаемых отливок. Определение режимов литья непростой процесс, так как сложно отследить физические процессы, протекающие при формировании отливок. Сначала инженер-технолог, руководствуясь своим опытом, выбирает режимы и разрабатывает карту технологического процесса литья под давлением, в которой указывается скорость, давление, температуру расплава, степень прогрева пресс-формы и время выдержки отливки. Затем изготавливается опытная партия и вносятся изменения в технологическую карту. Этот процесс может повторяться несколько раз.

Для решения поставленных задач было рассмотрено два варианта цифровых технологий. Так как в работе рассматривается деталь, которая уже изготавливается методом литья под давлением, принято решение использовать литейную CAE-систему ProCAST для проведения моделирования литейных процессов. На основе полученных результатов можно произвести коррекцию в режимах литья и при необходимости доработать пресс-форму.

Дальнейшее применение CAE-системы предполагает изменение протекающих на производстве бизнес-процессов. Для этого было проведено имитационное моделирование БП с учетом особенностей производства в системе Adonis CE.

Методика работы в литейной CAE-системе состоит из трех этапов: подготовка трехмерных моделей, создание сетки конечных элементов и проведение моделирования.

Входные параметры для моделирования литейных процессов можно разделить на три категории: параметры объектов, параметры теплопередачи и граничные условия. Для моделирования литья под давлением минимальными граничными условиями являются начальная температура и скорость впрыска металла. Входные параметры приведены в таб. 1 и 2.

В результате моделирования было определено, что охлаждение отливки происходит неравномерно, в результате чего в структуре отливки образуется усадочная пористость. Из полученных результатов следует, что необходимо откорректировать технологические режимы литья. Предлагается понизить начальную температуру заливки металла с 670 ˚С до 630 ˚С, увеличить скорость второй фазы с 2,3 м/с до 2,7 м/с. Сравнение усадочной пористости с текущими и новыми режимами литья в двух сечениях представлены на рис. 1 и 2.

Таблица 1

Входные параметры объектов

Параметры объектов				
	Тип объекта	Материал	Процент заполнения на начало процесса, %	Начальная температура, ˚С
Отливка	Alloy (жидкий металл)	EN AC-44200 AlSi 12 (АК12)	0	670
Форма	Mold (форма)	4Х4ВМФС	100	200

Коэффициенты теплопередачи		
	Тип элемента	Коэффициент теплопередачи
Отливка-отливка	EQUIV	Теплопередача отсутствует
Форма-отливка	COINC	2000
Форма-форма	NCOINC	1000

Таблица 2

Граничные условия процесса

Скорость заливки, м/с	Температура заливки, ˚С	Охлаждение, ˚С
2,3	670	20

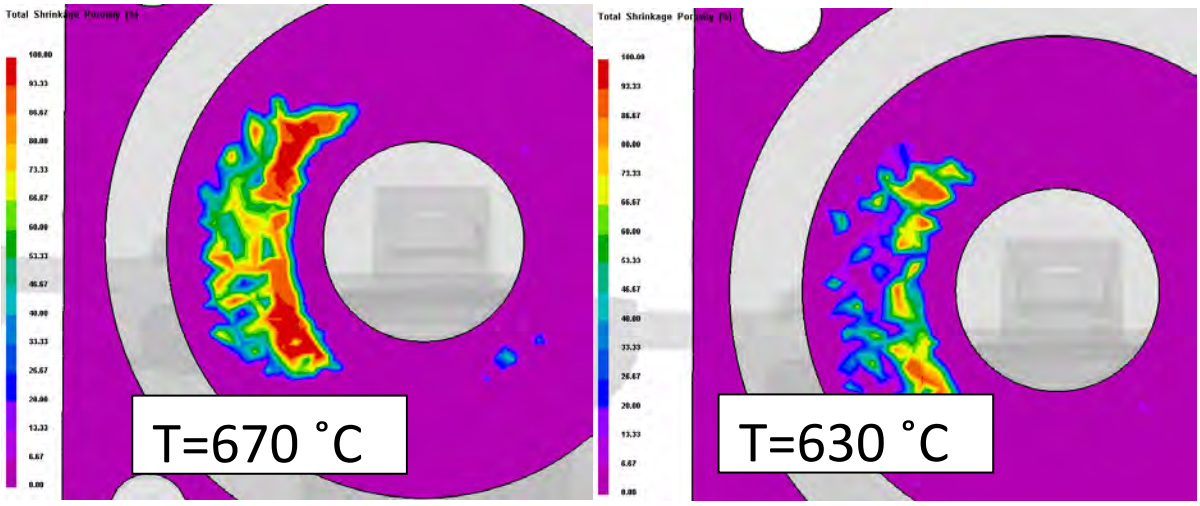


Рис. 1. Сравнение усадочной пористости в сечении у основания фланца с разными литейными режимами

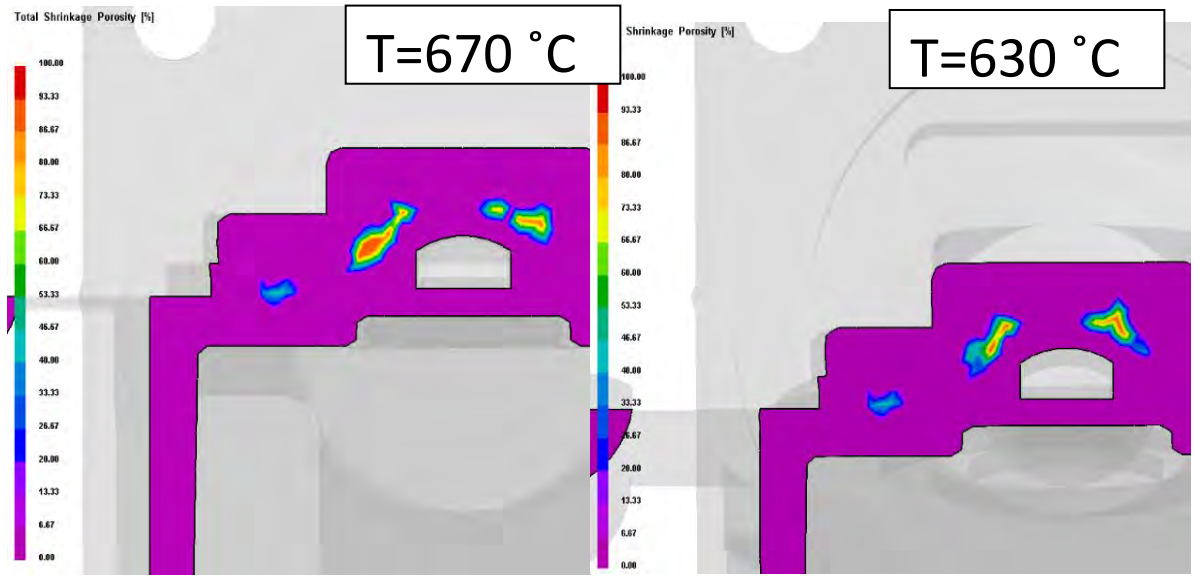


Рис. 2. Сравнение усадочной пористости в сечении с разными литейными режимами

Как можно увидеть из результатов моделирования, области и вероятность возникновения усадочной пористости в выявленных зонах снизилась. Также снижение температуры заливаемого металла способствует повышению долговечности формообразующих поверхностей.

В связи с положительным результатом применения системы инженерного анализа, необходимо задумываться о пересмотре подходов к организации технологической подготовки литейного производства, для того чтобы наименее безболезненно провести этот процесс можно предварительно сделать расчет стоимости и длительности процессов в системах имитационного моделирования бизнес-процессов.

Для проведения анализа требуется предварительно исследовать материальные и информационные потоки на предприятии. Чем больше будет задано параметров и чем они достовернее, тем выше будет точность полученных результатов. Для имитационного моделирования бизнес-процессов технологической подготовке литейного производства была использована организационная структура предприятия ПАО «Техприбор» и литейный участок с машиной литья под CLH 160.1.

На основании проведенных исследования были выявлены отделы и службы, участвующие в процессе технологической подготовке литейного производства, определены ключевые сотрудники.

Предлагается использование литейной CAE-системы на этапе расчета технологических режимов литья. Для моделирования и расчета инженер-технолог по литейному производству разрабатывает в CAD-системе трехмерную модель отливки, формообразующих поверхностей, стержней и вставок и импортирует в CAE-систему. После моделирования и выбора оптимальных режимов литья, полученные 3D-модели и результаты анализа передаются в комплекте с техническим заданием на разработку пресс-формы в конструкторский отдел службы главного технолога. На основании полученных моделей инженер-конструктор проектирует пресс-форму.

В системе имитационного моделирования Adonis CE были построены модели существующих и измененных бизнес-процессов технологической подготовки литейного производства. Далее было проведено имитационное моделирование на основании построенных моделей, результаты которого представлены в таб. 3.

Таблица 3

Сравнение результатов имитационного моделирования

Параметры сравнения	Существующий бизнес-процесс	Бизнес-процесс с использованием CAE
Наиболее вероятный путь		
Время выполнения	039:06:55:20	022:02:55:20
Общее время ожидания	002:07:00:00	002:07:00:00
Затраты на выполнение данного процесса (руб.)	462583,5	433103,5
Наименее вероятный путь		
Время выполнения	062:07:40:20	039:07:50:20
Общее время ожидания	024:06:00:00	018:04:00:00
Затраты на выполнение данного процесса (руб.)	816023,5	687713,5

При сравнении результатов имитационного моделирования по алгоритму Path Analysis можно увидеть, что общее время выполнения БП сократилось при наиболее вероятном пути развития событий на 17 дней 4 часа, а стоимость БП на 29480 рублей.

На основании проведенного имитационного моделирования БП в системе Adonis CE и моделирования литейных процессов в CAE-системе ProCAST можно сделать вывод о целесообразности использования цифровых технологий в период технологической подготовки литейного производства.

Литература

1. Andresen W. Die Cast Engineering: A Hydraulic, Thermal, and Mechanical Process [Текст] / W. Andresen // CRC Press. New York, 2004. Режим доступа: https://qps.ru/FwlnS, своб.
2. Яблочников Е. И. Реинжиниринг бизнес-процессов проектирования и производства [Учебное пособие] / Яблочников Е.И., Фомина Ю.Н. СПб: СПбГУ ИТМО, 2010. 152 с.
3. Чернышев Е.А. Технология литейного производства [Текст] / Чернышев Е.А., Евлампиев А.А. М.: Абрис, 2012. 383 с.: ил.
4. Web-сайт ESI Group [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.esi-group.com/, своб.
5. Официальный web-сайт BOC-group [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://ie.boc-group.com, своб.

СОДЕРЖАНИЕ

ПОБЕДИТЕЛИ КОНКУРСА
НА «ЛУЧШУЮ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКУЮ
ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ
СРЕДИ МАГИСТРОВ УНИВЕРСИТЕТА ИТМО»

Бурцев Д.С.
РАЗРАБОТКА МЕХАНИЗМОВ УСИЛЕНИЯ
ИНТЕГРАЦИИ НАУЧНЫХ УЧРЕЖДЕНИЙ
В НАЦИОНАЛЬНУЮ ИННОВАЦИОННУЮ СИСТЕМУ……... 6
Вовк И.А.
МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭКСИТОННЫХ ЭФФЕКТОВ
В ДВУМЕРНЫХ СУПЕРКРИСТАЛЛАХ
ИЗ ПЕРОВСКИТНЫХ КВАНТОВЫХ ТОЧЕК…….. 11
Вычужанин П.В.
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПОДДЕРЖКИ
ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА КОМПЬЮТЕРНЫХ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ…….. 17
Каканов М.А.
РАЗРАБОТКА РОБАСТНОГО АЛГОРИТМА
УПРАВЛЕНИЯ С АНТИВИНДАП-КОРРЕКЦИЕЙ
ДЛЯ МОБИЛЬНЫХ КИБЕРФИЗИЧЕСКИХ СИСТЕМ…… 24
Мартынчук И.Г.
АНАЛИЗ НЕСТАЦИОНАРНЫХ
ПРОЦЕССОВ В ОБЛАЧНЫХ СИСТЕМАХ…….. 33
Павлов К.В.
АНАЛИЗ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА МАТЕРИАЛОВ
ФОТОНИКИ МЕТОДОМ ЛАЗЕРНО-ИСКРОВОЙ
ЭМИССИОННОЙ СПЕКТРОСКОПИИ……. 39
Самусевич К.Л.
ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ
СВОЙСТВ ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ Mg_2Si-Mg_2Sn,
СОДЕРЖАЩИХ НАНОВКЛЮЧЕНИЯ ДРУГОЙ ФАЗЫ……. 46
Соколов П.П.
ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ФОРМИРОВАНИЯ
ТРЕХМЕРНЫХ ОБЪЕКТОВ ГОЛОГРАФИЧЕСКИМИ
МЕТОДАМИ И ИХ ХАРАКТЕРИСТИК…… 51
Тавалинская А.Д.
ЛАЗЕРНАЯ МИКРОПЕРФОРАЦИЯ И ПРОЦЕССЫ,
СТИМУЛИРУЮЩИЕ УСКОРЕНИЕ ДОСТАВКИ ЛЕКАРСТВ…….. 59
Чупров С.С.
ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ
МОБИЛЬНЫХ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ
СО СМЕШАННОЙ СТРАТЕГИЕЙ УПРАВЛЕНИЯ……. 66

ЛАУРЕАТЫ КОНКУРСА НА «ЛУЧШУЮ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКУЮ ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ СРЕДИ МАГИСТРОВ УНИВЕРСИТЕТА ИТМО»

Анцыперова М.А.
РАЗРАБОТКА СОСТАВА И ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА НИЗКОЛАКТОЗНОГО НАПИТКА ИЗ КОЗЬЕГО МОЛОКА…….. 74
Веременко А.П.
ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТОВ «ВОДНЫЙ ЛАБИРИНТ МОРРИСА» И «ОТКРЫТОЕ ПОЛЕ» НА ОСНОВЕ АЛГОРИТМОВ ФИЛЬТРАЦИИ И ПОИСКА ДВИЖУЩИХСЯ ОБЪЕКТОВ НА ВИДЕОИЗОБРАЖЕНИИ…… 81
Ворожцова Ю.С.
ПОДХОДЫ К ОЦЕНКЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИНГИБИТОРОВ ГИДРАТООБРАЗОВАНИЯ……... 88
Громов В.В.
РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА СОВМЕЩЕНИЯ ОБЛАКОВ ТОЧЕК С УЧЕТОМ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ 3D-СКАНЕРА…… 93
Давыдов В.В.
ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ПРОТОКОЛОВ БЕЗОПАСНОЙ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ СОВРЕМЕННЫХ АВТОМОБИЛЕЙ……. 100
Дергун К.И.
ФАЗЗИНГ ТЕСТИРОВАНИЕ МНОГОПОТОЧНЫХ ПРИЛОЖЕНИЙ…….. 105
Дысин А.П.
УМНЫЕ И АКТИВНЫЕ НАНОЧАСТИЦЫ НА ОСНОВЕ ПРИРОДНЫХ ПОЛИСАХАРИДОВ ДЛЯ ПОТЕНЦИАЛЬНОГО ПРИМЕНЕНИЯ В ПИЩЕВЫХ ПЛЕНКАХ И ПОКРЫТИЯХ……. 113
Карпенко Е.А.
ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ УПРАВЛЕНИЯ СИСТЕМАМИ ОТОПЛЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ……... 121
Костюк В.А.
ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИОЛОГО-БИОХИМИЧЕСКИХ И ФИТОПАТОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ЯБЛОК ПРИ ХОЛОДИЛЬНОМ ХРАНЕНИИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ТРЕКОВЫХ МЕМБРАН……... 127
Любарчук Ф.Н.
РОБОТИЗИРОВАННЫЕ УСТАНОВКИ КАК ОБЪЕКТЫ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ…… 133
Муратова Л.И.
ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДИЧЕСКИХ ПОДХОДОВ К ОЦЕНКЕ ЗАТРАТ НА ПРОВЕДЕНИЕ НИОКР…… 140
Проскура А.В.
РАЗРАБОТКА СОСТАВА И ТЕХНОЛОГИИ ПРОДУКТА НА МОЛОЧНО-РАСТИТЕЛЬНОЙ ОСНОВЕ С РОСТКАМИ СЕМЯН ЧИА (SALVIA HISPANICA L.)…… 146
Ряскин Г.А.
РАЗРАБОТКА ПОМЕХОУСТОЙЧИВЫХ НАДЕЖНЫХ КОДОВ НА ОСНОВЕ БЕНТ -ФУНКЦИЙ И ВЕЙВЛЕТ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ……. 152

Смирнова П.В.
ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ГЕЙМИФИКАЦИИ
В РАЗРАБОТКЕ ЭЛЕКТРОННЫХ КУРСОВ ДЛЯ ОБУЧЕНИЯ
ГОСУДАРСТВЕННЫХ СЛУЖАЩИХ…….. 159
Снежная Ж.Г.
ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТИЧЕСКИХ И ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ
ХАРАКТЕРИСТИК ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ СТРУКТУР
НА ОСНОВЕ ОКСИДА ЦИНКА, ПОЛУЧАЕМЫХ МЕТОДАМИ
ЗОЛЬ-ГЕЛЬ ТЕХНОЛОГИИ…… 166

**ПОБЕДИТЕЛИ КОНКУРСОВ ФАКУЛЬТЕТОВ
НА ЛУЧШУЮ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКУЮ
ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ СРЕДИ МАГИСТРОВ**

Алхлеф А.
СПЕКТРАЛЬНО-ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ
СВОЙСТВА ФТОРОФОСФАТНЫХ СТЕКОЛ,
АКТИВИРОВАННЫХ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫМИ ИОНАМИ…… 176
Аширов А.Н.
ИЗМЕРЕНИЕ ЭНЕРГИИ ИМПУЛЬСОВ МОЩНОГО
ЛАЗЕРНОГО УЛЬТРАФИОЛЕТОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ
С ПОМОЩЬЮ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА
ПЛЕНОК ОКСИДА ИНДИЯ-ОЛОВА…… 182
Бабаева М.Ю.
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ АЛГОРИТМОВ УПРАВЛЕНИЯ
ЭЛЕКТРОПРИВОДА СЛОЖНЫХ МЕХАТРОННЫХ СИСТЕМ……... 188
Бужлакова С.Ю.
РАЗРАБОТКА РЕЦЕПТУРЫ МУЧНЫХ КОНДИТЕРСКИХ
ИЗДЕЛИЙ В РАМКАХ ПРОЕКТА НТИ «КОРРЕКЦИЯ
МИКРОНУТРИЕНТНОГО СТАТУСА ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ
СОСТОЯНИ ЗДОРОВЬЯ И ДЕМОГРАФИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ
НАСЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ»…… 195
Варюхин В.А.
АНАЛИЗ ТРЕЙСОВ ПОЛУЧЕННЫХ
ПО АТАКАМ СТОРОННИХ КАНАЛОВ…… 200
Волкова К.П.
КВАНТОВАЯ КОММУНИКАЦИЯ НА БОКОВЫХ ЧАСТОТАХ
ПО АТМОСФЕРНОМУ КАНАЛУ МАЛОЙ И СРЕДНЕЙ ДАЛЬНОСТИ……. 206
Гайфулина Д.А.
РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДИКИ АНАЛИЗА
СЕТЕВОГО ТРАФИКА ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ АНОМАЛИЙ
В КИБЕРФИЗИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ…….. 213
Георгиева А.О.
ЦИФРОВАЯ ГОЛОГРАФИЧЕСКАЯ МИКРОСКОПИЯ
ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ЛАЗЕРНО-ИНДУЦИРОВАННОЙ
ТРАНСФЕКЦИИ КЛЕТОК…….. 220
Голубчиков В.А.
АЛГОРИТМ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ
ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ АНОМАЛИЙ В ГЕНЕРИРУЕМЫХ ДАННЫХ
ВЫСОКОНАГРУЖЕННОГО СЕТЕВОГО ПРИЛОЖЕНИЯ…… 227

Дашкевич А.В.
ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ
ПРЕДПРИНИМАТЕЛЬСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ
НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ LEAN-ТЕХНОЛОГИИ……. 232
Дормидонтов Д.В.
ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА
ЭКСТРУДЕРАДЛЯ АДДИТИВНОЙ УСТАНОВКИ…… 238
Дорофеева М.И.
СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ
АНАЛИЗ ДИЗАЙНА ПЛАТФОРМ МАССОВЫХ
ОТКРЫТЫХ ОНЛАЙН-КУРСОВ (МООК)……... 243
Дубинич Е.А.
РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ ОЦЕНКИ И РЕГУЛИРОВАНИЕ
РИСКОВ НАРУШЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ
ФЛУД-АТАКУЕМЫХ СЕРВЕРОВ КОМПЬЮТЕРНЫХ СЕТЕЙ……... 249
Ефимова В.А.
ПОРОЖДАЮЩИЕ МОДЕЛИ ДЛЯ ГЕНЕРАЦИИ НАБОРОВ
ДАННЫХ, ПОВЫШАЮЩИХ КАЧЕСТВО ДЕТЕКЦИИ
И РАСПОЗНАВАНИЯ ТЕКСТА НА ИЗОБРАЖЕНИИ……... 256
Зенкина Ю.В.
ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ
ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ МЕТОДАМИ БИОТЕСТИРОВАНИЯ
(НА ПРИМЕРЕ РЕКИ НОВАЯ)……... 263
Иванов В.А.
РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПИВА ВЕРХОВОГО
БРОЖЕНИЯ С ДОБАВЛЕНИЕМ ОВСА И ОВСЯНОГО СИРОПА……. 268
Игошина В.М.
РАЗРАБОТКА МЕТОДА ИДЕНТИФИКАЦИИ
ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ НА ОСНОВЕ СИСТЕМНОЙ
ИНФОРМАЦИИ МОБИЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ…… 275
Ильина В.С.
РАЗРАБОТКА ИНКАПСУЛИРОВАННЫХ ПИЩЕВЫХ
ИНГРЕДИЕНТОВ ПРОФИЛАКТИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ
С ПРИМЕНЕНИЕМ ХВОЙНОГО СЫРЬЯ…… 282
Исмагилов А.О.
ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ
НАНОПОРИСТЫХ МАТРИЦ ИММЕРСИРОВАННЫХ
БИОЛОГИЧЕСКИМИ ЖИДКОСТЯМИ…… 289
Касьянов В.В.
ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
АСФАЛЬТОСМОЛОПАРАФИНОВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ
В НАСОСНО-КОМПРЕССОРНЫХ ТРУБАХ МЕТОДОМ
МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ…….. 297
Ковалевский В.А.
ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ
АЛГОРИТМОВ СЖАТИЯ НА КАЧЕСТВО
ПЕРЕДАВАЕМОГО ТВ-ИЗОБРАЖЕНИЯ……. 303
Коршунова Н.А.
СОВРЕМЕННЫЕ СПОСОБЫ
ИДЕНТИФИКАЦИИ ВИНОГРАДНЫХ ВИН……... 309

Кулакова А.О.
ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИННОВАЦИОННОГО ПРОЕКТА ПО СОЗДАНИЮ И ВНЕДРЕНИЮ ТРЕХМЕРНОЙ ГЕОИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ……... 315
Кутлугульдина Л.Г.
ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ СОЗДАНИЯ КОНТРАСТНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ДЛЯ ДЕТАЛЕЙ И УЗЛОВ ГИРОПРИБОРОВ…… 323
Миропольцев М.А.
ИССЛЕДОВАНИЕ СПЕКТРОВ МАГНИТНОГО КРУГОВОГО ДИХРОИЗМА ДВУМЕРНЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ КОЛЛОИДНЫХ НАНОКРИСТАЛЛОВ СЕЛЕНИДА КАДМИЯ……. 330
Нгуен З.Х.
РАЗРАБОТКА ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ ПРИНЦИПОВ СТЕРЕОЗРЕНИЯ…… 336
Никитин И.С.
СИЛЬНОНАПРАВЛЯЮЩИЕ КВАРЦЕВЫЕ ОДНОМОДОВЫЕ СВЕТОВОДЫ ДЛЯ МИНИМИЗАЦИИ ИЗГИБНЫХ ОПТИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ НА МАЛЫХ ДИАМЕТРАХ НАМОТКИ……... 343
Новикова В.А.
ЗАПИСЬ И ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЛОКОННЫХ БРЭГГОВСКИХ РЕШЁТОК С ФАЗОВЫМ СДВИГОМ…….. 349
Останин С.А.
ПРОТОТРОПНОЕ ПОВЕДЕНИЕ ЦИКЛОАЛИФАТИЧЕСКИХ ПОЛИУРЕТАНОВ И ПОЛИМОЧЕВИН, ИССЛЕДОВАННОЕ МЕТОДОМ СПЕКТРОСКОПИИ ЯМР……... 356
Парамонов В.С.
РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ КУРСОВОЙ СТАБИЛИЗАЦИИ МОБИЛЬНОГО РОБОТА В СРЕДЕ С НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЯМИ……... 362
Перес О.М.А.
ВИЗУАЛИЗАЦИЯ И СЕГМЕНТАЦИЯ ТРОПИЧЕСКИХ ЦИКЛОНОВ В СПУТНИКОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЯХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНИКИ ДВОРЖАКА……... 369
Петрова П.Е.
ПОДХОДЫ И МЕТОДЫ ПЛАНИРОВАНИЯ ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТ В ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ И ПРИКЛАДНЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ…… 375
Петряева М.А.
ПОЛУЧЕНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО ПИЩЕВОГО ИНГРЕДИЕНТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ФРАКЦИОНИРОВАНИЯ МОЛОЧНОГО СЫРЬЯ……... 383
Поздяев И.В.
РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДА ОЦЕНКИ РИСКОВ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ НА ПРИМЕРЕ ПРЕДПРИЯТИЯ ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ «КИНЕФ»……... 388
Полякова Д.А.
ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ АДАПТАЦИИ 3D-МОДЕЛЕЙ ДЛЯ АДДИТИВНОГО ПРОИЗВОДСТВА…….. 396

Санавбаров Р.И.
РАСЧЕТ ОЖИЖИТЕЛСЯ ПРИРОДНОГО
ГАЗА МАЛОЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ…….. 401
Скулаченко В.Г.
РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ КРИТЕРИЕВ
ПО ВЫБОРУ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ……... 408
Тимакин А.Л.
РАЗРАБОТКА РЕЦЕПТУРЫ И ТЕХНОЛОГИИ
ПРОИЗВОДСТВА ФУНКЦИОНАЛЬНОГО НАПИТКА
ДЛЯ СПОРТСМЕНОВ ЦИКЛИЧЕСКИХ ВИДОВ СПОРТА…….. 415
Фомина А.В.
РАЗРАБОТКА СОСТАВА И ФОРМИРОВАНИЕ
СТРУКТУРНО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СЪЕДОБНЫХ
ПИЩЕВЫХ ПОКРЫТИЙ ДЛЯ СЫРОВ…… 421
Хуссайне Р.
ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ
ЭКСТРАКТОВ ИЗ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ
ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В ПРОИЗВОДСТВЕ СВЕЖИХ СЫРОВ……... 428
Чащина М.М.
ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ БЕЗАВАРИЙНОГО ДВИЖЕНИЯ
МОБИЛЬНОГО РОБОТА НА ПЕРЕСЕЧЁННОЙ МЕСТНОСТИ……... 436
Чернушевич Е.А.
РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ОЦЕНКИ В ЭЛЕКТРОННЫХ
КУРСАХ С ЭЛЕМЕНТАМИ ГЕЙМИФИКАЦИИ
ДЛЯ ГОСУДАРСТВЕННЫХ СЛУЖАЩИХ……. 439
Чукичев А.В.
ОСОБЕННОСТИ ВНЕДРЕНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ
СРЕДСТВ КОНТРОЛЯ В УСЛОВИЯХ
ПРИБОРОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ……... 447
Чурбанов А.С.
ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ
МЕТАЛЛОКЕРАМИЧЕСКИХ КОМПОЗИТОВ…… 453
Шкуратова В.А.
ИЗГОТОВЛЕНИЕ И ТЕСТИРОВАНИЕ ФАЗОВЫХ
МИКРООПТИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ ДЛЯ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ
РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ИНТЕНСИВНОСТИ В ЛАЗЕРНЫХ ПУЧКАХ…….. 460
Юдин С.А.
РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ
БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ ЛИТЕЙНОГО УЧАСТКА
В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВОГО ПРОИЗВОДСТВА…… 467

Аннотированный сборник научно-исследовательских выпускных квалификационных работ среди магистров Университета ИТМО

Сборник трудов

В авторской редакции
Редакционно-издательский отдел Университета ИТМО
Дизайн обложки Н.А. Потехина
Зав. РИО Н.Ф. Гусарова
Верстка Я.Я. Платунова
Подписано к печати 16.12.2019
Заказ № 4353
Тираж 100 экз.